

Pēteris Zālītis

MEŽS UN ŪDENS

2012

UDK 630:556

Za 407



© Pēteris Zālītis "Mežs un ūdens", Salaspils, 2012

© Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", Salaspils, 2012



Grāmata sagatavota ar Latvijas Zinātnes padomes atbalstu



Grāmata izdota ar AS "Latvijas valsts meži" līdzdalību

Recenzents: Dr. habil. geogr. Māris Laiviņš

ISBN 978-9934-8016-6-2

Grāmatā izmantotie materiāli ievākti Valsts pētījumu programmas Nr. 2010.10–4/VPP–5 (NatRes) projekta "Inovātīvu meža audzēšanas tehnoloģiju izstrāde mežsaimnieciskās ražošanas produktivitātes un mežsaimniecības konkurētspējas palielināšanai" ietvaros.

PRIEKŠVārds

Mēs esam zinošāki par iepriekšējo paaudžu meža zinātniekiem. Zinošāki, bet ne gudrāki kļūvām tāpēc, ka esam daudz bagātāki ar ilglaicīgo novērojumu datiem pastāvīgajos meža parauglaukumos. Daudz gadu desmitus kokaudžu augšanas gaita, to ietekmējošie faktori iepriekš apcerēti, balstoties uz statistiskiem vērojumiem un no tiem atvasinātiem šķietami loģiskiem pieņēmumiem. Mežs tomēr ir pārāk sarežģīta un pašregulējoša ekosistēma. Kļūmīgi ir tas, ka arī mūsdienās daudzi meža apzinātāji raugās uz to kā izejvielu vai pusfabrikātu krātuvi, izliekoties nemanām, ka meža neapstrīdams uzdevums ir izdzīvot kā mežam. Gan dabas nevēlamu norišu (vējgāze, ugunsgrēks, pārpurvošanās etc.), gan antropogēnās ietekmes (hidrotehniskā meliorācija, izciršana, kokaudzes atjaunošana, apmežošana) sakarā meža ekosistēma darbojas, lai iespējami ātrāk kokaudze kļūtu par galveno organikas ražotāju. Audzē uzkrātam koksnes apjomam tomēr ir pakārtota loma. Pieaugušā mežā tas ne vienmēr sakrīt ar meža izstrādātāja ekonomiskajām interesēm. Lai pavērtos iespēja mērķtiecīgāk vadīt mežā notiekošos procesus, jāraksturo likumsakarības atsevišķās audzēs. Jo audžu skaits ir lielāks un jo ilgāk notiek mērījumi, jo zinošāks kļūst pētnieks.

Mežam jākļūst ražīgākam, veselīgākam un kvalitatīvākam. Tā ir neapstrīdama mežsaimniecības aksioma. Latvijas apstākļos pats svarīgākais pasākums mērķa sasniegšanai ir vāji aerēto mežu hidrotehniskā meliorācija. Pārmitrie meži ekoloģiskajā aspektā vērtējami kā slimas ekosistēmas, kas aizņem apmēram pusi no mūsu mežu kopplatības. Pagaidām meliorēta aptuveni puse no dabas degradētajiem mežiem, un nosusināšana izraisīja 3–4 kārtīgu kokaudzes ražības paaugstināšanos.

Meliorēto audžu novērojumi turpinās ap 120 gadus ilgi, un, uzsākot mūsu pētījumus, neizprotama bija situācija, ka pārmitrie meži visvairāk ir novados, kur nokrišņu apjoms ir vismazākais. Kā tas iespējams, ka visražīgākās ir kokaudzes, kuru saknes dziļā kūdrā visvairāk atrautas no biogēniem elementiem bagātās minerālgrūntīs? Kāpēc meliorētos mežos

ar kūdras augsnēm ūdens plūst pa vienu metru dziļiem grāvjiem arī tik sausās vasarās, kad izsīkuši ir daudzi dabiskie strauti? Kā veidojas stumbru koksnes gadskārtējais pieaugums, ja sausās vasarās purvainēs gruntsūdens līmenis ir stipri dziļš, taču kokaudzes ražība nepalielinās, kamēr slapjās vasarās meliorētajos mežos gruntsūdens līmenis pat grāvju tuvumā ir stipri augsts, tomēr kokaudzes ražība nepasliktinās?

Meklējot atbildes uz jautājumiem, pavērās iespēja izmantot meliorētos mežus arī kā plaša mēroga zinātniska eksperimenta objektus. Atšifrējot meža ūdens bilances visu elementu lielumus, mums izdevās uzzināt praktiski dabā neizmērojamas evapotranspirācijas vērtības kā kokaudzes struktūras un meteoapstākļu funkciju. Tas ir unikāls sasniegums, kas gūstams vienīgi meliorētajos mežos ar pazemes spiedes ūdeņu izplūdi.

Meža un ūdens ekoloģiskie pētījumi uzsākti bijušajā Jēkabpils mežrūpsaimniecībā Oškalna un Spārnu mežniecībās 1961. gadā un turpinājās piecus gadus. 1963. gadā Mežu pētīšanas stacijā Kalsnava tika iedibināts meža stacionārs Vesetnieki, kurā aizsākās meža hidroloģisko parametru mērījumi kopā ar kokaudzes un dzīvās zemsedzes izmaiņu novērtēšanu meliorētajos mežos. Līdzīgi mērījumi 5 gadus veikti arī Dunda-gas pusē Puzes mežniecībā.

Pētījumu rezultāti izklāstīti 1968. gada rakstu krājumā „Hidromeliorācijas jautājumi” un 1983. gada monogrāfijā „Racionālas mežu nosusināšanas pamati Latvijas PSR”. Abi izdevumi ir uzrakstīti krievu valodā. Taču Vesetnieku stacionārā mērījumi turpinās joprojām, un publikāciju latviskais tulkojums šīnī grāmatā ir papildināts ar pēdējos trīsdesmit gados iegūtajiem rezultātiem. Sistemātisko pētījumu laikā kokaudžu ražība izmainījies vidēji no 50 m³ ha⁻¹ līdz 312 m³ ha⁻¹, un līdz ar tiem arī meža hidroloģiskie parametri.

Minētie izdevumi krievu valodā ir kļuvuši par bibliogrāfiskiem retumiem, un 47 gados iegūto unikālo rezultātu publicēšanu tieši latviešu valodā uzskatu par savu pienākumu. Tas ir mans devums turpmākajām Latvijas meža zinātnieku paaudzēm.

SATURS

Priekšvārds	3
Ievads	7
1. Ieskats Latvijas mežu nosusināšanas vēsturē	13
2. Hidrotehniskā meliorācija un meža bioloģiskā daudzveidība	21
3. Pārmitro mežu ūdens bilances komponenti	30
4. Nokrišņu režīms meliorētajos mežos	44
4.1. Intercepcija viena lietus laikā	47
4.2. Ūdens notece pa priedes un bērza stumbru un tās ekoloģiskā nozīme	52
4.3. Intercepcija mēneša laikā	62
4.4. Intercepcija veģetācijas periodā	65
4.5. Sniega sega mežaudzēs	72
4.5.1. Ūdens daudzums sniega segā	74
4.5.2. Sniega segas biezums	76
4.5.3. Sniega kušana	80
5. Pazemes ūdeņu izplūdes dinamika	84
6. Pazemes spiedes ūdeņi kā minerālo barības vielu piegādātājs	100
7. Ūdens notece no nosusinātiem mežiem	120
7.1. Noteces daudzums	125
7.2. Noteces dinamika	131
8. Evapotranspirācija no meža savrupienēm	139
9. Augsnes ūdens kā sistēma mežā	162
9.1. Ūdens uzkrājumi augsnē	166

9.1.1. Kūdras grunts augsnes	167
9.1.2. Hidromorfās minerālaugsnes	171
9.2. Augsnes mitruma atdeve	172
9.3. Augsnes samitrinājums	175
9.4. Koku sakņu mitruma nodrošinājums	187
9.5. Augsnes gruntsūdeņu režīms	199
10. Evapotranspirācijas pašregulācija	218
10.1. Evapotranspirācija kūdreņu kokaudzēs un izcirtumos	224
10.2. Evapotranspirācijas aprēķini mežā	238
11. Mežaudžu hidroloģiskie parametri kā meteoapstākļu funkcijas	251
12. Priedes un egles fenoloģija kūdreņos	256
12.1. Priedes un egles jauno dzinumu attīstības gaita nosusinātā saudzēs	264
13. Priedes un egles sezonas pieaugums kūdrenī	280
13.1. Augstuma pieaugums egļu jaunaudzē	284
13.2. Augstuma pieaugums priežu jaunaudzēs	293
13.3. Priedes un egles stumbra caurmēra pieaugums veģetācijas periodā	297
13.4. Koksnes augšanas ilguma un nosusināšanas intensitātes sakarības	303
13.5. Koksnes augšanas intensitāte nosusinātos nogabalos	313
13.6. Agrīnās un vēlinās koksnes veidošanās temps	316
14. Ūdens režīma modelēšana nosusinātajos mežos	322
Kopsavilkums	330
Summary / Kopsavilkums angļu valodā	334
Literatūra	339

IEVADS

Pagājušā gadsimta sākumā pazīstamais krievu zinātnieks P. Otockis uzsvēra, ka fiziskajā ģeogrāfijā vislielākā uzmanība tiek veltīta jautājumiem par meža klimata regulējošo un hidroloģisko lomu. Laikam ritot, šis jautājums nav kļuvis mazāk svarīgs, bet tas izvirzās arvien asāk. To veicina arī trīs problēmu pretstatīšana: teritorijas ūdens resursi, kokaudzes ražības paaugstināšana un meža bioloģiskā daudzveidība.

Tautsaimniecības pieaugošās prasības pēc kokmateriāliem nav atrisināmas, neveicot mežsaimniecības intensifikāciju un industrializāciju. Šos pasākumus reglamentē daudzas starptautiskās vienošanās un norādījumi. Līdzīga ir arī attieksme pret ūdens krājumiem – ikviena jauna objekta celtniecība jāsaskaņo ar pasākuma ietekmes rezultātiem uz ūdens resursu kvalitāti un apjomu.

Meža un ūdens savstarpējās attiecības īpaši aktuālas bija PSRS ietvaros, un šī problēma saglabājas arī Krievijas Federācijas plašajā un daudzveidīgajā teritorijā. Dienvidu rajonos augsnes mitruma nodrošinājums limitē lauksaimniecības zemju ražību. Augsnes mitrumu un lauku ražību paaugstina agromelioratīvie pasākumi, ierīkojot meža aizsargjoslas. Pilnīgi atšķirīgi izpaužas ūdens ietekme uz mežiem un laukiem ziemeļu rajonos – nobīdes no normas te izpaužas kā platību pārmitrinājums vai pat pārpurvošanās.

Ik gadu aktuālākas kļūst enerģijas problēmas, un priekšplānā izvirzās meža objektīvi vērtējumi. Salīdzinot teritorijas mežainumu ar upju noteci, savulaik daudzi pētnieki [79, 167, 168, 211], kas strādāja dienvidu apgabalos, secināja, ka mežs iztvaiko mazāk nekā nemeža teritorijas. Tai pašā laikā citi autori [34, 101, 102, 146, 193, 221], nenoliedzot meža ūdensregulējošās un augsni aizsargājošās īpašības, uzskata, ka mežs iztvaiko vairāk nekā nemeža platības, un upju noteces palielināšanai rosina pastiprināti izcirst

mežus. Pirms Otrā pasaules kara tika uzsākta projektu izstrāde par mežu izciršanu Donas, Dņepras augštecēs, lai bagātinātu ūdens resursus dienvidu stepju apgabalos.

Uzskatu atšķirības izriet no ilūzijas, ka pastāv viennozīmīgs vērtējums par meža un ūdens savstarpējām attiecībām. Izpaužas arī autoru tieksme absolutizēt likumsakarības, kas iezīmējas atsevišķos, parasti pasīva rakstura novērojumos.

Dabas resursu veiksmīga apsaimniekošana sākas ar racionāla varianta izvēli, lai mērķtiecīgi risinātu mežsaimniecības, lauksaimniecības un ūdenssaimniecības problēmas saistībā ar teritorijas reģionālajām savdabībām. Daudzviet augu valsts pārtikas produktu ieguvei nepieciešami ūdens resursi, veicot intensīvus apūdeņošanas pasākumus, kuros visumā izmantota ap 6 % no ūdens noteces pa upēm [171].

Latvija citu valstu starpā ieņem vienu no pirmajām vietām ūdens nodrošinājuma ziņā. Vidēji ūdeņainā gadā valsts ūdens resursi sastāda 15,4 km³, un, pieskaitot tranzītnoteci – 34,7 km³, kas ir vairāk nekā 13 tūkst. m³ uz vienu iedzīvotāju [195].

Paaugstināta ūdensnodrošinājuma zonas (notece pārsniedz 9 l s⁻¹ km²) aizņem 16 % no Latvijas teritorijas, un tās atrodas augstienēs. Zemienēs parasti izvietojas pazemināta ūdensnodrošinājuma zona, kur notece mazāka par 6 l s⁻¹ km² un kas aizņem 17 % no teritorijas. Tādējādi apmēram divas trešdaļas teritorijas raksturojamas ar vidēju ūdensnodrošinājumu. Mainoties ūdeņu bagātiem un sausiem gadiem, mainās arī ūdensnodrošinājums. Lietainā gadā (10 % gada noteces nodrošinājums) 85 % no Latvijas teritorijas vērojams augsts ūdensnodrošinājums. Sausā gadā (90 % noteces nodrošinājums) 80 % no teritorijas raksturojami kā nepietiekoši ūdensnodrošināti.

Aptuveni pusi (54 %) no Latvijas teritorijas aizņem meži. Nenoliedzami, ka pakāpeniski pieaug nekoksnes produktu nozīmīgums visā biosfērā, taču galvenā meža funkcija saglabājas augstvērtīgas stumbru koksnes ražošanā. Meža ražības paaugstināšana saistās ar neizmantoto lauksaimniecības zemju apmežošanu, kokaudžu struktūras mērķtiecīgu koriģēšanu un, pats svarīgākais, ar pārmitro mežu hidrotehnisko meliorāciju. Visi šie pasākumi izmaina meža, kā arī visas teritorijas hidroloģiskās norises.

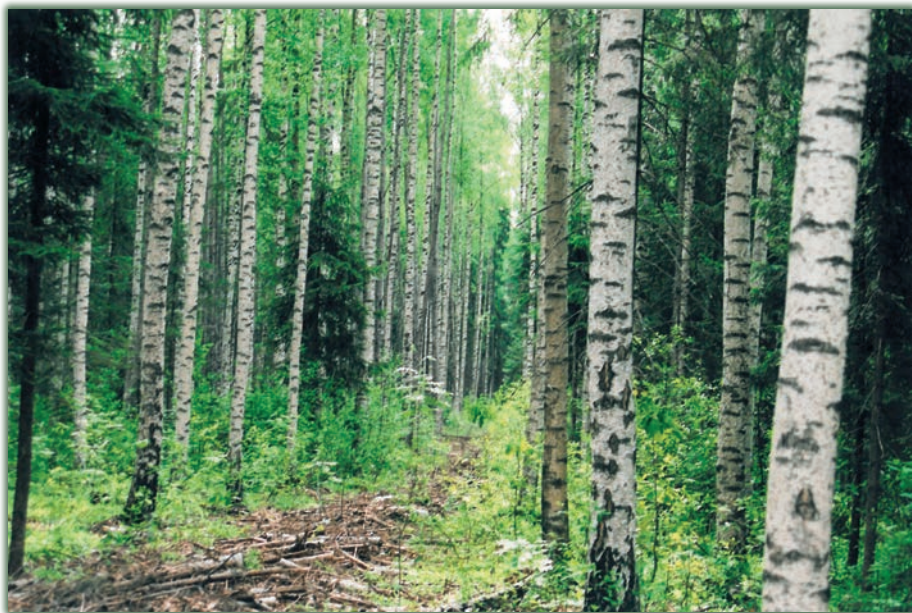
Meža hidromelioratīvais fonds sastāda 46,3 % no meža kopplatības, no kuras meliorēti ir apmēram 392 tūkst. ha vai 40 % no pārmitrajiem mežiem. Nosusināšanas mežsaimnieciskais efekts ir visai augsts – 1971. gadā

meliorētajos mežos pirmās bonitātes kokaudzes aizņem 48 %, otrās un trešās bonitātes kokaudzes – 39 %, ceturtās un piektās bonitātes – 13 % no nosusināto mežu kopplatības.

Pēc apmēram 20 gadiem (1990. gadā) meža ražības izmaiņas ir lielas: pirmās un augstākas bonitātes atzīmētas 42 % no nosusinātajām kokaudzēm, otrās un trešās bonitātes audzes – 50 % un zemas ražības kokaudzes – 8 % no meliorētajiem mežiem.

Nelielais nosusināšanas efekts dažās audzēs daļēji skaidrojams ar visai nabadzīgiem augšanas apstākļiem un nepietiekoši intensīvu meliorāciju. Tāpat zemas bonitātes kokaudzes nereti aizņem arī zemos purvus, kas ilgstoši izmantoti kā pļavas. Šādu platību hidroloģiskais režīms ir labvēlīgs meža augšanai, taču šādu nemeža platību apmežošana nereti ir neveiksmīga. Tas saistās ar nemeža teritorijas transformēšanos meža ekosistēmās, kas nav veicama tikai ar kociņu iestādīšanu. Uz meliorāciju vāji reaģē arī mazražīgas purva bērzu audzes, kas veidojušās pārmitros vai pārpurvotos meža nogabalos ar kūdras augsniem.

Meža tipoloģija veicina labāku meža hidromelioratīvā fonda apzināšanu. Tomēr vēl joprojām nav vienprātības starp meža inventarizētājiem un hidromelioratoriem. Atšķirības rodas, novērtējot mežus sausās vasarās, kad



taksatori slapjainus un arī āreņus kļūmīgi novērtē kā sausieņu mežus. Apkopojot datus par valsts mežniecībām, ieguvām šādus rezultātus: kūdreņu platības meža ierīkotāji un meliorācijas speciālisti vērtē visai līdzīgi – 131 tūkst. ha un 133 tūkst. ha, toties āreņu platības atšķiras ievērojami vairāk – 90 tūkst. ha un 125 tūkst. ha.

Samērā plašie jau paveiktie un veicamie hidromelioratīvie pasākumi jāvērtē sakarībā ar ūdens resursu apjomu un tā sezonālā režīma izmaiņām. Dažkārt nevērība pret sauszemes ekosistēmu mijiedarbību ar teritorijas ūdens resursiem izraisa hidromelioratīvo pasākumu kļūmīgu risinājumu. Spilgts piemērs tam bija dižmanīgās ieceres Baltkrievijas Poļesjē, kur platības tika meliorētas ar ļoti dziļiem grāvjiem, likvidēti ezeri un upes. Pārtraucot barības vielu pieplūdi augsnei ar palu ūdeņiem un gruntsūdeņiem, sauszemes ekosistēmas neatgriezeniski kļuva mazāk auglīgas. Latvijā savukārt nav atzīmēti gadījumi, kad meža hidrotehniskā meliorācija ar apmēram vienu metru dziļiem grāvjiem negatīvi ietekmētu upju un strautu ūdens režīmu.

Upju ūdens režīmu nenoliedzami ietekmē arī ūdens patēriņš tautsaimniecībā. Patēriņa apjomus novērtējot salīdzinājumā ar upju minimālo noteci (95 % nodrošinājums), iezīmējas it kā savdabība – vairākos rajonos (Aizkraukles, Limbažu, Rīgas, Talsu), kuros ir paaugstināts ūdens deficīta risks, sastopamas lielas pārmitro mežu platības. Neatbildēts paliek jautājums, vai šādos apstākļos var savienot meža meliorācijas pasākumus ar upju ūdens resursiem.

Pasīvie novērojumi hidroloģiskajos pētījumos pārsvarā beidzas ar fakta konstatāciju pāru korelācijas līmenī, piemēram, teritorijas mežainums – upju notece, hidrogrāfiskā tīkla blīvums – ūdens notece utt. Šādas, kaut arī statistiski pilnīgi ticamas sakarības neko nedod, lai varētu objektīvi prognozēt mežsaimniecisko vai hidrotehnisko pasākumu ietekmi uz ūdens resursiem. Likumsakarību izpratne, iegūto atziņu ekstrapolācija uz citiem neizpētītiem objektiem, seku prognozēšana, veicot atšķirīgus meža hidroloģiskos pasākumus, iespējama, izmantojot sistēmu metodoloģiju.

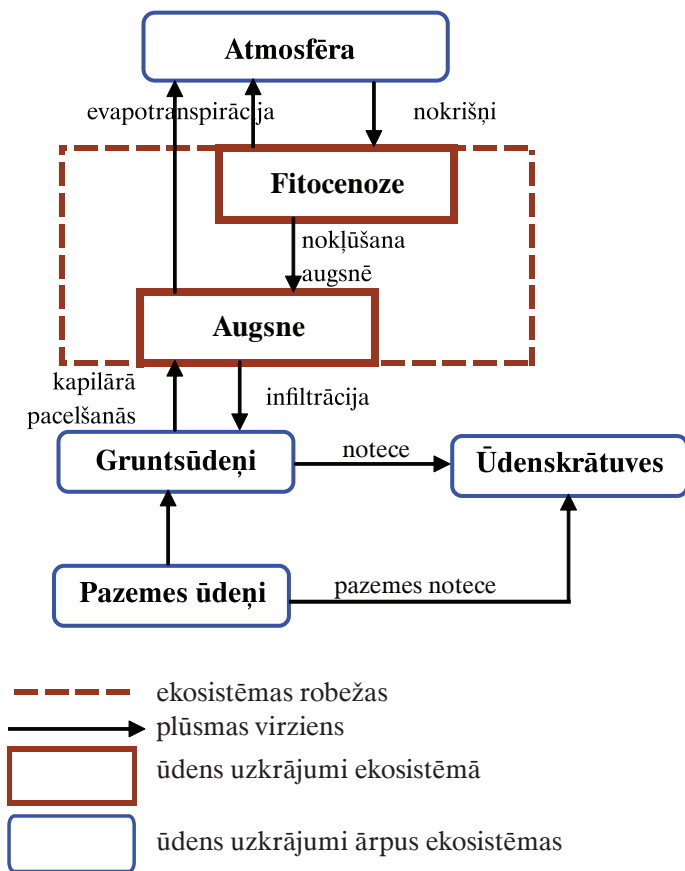
Par sistēmu uzskata elementu kopu, kas noteiktos apstākļos darbojas kā vienots veselums [4, 152, 165, 207]. Metodoloģija sākas ar sistēmas striktu apzināšanu, tās norobežošanu. Elementa piederību sistēmai raksturo savstarpējās saites starp kopas elementiem. Jo kopa pārliecinošāk norobežota no apkārtējās vides, jo ticamāk to uzskatīt par veiksmīgi izveidotu sistēmu.

Telpiskā aspektā meža un purva ekosistēmas ierobežo no augšas koku galotnes, no apakšas – caursakņotais augsnes slānis, t.i., augsnes apakšējā robeža. Matemātiskās izteiksmēs sistēmas robežas un struktūra raksturojas ar sistēmas iekšējiem parametriem. Par iekšējiem iederas parametri, kas zaudē savu jēgu vai to vērtības kļūst nulle līdz ar sistēmas izzušanu: meža ekosistēmā tie ir organikas svarīgākie ražotāji (kokaudze un dzīvā zemsedze), patērētāji, humusa uzkrājumi, saprofīts. Sistēmas ārējie parametri, kas nepieder sistēmai, bet ietekmē sistēmas elementus, piemēram, reljefs, ekspozicija, grāvju tīkls, lokalizācija, augsnes cilmiezis u.c., saglabāsies arī pēc meža ekosistēmas izzušanas.

Ūdens apriti pārmitrajos un meliorētajos mežos lietderīgi analizēt kā savdabīgas sistēmas darbošanos, kuras elementi ir ūdens uzkrājumi (1. attēls). Elementu mijiedarbība risinās kā procesi (iztvaikošana, notece, sniega kušana), kuru analīze saistās ar: 1) galveno faktoru apzināšanu, 2) cēloņsakarību izpēti matemātisko vienādojumu veidā.

Mēģinājumi izveidot vienu universālu modeli, kas pārlicinoši atspoguļotu pašregulējošās meža ekosistēmas un ūdens resursu (ūdens sistēmas) savstarpējo sadarbību, pagaidām nav bijuši veiksmīgi. Nav attaisnojusies arī pārlietu sarežģīta matemātiskā aparāta izstrāde, jo procesu teorētiskais aspekts nav pilnībā apgūts [123, 140, 174]. Pagaidām mežu un purvu hidroloģijā un pat hidraulikā daudzās populārās likumsakarības ir tikai empīriskas. Uzskatām, ka meža hidroloģiskajos pētījumos priekšrocība ir mazāk sarežģītiem modeļiem, kas balstās uz samērā viegli iegūstamiem ieejas datiem.

Sistēmu metodoloģija pagēr, ka ikviena procesa analizē iegūtie rezultāti nav vērtējami kā nobeigums, bet tie iekļaujami norišu tālākā sintēzē. Pašregulējošu sistēmu būtiska īpašība ir atgriezeniskā saite, kas izpaužas kā „izeju” raksturojošo parametru ietekme uz „ieejas” parametriem. Atgriezeniskās saites loma meža ekosistēmu adaptācijā augšanas apstākļiem uzskatāma kā visai nozīmīga parādība, kas principā noliedz daudzu norišu strikti determinētu matemātisko aprakstu. Daudzi ar fizioloģiskiem procesiem (transpirāciju, koku plaukšanu, augstuma pieaugumu, stumbra koksnes veidošanos etc.) saistītie modeļi ir stohastiski, un to biometriskā analīze ir pareizākā pētījumu metodika.



1. attēls. Pārmitro mežu ekosistēmas un ūdens resursu (ūdens sistēmas) mijiedarbības shēma.

1. IESKATS LATVIJAS MEŽU NOSUSINĀŠANAS VĒSTURĒ

Mežs un ūdens no seniem laikiem ir piesaistījuši mūsu republikas teritorijā dzīvojošo cilvēku prātus. Tieši medības un zveja nodrošināja mūsu senčus ar dzīvei nepieciešamo pārtiku un apģērbu. Arī zemkopība savos sākumos bija cieši saistīta ar līdumu veidošanu mežos. Pirmās padziļinātās vagas liekā ūdens novadīšanai no nolīstajām platībām iezīmē meliorācijas pirmsākumus. Vēsturnieki [68] pieļauj, ka šādi darbi uzsākti mūsu ēras pirmajos gadsimtos.

Vairākus gadu tūkstošus mūsu senči tomēr nespēja aizturēt purvu uzbrukumu viņu mītnēm un vairumā gadījumu atkāpās uz sausākiem pakalniem. Purvu ekspansijas spilgts piemērs ir Lubāna zemienes pārpurvošanās. Aiviekstes un Abaines krastos pārpuvotos mežos un purvos (tagad nosusinātos) arheologi atraduši daudz neolīta laikmeta (4000–1500 g.p.m.ē.) apmetņu. Ļaudis tur dzīvojuši itin labi; atrasts milzums rotaslietu, starp tām daudz dzintara izstrādājumu. Lubāns un upes ar laiku piesērēja, sākās ilgstoši plūdi, augsne pārpuvojās, un cilvēki pārcēlās uz sausākām vietām, kur būvēja apmetnes un pilis, veidoja ap tām aizsargvalņus un raka kanālus.

Unikāla arhitektūra ir ezerpilīm, kuras uz pāļiem cēla ezeru sēkļos. Zemes pārpuvošanās neietekmēja dzīvi šādās apmetnēs. Detalizēti izpētītajā Āraišu ezerpilī atrasta arī drenāžas sistēma, kas paātrināja ūdens aizplūdi no dzīvesvietas. Āraišu pils pastāvēja m.ē. 9. gs., tātad pirms vairāk nekā tūkstoš gadiem.

Viens no pirmajiem t.s. lielmeliorācijas darbiem Latvijas teritorijā ir Mīlgrāvja kanāla ierīkošana 13. gs. sākumā, 2 km garumā pārrokot vienu Ķīšezera noteku uz Daugavu.

Lielāka apjoma lauksaimniecības zemju nosusināšanas darbi sākās 16. gs. beigās un 17. gs. sākumā. Tos veicināja ražošanas spēku attīstība, iedzīvotāju skaita pieaugums un klimatisko apstākļu pasliktināšanās – sākās «mazais leduslaikmets» ar vēsu un mitru klimatu. Radās nepieciešamība un nereti bija arī iespēja apgūt jaunas lauksaimniecības zemes līdz šim neizmantotās pārpurvotās platībās. Pārmitro platību nosusināšanas iemaņas tika apgūtas, meliorējot nevis mežus, bet lauksaimniecības zemes.

Šajā laikā tika apsvērti arī vairāki upju regulēšanas darbi. Daudzas ieceres lielmeliorācijas jomā tolaik palika nerealizētas galvenokārt ierobežoto tehnisko iespēju dēļ. 17. gs. bija nodoms padziļināt Ventu un padarīt to kuģojamu, sākot no Ventspils līdz Lietuvas robežai. Darbi tika pārtraukti pēc nesekmīgā mēģinājuma uzspridzināt Ventas rumbu pie Kuldīgas. Tāpat hercogs Jēkabs uzsāka, bet pārtrauca rakt kanālu, ar kuru bija nodomāts savienot Daugavu un Lielupi caur Susējas un Eglaines upēm. Bija vēlēšanās tirgoties ar Krieviju un Lietuvu, pa ūdens ceļiem apejot Rīgu, kas toreiz atradās Zviedrijas pakļautībā, un visi tirdznieciskie darījumi Rīgā tika aplikti ar augstām muitas nodevām.

Ir norādes, ka hercoga Jēkaba laikā tika pabeigts kanāls, kas savieno Lielupi ar Slokas upi un jūru. Dokumentāri ir pierādīts, ka šis pasākums bijis



par cēloni Kauguru un Slokas ciematu saimnieciskajam uzplaukumam.

Hercoga Jēkaba laikā izdoti noteikumi, kas reglamentēja muižas lauku nosusināšanu ar vaļējiem grāvjiem. Ja tīrumi netiek izgrāvoti un uz tiem paliek lielas peļķes, muižas ierēdņiem jāmaksā muižai radušies zaudējumi bez kādas atlaides. Grāvju virsai bija jābūt 3 olektis (162 cm) un apakšai pusolekti platām. Tas nozīmē, ka šajos rīkojumos jau fiksēta zināma pieredze, proti, grāvji jāveido nevis ar vertikālām, bet samērā lēzenām nogāzēm, kas ir daudz noturīgākas un nodrošina grāvju ilgstošu darbību. Grāvji ar trapecveida šķērsgriezumiem tiek rakti arī mūsdienās.

Lai palielinātu mežu ražību, 19. gadsimta pirmajā pusē sāka tos nosusināt. Tajā laikā jau bija ekonomiski priekšnoteikumi šādam darbam – pasaules tirgū pieauga koksnes pieprasījums, paplašinājās koku eksports, paaugstinājās kokmateriālu cenas un meža nosusināšanā ieguldītie līdzekļi deva peļņu. Mērķtiecīga mežu nosusināšana Cēsu apkārtnē tika sākta [65] 1830. g., Valmieras – 1835., Valkas, Kuldīgas, Aizputes, Talsu un Ventspils – 1840. g., Rīgas – 1847. g., Bauskas, Dobeles un Tukuma apkārtnē – 1850. gadā. Apmēram tajā pašā laikā atzīmēti pirmie meža nosusināšanas darbi Igaunijā un Lisinas mežniecībā pie Pēterburgas (Ļeņingradas).

Saglabājušās norādes, ka mežu nosusināšanā Baltijā iesaistījies arī ievērojamais mežzinātnieks Vargas de Bedemars, kurš ap 1860. g. izstrādājis projektu meža nosusināšanai ar slēgto drenāžu.

Nosusināšanas darbi tika veikti pēc meža īpašnieku iniciatīvas; tos plānoja un vadīja no ārzemēm (pārsvarā no Rietumeiropas) uzaicināti speciālisti. Darba apjomiem pieaugot, bija jāsāk gatavot speciālistus uz vietas. Ap 19. gs. vidu tika nodibināta mērniecības skola Pleskavā un Goru-Gorku lauksaimniecības skola Baltkrievijā, kur apmācīja melioratorus. Pēdējā skola īpaši atzīmējama tāpēc, ka to spoži absolvēja Vilis Ducmanis, kuram vēlāk bija izcili nopelni latviešu skološanā meliorācijas gudrībās. 1932. g. V. Ducmaņa izdotā «Meliorācija» ilgu laiku bija vispusīgākā mācību grāmata latviešu valodā par zemju nosusināšanas jautājumiem.

Pirmie liela mēroga mežu nosusināšanas darbi sākās Rīgas pilsētas mežos, kur par mežniecības vadītāju laikā no 1847. līdz 1882. gadam strādāja H. Friče. Viņu pārsteidza intensīvie pārpurvošanās procesi, kuru rezultātā, kā viņš atzīmē, vienas paaudzes laikā labi meži bija kļuvuši par nīkulīgām purvu audzēm. Tāpēc H. Friče uz savu roku organizēja grāvju rakšanu slapjos mežos, un jau 1851. g. tika izrakts 11 km garš kanāls Cenas apgaitā līdz Babītes ezeram.

Sākumā mežu nosusināšanai pretojās pilsētas rāte, kura apšaubīja meža grāvju rakšanas lietderību. Tikai pēc vairākiem gadiem, kad bija redzami koku pieaugumi, sākās sistemātiska mežu nosusināšana. 1866. g. H. Fričes vadībā tika nonivelēti purvi un slapjie meži 13200 ha platībā. Pārmitrajos mežos pēc 10 gadiem jau darbojās grāvji 74 km garumā.

Par pirmo meža meliorācijas kā zinātnes nozares organizētāju uzskatāms E. Ostvalds, kurš pēc H. Fričes nāves no 1883. līdz 1906. g. bija Rīgas mežu pārvaldnieks un no 1878. līdz 1900. g. – meža zinātnes docents Rīgas Politehniskajā institūtā. Pēc viņa ierosinājuma tika izveidots speciāls meža meliorācijas līdzekļu fonds, kurā ieskaitīja daļu no meža ienākumiem. E. Ostvaldam (1878.) pieder pirmais zinātniskais darbs [51] par nosusināšanas ietekmi uz koku augšanu. Vēl E. Ostvalds izstrādāja oriģinālu meža rentes teoriju, kas balstījās uz augtenes apstākļiem, koku pieaugumu un koksnes vērtību. Šī teorija ļāva novērtēt dažādu mežsaimniecisko pasākumu, t.sk. arī nosusināšanas, ekonomisko efektu un reglamentēja meža racionālu apsaimniekošanu. E. Ostvalds uzskatīja, ka dziļu sūnu purvu nosusināšana nav lietderīga, un ieteica tos tikai ierobežot ar grāvjiem, lai apturētu purvu ekspansiju.

E. Ostvalda vadībā tika ierīkoti 640 km grāvju. Līdz mūsu dienām ir saglabājies Daugavas–Skujenieku kanāls, saukts arī «Ostvalda kanāls», kas šķērso Rīgas–Bauskas šoseju apmēram 5 km uz Rīgas pusi no Ķekavas. Šis kanāls novadīja Daugavā ūdeni no 7000 ha purvu un slapjo mežu platības un vienlaikus tika izmantots arī koku pludināšanai.

19. gs. beigās Baltijas domēnu valde organizēja divas meliorācijas ekspedīcijas I. Žilinska un viņa vietnieka I. Augustinoviča vadībā. Laikā no 1887. līdz 1898. g. ekspedīcija strādāja Tukuma, Klīves, Iecavas, Rucavas, Lielzalves u. c. mežniecībās, kā arī Latgalē.

1910. g. pie cariskās Krievijas Zemkopības un Valsts domēnu ministrijas Zemju uzlabošanas daļas tiek nodibināta Hidrotehniskā nodaļa, kas sāk rosīgi darboties ceļu satiksmes inženiera V. Kreislera vadībā. 1914. g. nodaļā strādāja 50 darbinieki; laboratoriju vadīja vēlākais prof. Dr. P. Nomals. Meliorēti tika galvenokārt valsts meži Kurzemē, kur mežu nosusināšanas sistēmas centās apvienot ar kokmateriālu pludināšanas kanāliem.

Daudzas no toreiz nosusinātajām kokaudzēm I pasaules karā diemžēl tika nopostītas un nocirstas. Pēckara gados mežu sēja un stādīja nelielās platībās nosusinātos nogabalos; izcirtumi parasti atjaunojās ar lapkokiem. Šīs audzes tagad jau ir galvenās izmantošanas vecumā. Diezgan nelielās kok-

snēs krājas (ap $220 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) tajās liecina par to, ka augšņu auglības potenciāls netiek pilnīgi izmantots. Par skujkoku priekšrocībām nosusinātos mežos liecina J. Brumermaņa [6] 1927.–1939. g. pašreizējā Olaines mežniecībā ierīkotās egļu kultūras. Augstvērtīgas koksnes krāja 50 gadus vecās audzēs 1986. g. bija $350\text{--}400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Audzes krāja joprojām ik gadu palielinās par $12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Meža nosusināšanas darbi atsākās tikai 1922. g., kad tika piešķirti nelieli līdzekļi veco grāvju atjaunošanai. Plānveidīga mežu nosusināšana izvērās, sākot ar 1929. g. To veicināja katastrofāli slapjā 1928. g. vasara. Togad pārplūda visas zemākās vietas, strauji sāka pārpurvoties meži, kalst koki un savairojās meža kaitēkļi.

Turpmākajā desmitgadē ik gadu nosusināja ap 15 tūkst. ha meža. Meža departamenta Mežu meliorācijas sekcija ik gadu izmeklēja un izprojektēja nosusināšanas sistēmas 30–40 tūkst. ha. Daudzi no toreiz nosusinātajiem mežiem nodēvēja par pamatu vispusīgiem nosusināšanas mežsaimnieciskā efekta pētījumiem 50. un 60. gados.

Aktīvā saimnieciskā darbība rosināja arī zinātniekus. E. Ostvalda darbu tiešs turpinātājs bija R. Markuss, kurš analizēja koku tekošās bonitātes izmaiņas pēc nosusināšanas dažādos attālumos no grāvja. 77 nosusinātajos nogabalos tika analizēti 440 paraugkoku stumbri. R. Markuss publicēja darbu [41] par priedes un egles pieaugumu nosusinātās purvaugsnēs. Darbā pārliecinoši pierādīta meža nosusināšanas augstā ekonomiskā lietderība Latvijas klimatiskajos apstākļos. Visos objektos vislielākā audzes ražība bija grāvju tuvumā, tāpēc autors pamatoti secināja, ka Latvijā mežu pārsusināšana nav iespējama. Izmantojot virsaugstuma koku stumbra analīzes rezultātus, R. Markuss ieteica šādus atstatumus starp grāvjiem: zāļu purvos ar grīšļu kūdru – ap 400 m, pārejas purvos ar koku kūdru – ap 200 m, sūnu purvos ar sfagnu kūdru – 70–120 m; grāvju dziļums neliels – līdz 80 cm. Noskaidrojās, ka uz nosusināšanu atsaucīgi reagē arī diezgan tālu no grāvja augošie virsaugstuma (I Krafta klase) koki; II Krafta klases koki, kas veido audzes krājas galveno daļu, tik atsaucīgi nereaģē. Tāpēc R. Markusa ieteiktie atstatumi starp grāvjiem izrādījās par lieliem, un tos vajadzēja koriģēt.

Pēc Lielā Tēvijas kara tika koriģēts arī vēlamais grāvju dziļums. Tas arī saprotams, jo 30. gados meža grāvju rakšana bija roku darbs, tāpēc nosusināšanu centās realizēt ar iespējami maziem zemes darbu apjomiem. Tomēr arī pēc kara mūsu republikā ar ekskavatoriem tika rakti relatīvi sekli

(1,0–1,2 m) grāvji. Pārmitrie meži aug galvenokārt uz tādām gruntīm, kuru dziļākie slāņi ir daudzkārt blīvāki nekā virsējie slāņi. Ūdens grāvī nokļūst pa grunts augšējiem slāņiem, un grāvju iedziļināšana blīvajos slāņos nevar sekmēt platību nosusināšanu.

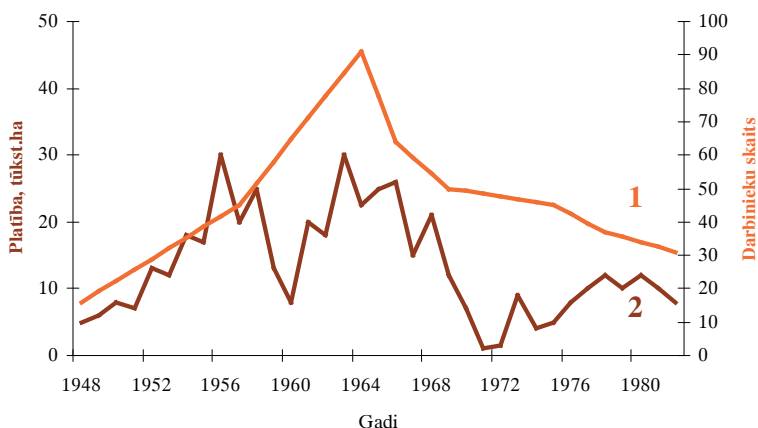
Dziļu grāvju rakšana nav lietderīga arī tāpēc, ka pārmitros un arī nosusinātos mežos koku saknes nesniedzas augsnē dziļāk par 40 cm. Koku sakņu izvietojumu nosusināto mežu augsnēs mūsu republikā pirmais savā 1938. g. diplomdarbā pētījis Jānis Barnaks.

Meža nosusināšanas darbu projektētājiem vajadzēja atrast pazīmes, pēc kurām varētu katrā objektā noteikt vēlamos nosusināšanas tīkla parametrus – grāvju dziļumu un to savstarpējo atstatumu. Mēģinājums izmantot šim mērķim kūdras augšņu ķīmiskās analīzes rezultātus – augšnes pelnu procentu, kalcija un slāpekļa daudzumu – nedeva vēlamās sekas. Radās pārliecība, ka mežu nosusināšana jāsaista ar mežu tipoloģiju [5]. Uz to mudināja K. Kiršteina [36], V. Eihs [11, 12] un K. Meldera [42] sasniegumi meža tipoloģijā. Gan zinātnieku, gan praktiķu rīcībā tolaik bija pētnieciskie darbi, kas mežu nosusināšanas jomā veikti arī citās zemēs: Zviedrijā Lundberg [40], Somijā Lukala [39] un Padomju Savienībā Дубах [110], Эркин [258].

Līdz 1941. g. 1. janvārim Latvijā bija nosusināti 224,5 tūkst. ha meža zemju; grāvju kopgarums pārsniedza 13 tūkst. km [61].

Sākot ar 1945. g. jūliju, meža meliorāciju projektēja Latvijas PSR Mežrūpniecības tautas komisariāta Mežu ierīcības un mežu meliorācijas kantoris priekšnieka J. Rozes vadībā. 1948. g. sākumā kantori iekļāva Vissavienības apvienībā «Ļesprojekt», un kantora ietvaros 1948. g. maijā nodibināja mežu meliorācijas partiju, kuru no 1950. g. vadīja J. Kļaviņš. Mežu meliorācijas darbu projektētāji 1954. g. tika pievienoti Vissavienības projektēšanas izmeklēšanas apvienībai «Agroļesprojekt» kā Latvijas mežu meliorācijas ekspedīcija. Pēc trim gadiem ekspedīciju pievienoja Valsts meliorācijas projektēšanas institūtam, kur izveidoja Mežu meliorācijas daļu.

Šajos gados izmainījās mežu meliorācijas struktūra, palielinājās darbu apjoms. Grāvju trases sagatavoja, raka, atbērtnes izlīdzināja ar mašīnām un mehānismiem. 60. gadu sākumā Mežu meliorācijas daļā strādāja 90 inženiertehniskie darbinieki un meliorācijas projektēšanas darbi aptvēra 30 tūkst. ha ik gadu (2. attēls). Par nosusināšanas blakusuzdevumu kļuva mežu labiekārtošana, lai tautsaimniecība bez traucējumiem varētu izmantot



2. attēls. Meža meliorācijas projektu apjoms un Mežu meliorācijas daļā strādājošo darbinieku skaits pa gadiem (J. Kļaviņa dati): 1 — inženiertehnisko darbinieku skaits; 2 — nosusināmā platība.

gan koksnes papildu pieaugumu, gan arī tos pieaugušo mežu masīvus, kas pirms nosusināšanas tikpat kā nebija apgūstami. Izlīdzinātās atbērtnes gar grāvjiem savienoja vienotā brauktuvi tīklā. Meža ceļus un nosusināšanas sistēmas būvēja vienlaicīgi.

Lai veicinātu labu speciālistu izaugsmi, tika sarakstītas un publicētas augstvērtīgas mācību grāmatas latviešu un krievu valodā [50, 48, 90].

Ekoloģiskajā aspektā nosusināšana saistās ar pārmitro mežu vai purvu transformēšanos nosusinātās ekosistēmās. Purvā galvenais organiskās vielas producers ir dzīvā zemsedze, bet nosusinātā mežā par tādu kļūst kokaudze. Dzīvās zemsedzes sukcesijas, dažādu zemsedzes augu nozīmi meža dzīvē, to spējas uzskatāmi parādīt nosusinātajos mežos notiekošos procesus pētījusi brioloģe A. Āboliņa [85, 86].

Ja vien grāvji darbojas pietiekami labi, nosusinātos mežos laika gaitā izveidojas tāda pati dzīvā zemsedze kā atbilstošas auglības sausieņu mežos. Zemsedze nav atkarīga no kūdras slāņa biezuma. No vienas puses, tas norāda uz līdzīgiem augu barošanās apstākļiem labi nosusinātos un sausieņu mežos, bet, no otras puses, tas ilustrē arī to, ka zemsedze nevar būt vienīgais komponents mežu klasificēšanai. Kaut arī sausieņu un nosusinātos mežos zemsedzes ir līdzīgas, nosusinātos mežos jāveic specifiski grāvju

eksploatācijas pasākumi, plānojot mašīnu un mehānismu lietošanu meža darbos, jārēķinās ar kūdras slāņa savdabīgajām īpašībām.

Uzkrājoties pētījumu materiāliem par audžu ražību un zemeszemes izmaiņām, atklājās, ka tolaik lietotā meža tipu shēma ir visai nepilnīga. Piemēram, nosusinātā niedrāja tipā nācās izdalīt pat 3 variantus, kuri būtiski atšķīrās gan koksnes papildu pieauguma ziņā, gan arī pēc tajos veicamiem saimnieciskajiem pasākumiem. Neskaidrības parādījās arī citos tipos.

Lai ciešāk un nepārprotamāk saistītu ekoloģiskās zināšanas par nosusinātiem mežiem ar to apsaimniekošanas režīmu, K. Bušs 1972. g. izstrādāja jaunu nosusināto mežu tipoloģiju, kuru aizstāvēja, iegūdam biologijas zinātņu doktora grādu.

Paplašinoties meliorācijas darbu apjomiem, visai aktuāls kļuva jautājums par mežu nosusināšanas ietekmi uz republikas ūdenssaimniecību. Problēmu saasināja plašu sabiedrības slāņu klaji negatīvā attieksme pret pārspīlēto mežu nosusināšanu Baltkrievijā un Ukrainā.

Lai izprastu un formulētu likumsakarības, pēc kurām darbojas nosusināto mežu ekosistēma, Latvijas Mežsaimniecības problēmu zinātniskās pētniecības institūta Meža hidromeliorācijas laboratorija iedibināja stacionāru «Vesetnieki». Stacionārs atrodas mežu pētīšanas stacijas «Kalsnava» teritorijā un aizņem daļu no Vesetas upes palienes. Novērojumi sākti 1963. g. un turpinās joprojām. Tiek pētīti meža ekosistēmas trīs galvenie komponenti: kokaude, dzīvā zemeszeme un augsne. Šie komponenti tiek analizēti saistībā ar augsnes mitruma izmaiņām nosusināšanas un meteoroloģisko apstākļu ietekmē. Augsnes gruntsūdens novērošanai ierīkotas 250 akas, zem koku klāja izvietoti 200 lietus mērītāji. Ziemā sistemātiski tiek apsekota sniega sega, noteikts sniegā esošais ūdens daudzums, sniega segas biezums dažādās mežaudzēs un novērtēta meža ūdensregulējošā nozīme sniega kušanas laikā.

Lai izzinātu pazemes ūdeņu nozīmi nosusināto mežu ūdens bilancē, 1971. g. aprīkotas 36 hidroģeoloģiskās akas, dažas no tām ir 30 m dziļas. Sākot ar 1967. g. piecos hidrometriskajos posteņos tiek nepārtraukti mērīta ūdens notece pa nosusināšanas tīklu.

2. HIDROTEHNISKĀ MELIORĀCIJA UN MEŽA BIOĻĢISKĀ DAUDZVEIDĪBA

Meža nosusināšanu ārzemju “konsultanti” un arī vietējie neskartās dabas apoloģēti visvairāk kritizē bioloģiskās daudzveidības apdraudējumu. Dabas un meža daudzveidības problēmu apcerējumi joprojām izceļas ar jēdzienu neskaidrību, kritēriju nepamatotību vai to mērķtiecīgu samudžināšanu. Atšķirīgi vērtējumi iespējami arī atkarībā no analizējamās problēmas mēroga.

Tajā laikā, kad ekvatoriālajos rajonos meža platības nepārtraukti sarūk un industriālajos rajonos cilvēkus satrauc ogļskābās gāzes pārbagātība un skābekļa trūkums gaisā, Latvijas teritorijā nemitīgi palielinās augošu koku stumbros uzkrātās koksnes un tajā akumulētā oglekļa daudzums. Paplašinoties meža platībām un paaugstinoties tā ražībai, Latvijas mežos esošās koksnes daudzums palielinājās no 175 milj. m³ 1938. gadā līdz 585 milj. m³ 2002. gadā. Tas nozīmē, ka šajā laikā Latvijas meži ir akumulējuši 428 milj. t ogļskābās gāzes un bagātinājuši atmosfēru ar 324 milj. t skābekļa. Ikviens meža hektārs ir kļuvis ražīgāks par 100 m³ koksnes. Nenoliedzami pozitīva nozīme te ir pārmitro zemju hidrotehniskai meliorācijai. Tas – planētas mērogā. Ne mazāk nozīmīgs ir reģionālais mērogs, ko var sasaistīt ar mūsu mežu daudzveidību.

Pēdējos gados zinātnieku aprindās nostiprinājusies atziņa, ka dzīvās dabas daudzveidību lietderīgi vērtēt trīs līmeņos: 1) biotopu daudzveidība, 2) sugu daudzveidība un 3) iekšsugas formu ģenētiskā daudzveidība. Biotopu dažādība ir dzīvās dabas daudzveidības galvenais nodrošinājums. Jo lielāka ir dzīvesvietu daudzveidība izraudzītajā teritorijā, jo lielāks ir tajā sastopamo floras un faunas sugu skaits. Atsevišķu ekosistēmu izolētība un to savstarpējais atstatums nav cēlonis ne augu, ne dzīvnieku sugu izmiršanai. Ekoloģi vairākkārt novērojuši, ka vāveres pārvietojas pat 500 km vienā

sezonā, nepieciešamības gadījumā pārvarot 7,5 km platas ūdenskrātuves. Kultūras ainavās raksturīgā fragmentēšanās un daļēja izolēšanās ir viens no ekoloģiskās daudzveidības priekšnoteikumiem. Katrā teritorijā ir rodama tai atbilstoša dominējoša struktūra, un tieši tā nodrošina daudzām sugām ilgstošu izdzīvošanu.

Grūti un pat riskanti ir novērtēt floras, jo sevišķi faunas sugu daudzumu kādā reģionā un uz planētas kopumā. Var teikt, ka patlaban un arī pārredzamā nākotnē neviens precīzi nepateiks sugu skaitu apsekojamā teritorijā; sugu skaits palielinās, pieaugot profesionālo pētnieku skaitam. Ir izskanējis ierosinājums biosfērā rēķināties ar 125 milj. sugu, tomēr citu autoru vērtējumi par sugu skaitu svārstās robežās no 5 līdz 100 miljoniem. Pēdējās desmitgadēs ik gadu tiek atpazītas apmēram 11 tūkst.



jaunu sugu. Pārsvārā tie ir kukaiņi, kas apdzīvo tropu mežu lapotnes. Tādējādi tropu mežos, kas aizņem 7% no sauszemes kopplatības dzīvo 90% no sugu kopskaita. Sugu izmiršana jāvērtē ļoti piesardzīgi. Uz Latvijas klimatiskajiem apstākļiem var attiecināt atziņu, ka medības sugu pastāvēšanu ir apdraudējušas daudz mazāk nekā vides izmaiņas.

Iekšsugu ģenētiskās daudzveidības vērtējums pagaidām ir samērā virspusējs visā pasaulē. Lietderīgi atcerēties, ka bioloģiskā daudzveidība sugu un iekšsugas ģenētisko formu līmenī Latvijā nav radusies jaunu taksonu izveidošanās ceļā, bet gan

sugu iecelšanas un adaptēšanās rezultātā.

Vērtējot meža daudzveidību, jāatšķir divus, nereti sinonīmu nozīmē lietotus terminus – sarežģītība un daudzveidība. Sarežģītāka meža ekosistēma ir nogabalā ar organiku ražojošu sugu lielāku skaitu gan kokaudzē, gan dzīvajā zemsedzē. Ar to cieši korelē arī organiku patērējošo sugu skaits. Taču sarežģītība arī var būt vienvēidīga. Vienveidību raksturo tas, ka lielās platībās dominē vieni un tie paši organikas ražotāji, kā tas, piemēram, ir līdzīga vecuma un vienāda sastāva mistraudzēs uz lielām vienlaidus platībām. Tādā “sarežģītā vienveidībā” lielās platībās tomēr dominē arī vieni un tie paši organikas patērētāji, kas pastiprina slimību un meža entomofaunas kaitējumu briesmas. Ekoloģiski pareizāks ir tāds meža iekšējās struktūras modelis, kas līdzīga lieluma teritorijās nodrošina iespējami lielākas atšķirības organiku ražojošo un patērējošo dominantu līmenī.

Tāpēc bioloģisko daudzveidību biotopu līmenī un ar to saistīto sugu daudzveidību iespējams raksturot ar atšķirīgas struktūras nogabalu sastopamību analizējamā teritorijā. Lietderīgi atzīmēt, ka Latvijā meža nogabalu robežas ir reizē arī robežas starp atšķirīgām dominantēm organikas ražotāju un patērētāju, tātad biotopu aspektā.

Nogabalu vidējā platība ir gandrīz vienāda visos augšanas apstākļu tipos: sausieņu mežos – 1,9 ha, slapjainu mežos – 1,9 ha, purvainu mežos – 2,5 ha, āreņos – 1,9 ha, kūdreņos – 2,3 ha. Jāatzīmē, ka nosusinātajos mežos (āreņos un kūdreņos) nogabalu vidējā platība nav lielāka kā nenosusinātajos mežos.

Latvijā mežiem raksturīga mozaikveidīga struktūra, visbiežāk sastopami meža nogabali, kuru platība nepārsniedz 1,0 ha; sausieņu mežos šādi nogabali aizņem 39 % no visiem sausieņu mežu nogabaliem, slapjainu mežos – 36 %, purvainu mežos – 39 %, āreņos – 36 %, kūdreņos – 33 % no visiem nogabaliem. Nogabali, kuru platība nepārsniedz 2,0 ha, sausieņu mežos aizņem 71 % no sausieņu meža nogabalu kopskaita, slapjainu mežos – 70 %, purvainu mežos – 68 %, āreņos – 70 %, kūdreņos – 65 %. Šie dati liecina, ka nosusināšanas rezultātā nemainās meža mozaikveida struktūra; nogabalu (biotopu) platības pēc nosusināšanas nepalielinās, un meža mozaikveida struktūra nosusinātajos mežos ir tāda pati kā nenosusinātajos mežos.

Objektīvu informāciju par nosusinātiem, kā arī nenosusinātiem mežiem var iegūt, analizējot datu bāzē “Latvijas meža fonds” ievadītos nogabalu aprakstus. Novērtējot pārmitro mežu hidrotehniskās meliorācijas ietekmi

uz koksnes ražību un meža daudzveidības izmaiņām, sīkāk apskatīsim mežu struktūru trīs virsmežniecībās (Ventspils, Limbažu un Cesvaines), kas atrodas dažādos ģeomorfoloģiskos rajonos ar atšķirīgiem klimatiskiem faktoriem.

Ikvienā virsmežniecībā sastopami gan sausieņu, gan nenosusinātie un nosusinātie meži:

Virsmežniecība	Meža platību sastopamība		
	<i>sausieņu</i>	<i>nenosusinātie</i>	<i>nosusinātie</i>
Ventspils	0,44	0,31	0,25
Limbažu	0,48	0,36	0,16
Cesvaines	0,47	0,16	0,37

To mežaudžu platības, kas nav degradētas pārmērīga augsnes mitruma ietekmē (sausieņu meži), aizņem mazāk nekā pusi no mežu kopplatības.

Koksnes krāja pieaugušās audzēs nenosusinātajos mežos ar vāji aerētām augsnēm (slapjajņos un purvajņos), galvenokārt, atkarīga no barības vielu daudzuma augsnē; viszemākā krāja ir Ventspils virsmežniecībā – $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Limbažu – $221 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Cesvaines – $175 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Nosusinātajos mežos koksnes krāja ir atkarīga no augsnes auglības, kā arī no laika perioda, kas pagājis, kopš veikta nosusināšana. Visās virsmežniecībās sastopamo grāvju vecums ir līdzīgs: tas svārstās robežās no 5 līdz 60 gadiem, bet pārsvarā sastopami 30 gadus veci grāvji.

Audzēs, kas nosusinātas pirms 50–60 gadiem un tagad sasniegušas cērtamo vecumu, koksnes krājas ir samērā augsta: Ventspils virsmežniecībā – $290 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Limbažu – $330 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Cesvaines – $315 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Koksnes papildus pieaugums nosusināšanas rezultātā ir $140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ Ventspils un Cesvaines virsmežniecībās, $109 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ – Limbažu virsmežniecībā.

Ventspils virsmežniecībā pagaidām nosusināti 45 %, Limbažu – 38 % un Cesvaines – 70 % no visiem pārmitrajiem mežiem. Šie piemēri apliecina, ka hidrotehniskā meliorācija, novēršot audžu tālāku degradāciju, var ievērojami paaugstināt mežu ražību un palielināt audzēs uzkrātās koksnes daudzumu, dodot pozitīvu ieguldījumu oglekļa akumulācijai un papildinot skābekļa krājumus gaisā, kā arī uzlabojot mežu ūdensregulējošās īpašības.

Datu bāzē ikviens no meža nogabaliem aprakstīts ar aptuveni 90 rekvizītiem, no kuriem bioloģiskās daudzveidības novērtējumā izmantoti 43. Mežu iekšējās daudzveidības raksturošanai lietota informācijas

teorijā un arī fitocenoloģijā pazīstama Šenona-Vīnera formula

$$H = - \sum_{i=1}^m p_i \cdot \log_2 p_i, \text{ kur}$$

H – daudzveidība,

i – grupa, kurā apvienoti līdzīgi meža nogabali,

p_i – nogabalu relatīvais daudzums i -tajā grupā,

m – grupu kopskaits analizējamā teritorijā.

Ja kādā teritorijā sastopams tikai viens meža nogabals (biotops), tad $H = 0$, kas liecina par teritorija pilnīgu vienveidību.

Atsevišķu meža nogabalu piederību kādai no i grupām nosaka: augšanas apstākļu tips – 5 varianti; meža tips – 4–6 varianti; valdošā koku suga – 8 varianti, tās īpatsvars kokaudzē – 2 varianti; egles otrā stāva klātbūtne – 2 varianti; kokaudzes vecums – 3 varianti; kokaudzes biežība – 3 varianti. Ikvienu augšanas apstākļu tipa ietvaros maksimāli iespējamais grupu skaits $m_{\max} = 1728$, taču analizētajās virsmežniecībās tas svārstījās robežās no 149 līdz 686 pie nogabalu kopskaita robežās no 1749 līdz 37019.

Aprēķinātie daudzveidības indeksi H ilustrē Latvijas mežu lielo iekšējo daudzveidību visos augšanas apstākļu tipos. Visdaudzveidīgākie ir sausieņu meži ($H = 6,46$), tad slapjāiņu meži ($H = 6,22$), āreņi ($H = 6,19$), kūdreņi ($H = 6,16$) un beidzot purvainu meži ($H = 5,65$). Savukārt starp virsmežniecībām ar savu lielo daudzveidību ($H = 6,57$) izdalās Limbažu virsmežniecības meži, kas aug uz barības vielām bagātiem kvartārnogulumu iežiem ar daudziem pauguriem un ieplakām. Stipri vienveidīgāki ir Ventspils virsmežniecības meži ($H = 5,68$) – tie aug pārsvarā uz barības vielām nabadzīgām smiltis augsnēm. Lietderīgi atzīmēt, ka nenosusinātie meži ($H = 5,94$) nav daudzveidīgāki par nosusinātajiem mežiem ($H = 6,18$).

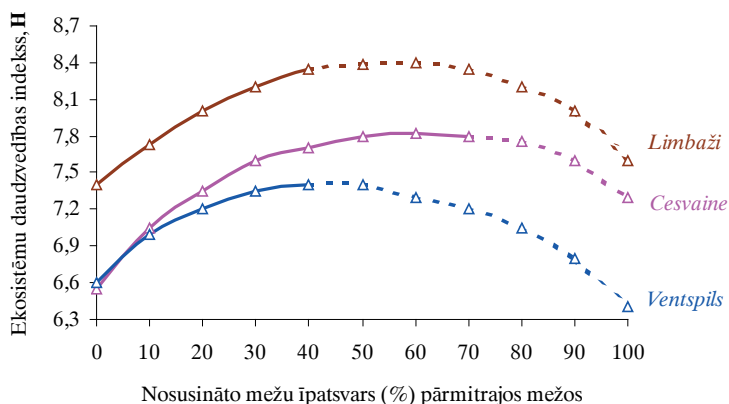
Izvirzot par mežsaimniecības mērķi meža ražības paaugstināšanu un vides degradācijas ierobežošanu, tomēr nepieciešams atbildēt arī uz jautājumiem – cik daudz pārmitro mežu lietderīgi nosusināt, nesamazinot to bioloģisko daudzveidību?

Viegli saprotams, ka, nosusinot daļu no pārmitrajiem mežiem, to kopējā daudzveidība palielināsies, vienlaikus uzlabojoties arī visām pārējām ekoloģiskām un tautsaimnieciskām funkcijām. Situācijas modelējot, ikvienā no virsmežniecībām var noskaidrot: 1) cik daudz no pārmitrajiem mežiem lietderīgi nosusināt, lai mežu iekšējā daudzveidība saglabātos iespējami augstā līmenī, 2) cik stipri tā jau ir izmainījusies, nosusinot daļu no pārmitrajiem mežiem.

Modelēšanas rezultātā virsmežniecībās iezīmējas vairākas savdabības un arī līdzības. Visās virsmežniecībās, nosusināto mežu īpatsvaram pieaugot līdz 30 %, mežu daudzveidība strauji palielinās (3. attēls). Daudzveidības indekss ir vislielākais, ja nosusināti 40–70 % no visiem pārmitrajiem mežiem.

Rēķinoties ar Latvijas mežu ekoloģisko ieguldījumu planētas mērogā un paaugstinot tajos koksnes uzkrājumus, pilnīgi pieļaujama ir lokālās bioloģiskās daudzveidības neliela samazināšanās. Mūsu analīze liecina, ka pat tad, ja daudzveidību uzskata par vienīgo kritēriju, nosusinātiem mežiem vajadzētu aizņemt 70 % no visu pārmitro mežu teritorijas. Tādējādi Latvijā, kur pašlaik meliorēts mazāk par 50 % no pārmitrajiem mežiem, mežu daudzveidība palielināsies un saglabāsies ļoti augsta, ja papildus esošajiem tiks nosusināti vēl ap 300 tūkst. ha pārmitro mežu. Šajās atziņās vajadzētu ieklausīties mūsu mežu apsaimniekotājiem un dabas aizsargātājiem, mazāk aizraujoties ar patlaban populāro meliorācijas kanālu aizdambēšanu.

Modelēšanas gaitā iezīmējās arī nepieciešamība un tajā pašā laikā arī iespēja novērtēt pārmitro mežu līdzšinējo daudzveidību un prognozēt tās izmaiņas ikvienā virsmežniecībā (tagad – mežsaimniecībā) atsevišķi. To uzskatāmi ilustrē daudzveidības indeksa H atšķirīgās līknes Ventspils un



3. attēls. Ekosistēmu daudzveidības indekss H atkarībā nosusināto mežu īpatsvara pārmitrajos mežos (nepārtrauktā līnija – patlaban nosusinātie meži, pārtrauktā – pagaidām nenosusinātie).

Cesvaines virsmežniecībās, kaut arī nenosusināto mežu daudzveidības indekss abās ir vienāds ($H = 6,60$). Tāpat varam pārlicināties, ka, nosusinot pārmitros mežus Ventspils virsmežniecībā vienalga kādā apjomā, tur nav iespējams sasniegt lielāku iekšējo mežu daudzveidību nekā tā ir Limbažu virsmežniecības nenosusinātajos mežos ($H = 7,40$). Toties, ja Ventspils virsmežniecībā nosusinātu pilnīgi visus pārmitros mežus, tad nosusināto mežu iekšējā daudzveidība ($H = 6,30$) būtu pat nedaudz mazāka nekā nenosusinātajos mežos. Turpretī Cesvaines virsmežniecībā pie tādas pašas sākotnējās bioloģiskās daudzveidības ($H = 6,60$), nosusināto mežu iekšējā daudzveidība pieaugtu līdz $H = 7,20$.

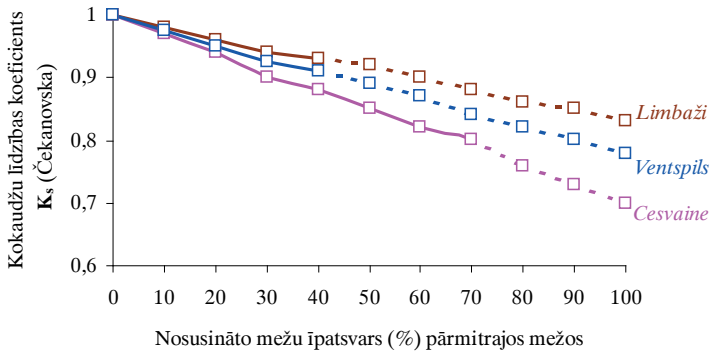
Novērtējot iekšējās daudzveidības rādītājus nenosusinātos un nosusinātos mežos, izvirzās jautājums, cik lielā mērā nosusināto mežu fitocenozes atšķiras no nenosusinātajām. Pat pie vienāda daudzveidības indeksa H nosusināto mežu struktūra var būt pilnīgi citāda nekā tā bija pirms nosusināšanas. Meža līdzību lietderīgi novērtēt ar Čekanovska koeficientu K_s :

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^m 2\min(A_i, B_i)}{\sum_{i=1}^m A_i + \sum_{i=1}^m B_i},$$

kur A_i un B_i – līdzīgu nogabalu (grupu) relatīvais daudzums A un B kopās. Pastāv iespēja, ka $0,0 < K_s < 1,0$. Ja $K_s = 1,0$, salīdzināmās kopas ir vienādas, kad $K_s = 0$, tad salīdzināmās kopās nav vienādu elementu.

Iegūtie rezultāti, kas raksturo mežaudžu struktūras izmaiņas pārmitrajos mežos pēc to daļējas nosusināšanas ar 50–60 gadus veciem grāvjiem, apliecina, ka nosusinātajos mežos to struktūra ir samērā līdzīga tai, kāda tā ir nenosusinātajos mežos (4. attēls). Pat gadījumā, ja tiktu nosusināti visi pārmitrie meži, nosusināto mežu līdzību ar nenosusinātajiem raksturojošais koeficients K_s nenoslīdētu zem 0,70. Tas nozīmē, ka meži ar līdzīgu kokaudžu un tām atbilstošu dzīvās zemesedzes struktūru sastopami gan nosusinātajās, gan nenosusinātajās teritorijās.

Patlaban Ventspils virsmežniecībā nosusināti 45 % no pārmitrajiem mežiem un pašreizējo situāciju raksturo $K_s = 0,90$; Limbažu virsmežniecībā ar nosusinātiem 38 % – $K_s = 0,94$, bet Cesvaines virsmežniecībā ar nosusinātiem 70 % – $K_s = 0,79$.



4. attēls. Ekosistēmu līdzības koeficients K_s starp nenosusinātiem un daļēji nosusinātiem pārmitrajiem mežiem.

Turpretī nenosusināto pārmitro mežu līdzību Ventspils un Cesvaines virsmežniecībās raksturo $K_s = 0,23$; Ventspils–Limbažu virsmežniecībās $K_s = 0,40$ un Limbažu–Cesvaines virsmežniecībās $K_s = 0,24$. Tas pārliecinoši rāda, ka dabas noteiktās ģeoklimatisko apstākļu atšķirības mežu līdzību ietekmē daudzkārt vairāk nekā cilvēka darbība, t.sk. pārmitro mežu meliorēšana.



Ikvienu meža augšanas apstākļu tipa ietvaros vislīdzīgākie meži ir tajās virsmežniecībās, kuras teritoriāli atrodas tuvu viena otrai, bet vismazāk savstarpēji līdzīgi ir meži Austrum- un Rietumlatvijā (1. tabula). Šie rezultāti, kas reizē ir arī aprēķināto K_s vērtību ticamības loģisks apstiprinājums, liecina arī par mežu struktūras ģeogrāfiskām savdabībām.

1. tabula

Mežu līdzības salīdzinājums virsmežniecību starpā

Meža augšanas apst. tips	Vislīdzīgākie meži	Vismazāk līdzīgie meži
Sausieņu meži	Jēkabpils–Cesvaine $K_s = 0,73$	Jēkabpils–Ventspils $K_s = 0,26$
Slapjainu meži	Rēzekne–Cesvaine $K_s = 0,71$	Rēzekne–Ventspils $K_s = 0,22$
Purvainu meži	Jēkabpils–Gulbene $K_s = 0,78$	Limbaži–Jelgava $K_s = 0,20$
Āreņi	Gulbene–Cesvaine $K_s = 0,73$	Rēzekne–Ventspils $K_s = 0,26$
Kūdreņi	Jēkabpils–Gulbene $K_s = 0,77$	Cesvaine–Liepāja $K_s = 0,26$

3. PĀRMITRO MEŽU ŪDENS BILANCES KOMPONENTI

Latvijas apstākļos meža hidrotehnisko meliorāciju pamatoti uzskata par visefektīvāko paņēmieni meža ražības paaugstināšanai. Meža pārpurvošanās un pārmitrināšanās iemesls saistās gan ar dabiskiem, gan antropogēniem faktoriem. Joprojām populārs ir apgalvojums, ka pārpurvošanās sākas tur, kur nokrišņi pārsniedz iztvaikošanu. Dažādos Latvijas rajonos iztvaikojošais nokrišņu daudzums tiešām svārstās robežās no 60 % līdz 80 %. Kamēr pastāv upes, pa kurām daļa nokrišņu aiztek jūrā, pretējs secinājums vispār nav iespējams. Līdztekus tam pārmitrinājumu veicina arī papildus ūdeņu (palu, pazemes un augsnes gruntsūdeņu) pieplūde no pieguļošām platībām (ūdens sistēmas iekšējie parametri). Teritorijās ar vāju drenētību zemes virsas vājais slīpums, sekls ūdens necaurļaidīgais slānis, mezoreljeфа beznoteces ieplakas uzskatāmi kā sistēmas ārējie parametri. Attiecības starp minētajiem faktoriem, to skaitliskie rādītāji ir teritoriāli ļoti mainīgi, bet tie nosaka ekosistēmas sukcesiju, ko uzskatāmi ilustrē kūdras uzkrāšanās temps.

Pārpurvošanās procesi Latvijā sākās jau subarktiskajā periodā gandrīz vienlaicīgi ar ledus laikmeta izbeigšanos, un pēdējo 9 tūkstošu gadu laikā ir izveidojušies arī tādi purvi, kuros kūdras slāņa biezums sasniedz 12 m [47]. Purvu ekspansijas spilgts piemērs ir Lubāna līdzenuma pārpurvošanās. Aiviekstes un tās pietekas Abaines krastā zem prāva kūdras slāņa arheologi ir atraduši neolīta periodā pirms 3500–6000 gadiem intensīvi apdzīvotas apmetnes [38]. Apmetnes rosīgi saglabājās arī atlantiskajā periodā, kad klimats kļuva mitrāks un siltāks, bet iznīka subboreālajā periodā, kad klimats kļuva sausāks. Apmetnes pārpurvojās. Cēlonis tam izrādījās Lubāna ezera un citu ūdens krātuvju dabiskā piesērēšana. No upju krastmalām ļaudis

pārcēlās uz sausākām vietām, ko apliecina tas, ka sauso vietu apmetnes ir krietni vien jaunākas par upmalā atstātajām.

Pārpurvošanās process tomēr ne visur ir neatgriezenisks. Meža hidromelioratīvā fonda ievērojamu daļu (42 %) sastāda meži ar hidromorfām minerālaugsnēm ar plānu kūdras, rupjā humusa trūdu slāni un stipri svārstīgu gruntsūdens līmeni. Pārmitrie periodi vērojami ciešā saistībā ar slapjo periodu iestāšanos.

Sauso un lietaino periodu mainība labi atspoguļojas upju noteces apjomos. Analizējot mūsu apstākļos noteces mērījumus pa Daugavu 150 gadu ilgā periodā (1812.–1964. g.), Arvīds Pastors [196] izdalīja 13 periodus, kuros lietainais laiks nomainās ar sauso. Sausie periodi vidēji ilgst 13 gadus, lietainie periodi – 10 gadus, taču atšķirīgu periodu ilgums svārstās no 6 gadiem līdz 21 gadam. Svārstību iemesli nav atšifrēti; katrā ziņā nav atrasta to ticama sakarība ar saules intensitātes 11 gadu ciklu.

Atmosfēras nokrišņi Baltijas rajonā galvenokārt ir cieši saistīti ar ciklonu darbību, kas šeit norisinās intensīvāk kā citās Eiropas zemēs. Spēcīgs pārdalītājs, kas reglamentē ūdens bilances komponentus, ir zemes reljefs. Latvijā gada vidējais nokrišņu apjoms ir 755 mm [194], kas pa teritoriju svārstās 600–970 mm robežās. Visvairāk nokrišņu (820–970 mm) saņem augstieņu rietumu nogāzes; zemienēs nokrišņu ir krietni mazāk – 600–700 mm.

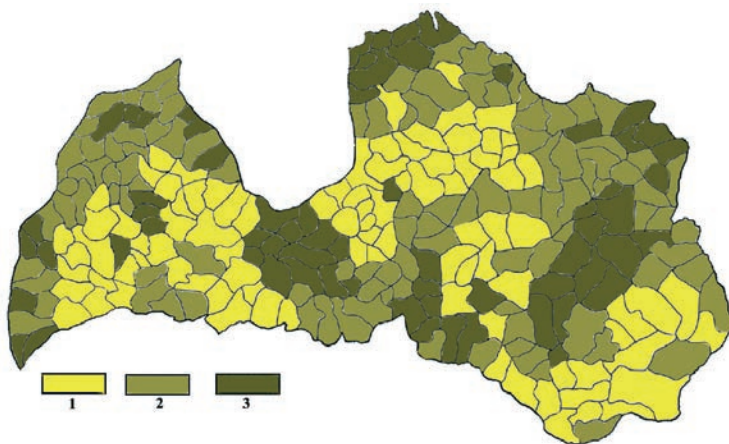
Latvijas reljefu lielā mērā nosaka pamatiežu, tieši zem kvartāra segas guļošo slāņu, galvenokārt devona sistēmas virsas reljefs. Smilšakmens, dolomīti un merģeļi, kas guļ zem kvartāra nogulumiem, ir iespaidīgi pazemes ūdeņu kolektori. Pamatiežu virsas augstuma amplitūda sasniedz 400 m [108], kas par apmēram 90 m pārsniedz pašreizējo zemes virsas augstumu starpību.

Orientējošu informāciju par atsevišķu fizikāli-ģeogrāfisko un klimatisko faktoru ietekmi uz meža ekosistēmu struktūru varam iegūt, salīdzinot atbilstošas kartes vai shēmas. Pagājušā gadsimta trīsdesmitajos gados to veica Vilis Eihe [10]. Izpētot mežu teritoriālās atšķirības, to tipoloģiskās savdabības, atklājās pārmitro mežu nevienmērīgs izvietojums pa valsts teritoriju. Ir rajoni, kuros pārmitrie meži aizņem 70–90 % no visiem mežiem, taču ir arī rajoni, kuros pārmitro mežu īpatsvars nepārsniedz 10–30 % [83]. Tātad ir jābūt faktoriem, kuru parametriem mainoties tiek rosināti vai gluži otrādi, ierobežoti mežu pārpurvošanās procesi. Jau vizuāli salīdzinot klimatiskās kartes ar pārmitro mežu sastopamības shēmām, redzams,

ka klimatisko faktoru rādītāji neizskaidro pārmitro mežu izvietojumu. Pozitīvu rosinājumu sagādāja pārmitro mežu sastopamības salīdzinājums ar hidroģeoloģisko pētījumu rezultātiem – pārmitro mežu rajoni samērā cieši sakrīt ar pazemes spiedes ūdeņu izķīlēšanās rajoniem [87].

Pārmitro mežu detālākai izpētei mēs analizējām meža ierīcības materiālus par 278 mežniecībām, kas aptver visu Latvijas teritoriju. Ikvienā mežniecībā aprēķināta attiecība starp pārmitro mežu platību un mežu kopplatību (5. attēls). Par pārmitriem uzskatījām gan meliorētos, gan nemeliorētos mežus ar kūdras vai hidromorfām minerālaugsnēm. Dažās mežniecībās (Dalbes, Slokas, Tīreļu) meža hidromelioratīvais fonds aizņem 75–95 % no mežniecības teritorijas, citās mežniecībās pārmitro mežu īpatsvars sastāda tikai 5–10 % (Kosas, Priekules). Mežniecības ar līdzīgu pārmitro mežu īpatsvaru nav izkaisītas pa teritoriju nejauši, un vērojami to teritoriālie grupējumi.

Spilgti iezīmējas liels pārmitro mežu masīvs Austrumlatvijas zemiņē Daugavas un Veļikajas upju baseinos, ietverot arī Lubānas līdzenumu. Otrs pārmitro mežu masīvs atrodas Ziemeļvidzemes pacēlumā Salacas un Vidusgaujas baseinos. Populāri ir pārmitro mežu grupējumi Rīgas līdzenumā dienvidaustrumu virzienā no Rīgas. Rietumdaļā pārmitro mežu pārsvars



5. attēls. Mežniecību izvietojums ar atšķirīgu pārmitro mežu īpatsvaru:
1 – 5–30 %; 2 – 31–50 %; 3 – 51–95 %.

raksturo Piejūras zemieni un Ventas–Usmas ieplaku.

Latvijas teritorijā no 1891. gada darbojas apmēram 200 hidro-meteoroloģiskās stacijas un posteņi; ir arī samērā daudz (ap 50) hidrometrisko posteņu. Ievāktie dati ļauj iezīmēt rādītāju izolīnijas. Tas rada iespēju aprēķināt klimatisko un hidroloģisko faktoru vidējo parametru ikvienai mežniecībai.

Pirmie skaitliskie rādītāji par izmantoto parametru un pārmitro mežu īpatsvaru iegūti, aprēķinot pāru korelācijas koeficientus r un korelācijas attiecības η . Par cik sakarība starp mežu tipoloģisko struktūru un izmantotajiem faktoriem gandrīz nekad nav lineāra, korelācijas attiecība labāk nekā korelācijas koeficients raksturo attiecības starp mainīgajiem. Iegūto rezultātu interpretācijai tomēr lietderīgi zināt r , par cik tas ir ar plus vai mīnus zīmi, līdz ar to norāda pētītā faktora ietekmes virzienu uz pārmitro mežu sastopamības īpatsvaru.

Lietderīgi atzīmēt, ka pāru korelatīvie rādītāji tomēr neraksturo cēloņsakarības svarīgumu. Starp pētītajiem faktoriem nav tādu, kas nebūtu atkarīgi no citu faktoru ietekmes. Tāpēc pāru korelatīvo sakarību rādītāji izmantoti tikai aptuvenai faktoru sakārtošanai, t.i., svarīgāko faktoru atpazīšanai, kas visvairāk nosaka pārmitro mežu īpatsvaru mežniecībā.

2. tabula

Korelatīvo sakarību rādītāji starp pārmitro mežu īpatsvaru un citu faktoru parametriem (iekavās – rādītāji nejauši 1 % ticamības līmenī)

Faktori	Parametru svārstību amplitūda	Korelācijas koeficients r	Korelācijas attiecība η
Ūdens bilances pieplūdes daļa			
Gada nokrišņu summa, mm	600–950	–0,24	0,36 [195]
Vasaras nokrišņu summa periodā V–X, mm	370–570	(–0,14)	(0,21) [195]
Gada maksimālie nokrišņi (5 % nodrošinājums), mm	800–1630	–0,24	0,30 [238]
Gada minimālie nokrišņi (95 % nodrošinājums), mm	410–560	–0,23	0,28 [238]
Ūdens daudzums sniega segā pirms nokušanas pavasarī, mm	25–410	(–0,08)	(0,13) [195]
Teritorijas bruto samitrinājums, mm	480–720	–0,18	0,29 [195]

Faktori	Parametru svārstību amplitūda	Korelācijas koeficients r	Korelācijas atteicība η
Pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis (nosacītais), mm	+20...-100	-0,69	0,78[195]
Ūdens bilances promplūdes daļa			
Upju notece gadā, mm	130-380	-0,31	0,39 [195]
Upju notece vasarā V-X, mm	30-160	-0,30	0,33 [75]
Upju notece V-X, % no nokrišņiem	8-30	-0,26	0,32 [75]
Gada pazemes notece, mm	20-130	-0,33	0,33 [195]
Gada iztvaikošana, % no nokrišņiem	60-80	+0,36	0,43 [195]
Iztvaikošana vasarā V-X, mm	320-44	(+0,06)	(0,24) [195]
Iztvaikošana vasarā V-X, % no nokrišņiem	70-97	+0,32	0,33 [195]
Ūdens bilances regulējošā daļa			
Augstums virs jūras līmeņa, m	10-240	-0,33	0,35 [59]
Kvartārnogulumu biezums, m	20-140	-0,40	0,41 [108]
Reljefa amplitūda, m	10-180	-0,43	0,45
Pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis (absolūtais), m	10-160	(-0,07)	(0,24) [149]
Gaisa temperatūru summa periodā, kad $t^{\circ} > +10^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{C}$	1780-2120	(+0,06)	(0,15) [130]

Pētītie faktori nosacīti sagrupēti trīs daļās, raksturojot pieplūdes, promplūdes un regulējošās ūdens bilances sastāvdaļas.

Nokrišņi ir pieplūdes daļas svarīgākā sastāvdaļa. Pa mežniecībām nokrišņu daudzums svārstās plašās robežās – no 600 līdz 950 mm. Ir pamats uzskatīt, ka meža pārmitrinājums varētu būt lielāks tur, kur nokrišņu apjoms lielāks. Korelatīvo sakarību analīze tomēr noliedz, ka ar nokrišņu daudzumu varam izskaidrot pārmitro mežu sastopamību. Starp nokrišņu daudzumu un pārmitro mežu īpatsvaru pastāv pārsteidzoša negatīva sakarība ($r = -0,24$ pie $r_{0,05} = 0,12$), t.i., kurā mežniecībā vairāk līst, tur pārmitro mežu mazāk. Tātad jābūt citiem spēcīgiem faktoriem, kas izmaiņa attiecības starp ūdens bilances elementiem.

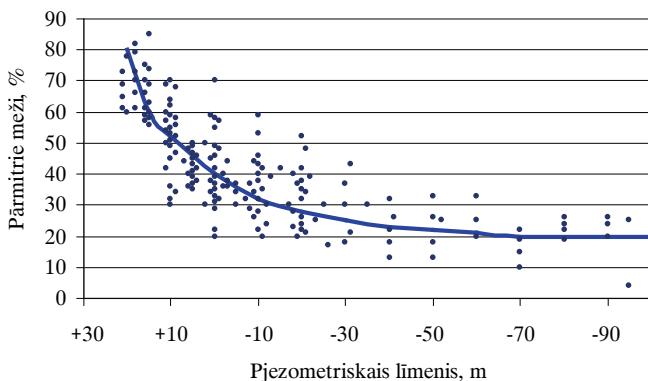
Sevišķi svarīga izrādās reljefa loma. Līdz ar mežniecības teritorijas paaugstināšanos virs jūras līmeņa samazinās pārmitro mežu procents

($r = -0,33$; $\eta = 0,5$). Paugurainā ainavā paaugstināts zemes virsas slīpums aizkavē pārpurvošanās norises. Mūsu aprēķinos zemes virsas vidējais slīpums aprēķināts kā reljefa augstuma amplitūda mežniecības ietvaros. Samērā ciešās korelatīvās sakarības ($r = -0,43$; $\eta = 0,45$) starp reljefa amplitūdu un pārmitro mežu īpatsvaru norāda uz to, ka reljefa slīpuma ietekme ir lielāka nekā nokrišņu ietekme.

Iespējams, ka meža nogabalos ar vāji drenētām augsnēm un lēzenu zemes virsu par nopietnu pārmitrinājuma cēloni var kļūt bagātīgs ūdens apjoms sniega segā pirms sniega kušanas pavasarī. Ūdens krājumi sniega segā pa mežniecībām atšķiras par 115 mm, bet šo krājumu atšķirības vāji korelē ar pārmitro mežu īpatsvaru ($r = -0,08$; $\eta = 0,13$).

Daļa no atmosfēras nokrišņiem veido noteci pa vaļējām promtekām. Atlikusī daļa – tā sauktais bruto samitrinājums tālāk tiek izmantots iztvaikošanai un pazemes notecei. Hidroloģijas rokasgrāmatās atzīmēts, ka tieši bruto samitrinājums visuzskatāmāk raksturo augiem izmantojamās ūdens krājumus. Arī mēs pieļāvām, ka jābūt samērā ciešai pārmitro mežu īpatsvara attiecībai ar bruto samitrinājumu. Iegūtie rezultāti tomēr to neaplicināja. Signifikantas, kaut arī nelielas pāru korelatīvās sakarības liecina, ka mežniecībās ar lielāku bruto samitrinājumu pārmitro mežu ir mazāk ($r = -0,18$; $\eta = 0,29$). Visticamāk, ka bruto samitrinājums, kas ūdens bilancē aprēķināts kā starpība starp nokrišņiem un noteci pa vaļējām promtekām, vāji raksturo augsnes samitrinājumu un pārpurvošanās intensitāti. Tas tādēļ, ka, aprēķinot bruto samitrinājumu, netiek novērtēta ūdens pazemes pārplūde no viena sateces baseina uz otru.

Starpt. tabulā iekļautajiem faktoriem īpaši izdalās pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis, kas raksturo pazemes ūdeņu kā pozitīvu, tā negatīvu līdzdalību meža ekosistēmu ūdens bilancē. Pazemes ūdeņu nosacītais pjezometriskais līmenis raksturo to, par cik metriem šis līmenis pārsniedz zemes virsu. Ja pjezometriskais līmenis ir tuvu zemes virsai, tas nenovēršami papildina augsnes gruntsūdeņus un izraisa augsnes pārpurvošanos. To pārliecinoši apstiprina gan korelatīvās sakarības ($r = -0,69$; $\eta = 0,78$), gan arī šo sakarību grafiskais attēlojums (6. attēls). Pie nosacītā pjezometriskā līmeņa +20 m pārmitro mežu īpatsvars sasniedz 60–80 % no visiem mežniecības mežiem. Ja pazemes ūdeņu nosacītais pjezometriskais līmenis vidēji pa mežniecību noslīd vairāk par 20 m zem zemes virsas, pārmitro mežu īpatsvars kļūst no tā neatkarīgs un svārstās pa mežniecībām atbilstoši gadījuma svārstību likumsakarībām 8–40 % ietvaros, vidēji 22 %.



6. attēls. Pārmitro mežu procenta un pazemes spiedes ūdeņu pjezometriskā līmeņa sakarības mežniecību teritorijās.

Pazemes ūdeņu barošanās apvidos, kurus izdalījusi Ieva Dzilna [108], pārmitro mežu īpatsvars ir 36 %, izplūdes apvidos – 54 %. Īpatsvaru atšķirības starp minētajiem apvidiem ir statistiski signifikantas ļoti augstā ticamības līmenī ($\chi^2_{\text{fakt}} = 39,1 > \chi^2_{0,01} = 15,1$). Mūsu pētījuma rezultāti mežniecību līmenī nenoliedzami apstiprina mežu pārmitrināšanās ciešo saistību ar pazemes ūdeņu režīmu, tomēr tas nav vienīgais faktors. Mēs pārbaudījām, vai nevar izveidot samērā vienkāršu multiplās regresijas vienādojumu ar diviem neatkarīgiem mainīgiem – pjezometrisko līmeni un reljefa amplitūdu mežniecībā – kas ticami raksturotu pārmitro mežu īpatsvaru. Sakarība aprēķināta ar vienādojumu $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$, kur y – pārmitro mežu procents mežniecības teritorijā; x_1 – pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis, m; x_2 – reljefa amplitūda, m. Koeficientu b_0 , b_1 , b_2 aprēķināšanai ar nejaušu izvēli izmantotas 90 mežniecības. Vienādojuma veids ir $y = 64 - 0,49x_1 - 0,16x_2$.

Rezultātu biometriskā analīze liecina, ka x_1 un x_2 būtiski ietekmē y ar ļoti augstu ticamību (Fišera kritērijs). Taču ar šo vienādojumu var izskaidrot tikai 43 % no pārmitro mežu īpatsvara rādītāju izkliedes pa mežniecībām – multiplās korelācijas koeficients $R = 0,667$. Fona faktoru ietekme ir pārāk liela, lai ar šādu regresijas vienādojumu varētu skaidrot pārmitro mežu

īpatsvara atšķirības mežniecību līmenī.

Lietderīgi pieminēt, ka pāru korelācijas rādītāji raksturo faktiskās attiecības starp diviem mainīgiem tikai tad, kad tās neietekmē citi faktori. Tāpat skaidrojami arī regresijas analīzes rezultāti. Taču starp dabiskajiem faktoriem nav tādu, kuri nebūtu saistīti ar citu faktoru parametriem. Tālākajā analīzes gaitā mēs izmantojām Imanta Liepas [153] rosinājumu lietot multiplās regresijas analīzi, kurā i faktora ietekme aprēķināma kā atsevišķa regresora ietekmes īpatsvars η_i^2 .

Iegūto rezultātu interpretācijai ir vairāki stingri ierobežojumi: secinājumi attiecināmi tikai uz izmantoto faktoru paraugkopu, kurā parametri svārstās norādītajās robežās. Par cik atšķirīgu faktoru parametri aprakstīti ar dažādām mērvienībām (milimetri, procenti, metri, grādi), faktoru īpatsvara skaidrošanai izmantoti nevis faktiskie (x_{ij}), bet standartizēti rādītāji $t_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{s_i}$, kur \bar{x}_i – vidējais aritmētiskais; s_i – standartnovirze. Standartizēto rādītāju pielietošana ievērojami samazina ietekmi, ko izraisa lielās atšķirības starp atšķirīgu faktoru parametru amplitūdām.

Faktoru ietekmi izskaitļojām divos etapos. Pirmajā etapā ar loģiskiem apsvērumiem izvēlējamies tikai tādus faktorus ($k_1 = 12$), kuri visvairāk varētu ietekmēt mežu pārmitrināšanos. Šo faktoru iedarbība laikā sakrīt galvenokārt ar veģetācijas periodu. Otrajā etapā aprēķinos iesaistīti visi korelācijas analīzē izmantotie faktori ($k_2 = 19$).

Multiplās korelācijas koeficients starp pārmitro mežu īpatsvaru mežniecībā un pirmā etapa faktoru parametriem ir 0,775, bet otrā etapa parametriem – 0,790. Tas nozīmē, ka pārmitro mežu īpatsvara atšķirības starp mežniecībām par 60 % izskaidrojamas ar pirmā etapa faktoru lineāro ietekmi, bet otrajā etapā – par 62 % (3. tabula). Acīmredzot, ka nav efektīva izmantoto faktoru skaita palielināšana no 12 uz 19, un pie faktoru izvēles jāvadās no loģiskiem apsvērumiem. Faktoru ietekmes būtiskums novērtēts, lietojot Fišera kritēriju, un kā būtiska 0,01 līmenī uzskatāma ietekme, kura pārsniedz 1,0 %.

3. tabula

Atsevišķu faktoru ietekme uz pārmitro mežu īpatsvaru mežniecībās
(iekavās – nebūtiska ietekme 99 % ticamības līmenī)

Faktori	I etaps	II etaps
Ūdens bilances pieplūdes daļa		
Pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis (nosacītais), mm	-22,8	-18,6
Gada nokrišņu summa, mm	-	+5,5
Vasaras nokrišņu summa periodā V–X, mm	+4,39	+2,5
Gada maksimālie nokrišņi (5 % nodrošinājums), mm	-	+3,0
Gada minimālie nokrišņi (95 % nodrošinājums), mm	-	+2,4
Ūdens daudzums sniega segā pirms nokušanas pavasarī, mm	+1,6	(+0,5)
Teritorijas bruto samitrinājums, mm	-3,7	(-0,9)
	Kopā	33,0 33,4
Ūdens bilances promplūdes daļa		
Upju notece gadā, mm	-	-1,1
Upju notece vasarā V–X, mm	+6,5	+7,9
Upju notece V–X, % no nokrišņiem	-4,5	-4,6
Gada pazemes notece, mm	-1,9	(-0,5)
Gada iztvaikošana, % no nokrišņiem	-	+1,3
Iztvaikošana vasarā V–X, mm	(-0,4)	(-0,4)
Iztvaikošana vasarā V–X, % no nokrišņiem	+7,4	+5,6
	Kopā	20,7 21,4
Ūdens bilances regulējošā daļa		
Augstums virs jūras līmeņa, m	-	-5,7
Kvartārnogulumu biezums, m	-2,4	(+0,1)
Reljefa amplitūda, m	-3,3	(-0,4)
Pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis (absolūtais), m	-	-1,1
Gaisa temperatūru summa periodā, kad $t^{\circ} > +10^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{C}$	(+0,6)	(-0,1)
	Kopā	6,3 7,4
	Pavisam kopā	60,0 62,2

Uz meža pārmitrinājumu vislielāko iespaidu atstāj ūdens bilances pieplūdes daļas rādītāji (ap 33 %), tiem seko promplūdes rādītāji (ap

21 %) un samērā neliela ir regulējošo daļu raksturojoša faktoru ietekme (ap 7 %).

Pieplūdes daļā krasi izdalās pazemes ūdeņu pjezometrisko līmeņu ietekme, kas vairākkārt pārsniedz citu faktoru ietekmes rādītājus. Kā būtiska tiek vērtēta arī gada nokrišņu apjoma ietekme. Atšķirībā no pāru korelācijas rādītājiem 2. tabulā, šeit ietekme ir ar pozitīvu zīmi, kas nozīmē, ka nokrišņu apjoms „tīrā veidā” veicina mežu pārmitrināšanos. Nedaudz sarežģītāk ir izskaidrot promplūdes daļas faktoru ietekmi. Parametru atšķirības pa mežniecībām šeit nepieciešams vērtēt kā sekas, nevis kā pārmitro mežu izveidošanās cēloņus. Mežniecībās ar lielu pārmitro mežu īpatsvaru vērojama lielāka vasaras notece, toties pārmitros mežos vairāk vasaras nokrišņu iztvaiko. Abi šie rādītāji ir sekas no pazemes ūdeņu un atmosfēras nokrišņu pieplūdes īpatsvara.

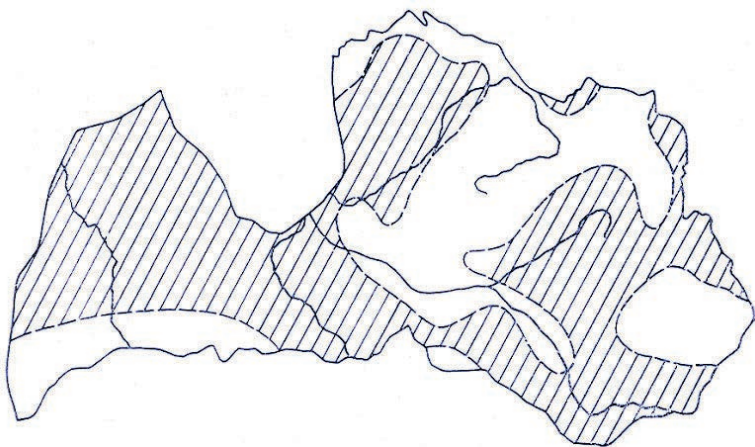
Apkopojot iegūtos rezultātus, varam secināt, ka 62 % no pārmitro mežu teritorijas svārstībām pa mežniecībām var izskaidrot ar 19 izmantoto faktoru atšķirībām. Izmantojot vienīgi pasīvo novērojumu datus, t.i., neveicot atkārtotus eksperimentus, šāds iznākums jāvērtē kā veiksmīgs. Pārējie 38 % visticamāk attiecināmi uz to, ka izmantoto faktoru ietekme nav lineāra, kā arī uz aprēķinos neiekļautiem faktoriem. Starp pēdējiem svarīgākie ir teritorijas drenētība – hidrogrāfiskā tīkla biežums, dabisko promteku dziļums un gultnes slīpums, grunts filtrējošās īpašības, pamatiežu blīvums. Nepieciešams atcerēties, ka savulaik lauksaimniecība ilgā laika posmā atbīdīja mežus uz neauglīgām (pēc lauksaimnieku vērtējuma) un pārmitrām teritorijām. Valsts rietumu rajonos pārpurvošanos rosināja arī augšņu degradācija samērā biežo ugunsgrēku sakarā.

Korelatīvo un regresijas sakarību analīzes rezultāti, kā arī atsevišķu regresoru lineārās ietekmes novērtējums sakrīt un norāda uz pazemes spiedes ūdeņu izšķirošo lomu mežu pārpurvošanās procesā. Nav noliedzama arī atziņa, ka iegūtie rezultāti, izvērtējot mežniecības, tikai daļēji raksturo paraugkopas individuus teritorijas iekšpusē [247]. Pasīvie vērojumi par dabiskām norisēm lielās platībās parasti neprecizē vēlamās likumsakarības. Ticamības skaidrošanai izmantojām aktīvos eksperimentus, kas veikti pārmitro mežu izpētē, projektējot tajos grāvju izvietošanu. Tāpēc mēs vēlreiz pārbaudījām un precizējām pazemes spiedes ūdeņu lomu atsevišķās pārmitro mežu ekosistēmās. Mēs atteicāmies no vidējiem rādītājiem par mežniecības mežu tipoloģisko struktūru un analizējām atsevišķus nejauši izvēlētos pārmitro mežu nogabalus.

Dati par atsevišķu pārmitro mežu nogabalu tipu un zemes virsas augstumu iegūti, analizējot meliorēto objektu projektus Valts meža meliorācijas nodaļās arhīvā. Izpētījām 117 projektus un izvēlējāmies 298 objektus, kuros viens meža (purva) tips pārsniedz 25 ha. Zemes virsas augstums šajos objektos aprēķināts kā vidējais aritmētiskais no līmeņošanā iegūtajiem rezultātiem meliorācijas projekta izstrādes gaitā. Zemes virsas augstumi uzlikti uz 1:500000 kartes un savietoti ar tāda pat mēroga hidroģeoloģisko karti par pazemes spiedes ūdeņu pjezometrisko līmeņu augstumiem.

Analīžu rezultāti pārlicinoši apstiprina iepriekš iegūtos secinājumus: 75 % pārmitro mežu, t.sk. 86 % kūdreņu un 60 % mežu ar hidromorfām minerālaugsnēm atrodas vietās, kur iespējama pazemes ūdeņu izplūde, t.i., vietās, kur pazemes ūdeņu pjezometriskie līmeņi sasniedz vai pārsniedz zemes virsu. Lietderīgi piebilst, ka pjezometrisko līmeņu nosacītā augstuma (no zemes virsas) sadalījums (χ) atbilst normālajam sadalījumam ($\chi_{\text{fakt}}^2 = 0,84 > \chi_{0,01}^2 = 15,1$) ar parametriem: aritmētiskais vidējais $\bar{x} = 6,0$ m un standartnovirze $s = 14,0$ m. Visai maz (4 %) pārmitro mežu sastopami teritorijās, kurās pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis ir dziļāk par 25 m no zemes virsas, kaut arī tādas teritorijas sastāda lielu daļu (26 %) no valsts kopplatības. 7. attēlā. iekrāsoti apgabali, kuros pārmitrajās mežos iespējama pazemes ūdeņu izplūde. Šie apgabali aizņem 74 % no valsts teritorijas. Pārējie 26 % no teritorijas pieder augstienēm un dienvidrietumu zonai, kurā devona nogulumi neveido kvartārnoguluma apakšslāni. Šeit kūdras uzkrāšanās saistās ar beznoteces ieplakām augstienēs vai arī visai blīviem minerālās grunts slāņiem.

Lietderīgi atzīmēt, ka pēc Rīgas un Aizkraukles HES uzbūvēšanas izmainījās Daugavas drenējošās īpašības. Šim faktoram, kas saistās ar ūdenskrātuvju hidrauliskā spiediena vadītspēju, bieži nepievēršam vajadzīgo uzmanību. Spilgts piemērs tam ir Rīgas HES, kurā ūdenskrātuves līmenis izveidojies aptuveni 18,0 m augstumā virs jūras līmeņa. Apmēram šādā pat augstumā ir arī zemes virsa ūdenskrātuvei apkārtējās teritorijās, t.sk. Salaspilī ar Nacionālo botānisko dārzu. Krietni vien zemāk (8–10 m) par ūdenskrātuves līmeni atrodas meži Cekules dzelzceļa stacijas apkārtņē. Pēc dažiem gadiem, kad sāka darboties Rīgas HES, sāka panīkt koku stādījumi Botāniskajā dārzā un masveidā kalst koki Ērgļu dzelzceļa malā, kaut arī šie meži atrodas 5–6 km attālumā no ūdenskrātuves.



7. attēls. Teritorijas, kur mežos ar kūdras augsnēm iespējama pazemes spiedes ūdeņu izplūde (iesvītrotā daļa).

Izšķiroša nozīme ir tam, ka Salaspils apkārtnē kvartārnogulumu slānis ir tikai dažu metru biezumā, un zem tā guļ saplaisājis augšdevona dolomīts; virs dolomīta dažviet izveidojušās arī ģipša nogulas. Pēc ūdenskrātuves uzstādīšanas pastiprinājās t.s. savienoto trauku princips – dolomītā zem ūdenskrātuves spēji pieauga tur esošo ūdeņu spiediens, tas izplatījās plašā apkārtnē, un tur krasi palielinājās pazemes ūdeņu izplūde. Ne vaļņi, ne aizsarggrāvji ap ūdenskrātuvi nenovērš pazemes ūdeņu spiediena līdzsvarošanos atbilstoši savienoto trauku principam. Ūdens vertikālā plūsma augšup no dolomīta slāņiem stipri izmainīja iepriekš ierasto mitruma režīmu augsnē, pasliktinot tās aerāciju. Nereti, ūdens plūsmai caurskaļojot ģipsi un pēc tā arī kūdras, augsnē veidojas sērūdeņradis kā nopietns kaitējums visai augsnes biocenozei. Racionālākais glābiņš šajā gadījumā ir teritorijas intensīva meliorācija, ierīkojot biezu grāvju tīklu. Botāniskajā dārzā tas tika izdarīts, un koku augšana normalizējās.

Tādējādi ūdens sistēma pārmitrajos un nosusinātajos mežos ietver nokrišņus, pieplūdes ūdeņus un pazemes ūdeņu izplūdi. Lai analizētu pārmitro mežu ūdens bilanci, jārod iespēja skaitliski aprakstīt visus šos trīs elementus. Tos nezinot, nevar prognozēt arī melioratīvo pasākumu ietekmi uz teritorijas ūdens režīmu kopumā. Bez tam, neievērojot pazemes ūdeņu pieplūdes apjomus, zūd iespēja aprēķināt iztvaikošanā patērēto ūdens

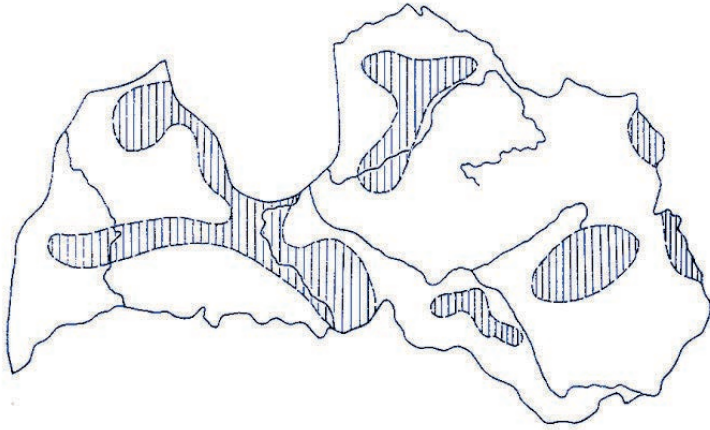
daudzumu, ko parasti aprēķina kā starpību starp nokrišņiem un noteci arī samērā nelielos sateces baseinos.

Apzinot vispārējo situāciju, nereti tiek izvirzīts jautājums par hidromelioratīvo pasākumu ietekmi uz pazemes ūdeņu izplūdes režīmu. Pazemes ūdeņu izplūdes intensitāte jebkurā konkrētajā vietā ir proporcionāla spiediena izmaiņām (Darsī likums), tādēļ augsnes gruntsūdens līmeņa pazemināšana izraisa pastiprinātu pazemes ūdeņu izplūdi. Piemēram, Vesetnieku stacionārā pēc nosusināšanas augsnes gruntsūdens līmenis vidēji pazeminājās par 25 cm, kas izsauca pazemes ūdeņu izķīlēšanās palielināšanos par 0,1 mm diennaktī vai par 36 mm gadā. Tāpēc objektos, kur iespējama pazemes ūdeņu izplūde, meliorācija palielina pazemes ūdeņu izplūdi un tādējādi, kaut nedaudz, samazina pazemes ūdeņu resursus (negatīvā ietekme), taču no otras puses krasi paaugstina kokaudžu ražību, kas nesamazinās laika gaitā, un sausās vasarās izlīdzina ūdens režīmu promtekās un dabiskās ūdenskrātuvēs (pozitīvā ietekme).

Plānojot hidromelioratīvos pasākumus, pastiprināta uzmanība jāpievērš darbiem, kas saistās ar dabisko promteku padziļināšanu vai iztaisnošanu. Promtekas nereti drenē arī pazemes ūdeņu horizontus, un to padziļināšana izjauc ierasto hidroloģisko režīmu plašās teritorijās. Pārrokot dabiskās promtekas izplūdes rajonos izmantotāji izjutīs ūdens resursu samazināšanos straujāk nekā pazemes ūdeņu barošanās rajonos. Tanī pat laikā upju un strautu noteces regulēšana nebūt neizraisa ātrāku lieko ūdeņu novadīšanu no pārmitro mežu augsnēm pēc spēcīgiem lietiemi.

Nelielas izmaiņas pazemes ūdeņu resursos var rasties arī pēc teritorijas nosusināšanas ar sekliem grāvjiem. Tas vispirms iespējams vietās ar paaugstinātas intensitātes pazemes ūdeņu izplūdi. Šādu vietu apzināšanai pazemes ūdeņu izķīlēšanās intensitāti (Q) lietderīgi analizēt kā funkciju $Q = f(\Delta h, L, k)$, kur Δh – nosacītais pjezometriskais līmenis (no zemes virsas), L un k – kvartārnogulumu slāņa biezums un filtrācijas koeficients. Diemžēl pagaidām nav pieejami dati par ūdens sprosts slāņa filtrācijas īpašībām kvartāra nogulumos, kas ierobežo iespējas precīzi izskaitļot pazemes ūdeņu izplūdes tempus. Tāpēc filtrācijas koeficientu k nosacīti pieņēmām kā pastāvīgu rādītāju un visās vietās izskaitļojām relatīvo izplūdes intensitāti $Q' = \Delta h_m \cdot L^{-1}_m$.

Pārpurvotie meži un purvi ar spēcīgu pazemes ūdeņu spiedienu Δh un relatīvi plānu sprosts slāni L , kur $Q' > 1,0$, atrodas Latvijas ziemeļrietumos Vānes, Dūrupes un Skrudas apkārtnē (8. attēls), kā arī starp Lielupi un



8. attēls. Rajoni ar pazemes spiedes ūdeņu paaugstinātas izplūdes iespējām (iesvītrotā daļa).

Daugavu. Austrumlatvijā intensīva izķīlēšanās iespējama Atašienes, Gai-galavas, Rudzātu, Varakļānu un Viļānu apvidū. Pie pašas austrumu robežas izdalās samērā nelieli rajoni Ciblas, Liepnas, Žīguru apkārtnē. Pirms ūdenssaimniecību ietekmējošo pasākumu veikšanas nopietni jāanalizē arī hidroloģiskā situācija objektos, kas ietilpst Ziemeļvidzemes pacēluma un Vidusdaugavas līdzenumā.

Kaut arī šie aprēķini vērtējami kā aptuveni, ar tiem lietderīgi rēķināties ūdens sistēmu ietekmējošos projektos. Trūkstot informācijai, jāriko jaunas hidroloģisko novērojumu akas. Pārmitrajos mežos, kas atrodas pazemes ūdeņu paaugstinātas intensitātes izplūdes rajonos, kvartārnogulumu slānis parasti nepārsniedz 15 m biezumu, un aku ierīkošana tikai nedaudz sadārdzinās melioratīvo pasākumu izmaksas.

4. NOKRIŠŅU REŽĪMS MELIORĒTAJOS MEŽOS

Izvērtējot meža ekosistēmu kā pašregulējošu sistēmu, ūdens iekļaujas piecos neaizvietojamos ieejas elementos (radiācija, ūdens, ogleņskābā gāze, skābeklis, minerālie elementi), kas nepieciešami, lai ekosistēma spētu funkcionēt. Galvenais ūdens piegādes veids ir nokrišņi, kas meža ekosistēmā nokļūst vai nu kā lietus, vai kā sniegs. Katrs no tiem spēlē atšķirīgu hidroloģisko un ekoloģisko lomu. Pēdējā mēdz būt tik sarežģīta, ka to nereti pat grūti izskaidrot vārdos, nemaz nerunājot par sakarību detaļu matemātisko modelēšanu, piemēram, starp nokrišņiem un kokaudzes pieaugumu. Pat līdzīgos edafiskos apstākļos nokrišņu palielināšanās var izraisīt kā kokaudzes pieauguma palielināšanos, tā samazināšanos [150]. Šo sakarību neizpratne būtiski ietekmē dendroklimatisko novērojumu skaidrojumu: pāru korelācijas koeficienti mērenās klimatiskās zonas apstākļos starp stumbra gadskārtu platumu un nokrišņu daudzumu reti kad pārsniedz 0,4.

Jautājums par teritorijas mežainuma ietekmi uz nokrišņu apjomu ir daudzpusīgi izpētīts. Šeit pieskarsimies tikai dažām likumsakarībām. Dažos kalnainos rajonos ik gadu koki ar savām lapām un skujām no miglas izvelk papildus 125–760 mm nokrišņu [71, 129]. Līdzēnumos mežainuma ietekme ir krietni mazāka – mežainuma pieaugums par 10 % palielina ikgadējo nokrišņu apjomu par 5 mm [211]. Eiropas dienvidu rajonos, kas puslīdz vienmērīgi klāti ar mežiem, gada nokrišņu apjoms papildinās par 10–50 mm [139]. Nokrišņu apjoma starpība mežainās un bezmeža teritorijās skaitās statistiski ticama [246]. Nokrišņu apjoms tomēr pieaug tikai tajās teritorijās, kurās mežainums nepārsniedz 30 %; ja mežainums pārsniedz 30 %, virs platībām nolīst vienāds nokrišņu daudzums.

Mēs pievienojamies šiem aprēķinu rezultātiem un uzskatām, ka Latvijas rajonu atšķirīgs apmežojums nav uzskatāms par svarīgu cēloni nokrišņu apjoma izmaiņām. Nokrišņu daudzuma iespējamās izmaiņas par 5–10 mm gadā saistībā ar mežainumu nevar ietekmēt mežu ūdens bilanci pie samērā lielā nokrišņu kopējā apjoma (daudzgadīgais vidējais nokrišņu apjoms pa visu Latvijas teritoriju ir 755 mm), kā arī vasaras lietus diskrētā rakstura.

Kā jau iepriekš atzīmēts, daudzgadīgais vidējais gada nokrišņu apjoms pa teritoriju svārstās robežās no 600 mm līdz 950 mm. Nedaudz mazāka ir vasaras nokrišņu daudzuma amplitūda – 350–570 mm. Nokrišņu apjoma nelielo ietekmi uz mežu pārmitrināšanos varētu izskaidrot ar to, ka vairāk nokrišņu ir augstienēs, kur pārpurvošanos kavē intensīvāka notece. Tomēr svarīga ir nokrišņu daudzuma variēšana pa gadiem. Lai noskaidrotu šī faktora ietekmi, mēs analizējām Latvijas hidrometeoroloģiskās pārvaldes novērojumu datus par 1951.–1980. gadiem, veidojot paraugkopu no 10 meteostacijām, kas teritorijā izvietotas samērā vienmērīgi: Stende, Rucava, Dobeles, Rīga, Rūjiena, Priekule, Gureļi, Sērene, Alūksne, Rēzekne. Vasaras nokrišņu apjoms svārstās robežās no 121 mm līdz 779 mm. Datu izkliedi (pavisam 300 mērījumi) tik plašās robežās izraisa gan meteostaciju teritoriālais izvietojums, gan nokrišņu apjoma atšķirības sausajās un



slapjajās vasarās. Veicot datu biometrisku analīzi, secinājām, ka teritoriālā izvietojuma ietekme nav statistiski noliedzama, taču tā nav liela – tikai 15 %. Datu izkliedi vairākkārt spēcīgāk (85 %) ietekmē vasaras nokrišņu svārstības pa gadiem. Tātad gadskārtējie nokrišņi, mijoties sausām un slapjām vasarām, ikvienas teritorijas ūdens režīmu ietekmē daudz lielākā mērā nekā šīs teritorijas atrašanās, teiksim, Kurzemē vai Latgalē. Skaidrs, ka purvi jau neveidojas tikai slapjās vasarās un neizgaist sausus gadus.

Šis vienkāršais piemērs liecina, ka ekstremāli sausas un arī pārmērīgi slapjas vasaras iespējamas visos mūsu zemes nostūros neatkarīgi no ilggadīgā vidējā nokrišņu apjoma. Meža ekosistēmas ir adaptējušās pie nokrišņu apjoma svārstībām pa gadiem, un tām nevajag mainīt savu struktūru un „uzvedību” atbilstoši meteoroloģisko apstākļu ikgadīgām novirzēm no vidējiem rādītājiem.

Meža ekosistēmas un ūdens sistēmas saskare sākas ar to, ka daļa nokrišņu aizķeras koku vainagos (intercepcija). Ūdens bilances izpētē pa lielākām teritorijām intercepciju var arī īpaši neizdalīt [211]. Tomēr nenoliedzami, ka mežaudze, tās struktūra ir ļoti ietekmīgs ūdens plūsmas pārdalītājs ekosistēmas ietvaros, un intercepcija spēcīgi ietekmē daudzus ar dzīvošanu saistītos procesus – augšnes mitrumu, aerāciju, biogēno elementu bilanci u.c.

Augsnē nonākušo nokrišņu apjomu veido tie nokrišņi, kas nokrīt starp vainagiem, caur vainagiem izplūdušais ūdens, pa vainagu virsmu plūstošais ūdens (egļēm) un pa stumbru notekošais ūdens daudzums. Pirms mūsu novērojumu uzsākšanas Latvijā intercepcijas mērījumu nebija.

Intercepcijas verbālais modelis nav sarežģīts. Līdz ar lietus sākšanos daļa nokrišņu sasniedz augsni, daļa aizķeras vainagos, no kurienes iztvaiko. Līdz ar lietus pastiprināšanos pieaug abas daļas līdz kokaudzes pilnam samitrinājumam. Pēc pilnīgā samitrinājuma augsni sasniedz visi nokrišņi. Nokrišņu daudzums, kas nepieciešams, lai audzi pilnīgi samitrinātu, un koka vainagos aizturētais maksimāli iespējamais nokrišņu apjoms vērtējami kā visai svarīgas meža hidroloģiskās konstantes. Lai noskaidrotu šīs konstantes, daudzi zinātnieki veikuši mērījumus atšķirīgas struktūras mežaudzēs [7, 25, 31, 55, 58, 63, 67, 78, 91, 105, 127, 131, 148, 164, 245, 244, 256]. Kā meteoroloģiskie apstākļi, tā arī mežaudzes struktūra svārstās visai plašās robežās, un pētījumu rezultātiem ir galvenokārt vietēja nozīme, un ierobežota ir to ekstrapolēšanas lietderība. Piemēram, Vācijā atzīmēts, ka dižskābaržu audzēs vainagos aizķeras 4,1 mm, bet egļu audzēs – 6,5 mm.

Pēc mūsu mērījumiem šie skaitļi ir krietni lielāki: jaunaudzēs – 4,5 mm, priežu, bērzu audzēs – 6,5 mm un egļu audzēs – 9,5 mm. Lai sasniegtu vainagu pilnu piesātinājumu, viena lietus laikā jānolīst vismaz 30 mm.

Daudzus autorus ir vilinājusi doma izstrādāt vienu matemātisko modeli intercepcijas aprēķināšanai. Galvenā vērība tiek pievērsta intercepcijas modelēšanai viena lietus laikā [31, 44, 66, 148, 248, 249], un daži modeļi uzrāda ticamus rezultātus. Šādu modeļu praktiskā nozīme tomēr ir niecīga, jo tajos nepieciešami pārāk daudz ieejošo elementu. Šie parametri skaidrojami ikvienai mežaudzei un ikvienam atsevišķam lielumam [248, 249]. Jāraksturo kokaudzes biežība, vainagu projekcijas diametrs, vainaga iekšējais bezlapu daļas caurmērs, vainaga forma, lapas (skujas) virsmas laukums, nokrišņu apjoms, kas nepieciešams pilna piesātinājuma sasniegšanai (jānoskaidro eksperimentāli), faktiskais nokrišņu apjoms, gaisa temperatūra un mitruma deficīts pētāmā lietus laikā. Gandrīz ikviens no nepieciešamajiem ieejas elementiem ir grūtāk izmērāms nekā aprēķinā iecerētais intercepcijas vai augsnē nonākušo nokrišņu tiešais mērījums, lietojot nokrišņu uztvērēju.

4.1. Intercepcija viena lietus laikā

Mūsu pētījumos intercepcija 10 atšķirīgās mežaudzēs tiek mērīta ik pēc 10 dienām, sākot ar 1968. gadu. Pirmo 13 gadu laikā trīs raksturīgākajās mežaudzēs (jaunaudzēs, priežu-bērzu audzēs un egļu audzēs) intercepciju mērījām arī pēc ikviena lietus, kurā nokrišņu daudzums pārsniedza 1,0 mm.

Nokrišņu pārdalījums dažādas struktūras mežaudzēs ikviena lietus laikā pastiprināti tika pētīts sakarā ar ieceri, izveidot vienu automatizētu pārmitro mežu ūdens sistēmas mērījumu kompleksu. Pavērtos iespēja izsekot, kā, sākoties un turpinoties lielumam, izmainās augsni sasniegušo nokrišņu apjoms atšķirīgas struktūras kokaudzēs, kad un kā uz lietu reaģē augsnes gruntsūdens līmenis, pēc cik ilga laika izmainās ūdens notece pa grāvjiem. Ieceri realizēt neizdevās.

Vēlāk augsnē nonākušo nokrišņu daudzuma mērījumu režīms izmainījās, un atsevišķu nokrišņu intercepciju analizējām tikai tajās dekādēs, kad desmit dienu laikā bijis tikai viens lietus. Ikvienā no raksturīgajām kokaudzēm izvietoti 20 nokrišņu uztvērēji, Izvietojuma vietas uz transekta izvēlētas, izmantojot gadījuma skaitļu tabulas. Nokrišņi kļajumā tiek mērīti ar pieciem Tretjakova nokrišņu mērītājiem, kas izvietoti pa visu

stacionāra teritoriju. Mežā izvietotie nokrišņu mērītāji sastāv no plastmasas piltuves ar 55 cm² uztverošo virsu un stikla uzkrājēju. Uzkrājēji ar piltuvi izvietoti ar cilindrisko lāpstu izraktajās bedrītēs tā, lai piltuves uztverošā virsa atrastos vienā līmenī ar augsnes virsu. Šādiem uztvērējiem ir vairākas priekšrocības salīdzinājumā ar oficiāliem nokrišņu mērītājiem meteoroloģiskajā dienestā: 1) tie ir lēti; 2) uztvērēja virsa ir neliela, un varam izmērīt kopā gan kokaudzes, gan dzīvās zemsedzes intercepciju; 3) uzkrājēji atrodas augsnē, kuras pazeminātā temperatūra samazina iespējamo iztvaikošanu, ja ūdens daudzums netiek izmērīts uzreiz pēc lietus. Ūdens daudzums uztvērējā mērīts ar mērcilindra 1 cm³ (0,2 mm) precizitāti. Uztvērējos savāktā ūdens daudzuma ticamība pārbaudīta daudzos atkārtojumos, salīdzinot mērījumu rezultātus ar standartizētā Tretjakova nokrišņu mērītāja datiem. Starpība nekad nepārsniedza 0,8 mm; 80 % gadījumu tā bija mazāka par 0,5 mm un 65 % gadījumu – mazāka par 0,2 mm. Novirzes turklāt atzīmētas kā uz vienu, tā otru pusi un tādējādi intercepcijas mērījumus nevajadzēja korigēt ar sistemātiskiem labojumiem.

Intercepcijas un līdz ar to arī augsnē nonākušo nokrišņu daudzums stipri svārstās gan atkarībā no lietus ilguma, gan kokaudzes vecuma (augstuma), un, apkopojot datus, atklājās, ka vairākās mežaudzēs intercepcijas



rādītāji ir līdzīgi un tās var apvienot vienā grupā. Audžu līdzības novērtēšanai mēs izmantojām biometrijā ieteikto paņēmieni par divu vai vairāku paraugkopu apvienošanu vienā grupā. Vienā grupā apvienojām kokaudzes, kurās vidēji stipra lietus laikā būtiski neatšķirās ne aritmētiskais vidējais, ne standartnovirze. Pie apmēram 5 mm nokrišņiem izvēlētās 10 mežaudzes apvienotas 3 grupās: jaunaudzēs (arī izcirtumi), priežu, bērzu audzes un egļu audzes. Aritmētiskie vidējie intercepcijas rādītāji vienas grupas ietvaros 87 % gadījumos būtiski neatšķiras (t-kritērijs), un atšķirības vienas grupas ietvaros izraisīja ne kokaudžu struktūra, bet gan atšķirības virs kokaudzes nolijušo nokrišņu daudzumā – attālums starp vienā grupā apvienotām audzēm sasniedz aptuveni 2 km. Audzes struktūras nelielo ietekmi uz augsnē nonākušo nokrišņu daudzumu apstiprina arī Vācijā veiktie mērījumi: nokrišņu daudzums būtiski nemainās, ja egļu audzēs stumbru šķērslaukums izmainās robežās no 7 m² ha⁻¹ līdz 25 m² ha⁻¹ [2].

Analizējot ievāktos datus, tika izvērtēta hipotēze, vai nav lietderīgi samazināt lietus mērītāju skaitu. Jebkurā mežaudzē ir vietas, kurās augsni sasniedz tikpat daudz nokrišņu, cik tie nolīst klajumā. Tāpat ir vietas audzē, kur augsni sasniedz 2–3 reizes vairāk vai mazāk nokrišņu nekā klajumā. Izvērtējot kopsakarības, jāsecina, ka ūdens mērījumi vienā uztvērējā nespēj nodērt intercepcijas un arī augsnē nonākušo nokrišņu raksturošanai vidēji pa visu mežaudzi. Vienas vietas nederība saglabājas arī tad, ja izmantojot iepriekš iegūtos mērījumu rezultātus, izvēlēts tāds uztvērējs, kurā pa visu vasaru kopumā savāktie nokrišņi ir visai tuvi pa visu kokaudzi augsnē nonākušo nokrišņu daudzumam.

Piemēram, 1977. gada vasarā augsnē nonāca šāds nokrišņu apjoms: jaunaudzēs 400 mm, priežu-bērzu audzēs – 356 mm un egļu audzēs – 331 mm. Ikvienā grupā bija izvēlēts pa vienam uztvērējam, kurā izmērīto nokrišņu apjoms neatšķirās no vidējiem rādītājiem vairāk par 10 mm. Atsevišķo lietus mērītāju ticamības noskaidrošanai izrēķinājām korelācijas koeficientus r starp ūdens daudzumu viena lietus laikā izvēlētajos trīs mērītājos un vidēji pa visu mežaudžu grupu izvietotajos mērītājos. Jaunaudzēs $r = 0,84$, priežu bērzu audzēs $r = 0,75$, egļu audzēs $r = 0,76$ pie $r_{0,05} = 0,25$. Korelācijas koeficienti nepārprotami liecina par signifikantu sakarību starp analizētajiem rādītājiem, taču norāda arī uz to, ka sakarība visai tālu no funkcionālas, un ar vienu īpaši izvēlētu nokrišņu uztvērēju varam reprezentēt tikai 55–70 % no kokaudzē augsnē nonākušajiem nokrišņiem.

Tika analizēts arī jautājums, vai nevar izstrādāt ticamus vienādojumus, lai ikvienā mežaudžu grupā varētu izskaitļot intercepciju un augsnē nonākušo nokrišņu daudzumu saistībā ar nokrišņiem klajumā ikviena lietus laikā. Ja nokrišņu daudzums klajumā nepārsniedz 10 mm, t.i., netiek pārsniegts audzes pilnā piesātinājuma apjoms, tad vajadzētu pastāvēt ciešai pozitīvai sakarībai starp nokrišņu daudzumu klajumā un intercepcijas rādītājiem. Iegūti šādi rādītāji: jaunaudzēs $r = 0,56$, priežu, bērzu audzēs $r = 0,68$, egļu audzēs $r = 0,56$. Sakarība ir signifikanta, tomēr vāja, lai izstrādātu vienu intercepcijas aprēķināšanai ticamu vienādojumu. Ja nokrišņu daudzums klajumā pārsniedz 10 mm, kā jau varēja paredzēt, korelācija ir vēl vājāka: jaunaudzēs $r = 0,37$, priežu, bērzu audzēs $r = 0,50$, egļu audzēs $r = 0,48$.

Abos variantos intercepcijas rādītāji tikai par 15–45 % atkarīgi no nokrišņu daudzuma klajā vietā, t.i., virs kokaudzes. Par izšķirošiem faktoriem jāuzskata vējš un iztvaikojamība. Pat atsevišķas vēja brāzmas samazina intercepciju par 3,0 mm viena lietus laikā. Līdzīga iedarbība ir arī miglai, kas pirms lietus samitrina koku vainagus un dzīvo zemesdzi.

Rēķinoties ar daudzo grūti izmērāmo faktoru iedarbību atsevišķu lietus laikā pat vienā kokaudzē, intercepcijas (**I**) apjoms jāvērtē kā varbūtīgs rādītājs. To pārlicinoši ilustrē intercepcijas rādītāji – aritmētiskais vidējais \bar{I} un standartnovirze s ; ja nokrišņi klajumā ir aptuveni 10 mm: jaunaudzēs $\bar{I} = 2,5$ mm, $s = 2,0$ mm (asimetrisks sadalījums), priežu, bērzu audzēs $\bar{I} = 4,0$ mm, $s = 1,8$ mm, egļu audzēs $\bar{I} = 5,6$ mm, $s = 3,5$ mm.

Palielinot nokrišņu uztvērēju skaitu, pieaug arī intercepcijas rādītāju dispersija. Pie tam dispersiju veido gan kokaudzes neviendabīgums, gan arī meteoroloģiskie apstākļi. Mūsu mērījumu rezultāti ļauj aprēķināt, kādu dispersijas daļu veido katrs no pieminētajiem faktoriem. Tas jāzina, lai varētu izskaitļot nepieciešamo nokrišņu uztvērēju skaitu. Skaitu palielinot, var samazināt audzes neviendabīguma ietekmi, taču nevar izmainīt meteoroloģisko faktoru ietekmi. Dispersijas analizē iegūtie rezultāti norāda, ka kokaudzes struktūras (**S**) ietekme vislielākā ir jaunaudzēs (42 %), pārējās mežaudžu grupās tā ir 18 % un 15 % (4. tabula).

4. tabula

Kokaudzes struktūras un nokrišņu apjoma ietekme (%) uz intercepciju

Kokaudze	Kok- audzes struktūra S	Nokrišņi N	Kokaudzes struktūras un nokrišņu mijiedarbība S · N	Fona faktori
Jaunaudzes	42	5	23	30
Priežu-lapu koku meži	18	40	14	28
Egļu meži	15	13	38	34

Analizējot biometriskās sakarības starp nokrišņu apjomu klajumā, mežaudžu grupu un intercepcijas mērījumiem, atklājās, ka pie nokrišņu uztvērēju nejauša izvietojuma tā, lai uztvērēja virsa atrastos līdz ar augsnes virsu, visvairāk uztvērēju nepieciešams tieši jaunaudzēs. Jaunaudzēs, pirms koku vainagu saslēgšanās, tādu vietu ar it kā negatīvu intercepciju, t.i., vietas, kas saņem vairāk nokrišņu nekā tie nolīst klajumā, aizņem aptuveni 30 % no jaunaudzes kopplatības; pārējās audzēs šādu platību īpatsvars ir apmēram 13 %.

Vesetnieku stacionāra mežos jaunaudzēs izvietoti 55 uztvērēji, priežu, bērzu audzēs – 100 un egļu audzēs 45 uztvērēji. Salīdzinot statistiskos rādītājus, varam secināt, ka uztvērēju skaitu it kā varētu samazināt, saglabājot rezultātu ticamību, t.i., standartklūdu $s_1 \leq 0,5$ mm. To apstiprina arī konkrētie mērījumi. Piemēram, 1969. gada 26. jūlijā, kad klajumā nolija 4,8 mm, standartklūda jaunaudzēs bija 0,22 mm, priežu, bērzu audzēs – 0,13 mm un egļu audzēs – 0,23 mm. Tajā pašā gadā 26. augustā, kad klajumā nolija 36,2 mm, standartklūda jaunaudzēs bija 0,86, priežu, bērzu audzēs – 0,51 un egļu audzēs – 0,83 mm. Tik spēcīgi lieti tomēr ir samērā reti, un varam novērtēt, ka Vesetnieku stacionārā mežā izmantoto nokrišņu uztvērēju skaits ir pietiekošs, lai iegūtu ticamus rezultātus par intercepciju un augsnē nonākušo nokrišņu daudzumu.

4.2. Ūdens notece pa priedes un bērza stumbru un tās ekoloģiskā nozīme

Ja meža ūdens bilances pētījumos lieto parastos nokrišņu uztvērējus, neizmērīts paliek ūdens daudzums, kas lietus laikā notek pa koku stumbriem. Veicot speciālus novērojumus, pārsteidz tas, ka jau samērā neliela lietus laikā pa stumbru notek vairāki litri ūdens. Tāpēc, dabiski, rodas jautājums, kāda ir šī komponenta nozīme kopējā ūdens bilanci, kādos apstākļos šo rādītāju varam neievērot un kādos gadījumos ar to jārēķinās.

Bijušajā PSRS Eiropas daļā veiktajos pētījumos [133, 240] vērtēta galvenokārt notece pa bērza un priedes stumbru. Iegūtie rezultāti liecina, ka veģetācijas sezonā pa šo koku stumbriem noplūst 1,5–4,0 % no klajumā novērotajiem nokrišņiem.

Noteces likumsakarību pētījumiem Vesetnieku stacionārā mistrotā priežu damakšņa audzē izvēlētas 12 priedes un 12 bērzi, pa diviem katrā no šādām caurmēra pakāpēm: 10, 14, 18, 22, 26 un 30 cm. Ap koku stumbriem 80 cm augstumā apliktas apmales. Spraugas starp apmali un stumbru aizpildītas ar plastilīnu. Pa stumbru plūstošais ūdens tika uztverts, novadīts savācējtraukos un izmērīts pēc katra lietus. Vienlaicīgi mērīts arī caur koku vainagiem un dzīvo meža zemsegu izkļuvušā ūdens daudzums. Pavisam audzē izvietoti 20 nokrišņu uztvērēji. Nokrišņi klajumā mērīti ar Tretjakova nokrišņu uztvērēju un pluviogrāfu, kas novietoti 150 m attālumā no audzes.

Dati par noteci lietus laikā analizēti 86 reizes. Klajumā nokrišņu daudzums bija 567 mm.

Pētītājā mežaudzē caur koku vainagiem un zemsedzi augsni sasnieguši 73 % no klajumā reģistrētajiem nokrišņiem. Pa koka stumbru šajā laikā noplūdušā ūdens kopējais daudzums ir visai atšķirīgs: bērziem tas svārstās no 20 līdz 224 l uz vienu koku; priedēm šis svārstības ir mazākas – 33–122 l. Lai noskaidrotu, kādas koku īpatnības izraisa tik lielu noteces dispersiju, aprēķināti lineārās korelācijas koeficienti starp summāro noteci pa paraugkoka stumbru un dažiem paraugkoku raksturojošiem lielumiem (5. tabula).

Korelācijas koeficienti starp noteci pa stumbru un parauglaukumu raksturojošiem lielumiem (n = 24)

Raksturojošais rādītājs	Korelācijas koeficients r
Augšanas (Krafta) klase	-0,27
Stumbra caurmērs krūšaugstumā	+0,22
Koka augstums	+0,18
Vainaga garums	+0,49
Vainaga blīvums	+0,20
Zaru leņķa kosinuss	+0,61
Stumbra segums ar ķērpjiem un mizas plēksnēm	-0,42
Stumbra likumi	-0,3
Vainaga projekcija	+0,09

Jāpiebilst, ka no pētītajiem rādītājiem nevar izdalīt tādu, kam būtu izšķiroša ietekme uz noteci. Visciešākā korelācija ($r = +0,61$) konstatēta starp noteci un zaru leņķa kosinusu. Turklāt noteci pozitīvi ietekmē vainaga garums, bet negatīvi – mizas raupjums. Uz bērzu mizas ķērpji grupējas ap mizas rētām, trupējošiem zariem un vecām zaru vietām. Pētītajā mežaudzē galvenās ķērpju sugas, kas kavē ūdens plūšanu pa bērza stumbru un veicina tā nopilēšanu blakus stumbram, ir *Evernia furfuracea* (L.) Mann. un *Cetraria glauca* (L.) Ach. Mazāka nozīme ir citām bieži sastopamām sugām – *Evernia prunastri* (L.) Ach., *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. un *Usnea dasy-poga* (Ach.) Mot. Ūdens nopilēšanu no priedes stumbra veicina galvenokārt mizas plēksnes. Ķērpji un atlupušas mizas plēksnes nereti sedz vairāk nekā pusi stumbra virsmas.

Tātad lielāka notece pa stumbru ir kokiem ar stāvākiem zariem, garāku vainagu un gludāku mizu. Ar šo rādītāju izmaiņām var izskaidrot apmēram 75–80 % no noteces kopējās dispersijas. Pārējā dispersijas daļa saistās ar citu šeit minēto, kā arī neminēto rādītāju dažādām kombinācijām.

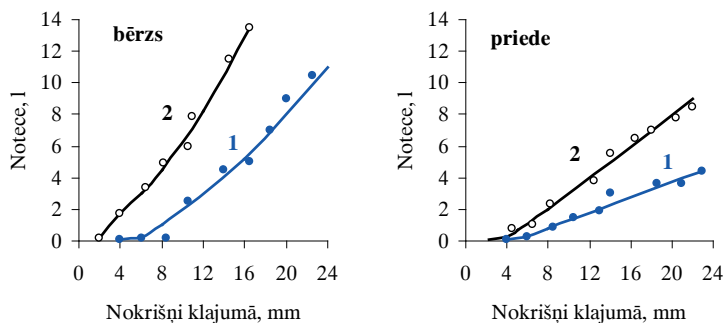
Jāatzīmē niecīgavainaga projekcijas lieluma ietekme uz noteci ($r = +0,09$). Ir saprotams, ka zari, kas atrodas vainaga perifērijā, noteci ietekmē daudz mazāk nekā zari stumbra tuvumā. Bērziem un vecākām priedēm no stumbra attālākie zari ir noliekušies lejup, un pa tiem ūdens stumbra virzienā

vispār neplūst. Bez tam ūdens nopilēšanu no zariem veicina zaru līkumi, ķērpji utt. Tāpēc vainaga pilna projekcija neraksturo darbīgo vainaga platumu. Darbīgais vainaga platumš mainās arī atkarībā no vēja lietus laikā: bezvēja laikā ūdens stumbram pieplūst no lielāka rādiusa nekā vējainā laikā. Aprēķini rāda, ka pētītājā objektā darbīgais zaru garums no stumbra nepārsniedz 1 m; bērzam tas ir vidēji $51 \pm 4,2$ cm, bet priedei – $67 \pm 5,2$ cm.

Notece daudzumu pa stumbru lietus laikā raksturo vienādojums $Q = NS - q$, kur Q – notece pa stumbru (tūlpuma mēra vienībās), N – nokrišņi, mm, S – zaru virsma, no kuras ūdens pieplūst stumbram, q – zudumi (mizas samitrināšana, iztvaikošana utt.). Notece pa stumbru novērojama, ja $NS > q$.

Notece pa stumbru nesākas tūlīt pēc lietus sākšanas. Daļa nokrišņu uzsūcas mizā un ķērpjos. Tāpēc neliela lietus laikā notece pa stumbru vispār nav novērojama ($q > NS$). Par robežlielumu var uzskatīt 3 mm; pie šādas lietus intensitātes notece pa stumbru sākas 18 % bērzu un 5 % priežu. Ja nokrišņu daudzums sasniedz 6 mm, notece pa stumbru konstatēta 92 % bērzu un 85 % priežu.

Intervālā no 3 līdz 8 mm notece pa stumbru pieaug samērā lēni. Ja nokrišņi lietus laikā pārsniedz 8 mm, nokrišņu palielināšanās izraisa strauju notece pastiprināšanos (9. attēls). Visiem paraugkociem konstatēta samērā cieša notece korelācija ar nokrišņu daudzumu viena lietus laikā: korelācijas attiecība $\eta = 0,68 - 0,75$. Tomēr dispersijas analīzes gaitā noskaidrojās, ka



9. attēls. Notece pa bērza un priedes stumbru atkarībā no nokrišņu daudzuma lietus laikā: 1 – vidēji; 2 – maksimāli (ar 5 % nodrošinājumu).

tikai apmēram pusi no visām noteces svārstībām var izskaidrot ar lietus intensitātes (īslaicīguma) izmaiņām: šī faktora (lietus intensitātes) ietekmes rādītājs priedei ir 52 % ±3,2, bet bērzam – 50 % ±1,3. Tātad apmēram 50 % no visām noteces svārstībām nav saistītas ar lietus intensitāti, bet tās izraisa citi faktori, galvenokārt vējš. Mums nebija iespējams iegūt vēju raksturojošo lielumu skaitliskās vērtības, tāpēc nevarējām precīzāk novērtēt, kāda daļa no šīm «neorganizētajām» svārstībām attiecināma uz vēja iedarbību. Jāpiebilst, ka vēja iedarbību ir ļoti grūti skaitliski novērtēt. Atsevišķas brāzmas, kas visai bieži novērojamas vasaras lietus laikā, neskar visus kokus vienādi, tāpēc sapurinātiem kokiem notece it kā nemotivēti samazinās. Piemēram, lietus laikā, kad klajumā uztverts 20 mm nokrišņu, pa bērza stumbru notek vidēji 9,5 l ūdens, bet bezvēja laika un vēja nesapurinātiem kokiem maksimālā (ar 5 % nodrošinājumu) notece sasniedz 19,0 l (9. attēls). Notece pa priedes stumbru ir aptuveni uz pusi mazāka nekā notece pa bērza stumbru; arī maksimālās un vidējās noteces starpība priedei ir mazāka nekā bērzam.

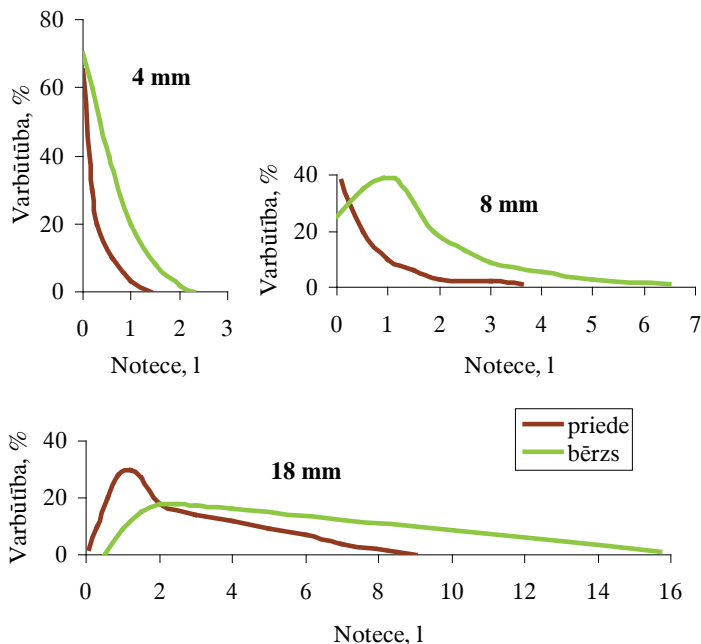
Mēs pārbaudījām, kā vienas un tās pašas lietus intensitātes apstākļos mainās notece atkarībā no tā, cik ilgs laiks pagājis kopš iepriekšējā lietus. Pārbaudīta 1, 2, 3, 4 un vairāk dienu ilgu periodu ietekme (6. tabula). Izmantojot Kolmogorova-Smirnova kritēriju, mums neizdevās pierādīt, ka bezlietus perioda ilgums būtiski ietekmē noteci pa stumbru ($\lambda < \lambda_{0,01}$).

6. tabula

Notece pa priedes un bērza stumbru atkarībā no bezlietus perioda ilguma

Lietus intensitāte, mm	Vidējā notece (l), ja bezlietus periods ilgst				Noteces atšķirības būtiskuma pārbaude 1 un 4 dienu ilgā bezlietus periodā
	1 dienu	2 dienas	3 dienas	4 un vairāk dienas	
	Bērzs				
2–6	1,6	0,2	1,0	0,7	$\lambda = 1,14 < \lambda_{0,01}$
7–12	4,2	6,9	2,3	4,0	$\lambda = 0,94 < \lambda_{0,01}$
	Priede				
2–6	0,2	0,7	0,2	0,2	$\lambda = 0,45 < \lambda_{0,01}$
7–12	1,3	1,1	1,2	0,8	$\lambda = 1,41 < \lambda_{0,01}$

Noteces apjoma sadalījumam pa stumbriem piemīt kreisā asimetrija, t.i., vienāda lietus laikā visvairāk iespējamais (modālais) noteces apjoms ir mazāks par vidējo (10. attēls).



10. attēls. Noteces varbūtība pa priedes un bērza stumbru dažāda stipruma (4, 8 un 18 mm) lietus laikā.

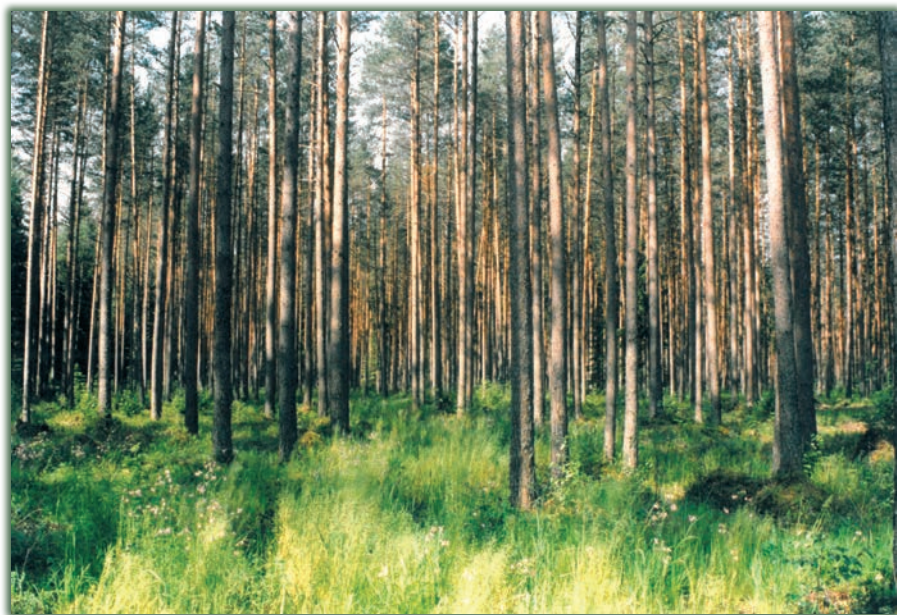
Pārsteidzoši liela ir noteces apjoma variāciju amplitūda. Piemēram, ja nokrišņu daudzums ir 18 mm, dažiem kokiem notece pa stumbru ir tuva nullei, bet citiem savukārt sasniedz 16–17 l. Tātad pastāv zināma varbūtība, ka lietus laikā pa stumbra virsmu augsnē noplūst samērā daudz ūdens. Tāpēc ir interesanti parēķināt, kāds īpatsvars šim ūdenim ir meža nogabala kopīgajā ūdens bilancē. Mēs izvēlējamies II bonitātes priežu un bērzu audzes ar biežību 0,8, kur vidējais koku caurmērs ir 20 cm. Pēc Tjurina augšanas gaitas tabulām, šādās audzēs uz 1 ha ir 600 bērzu un 800 priežu. Kalkulācija rāda, ka neliela lietus laikā – līdz 8 mm (šāda stipruma lietus

list 80 % gadījumu, un šajā laikā nolīst 43 % no visiem vasaras nokrišņiem) augsnē papildus nonāk ne vairāk kā 0,2–0,3 mm ūdens (7. tabula). Šie lielumi pilnīgi iekļaujas hidroloģisko novērojumu precizitātes robežās. Arī spēcīga (20 mm) lietus laikā, kāds sezonā parasti nolīst 2–3 reizes, maksimālā ūdens pieplūde pa stumbriem nepārsniedz 0,7–1,1 mm, un šāds ūdens daudzums nespēj jūtami ietekmēt noteces baseina ūdens bilanci.

7. tabula

Notece pa koku stumbriem bērzu un priežu audzēs

Nokrišņu daudzums lietus laikā, mm	Notece pa stumbru, pārrēķinot uz visu audzes platību, mm			
	bērzu audzē		priežu audzē	
	vidējā	maksimālā (ar 5 % nodrošinājumu)	vidējā	maksimālā (ar 5 % nodrošinājumu)
4	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,3	0,0	0,2
20	0,6	1,3	0,4	0,7



Citāda aina vērojama, analizējot augsnes samitrinājumu dažādās mežaudzes vietās. Pa stumbriem notekošais ūdens papildus samitrina augsni sakņu kakla tuvumā. 8. tabulā dots šī samitrinājuma skaitliskais novērtējums, pārrēķinot pa stumbru notekošo ūdens daudzumu uz 15 cm platu joslu ap koka celmu. Atsevišķos gadījumos (ar 5 % nodrošinājumu) 15 cm platā joslā ap bērza stumbru 20 mm lietus laikā augsnē papildus nonāk 98,5 mm ūdens. Tādā gadījumā stumbram piegulošajā joslā nonākušais ūdens daudzums 7–8 reizes pārsniedz augsnē nonākušo nokrišņu daudzumu vidēji visā audzē. Turpretī neliela (4 mm) lietus laikā augsnes samitrinājums blakus koku stumbriem var būt pat mazāks nekā pārējā audzes daļā. Aptuveni 20–30 cm attālumā no koka stumbra augsnes samitrinājums parasti ir vismazākais, jo šādā attālumā caur koku zariem izkļūst pavisam nedaudz nokrišņu, un pa stumbru notekošā ūdens iedarbība tik tālu nesniedzas.

8. tabula

Augsnes samitrinājums 15 cm platā joslā ap 20 cm resna koka celmu

Nokrišņu daudzums lietus laikā, mm	Ūdens daudzums, kas nonāk augsnē caur koku vainagiem, mm (fons)	Ūdens daudzums, kas notek pa stumbru, pārrēķinot uz 15 cm platu joslu no celma, mm		Samitrinājums joslā ap celmu, % no fona	
		vidējais	maksimālais	vidējais	maksimālais
Bērzs					
4	1,6	0,5	8,2	60	540
8	5,2	4,7	29,9	120	610
20	14,5	48,7	98,5	370	720
Priede					
4	2,7	0,5	2,0	70	120
8	6,3	3,1	10,9	100	220
20	16,0	22,8	44,5	190	320

Tā kā notece pa priedes stumbru ir mazāka nekā notece pa bērza stumbru, arī augsnes samitrinājums priedes stumbram piegulošajā joslā ir attiecīgi mazāks.

Ne mazāka ekoloģiska nozīme ir noteces ūdenī izšķīdušajām barības vielām. 9. tabulā salīdzināti dažu barības vielu daudzumi tīrā lietus ūdenī (klajumā), ūdenī, kas izgājis caur koku vainagiem, un ūdenī, kas noplūdis pa stumbru. Kā jau varēja sagaidīt, barības vielu koncentrācija nevienā no šiem ūdeņiem nav augsta. Dažos gadījumos (P_2O_5 , NO_2^-) var runāt tikai par pētīto vielu pazīmēm. Tomēr, plūstot pa stumbru un caur vainagiem, lietus ūdens ķīmiskais sastāvs jūtami mainās. Šeit minētajā piemērā barības vielu saturs pa stumbru notekošajā ūdenī salīdzināts ar barības vielu daudzumu ūdenī, kas izgājis caur vainagiem (fonu).

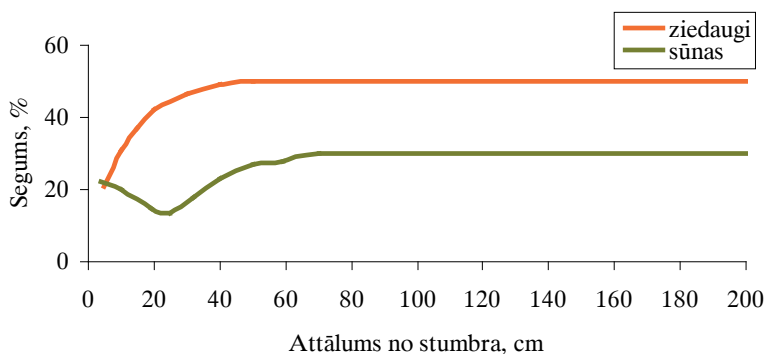
9. tabula

Dažu barības vielu daudzums lietus ūdenī

Rādītāji	Mērvienība	Lietus ūdenī klajumā	Ūdenī, kas izgājis cauri vainagiem (fons)	Ūdenī, kas noplūdis pa stumbru		Pa stumbru noplūstošo barības vielu daudzums, pārrēķinot uz 15 cm platu joslu ap koka celmu, g m ⁻²		Cik reizes barības vielu daudzums pie celma pārsniedz fonu	
				bērzs	priede	bērzs	priede	bērzs	priede
P_2O_5	mg l ⁻¹	0,14	0,23	0,08	0,12	0,02	0,09	1,5	8,2
NO_2^-	mg l ⁻¹	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
HCO_3^-	mg l ⁻¹	10,80	8,70	14,10	13,80	2,82	1,04	6,6	2,4
Ca ²⁺	mg l ⁻¹	0,50	1,30	2,00	3,80	0,40	0,28	6,2	4,5
NH_4^+	mg l ⁻¹	1,80	2,40	4,70	10,10	0,94	0,76	8,0	6,4
NO_3^-	mg l ⁻¹	0,49	0,53	0,16	0,15	0,03	0,01	1,2	0,4
Kopējā cietība	grādi	0,10	0,40	0,30	1,00	-	-	-	-
pH	-	6,00	5,40	4,40	4,20	-	-	-	-

Plūstot pa stumbru, ūdenī samazinās jau tā nelielā P_2O_5 un NO_2^- koncentrācija. Iespējams, ka tos pārtver stumbra epifīti. Toties vairākkārt palielinās NH_4^+ un Ca^{2+} koncentrācija. Augsnē blakus koka stumbram pieplūst 4,5–8,0 reizes vairāk NH_4^+ un Ca^{2+} nekā pārējā audzes daļā. Turklāt noplūstošajam ūdenim ir izteikti skāba reakcija ($pH = 4,2 \div 4,4$) ūdenī izšķīdušo organisko skābju dēļ. Pirmajā brīdī šķiet, ka barības vielu daudzums, ko augsne papildus saņem ar noplūstošo ūdeni stumbra tiešā tuvumā, nav visai liels. Piemēram, 15 cm plata augsnes josla ap koka stumbru vienā veģetācijas periodā saņem tādu tīra slāpekļa mēslojuma devu, kas atbilst $15\text{--}30\text{ kg ha}^{-1}$. Tomēr tikpat daudz slāpekļa priežu un egļu audzēs ik gadus augsnē nonāk ar meža nobirām. Tātad blakus stumbram augsnē nonāk aptuveni divreiz vairāk slāpekļa nekā pārējā audzes daļā.

Lielāks augsnes samitrinājums un barības vielu papildu pieplūdums stumbra tiešā tuvumā rada izmaiņas dzīvās zemsedzes struktūrā (11. attēls). Analizējot zemsedzes struktūru, sākot no stumbra līdz 2,0 m attālumam, konstatēts, ka vislielākās izmaiņas vērojamas apmēram pusmetru platā joslā ap koka stumbru. Tas sakrīt ar attālumu, kādā lietūs ūdens pa zariem pieplūst stumbram.

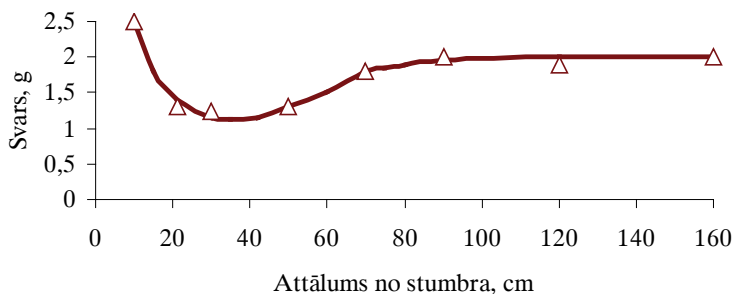


11. attēls. Meža dzīvās zemsedzes ziedaugu un sūnu stāva projektīvā seguma izmaiņas atkarībā no attāluma no koka stumbra.

Uz ūdens pieplūdes izmaiņām atsaucīgi reaģē sūnu stāvs. Stumbra tiešā tuvumā (līdz 5 cm no stumbra) sūnu stāvs veido samērā blīvu segumu un ir bagāts sugu daudzveidības ziņā. Attālinoties no stumbra līdz 25–30 cm, pakāpeniski sarūk gan sūnu stāva segums, gan sugu skaits. Vēl tālāk no stumbra šie rādītāji atkal palielinās, bet, sākot ar 50 cm attālumu no stumbra, vairs būtiski nemainās.

Zemsedzes pirmā stāva ziedaugu skaits un projektīvais segums vismazākais ir tiešā stumbra tuvumā. Te acīmredzot izpaužas apēnojuma negatīvā ietekme. Tālāk no stumbra pirmā stāva segums pakāpeniski palielinās un kļūst daudzveidīgāks sugu skaita ziņā. Taču 50–60 cm attālumā no stumbra arī pirmā stāva zemsedze vairs neatšķiras no zemsedzes pārējā audzes daļā.

Pa stumbru plūstošajā ūdenī izšķīdušās barības vielas piesaista arī koku saknes. Vislielākā priedes un bērza sakņu koncentrācija vērojama 15–20 cm platā joslā ap koka stumbru (12. attēls). 30–40 cm attālumā no stumbra, t.i., tur, kur ūdens pieplūde ir vismazākā, mazāk ir arī fizioloģiski aktīvo sakņu.



12. attēls. Priedes un bērza fizioloģiski aktīvo sakņu svars gaissausā stāvoklī 100 cm³ augsnes atkarībā no attāluma no koka stumbra.

4.3. Intercepcija mēneša laikā

Ja analizējam mežaudzes ūdens bilances vienādojumu $N + P = Q + ET \pm \Delta W$, kur N – nokrišņi, P – ūdens pieplūde, Q – notece, ET – evapotranspirācija (summārā iztvaikošana), ΔW – ūdens daudzuma izmaiņas augsnē, tad viens no grūtāk izmērāmiem rādītājiem ir ūdens daudzums augsnē. Iepriekšējā nodaļā akcentējām intercepcijas un līdz ar to arī augsnē nonākošo nokrišņu teritoriālās atšķirības jebkuras audzes ietvaros. Līdzīgi svārstās arī ūdens daudzums augsnē. Izmērit ūdens daudzumu augsnē nav iespējams tik pat daudz vietās kā intercepciju, un tādēļ ūdens daudzuma izmaiņas augsnē ir samērā neprecīzas. Ja ΔW tiek aprēķināts ar ± 10 mm kļūdu, kas ir parasta lieta, tad ūdens bilances pieplūdes un patēriņa daļām jābūt vismaz 100 mm, un šādi rādītāji reāli iespējami mēneša laikā.

Regresijas vienādojuma izstrādi, lai varētu aprēķināt intercepciju un ar to saistīto augsnē nonākušo nokrišņu apjomu mēneša laikā, sākām ar korelācijas analīzi. Kā neatkarīgais mainīgais izmantots nokrišņu apjoms klajumā. Intercepcija būtiski korelē ar nokrišņu daudzumu klajumā: jaunaudzēs $r = 0,64$, priežu, bērzu audzēs $r = 0,70$, egļu audzēs $r = 0,73$. Atšķirība starp aprēķinātajiem un izmērītajiem intercepcijas rādītājiem tomēr ir liela un 10 % gadījumu tā var sasniegt 43 % no faktiskajiem intercepcijas rādītājiem. Aprēķinu sakarības uzlabošanai intercepcijas vienādojumā nepieciešami arī citi neatkarīgie mainīgie lielumi. No meteorostaciju izziņām pieejams rādītājs ir lietus dienu skaits izvēlētajā mēnesī. Loģiski, ka pie vienāda nokrišņu apjoma klajumā intercepcija būs lielāka mēnešos ar lielāku lietus dienu skaitu. Tādējādi intercepcijas mēneša laikā matemātiskais modelis ir lineārās regresijas vienādojums ar diviem regresoriem – nokrišņu daudzums klajumā (N , mm) un dienu skaits (n) ar nokrišņiem vairāk par 1,0 mm.

Jaunaudzēs. Izmantoti 55 nokrišņu uztvērēju mērījumi. Intercepcijas daudzums mēnešos no jūnija līdz septembrim aproksimējas ar regresijas vienādojumu $I = 0,03N + 1,4n - 3$, bet maijā, oktobrī un arī citos bezsniega mēnešos ar vienādojumu $I = 0,8(0,03N + 1,4n - 3)$. Multiplās korelācijas koeficients $R = 0,82$, regresijas standartnovirze $s = 2,8$ mm un regresijas standartkļūda ar 90 % ticamību $1,64s_1 = 1,0$ mm. Rezultātu izkliedi par 22 % ietekmē nokrišņu daudzums un par 45 % – lietus dienu

skaits. Jaunaudzēs tātad nokrišņu daudzums nav svarīgākais intercepciju ietekmējošais faktors.

Priežu, bērzu audzes. Izmantoti 100 nokrišņu uztvērēju vidējie dati. Intercepcijas rādītāja izmaiņas jūnija–septembra mēnešos aproksimētas ar regresijas vienādojumu $I = 0,1N + 1,3n - 1$, bet citos bezsniega mēnešos $I = 0,8(0,1N + 1,3n - 1)$.

Multiplās korelācijas koeficients $R = 0,88$, standartnovirze $s = 4,5$ mm un regresijas standartklūda ar 90 % ticamību $1,64s_1 = 1,6$ mm. Intercepcijas rādītāju izkliede par 40 % izskaidrojama ar nokrišņu daudzumu un 37 % – ar lietaino dienu skaitu.

Egļu audzes. Izmantoti 45 nokrišņu uztvērēju vidējie dati. Intercepcijas lielumi bezsniega mēnešos aproksimēti ar vienādojumu $I = 0,09N + 2,2n - 3$. Multiplās korelācijas koeficients $R = 0,90$, regresijas standartnovirze $s = 5,2$ mm, standartklūda ar 90 % ticamību $1,64s_1 = 1,9$ mm. Rezultātu izkliede līdzīgi kā jaunaudzēs par 31 % skaidrojama ar nokrišņu daudzumu klajumā un par 50 % – ar lietaino dienu skaitu. Gadījuma faktoru ietekme egļu audzēs ir mazāka nekā pārējās un sastāda tikai 19 %.

Regresijas vienādojumu, kas izskaitļots, lai aprēķinātu intercepcijas daudzumu pa mēnešiem, var izmantot arī aprēķiniem citos laika periodos. Šajā gadījumā svarīgi, lai neatkarīgo mainīgo vērtības ietilptu aprēķinos izmantotajās vērtību amplitūdās. Lietderīgi atzīmēt, ka nokrišņu daudzuma, kā arī lietaino dienu skaita sadalījums atbilst normālajam sadalījumam (χ^2 kritērijs).

Sadalījuma parametri sekojoši: nokrišņu daudzums $\bar{N} = 73$ mm un standartnovirze $s = 35$ mm; lietaino dienu skaits $\bar{n} = 8$ un $s = 3$ dienas. Likumsakarīgi, ka šie regresijas vienādojumi ar atzīmēto ticamību strādās, ka nokrišņi klajumā svārstīsies robežās no 3 mm līdz 143 mm un lietus dienu skaits – no 2 līdz 14.

Pie neatkarīgo mainīgo modālajām vērtībām ($N = 73$ mm un $n = 8$) intercepcija pa mežaudžu grupām iegūst šādus apjomus: jaunaudzēs – 10 mm, priežu, bērzu audzēs – 17 mm, egļu audzēs – 21 mm. Tas arī nozīmē, ka augsnes virsu sasniegušo nokrišņu daudzums jaunaudzēs ir 63 mm, priežu, bērzu audzēs – 56 mm, egļu audzēs – 52 mm; klūda ar 90 % ticamību nepārsniedz 4 %.

Izmantojot informāciju par mežaudžu struktūru Vesetnieku stacionāra sateces baseinos, mēs analizējām intercepcijas rādītājus ne tikai atsevišķās audzēs vai to grupās, bet arī meža masīvos ar raību kokaudzju struktūru (10. tabula).

10. tabula

Kokaudzju struktūra Vesetnieku stacionāra sateces baseinos

Sateces baseins	Jaunaudze	Priežu-lapu koku mežs	Egļu mežs
1	0,15	0,80	0,05
2	0,15	0,80	0,05
3	0,40	0,50	0,10
4	0,40	0,40	0,20
5	0,50	0,35	0,15

Ieguvām šādus regresijas vienādojumus pa sateces baseiniem:

- 1) $I = 0,09N + 1,4n - 1$;
- 2) $I = 0,09N + 1,4n - 1$;
- 3) $I = 0,07N + 1,4n - 2$;
- 4) $I = 0,07N + 1,5n - 2$;
- 5) $I = 0,06N + 1,5n - 2$.

Atrisinot šos vienādojumus pie regresoru modālajām vērtībām ($N = 73$; $n = 8$), iegūstam visai līdzīgas intercepcijas rādītājus (mm): 17, 17, 14, 16, 14. Šie rezultāti apstiprina, ka neskatoties uz to, ka intercepcijas lielumi būtiski atšķiras dažādās mežaudzēs, intercepcijas vidējie lielumi meža masīvos vai to daļās atšķiras maz. Intensīvas mežsaimniecības apstākļos pieaugušas kokaudzes (relatīvi liela intercepcija) atrodas blakus izcirtumiem vai jaunaudzēm ar mazāku intercepciju, un tādējādi vidējā intercepcija pa teritoriju kopumā izlīdzinās, un mūsu gadījumā tā sakrīt ar intercepciju priežu, bērzu audzēs.

4.4. Intercepcija veģetācijas periodā

Lai modelētu likumsakarības, kas atspoguļojas meža ekosistēmas un ūdens sistēmas savstarpējās attiecībās, nepieciešams rēķināties ar mežaudžu pašregulēšanās īpašībām arī ūdens patēriņa aspektā. Ūdens patēriņš (galvenokārt transpirācija) meža ekosistēmā arī mēneša laikā, īpaši vasarā, kad aktivizējas visi bioloģiskie procesi, nepaļaujas aprēķiniem, kuros izmanto atmosfēras un augsnes fizikālos rādītājus. Pagaidām viens no drošākiem paņēmieniem bioloģisko savdabību ietekmes mazināšanai ir perioda pagarināšana, kurā izlīdzinās un summējas ūdens bilances komponentu vērtības. Meža ūdens patēriņš samērā uzskatāmi atklājas, ja meža ūdens bilanci aprēķina vienam pilnam ciklam, t.i., veģetācijas periodam. Meža ekosistēmu struktūra ir daudzkārt stabilāka nekā ūdens sistēmas vai temperatūras režīmi arī veģetācijas periodos. Slapjās un sausās vasarās atmosfēras nokrišņu apjoms atšķiras vairākkārt, un nedaudzu gadu mērījumi nespēj atsegt galvenos mežā notiekošos procesus. Lietderīgi pieminēt, ka Vesetnieku stacionāra mežos sistemātiski mērījumi turpinās no 1968. gada. Apzinoties, ka arī šajā darbā nav iespējams detāli izvērtēt visu datus rodamo informāciju, svarīgākie izejmateriāli apkopoti dažās tabulās (11., 12. tabulas).

Vesetnieku stacionārā meži meliorēti 1960. gadā; sistemātiski nokrišņu režīma mērījumi visās izvēlētajās mežaudzēs uzsākti 1968. gadā.

Transekta Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mežaudzes tips	P-Am	P-Ln	P-Mr	P-Ln	E-Āp	P-Ks	P-Ks	B-Ks	E-As	E-As
Vecumklase 1968. g.	I	II	V	III	I	II	V	V	I	II

Mūsu veiktie mērījumi daudzu gadu periodā paver iespēju aproksimēt intercepcijas un augsnē nonākušo nokrišņu apjomus veģetācijas periodā, t.i., laikā no 1. maija līdz 31. oktobrim. Matemātiskajiem vienādojumiem jāsatursamērā viegli pieejama sākotnējā informācija, lai tos varētu izmantot arī cituviet, kur novērojumi nav veikti, bet ir zināma kokaudžu struktūra. Tas papildus svarīgi, lai varētu prognozēt meža ūdens bilanci sakarā ar teritorijas apmežošanu vai arī ar lielāku meža platību nociršanu.

11. tabula

Nokrišņu daudzums un lietus dienu skaits Vesetnieku stacionārā

Gads	Gadā		Vasarā (V–X)		Ziemā (XI–IV)	
	Nokrišņu summa, mm	Nokrišņu dienu skaits	Nokrišņu summa, mm	Lietus dienu skaits	Nokrišņu summa, mm	Nokrišņu dienu skaits
1967	702	109	449	65	253	44
1968	842	123	528	59	314	64
1969	673	93	425	46	248	47
1970	747	110	375	47	372	63
1971	778	100	391	4	386	60
1972	787	98	476	47	311	51
1973	802	121	472	59	330	62
1974	862	137	574	79	288	58
1975	499	95	169	30	330	65
1976	628	110	251	40	377	70
1977	912	126	516	58	396	68
1978	996	142	550	71	446	71
1979	714	121	391	64	323	57
1980	1016	124	692	63	324	61
1981	909	153	492	67	417	86
1982	777	122	353	50	424	72
1983	853	129	402	53	451	76
1984	900	145	549	74	351	71
1985	866	140	556	76	311	64
1986	856	141	471	64	385	77
1987	896	131	531	75	365	56
1988	776	108	513	56	263	52
1989	758	116	408	57	350	59
1990	957	108	518	44	439	64
1991	783	101	415	51	368	50
1992	743	99	304	38	439	61
1993	838	95	493	52	345	43
1994	733	100	388	49	345	51
1995	904	113	440	51	464	62
1996	509	71	310	41	199	30
1997	695	101	427	54	268	47
1998	858	117	546	72	312	45
1999	623	95	329	42	294	53
2000	649	96	373	50	276	46
2001	745	106	430	64	315	42
2002	646	94	341	46	305	48
2003	924	118	494	60	430	58
2004	674	109	510	76	164	33
2005	740	105	493	50	247	55
2006	539	102	353	51	186	51
2007	909	142	526	71	383	71
2008	865	132	442	55	423	77
2009	917	130	558	70	359	60

12. tabula

Intercepcija (mm) atšķirīgas struktūras 10 mežaudzēs veģetācijas periodā

Gads	Mežaudzes									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1968	80,9	121,8	96,4	116,9	114,7	61,8	75,4	140,0	117,7	149,5
1969	81,1	103,8	127,3	139,6	126,2	117,8	91,0	131,6	71,2	118,2
1970	64,3	108,8	112,1	120,9	84,1	108,1	68,1	109,2	92,3	124,6
1971	122,9	115,7	96,3	128,1	118,1	119,1	111,4	127,5	107,3	139,6
1972	118,6	133,4	114,6	133,9	46,9	104,4	105,2	82,0	117,8	178,5
1973	128,2	156,4	125,6	163,9	87,7	121,9	115,5	127,9	161,0	199,4
1974	161,2	182,6	166,8	203,3	81,9	150,7	176,5	168,8	178,3	223,4
1975	54,4	55,5	62,5	88,4	40,7	58,9	65,4	38,6	66,7	86,7
1976	85,1	92,3	87,5	108,5	28,4	82,5	93,8	48,7	91,3	121,4
1977	189,2	100,2	108,1	183,7	95,2	138,0	163,9	73,7	204,9	205,4
1978	169,5	87,6	120,5	175,5	92,2	99,2	172,7	82,4	168,6	195,4
1979	167,4	104,7	106,6	144,2	124,5	116,6	139,7	104,4	166,2	179,1
1980	186,8	186,9	181,8	182,4	150,7	163,1	197,4	210,1	253,8	260,3
1981	148,0	86,7	98,8	153,5	152,6	120,4	161,2	62,5	173,8	186,4
1982	104,5	46,8	55,9	94,3	64,1	94,8	111,8	65,1	115,4	123,0
1983	126,9	69,2	92,9	136,5	53,0	140,9	152,9	66,0	157,9	173,0
1984	213,0	132,2	169,4	207,1	129,6	201,0	220,8	149,1	210,3	209,6
1985	220,9	161,4	175,8	224,0	135,9	201,5	203,0	152,5	201,5	219,3
1986	176,4	96,8	137,3	160,9	113,9	180,7	144,0	101,5	164,1	201,3
1987	162,6	99,6	127,8	203,2	130,7	184,6	156,6	59,2	189,0	220,7
1988	114,3	78,0	112,2	105,4	117,6	132,7	82,9	72,1	159,7	173,4
1989	89,5	50,9	82,1	162,5	115,2	162,2	119,5	77,5	123,7	152,7
1990	145,9	75,3	107,4	195,2	169,2	206,0	154,5	107,9	153,7	190,1
1991	109,7	87,4	110,6	139,4	126,4	137,1	88,9	70,9	151,7	178,1
1992	118,2	56,2	86,2	134,2	104,2	139,2	111,2	89,2	143,2	161,2
1993	72,8	58,7	125,7	83,0	74,6	100,5	54,5	57,0	85,6	115,2
1994	130,0	108,8	89,1	97,7	81,7	120,9	89,0	120,4	120,7	171,1
1995	97,6	6,1	93,6	147,9	78,4	164,4	100,4	102,7	153,6	154,9
1996	101,0	34,6	103,6	137,0	61,8	109,5	81,0	75,0	114,8	126,4
1997	161,7	66,3	153,1	148,9	111,5	88,9	110,7	128,0	107,2	135,6
1998	282,0	269,7	241,9	287,1	152,6	288,6	227,4	252,4	246,8	268,4
1999	94,0	27,2	59,6	107,4	59,7	132,8	89,6	76,0	101,4	
2000	144,9	93,1	93,0	91,9	144,9	71,0	94,9	84,9	144,9	
2001	208,0	78,6	139,4	187,9	130,2	186,7	119,9	132,1	148,5	
2002	142,5	103,6	130,9	150,3	117,4	151,6	120,5	130,2	88,7	
2003	130,7	68,1	176,5	158,0	83,4	179,0	112,0	101,5	131,4	
2004	92,1	54,2	104,0	135,5	44,8	154,5	53,8	102,0	98,9	
2005	149,6	1,0	78,2	155,0	125,6	133,6	138,1	151,2	117,4	
2006	157,0	115,5	150,4	175,8	139,1	195,7	118,8	138,9	157,8	
2007	196,9	94,9	188,8	186,7	150,1	231,9	123,9	136,4	170,2	
2008	184,9	119,7	159,5	181,2	159,7	240,5	153,6	166,0	180,0	
2009	194,3	98,8	186,9	194,4	154,0	280,1	136,0	150,6	193,6	

Pirms uzsākt jaunu regresijas vienādojumu izstrādi, mēs pārbaudījām to vienādojumu piemērotību, kas tika izstrādāti intercepcijas aprēķināšanai viena mēneša laikā. Veģetācijas perioda laikā regresoru (nokrišņu apjoms klajumā un lietus dienu skaits) skaitliskās vērtības ir apmēram seškārt lielākas nekā tās ir intercepcijas aprēķiniem vienā mēnesī, taču regresijas vienādojumi ir lineāri. Datu grafiskā un analītiskā pārbaude liecina, ka arī veģetācijas perioda laikā starp regresoriem un regesentiem saglabājas tāda pat proporcija, kāda tā ir viena mēneša laikā. Tas nozīmē, ka nevajag sastādīt citu vienādojumu sistēmu. Nepieciešams vienīgi seškārt palielināt vienādojuma brīvo locekli.

Mūsu tālākajos aprēķinos par intercepcijas daudzumu veģetācijas periodā izmantoti šādi regresijas vienādojumi:

$$\text{jaunaudzēs } I = 0,03N + 1,3n - 20;$$

$$\text{priežu, bērzu audzēs } I = 0,1N + 1,3n - 10;$$

$$\text{eģļu audzēs } I = 0,09N + 2,2n - 20.$$

Šo vienādojumu ticamība pārbaudīta, salīdzinot aprēķinātos lielumus. 11 gadu periodā (1967.–1977. g.) aprēķināti šādi vidējie nokrišņu rādītāji veģetācijas periodā: $\bar{N} = 427$ mm, $\bar{n} = 50$ dienas. Atrisinot regresijas vienādojumu ar šiem vidējiem rādītājiem, iegūtie rezultāti maz atšķiras no izmērītās intercepcijas lielumiem: jaunaudzēs aprēķinātā intercepcija un izmērītā ir 63 mm un 63 mm; priežu, bērzu audzēs – 98 mm un 95 mm; eģļu audzēs – 128 mm un 115 mm. Analogi rezultāti iegūti, aprēķinot un salīdzinot intercepcijas apjomus vēlākā laika periodā (1987.–1996. g.) ar $\bar{N} = 432$ mm, $\bar{n} = 51$ diena: jaunaudzēs izskaitļotā un izmērītā intercepcija ir 64 mm un 66 mm; priežu, bērzu audzēs – 100 mm un 97 mm; eģļu audzēs – 131 mm un 134 mm.

Mums bija iespēja pārbaudīt šo vienādojumu ticamību, arī salīdzinot intercepcijas aprēķinus divos stacionāros – Vesetnieku un Popes, kas atrodas aptuveni 300 km attālumā viens no otra. Popes stacionārā ar analoģu metodi mērījumus mežā veica Andris Aire 1971.–1975. gados. Intercepcijas lielums šajos gados svārstās ļoti plašās robežās – no 41 mm līdz 223 mm, bet pa gadiem starpība stacionāros ir neliela un nepārsniedz 11 m. Tas liecina par iespēju izmantot vienu vienādojumu, lai aprēķinātu intercepcijas daudzumu veģetācijas periodā (maijs–oktobris) jebkuros lielos mežu masīvos ar raibu struktūru. Šajā gadījumā regresijas vienādojums ir $I = 0,08N + 1,4n - 10$; multiplās korelācijas koeficients $R = 0,985$, standartnovirze $s = 4,7$ mm un standartkļūda ar 90 % ticamību 2,3 mm. Intercepcijas lielumu izkliedi par 52 % nosaka nokrišņu daudzums un par 45 % lietaino dienu skaits.

Intercepcijas (mm) rādītāju statistika divos periodos un
vidēji pa mērījumu laiku

1968.–1987. g.

Stat. rādītāji	Mežaudzes (transekti)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vidējā vērtība	138	112	118	153	99	128	136	105	150	176
Reprezent. kļūda	11	9	8	9	8	9	10	10	11	10
Mediāna	138	104	113	149	105	120	142	103	163	183
Standartnovirze	49	38	35	39	37	42	46	45	51	45
Ekscess	-0,99	-0,13	-0,29	-0,90	-0,90	-0,57	-0,96	-0,21	-0,65	-0,64
Asimetrija	-0,09	0,43	0,30	0,13	-0,40	0,27	0,09	0,55	0,02	-0,26
Min. vērtība	54,4	46,8	55,9	88,4	28,4	58,9	65,4	38,6	66,7	86,7
Maks. vērtība	220,9	186,9	181,8	224	152,6	201,5	220,8	210,1	253,8	260,3
Nov. skaits	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

1988.–2009. g.

Stat. rādītāji	Mežaudzes (transekti)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vidējā vērtība	139	85	123	151	112	158	112	113	138	166
Reprezent. kļūda	11	11	9	10	8	12	8	10	8	12
Mediāna	131	78	111	149	117	152	111	103	143	161
Standartnovirze	49	49	44	45	36	53	38	44	37	41
Ekscess	2,30	10,31	1,34	3,07	-0,93	0,49	3,55	4,08	2,61	3,73
Asimetrija	1,29	2,77	1,09	1,15	-0,26	0,70	1,29	1,62	1,11	1,54
Min. vērtība	72,8	27,2	59,6	83	44,8	71	53,8	57	85,6	115,2
Maks. vērtība	282	269,7	241,9	287,1	169,2	288,6	227,4	252,4	246,8	268,4
Nov. skaits	21	21	21	21	21	21	21	21	21	11

1968.–2009. g.

Stat. rādītāji	Mežaudzes (transekti)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vidējā vērtība	139	98	121	152	105	144	124	109	144	172
Reprezent. kļūda	8	7	6	7	6	8	7	7	7	8
Mediāna	131	93	112	149	115	137	116	103	149	173
Standartnovirze	48	46	39	42	37	50	43	44	44	43
Ekscess	0,50	3,99	0,97	1,35	-0,81	0,61	-0,07	1,64	0,05	-0,22
Asimetrija	0,60	1,54	0,85	0,72	-0,33	0,68	0,62	1,01	0,45	0,23
Min. vērtība	54,4	27,2	55,9	83	28,4	58,9	53,8	38,6	66,7	86,7
Maks. vērtība	282	269,7	241,9	287,1	169,2	288,6	227,4	252,4	253,8	268,4
Nov. skaits	41	41	41	41	41	41	41	41	41	31

Mērījumu periodā Vesetnieku stacionārā kokaudzes kļuvušas vecākas par vairāk nekā 40 gadiem. Tas nozīmē, ka mērījumu sākuma jaunaudzēs vai pat toreizējie izcirtumi vairs nav jaunaudzēs pat pēc formālā kokaudžu grupējuma jaunaudzēs. Parādījušās vidēja vecuma, briestaudzes un pieaugušas audzes. Kā pa šo laiku izmainījusies audžu intercepcija un cik lielā mērā to ietekmējusi hidrotehniskā meliorācija? Iepriekš aprakstītie vienādojumi piemēroti intercepcijas aprēķināšanai pa trīs kokaudžu grupām, pieļaujot, ka grupu īpatsvars piecos sateces baseinos nemainās desmit gadu laikā. Lai novērtētu intercepcijas izmaiņas, nepieciešams regresorus papildināt ar laiku **T**, kas pagājis pēc meliorācijas.

Šīs parādības skaidrošanai un rezultātu formalizēšanai visus transektus ar nokrišņu uztvērējiem sadalījām divās grupās. Vienā grupā transekti (1., 5., 6., 7., 8.), kas ierīkoti vai nu jaunaudzēs, vai audzēs, kuru augšanas gaitā noticis krass lūzums sakarā ar meliorāciju. Otrā grupā (pārējie transekti) ietilpst audzes sausieņu mežos, kā arī kokaudzes senāk daļēji nosusinātajos mežos 4. un 5. sateces baseinos. Novērojumu periods ir pietiekoši ilgs, un to varam sadalīt divās daļās, lai detālāk izsvērtu iespējamās intercepcijas izmaiņas divdesmit gados pēc meliorācijas, kas kalendārā iekrīt 1968.–1987. gados.

Intercepcijas mērījumi veģetācijas periodā formalizēti kā funkcijas $I = f(N, n, T)$ lineārās regresijas vienādojums, kur **N** – nokrišņi mm; **n** – lietus dienu skaits, kurās $N \geq 1,0$ mm; **T** – laiks, kas pagājis pēc meliorācijas gados. Pirmajā (jaunaudzju un meliorēto mežu) kopā $I_1 = 0,17N + 0,78n + 2,0T - 31$. Otrajā (sausieņu mežu) kopā $I_2 = 0,20N + 0,52n - 0,4T + 16$; ierobežojumi $170 < N < 700$; $30 < n < 80$; $8 < T < 45$.

Pirmajā kopā regresijas vienādojums izskaidro 79 % no intercepcijas svārstībām pa gadiem, nokrišņu **N** ietekme sastāda 58 %, lietus dienu skaits – 6 %, laiks pēc nosusināšanas – 15 %. Otrajā kopā ar izvēlēto argumentu (**N**, **n**, **T**) svārstībām var izskaidrot 73 % no intercepcijas svārstībām.

Pirmajā kopā intercepcija pieaugusi par 2 mm gadā, otrajā kopā, palielinoties koku augstumam, pastiprinās vēja ietekme uz intercepciju, un koku vainagos aizturētais ūdens daudzums nedaudz samazinās.

Izmantojot šos regresijas vienādojumus, aprēķināts, cik ilgā laikā pēc meliorācijas bijušo purvu mežaudzēs intercepcija kļūst tāda pat kā sausieņu mežos ar normālu ($\geq 0,7$) vainagu slēgumu. Atrisinot vienādojumu $I_1 = I_2$ pie vidējiem rādītājiem $N = 451$ mm un $n = 56$, iegūstam $T = 20$. Līdzīgas atbildes iegūstam, ja vienādojumus atrisinām pie $N_{\max} = 700$ mm un $n_{\max} = 80$,

kā arī pie $N_{\min} = 170$ mm un $n_{\min} = 30$.

Tātad mežos, kuros nav veiktas kailcirtes, intercepcija visticamāk kulminē pēc 20 gadiem kopš platību nosusināšanas. Atbilstoši rezultātam varam sagaidīt, ka intercepcija visintensīvāk palielinās pirmajos divdesmit gados pēc nosusināšanas. Šo pieņēmumu pārbaudījām, apkosimējot intercepciju laika posmā 1968.–1980. g., t.i., kokaudzes vainagu klāja formēšanās periodā:

$$I = 0,22N + 0,23n + 3,0T - 23.$$

Šinī laikā intercepcija palielinās vidēji par 3,0 mm gadā un 20 gadus pēc nosusināšanas $I = 149$ mm, ja $N = 451$ mm, $n = 56$.

Lai atbildētu uz jautājumu, vai izvēlētajā audžu kopā intercepcija palielināsies arī turpmākajos gados, apkosimēta intercepcijas laika posmam 1980.–2000. g. Iegūts vienādojums $I = 0,18N + 0,83n - 0,5T + 29$, kurā T ir ar mīnus zīmi, kas apstiprina pieņēmumu, ka intercepcijas kulminācijas laiks jau pagājis.

Veiktā analīze liecina, ka visticamāk nosusinātos mežos intercepcija veģetācijas periodā (maijs–oktobris) ir par 60 mm lielāka nekā pārmitrajās mazražīgajās mežos ar vainagu slēgumu mazāku par 0,7.

Pagaidām mēs neprotam noslēgt kopējo ūdens bilanci atsevišķās mežaudzēs. Tas iespējams vienīgi noteces baseinos, kur audžu struktūra nereti ir visai raiba. Vesetnieku stacionāra 5 baseinos atšķirīgā daudzumā pārstāvētas dažādas struktūras mežaudzes, un zinot, cik lielu daļu no baseina kopplatības aizņem ikviens no 10 analizētajām mežaudzēm, aprēķināts intercepcijas daudzums un līdz ar to arī augsnē nonākušo nokrišņu apjoms veģetācijas periodā:

Baseins	1	2	3	4	5
Intercepcija, mm 1985.–2000. g.	125	122	118	124	133

Neatkarīgi no kokaudžu struktūras atšķirībām intercepcija baseinos atšķiras nedaudz. Tāpēc, ja nepieciešams novērtēt meža ūdensregulējošo lomu lielākās teritorijās ar nezināmu mežaudžu struktūru, lietderīgi izmantot vienu regresijas vienādojumu $I = 0,11N + 1,58n - 12$; standartnovirze 10 mm.

4.5. Sniega sega mežaudzēs

Ūdens daudzumu sniega segā pavasarī pirms kušanas nosaka meža ūdensregulējošās īpašības. Publikācijās varam atrast diametrāli pretējas atziņas par meža lomu teritorijas sniega krājumu izvietojumā. Rinda autoru, vispārinot savu mērījumu rezultātus, kā arī atsaucoties uz vietējo meteostaciju datiem, secina, ka pirms pavasara kušanas mežā sniega segā ūdens ir par 20 mm vairāk nekā klajumā [192, 211, 220, 224, 240, 257]. Tas skaidrojams ar lielāku ūdens iztvaikošanu no sniega klajumā nekā no sniega mežā. Šāda interpretācija tomēr uzskatāma kā pavirša, un to apliecinotie dati attiecināmi tikai uz tādām vietām, kur bieži mainās siltie un aukstie periodi. Svarīgi ir, ka sniegs ilgstoši neuzkrājas koku vainagos, bet veido tikai tradicionālo augsnes sniega segu. Tanī pat laikā no vainagos aizturētā daudzslāņainā sniega seguma ūdens iztvaiko daudz intensīvāk nekā klajumā. Ja vien sniegs mežā nepapildinās sniegpuķēnu laikā ar piensumu no lauka, meža sniega segā ūdens daudzums pirms kušanas ir mazāks nekā klajumā. Arī šādas atziņas apstiprina daudzas publikācijas [19, 43, 44, 54, 99, 133, 163, 181, 226, 242, 245, 252].

Pretrunīgās atziņas mūsaprāt skaidrojamas ar diviem cēloņiem. Vispirms nepareizi tiek aprēķināts ūdens daudzums klajumā, kas parasti ir plaši lauki. Meteostacijās sniega segu raksturo pirmkārt pie atsevišķām latām, vai arī sniegu apraksta speciālos pārgājienos. Lielos laukos sniega pārpūšana ar vēju ir tik liela, ka izmantotā metodika nenodrošina ticamus rezultātus. Otrkārt, sniega sega mežā nereti tiek izmērīta vai nu kādā meža pudurī, vai arī meža malā, un tādējādi netiek raksturoti sniega krājumi meža masīvos.

Ūdens daudzuma neprecīzi aprēķini sniega segā nereti izraisa kļūmīgas plūdu prognozes, kas rosina hidrologus nevajadzīgi meklēt kādus citus faktorus, kas it kā reglamentē plūdu norisi [173].

Juceklīgas un pretrunīgas atziņas par atšķirīgas struktūras mežaudžu ietekmi uz sniega segas teritoriālo pārdalījumu izraisa mērījumu rezultāti, kas iegūti, salīdzinot dažus novērojumus plašajā laukā un mežā [211]. Pretrunu var mīkstināt, ja kokaudžu struktūras ietekmi analizē, to salīdzinot ar sniega segas parametriem meža laucē. Pavasaros pirms sniega kušanas meža laucēs sniega ir vairāk vai vismaz tikpat, cik tā ir zem kokaudzes



Priežu, bērzu audzēs sniega segas biežums un blīvums parasti ir vienādi.

vainagu klāja. To apstiprina arī mūsu sniega segas mērījumi Vesetnieku stacionāra mežos, kur atšķirīgas struktūras kokaudzēs pa tiem pašiem transekciem, kur vasarā mēra augsnē nonākušos nokrišņus, katru mēnesi 600–1200 punktos tika mērīts sniega segas biežums un katrā piektajā punktā – sniega blīvums (g cm^{-3}).

Līdzīgi kā intercepcijas likumsakarību izpētē, arī sniega segas parametru analizē mežaudzes lietderīgi sagrupēt jaunaudzēs, priežu, bērzu audzēs un egļu audzēs.

Kaut arī sniegs klāj visu augsni, sniega segas biežums mežā raksturojams kā varbūtīgs rādītājs. Ja laucē sniega segas biežums nepārsniedz 10 cm, tad kokaudzēs tas mainās atkarībā no zemes virsas reljefa: zemākās vietās sniega sega ir biežāka nekā līdzenajā laucē. Piemēram, 1972. gada janvārī sniega sega laucē bija 10 cm bieza, bet priežu, bērzu audzēs biežums svārstījās robežās no 2 cm līdz 15 cm ar modālo vērtību 3 cm un aritmētisko vidējo 5,3 cm. Sniega segas biežuma empīriskais sadalījums būtiski atšķirās no normālā sadalījuma (sadalījumam ($\chi^2_{\text{fakt}} = 60,0 > \chi^2_{0,01} = 11,1$).

Periodos, kad sniega segas biezums laucē nepārsniedz 10 cm, sniega segas biezuma empīriskajiem rādītājiem mežaudzēs 90 % gadījumu ir strikta kreisā asimetrija un tie neatbilst normālajam sadalījumam. Ja laucē sniega segas biezums ir 11–15 cm robežās, tad mežaudzēs aptuveni 50 % gadījumu jau veidojas normālais sadalījums. Pie sniega segas biezuma laucē virs 20 cm nav neviena gadījuma, kad empīriskais biezuma rādītāju sadalījums atšķirtos no normālā sadalījuma.

Empīrisko sadalījumu neatbilstība normālajam sadalījumam ierobežo mūsu iespējas prognozēt viena fiksēta sniega segas biezuma sastopamību mežaudzēs. Tomēr hidroloģijā, ekoloģijā un mežsaimniecībā svarīgi ir tikai trīs sniega segas parametri: vidējais augstums, biezums mazāks par 10 cm un biezums lielāks par 30 cm. Pirmais parametrs nepieciešams, lai aprēķinātu ūdens daudzumu sniega segā. Ja segas biezums nepārsniedz 10 cm, tad sniegs vēl praktiski neietekmē mežizstrādes darbus un neierobežo meža zvēriem izmantot dabisko barību. Ja segas biezums pārsniedz 30 cm, tad virs sniega saglabājas tikai 5 % no krūmāju biomasas, pasliktinās transporta iespējas un aprūtinās mežizstrādes pasākumi [73]. No otras puses – zem biezas sniega segas augsnes virskārtā temperatūra ir tuvu nullei [70], kas pozitīvi ietekmē gan daudzgadīgos lakstaugus, koku dīgstus un arī meža kaitēkļu kūniņu pārziemošanu.

4.5.1. Ūdens daudzums sniega segā

Ūdens daudzumu sniega segā apsekojamā teritorijā nosaka segas biezums un blīvums. Sniega segas vidējais blīvums mežaudzēs cieši korelē ($r = 0,99$) ar sniega segas biezumu laucē. Tas nodrošina iespēju izstrādāt ticamus regresijas vienādojumus sniega segas biezuma aprēķināšanai trīs izvēlētajās mežaudžu grupās.

Jaunaudzēs $B_1 = 0,99B_0 - 3$, kur B_0 – sniega segas vidējais biezums laucē (cm); regresijas standartnovirze $s = 2,14$ cm, standartklūda 1,0 cm, kas pie sniega blīvuma 0,20 sastāda $\pm 2,0$ mm ūdens.

Priežu, bērzu audzēs $B_2 = 0,84B_0 - 3$, regresijas standartnovirze $s = 1,78$ cm, standartklūda ar 90 % ticamību ir 0,8 cm, kas pie sniega blīvuma 0,20 sastāda $\pm 1,6$ mm ūdens.

Egļu mežos $B_3 = 0,67B_0 - 2$, regresijas standartnovirze $s = 2,66$ cm, standartklūda ar 90 % ticamību ir 1,2 cm, kas pie sniega blīvuma 0,20 sastāda $\pm 2,4$ mm ūdens.

Visās mežaudžu grupās vienādojumi izmantojami, ja $6 \text{ cm} \leq \mathbf{B}_0 \leq 60 \text{ cm}$ un, ja $\mathbf{B}_0 \geq 15 \text{ cm}$, tad ūdens daudzuma aprēķinu relatīvā kļūda nepārsniedz 10 %.

Minētās likumsakarības nodrošina iespēju izskaitļot ūdens daudzumu sniega segā meža masīvos, izmantojot meteostaciju datus. Latvijā dati par sniega segas parametriem tiek ievākti apmēram 120 vietās, atstatums starp tām nepārsniedz 30 km. Ja atstatums nepārsniedz 15 km, tad sniega segas biezuma atšķirības reti (5 %) pārsniedz $\pm 2 \text{ cm}$ [130], kas pie sniega blīvuma 0,20 nepārsniedz $\pm 4,0 \text{ mm}$. Tas sastāda tikai ap 6 % no ūdens daudzuma sniega segā kušanas sākumā. Ir pieejama informācija par mežaudzes struktūru mežsaimniecībās, lai prognozētu iespējamās plūdu briesmas izvēlētajā teritorijā.

Ūdens daudzuma aprēķinu ticamība, ko izskaitļojam ar sniega segas biezuma vienādojumiem, atkarīga arī no sniega blīvuma mežaudzēs. Lai noskaidrotu lietderīgās korekcijas, mēs salīdzinājām sniega blīvumu laucē un mežā laikā no novembra pēdējās dekādes līdz aprīļa pirmajai dekādei. Sniega blīvums laucē šajā laikā svārstījās no 0,10 līdz 0,39. Laucē sniega blīvums tikai 5 % no mērvietu skaita pārsniedza 0,04. Mežaudzē sniega blīvums saistās arī ar dzīvās zemesdes struktūru, un jaunaudzēs sniega sega ir irdenāka, bet egļu mežos blīvāka nekā tā ir laucē. Starpība tomēr novērtēta kā nejauša: jaunaudzēs $t = 0,17$, priežu, bērzu audzēs $t = 0,22$ un egļu audzēs $t = 0,17$ pie $t_{0,05} = 2,0$.

Varam secināt, ka sniega blīvuma iespējamās atšķirības laucē un mežā būtiski neietekmē ūdens daudzuma apzināšanu teritorijā pirms sniega kušanas. Piemēram, laucē sniega segas biezums $\mathbf{B}_0 = 40 \text{ cm}$, blīvums 0,20. Tādā gadījumā atbilstoši regresijas vienādojumam priežu, bērzu mežos ūdens daudzums sniega segā ir 61 mm. Ja tomēr sniega blīvums mežā ir 0,22, tad ūdens daudzums sniegā ir 67 mm; 6 mm starpību daudzos gadījumos var pieņemt kā nebūtisku.

Vienādojums $\mathbf{B}_1 = f(\mathbf{B}_0)$ raksturo arī sniega daudzumu, kas aizzināts koku vainagos. Jaunaudzū vainagos aizzinātā sniega daudzums visbiežāk nav lielāks par 2,6 cm; pie sniega parastā blīvuma 0,20 ūdens daudzums ir 5,2 mm. Šis rādītājs ir visai tuvs tam lielumam, kas raksturo intercepciju vasarā spēcīgu (ap 30 mm) lietus laikā – 4,5 mm.

Arī citādas struktūras audzēs sniega segas biezums, kā arī koku vainagos aizzinātā ūdens daudzums izmainās proporcionāli sniega segas biezumam meža laucē. Priežu, lapu koku audzēs sniega sega ir 17 %, bet egļu

mežos – par 34 % sniega sega plānāka nekā laucē. Šie rādītāji ir modālie lielumi, taču sniega segas biezums un ar to saistītais vainagos aizturētais ūdens daudzums pa teritoriju variē samērā plašās robežās. Piemēram, ja laucē sniega segas biezums ir 50 cm, tad visticamāk, ka priežu audzes vainagos ir aizķēries 22 mm ūdens, un 5 gadījumos no 100 iespējams, ka ūdens daudzums vainagos sasniedz 29 mm vai 290 t ha⁻¹. Ja otrās vecumklases priežu audzē ir 2500 koku, tas nozīmē, ka ikvienas priedes vainagā uzkrājusies 116 kg papildus slodze. Priedei kā gaismasprasīgai sugai galvenais uzdevums ir rauties uz augšu un uzvarēt konkurences cīņā kaimiņu kokus. Par stumbru un vainagu nostiprināšanu tiek maz domāts. Ir mērījumi [35], kas liecina, ka priedes stumbru caurmēri tikai 1,6 reizes pārsniedz to minimālo caurmēru, kas nepieciešams, lai koks spētu noturēt savu vainagu. Ja ikvienas izstīdžējušas priedes galotnē sāk šūpoties 116 kg smags papildus objekts, kas ir tikpat smags kā viss vainags bez sniega, nav grūti prognozēt daudzu priežu likteni. Tas ir mežkopības risks, ko var samazināt, neveidojot pārmērīgi biezas priežu jaunaudzes, kur visi vainagi izvietojas plānā klājā tievu priedīšu pašās galotnēs. Jo garāks vainags, jo mazāks risks.

Kaut arī egļu mežā koku vainagos var uzkrāties vēl vairāk sniega nekā citur, vainagu forma un lokanie zari parasti veiksmīgi izlīdzina sniega slodzi, un egļu mežos snieglauzes atgadās retāk nekā priežu mežos.

4.5.2. Sniega segas biezums

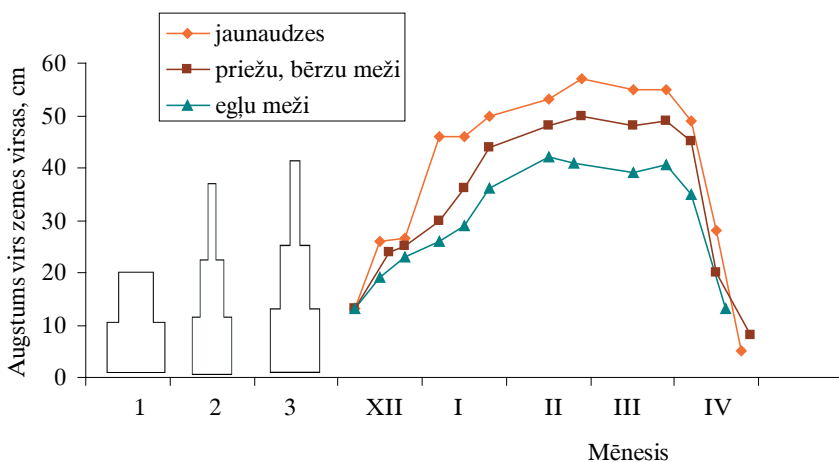
Lietderīgi atcerēties, ka sniega segas biezuma svārstības mežaudzēs ir daudz lielākas nekā klajumā, kur parasti notiek meteoroloģiskie novērojumi. Piemēram, 1970. gada februārī Gureļu hidrometeoroloģiskajā stacijā sniega segas biezums klajumā svārstījās no 52 cm līdz 57 cm, bet mežos – no 20 cm līdz 72 cm. Sniega segas biezumam ir nenoliedzama ietekme uz meža pārnadžu barības bāzes pieejamību ziemā. Vesetnieku stacionārā astoņās ziemās pēc kārtas mērīti sniega segas parametri 900–1200 vietās. Sniega segas raksturojumam ir lietderīgi izdalīt trīs būtiski atšķirīgas meža nogabalu grupas: jaunaudzes (līdz 20 gadu vecumam) un izcirtumi, priežu un lapu koku audzes un egļu audzes. Par priežu un lapu koku apvienotās paraugkopas veidošanas lietderību liecina sniega segas parametru salīdzinājums priežu tīraudzē (10P) un priežu-bērzu mistraudzē (5P5B).

		1969.	1973.	1977.	1981.	1985.
Sniega segas biezums, cm	10P	17,3	7,2	26,8	15,8	14,0
	5P5B	15,2	7,0	26	14,0	12,5
Blīvums, g cm ⁻³	10P	0,12	0,18	0,20	0,12	0,14
	5P5B	0,16	0,21	0,22	0,14	0,15

Priežu tīraudzēs sniega sega ir nedaudz biezāka, taču arī nedaudz irdenāka nekā mistraudzē. Tāpēc ūdens daudzums abās audžu grupās uzkrātajā sniegā ir visai līdzīgs: **10P** – 25,4 mm, **5P5B** – 27,0 mm.

Mežaudžu iedalījums grupās ļauj noteiktāk aplūkot divus nozīmīgus jautājumus: a) novērtēt sniega segas biezuma un blīvuma ietekmi uz izmantojamo sīkkrūmu masu ziemas ganībās un b) aprēķināt sakarības starp sniega segas biezumu klajumā un meža grupās, lai varētu izmantot hidrometeoroloģiskās stacijās uzkrātos mērījumus.

Sīkkrūmu tilpuma vertikālais sadalījums mētrāja meža tipā (J. Ziediņa dati) [73] un sniega segas biezums pa mežaudžu grupām aukstajā un sniega bagātajā 1969./70. gada ziemā ilustrēts 13. attēlā. Barības bāzes zemākās saaudzes veido brūklenājs – 81 % no kopējās biomasas ir koncentrēta līdz 10 cm augstā joslā, bet 20 cm augstumu brūkleņu mētras vispār nepārsniedz.



13. attēls. Vertikālais dažu krūmu un sniega segas sadalījums 1969. –70. gada ziemā (1 – brūklenājs, 2 – mellenājs, 3 – virši).

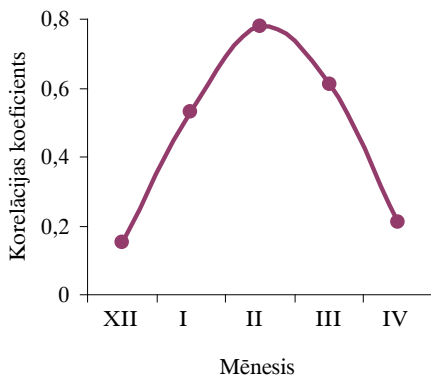
Mellenājiem ziemas ganībās nav lapu, bet to stiebriņi ir ļoti vērtīga barība visiem briežu dzimtas dzīvniekiem, sevišķi stirnām. Galvenā mellenāju biomasa koncentrējas 20 cm augstā joslā virs zemes, bet diezgan daudzi dzinumi (18 % no kopējās biomasas) sasniedz 20–30 cm augstumu, vai pat nedaudz pārsniedz 30 cm (2 %). Lielāku augstumu sasniedz virši, bet arī šo sīkkrūmu kopējā tilpuma lielākā daļa (61 %) ir koncentrēta līdz 20 cm augstā joslā; tikai 11 % – no 20 cm līdz 30 cm augstumā, bet dzinumu tilpums garākiem viršiem par 30 cm veido tikai 5 % no kopējā.

Sīkkrūmu atkaššana no sniega stipri palēnina barības uzņemšanu ziemas ganībās arī tad, ja sniegs vēl ir irdens un nav izveidojusies sērsna. Līdz 10 cm dziļš sniegs jūtami netraucē stirnu un briežu barošanos, 10–20 cm bieza sniega sega jau krasi samazina izmantojamās sulīgās barības rezerves, bet neapdraud dzīvnieku eksistenci. Kritiska robeža sīkkrūmu nogaišanā iestājas tad, kad sniega sega pārsniedz 30 cm biezumu. Tādā gadījumā sulīgo sīkkrūmu barību dzīvnieki var iegūt tikai tad, ja nokasa sniegu, bet šādā veidā iegūstamā barība atrodama stipri izklaidus. Zemes virskārtas tuvumā koncentrētās sīkkrūmu biomasas galvenā daļa (līdz 20 cm augstumam – 84 %) ir pieejama tikai atsevišķās vietās un vājākie dzīvnieki to vairs nespēj izmantot.

Uzņemamās barības vielas izkliedi palielina arī atšķirīgais sniega segas biezums dažādās kokaudzēs. Aplūkotajā piemērā (sk.13. att.) decembrī sniegs vēl ir plāns (blīvums 0,12–0,16) un tā biezums pa mežaudžu grupām daudz neatšķiras. Ziemas ganību stāvoklis viscaur ir apmierinošs. Janvārī jaunaudzēs un izcirtumos augošie sīkkrūmi vairs nav izmantojami un kopējā ganību platība jūtami samazinās. Kritisks stāvoklis izveidojas februārī un martā, kad sniega segas biezums visās mežaudžu grupās pārsniedz 30 cm un sniega blīvums sasniedz 0,26. Par vienīgo sulīgās barības rezervi kļūst krūmu un koku dzinumi vai miza. Rudenī uzkrātās rezerves šajā periodā ir jau izsmeltas. Analizētajā ziemā bojā aizgāja apmēram 60 % no Kalsnavas stirnu populācijas.

Sniega segas pakāpeniska sablīvēšanās ziemas periodā ir likumsakarīga, šo procesu papildus veicina īslaicīgi atkušņi. Pasliktinoties ziemas ganībām, stirnas novājē, un kritiskais periods gandrīz vienmēr iestājas ziemas otrajā pusē. Lai precizētu šos apsvērumus, izmantojām datus par sniega segas biezumu pa mēnešiem un kritušo stirnu skaitu pa gadiem laikā no 1954. līdz 1974. gadam Jaunjelgavas, Kuldīgas, Alūksnes un Kokneses mežrūpsaimniecībās. Visos gadījumos kritušo stirnu skaits visciešāk saistās

ar sniega segas biezumu februārī un martā – korelācijas koeficients $r = 0,74$ un $r = 0,63$. Janvārī sakarība ir nedaudz vājāka ($r = 0,52$), bet decembrī un diemžēl aprīlī pat bieža sniega sega nav dzīvnieku skaita samazināšanās iemesls (14. attēls). Kā konkrētu piemēru var minēt 1993. gada rudeni, kad novembra beigās izveidojās stabila snīga sega, kas decembrī visās mežaudzēs pārsniedza 30 cm biezumu. Ziemas vidū sniega segas biezums pakāpeniski samazinājās, un barības trūkums neietekmēja stirnu bojā eju.



14. attēls. Korelatīvā sakarība starp ziemā bojā gājušo stirnu skaitu un sniega segas biezumu.

Nenoliedzami, ka ļoti liela ir ģeogrāfiskās atrašanās loma uz faktiski izmantojamo sīkrūmu masu. Salīdzinot līdzīgas mežaudžu grupas Kalsnavā un Kuldīgas apkārtņē, izrādījās, ka ziemas ganībās izmantojamā sīkrūmu masa līdz 30 cm augstumam Kuldīgas tuvumā ir apmēram piecreiz lielāka nekā Kalsnavas mežos.

Protams, ka visā Latvijas teritorijā ir novērojamas ziemas ar atšķirīgiem sniega apstākļiem. Mūsu ilggadīgo novērojumu dati tomēr liecina, ka Kalsnavas apkārtņē vidēji katru trešo gadu februārī sniega sega ne vien jaunaudzēs un priežu, bērzu audzēs, bet arī egļu audzēs pilnīgi nosedz sīkrūmus līdz 40 cm augstumam, un izveidojas kritiski apstākļi stirnu izdzīvošanai. Turpretī Kuldīgas apkārtņē sniega segas biezums februārī egļu audzēs tikai retumis (varbūtība 0,25) pārsniedz 30 cm.

4.5.3. *Sniega kušana*

Kūstot sniegam, iezīmējas viena no svarīgākajām meža ūdens regulējošām īpašībām. Sniega kušanas gaitā lietderīgi izdalīt divas fāzes. Pirmajā fāzē notiek sniega sablīvēšanās un sniega struktūras izmaiņas. Šajā fāzē ūdens neplūst. Otrajā fāzē sniega sega ir piesātināta ar izkusušo ūdeni, gravitācijas spēku ietekmē ūdens sāk plūst un promtekās vērojama noteces palielināšanās.

Meža klātbūtne sateces baseinos izpaužas jau pirms kušanas iesākšanās, jo kokaudzes vainagos aizturētais sniegs iztvaiko intensīvāk un pavasarī mežos ir mazāk sniega nekā klajās vietās. Nelielās birzēs lauku vidū (oāzes efekts) pirms kušanas sniega krājumi tomēr var būt lielāki par sniega krājumiem klajumā, un šādās birzēs veidojas savdabīga radiācijas-siltuma bilance. Birzēs sniega kušana risinās savādāk nekā meža masīvos. Mūsu novērojumu rezultātus var ekstrapolēt tikai uz mežiem, kas aizņem vismaz 50 ha platību.

Kaut arī sniega kušanas režīms galvenokārt ir atkarīgs no meteoroloģiskajiem faktoriem, tomēr kokaudzes struktūra vērtējama kā iespaidīgs šo faktoru ietekmes pārdalītājs. Piemēram, ja sniegs kūst saules radiācijas tiešā ietekmē, intensīvāk nokūst klajumi, kaut arī sniega krājumi tur ir lielāki. Enerģijas pieplūde ar silto gaisu atšķirības nogludina. Ja kušanas laikā uznāk lietus, vispirms sniegs nokūst egļu mežos, jo tā tur ir mazāk. Un pretēji – tā sauktos radiācijas pavasaros sniega kušana egļu mežos aizkavējas, neskatoties uz sniega mazāku apjomu. Tā kā limitējošo faktoru ietekme mainās pat viena pavasara ietvaros, sniega kušanas prognozes var būt tikai varbūtīgas, kaut arī ūdens krājumi sniega segā ir zināmi pietiekoši precīzi.

Analizējot plašo literatūru [43, 109, 157, 167, 181, 223, 228, 240, 425], varam izdalīt vairākas vispārējas likumsakarības: 1) pavasara plūdi kulminē vēlāk nekā vērojama visintensīvākā sniega kušana; 2) pavasara plūdu laikā pa upēm aiztek mazāk ūdens nekā tas bija uzkrāts sniega segā; 3) sniega kušanas otrā fāze mežos iestājas par apmēram divām nedēļām vēlāk, salīdzinot ar kušanu klajumā; 4) kušanas otrā fāze mežā turpinās divkārt ilgāk nekā klajumā.

Šis likumsakarības izpaužas arī, analizējot sniega kušanas gaitu Vesetnieku stacionārā. Kušanas laikā sniega segas parametri izmērīti ik pēc trim dienām. Sakarā ar to, ka visa stacionāra teritorija ir klāta ar mežu, lielākos klajumos sniegs netika mērīts. Kokaudžu struktūras atšķirīgo ietekmi uz kušanas norisēm novērtējām, salīdzinot tās ar sniega kušanu laucē apmēram 1,0 ha platībā.

Kušanas sākumā laucē sniega sega vienmēr bija biezāka nekā zem kokaudzes klāja. Pirmā kušanas fāze, t.i., sniega segas sablīvēšanās mežā un laucē sākās vienlaicīgi. Tālākajā gaitā laucē sniega sega sablīvējās straujāk, un pēc zināma laika mežā sniega ir vairāk nekā laucē. Ar šo brīdi sāk izpausties meža ūdensregulējošā loma, kas turpinās, kamēr arī mežā viss sniegs nav nokūsis.

Gados ar plānu sniega segu (mazāka par 10 cm) sniegs pazūd vienlaicīgi mežā un laucē. Nelielas novirzes saistās ar nejaušām savdabībām – nogāzes slīpumu, ekspozīciju utml. Ar sniegu bagātos pavasaros mežos nokušana turpinās ievērojami ilgāk nekā laucē (14. tabula).

14. tabula

Sniega kušanas režīms Vesetnieku stacionārā

Gads	Sniega segas biezums pirms kušanas, cm			Periods, kurā sniega mežā bija vairāk nekā laucē	
	lauce	priežu, bērzu audze	egļu audze	priežu, bērzu audze	egļu audze
1968.	24	19	19	18.03–03.04	25.03–03.04
1969.	58	50	39	05.04–15.04	05.04–15.04
1970.	55	46	38	10.04–24.04	16.04–24.04
1971.	48	42	32	28.03–20.04	28.03–15.04
1972.	10	6	2	–	–
1973.	10	5	2	–	–
1974.	32	26	18	13.03–03.04	23.03–05.04
1975.	12	10	7	05.03–10.03	05.03–10.03
1976.	33	26	20	30.03–12.04	–
1977.	43	31	25	23.03–19.04	09.04–17.04
1978.	28	23	19	25.03–10.04	28.03–15.04
1979.	59	50	40	07.04–25.04	07.04–28.04



Ceļa mālainai klātnei pieguļošo mežu applūšana (A) un kokaudzes panīkšana (B) dažu metru atstatumā no sausa grāvja.

Priežu, bērzu audzēs, kur saglabājas salīdzinoši bieza un vienmērīga sniega sega, kušana aizkavējas par 6–30 dienām (vidējais aritmētiskais – 15 dienas, standartnovirze – 10 dienas). Egļu mežos kušana var ilgt līdz 19 dienām (vidējais aritmētiskais – 9 dienas, standartnovirze – 7 dienas). Atšķirības sniega kušanas režīmā priežu, bērzu un egļu audzēs izraisa gan sniega segas, gan meteoroloģisko apstākļu dažādības.

Kušanas process nav strikti prognozējams. Varbūtiskie rādītāji liecina, ka 10 % gada sniegs var mežā nokust ātrāk nekā laucē. Taču tāda pat varbūtība ir arī tāda, ka mežā sniegs var kust 21–31 dienu ilgāk nekā laucē. Kā tas ietekmē upju noteci pavasara plūdu laikā, detālāk iztirzāts 7. nodaļā.

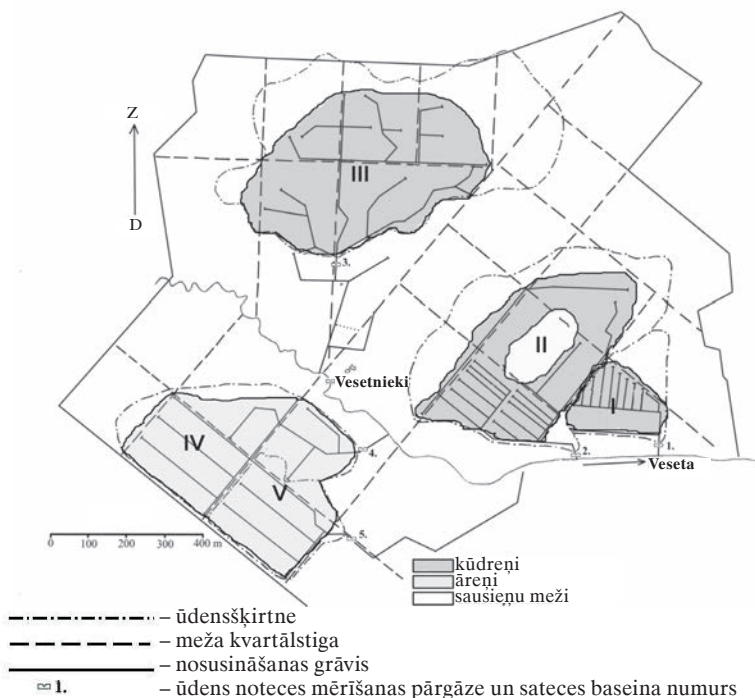
5. PAZEMES ŪDEŅU IZPLŪDES DINAMIKA

Pazemes ūdeņu potenciālās izplūdes iespējas pastāv 86 % no meža nogabaliem ar kūdras un 60 % no mežiem ar hidromorfām minerālaugsnēm. Tas norāda uz pazemes spiedes ūdeņu nenoliedzamo lomu augsnes pārmitrināšanas procesā, kaut augsnes pārmitrināšanās un mežu pārpurvošanās var notikt arī vietās, kur pazemes ūdeņi neizplūst.

Daudzās valstīs plaši izpētītas pazemes un gruntsūdeņu savstarpējās attiecības [108, 128, 161, 227, 240, 253]. Veiksmīgi atrisināti metodiskie jautājumi par pazemes ūdeņu izplūdes intensitāti, tāpat vairākos objektos izskaitlots gruntsūdeņiem pieplūstošais pazemes ūdeņu apjoms. Bieži pētījumi saistās ar pazemes ūdeņu līdzdalību upju vai mākslīgi ierīkotu promteku notecē. Lai vairākos aspektos novērtētu meža hidroloģiskās norises (ūdens vertikālā pieplūde un promplūde, summārā iztvaikošana, transpirācija, etc.), jāzina dati par ūdens pieplūdi meža ekosistēmā.

Latvijā pirmie pētījumi par pazemes ūdeņu pieplūdes likumsakarībām meliorētajos mežos uzsākti 1971. gadā Vesetnieku stacionāra teritorijā. Novērošanas aku ierīkošana notika divos etapos. Pirmajā etapā tika ierīkotas septiņas aku kopas divos transektos, kas raksturo 1., 2., 4. un 5. sateces baseinus. Pēc pieciem gadiem papildus ierīkojām vēl trīs aku kopas 3. sateces baseinā. Tādējādi 3. sateces baseinā varēja pārbaudīt tās likumsakarības, kas iezīmējās jau iepriekšējos mērījumos: pazemes ūdeņu līdzdalība ūdens notecē pa meliorācijas grāvjiem un šo ūdeņu pieplūde augsnes gruntsūdeņiem. Lietderīgi atzīmēt, ka ūdens režīma pētījumi 3. baseinā pilnīgi apstiprināja iepriekšējos gados iegūtās atziņas.

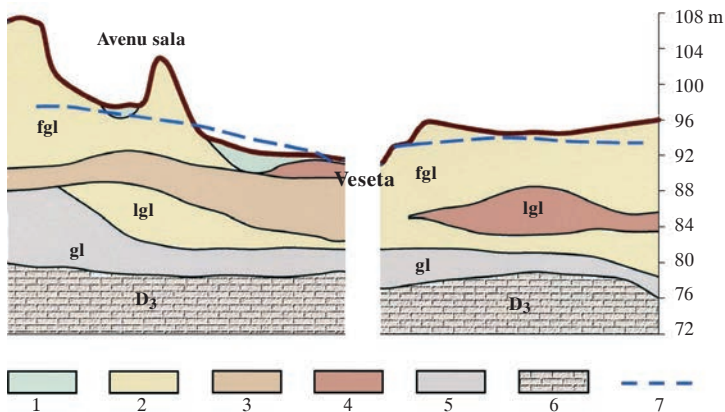
Vesetnieku stacionārs atrodas Vidzemes Centrālās augstienes dienvidu slīpumā un hidroģeoloģiskajā ziņā iekļaujas pazemes ūdeņu izplūdes zonā.



15. attēls. Vesetnieku ekoloģiskā stacionāra ūdens sateces baseinu shēma.

Stacionāram raksturīga samērā sarežģīta ģeoloģiskā struktūra (16. attēls). Jau 13–15 m dziļumā sākas Sargajevas horizonta augšdevona dolomīti ar spiedes ūdeņiem. Devona dolomītu augšējā virsa ir gandrīz horizontāla 77–79 m v.j.l. Dolomītu sedz ūdens necaurlaidīgs 2,5–7,0 m bieza limnoglacialo morēnas mālsmilšu vai smilšmālu slānis, ko savukārt sedz vēl viens smilšmālu vai pat smago mālu slānis. Virs šī otrā sprostslāņa guļ 2–15 m biezas fluvioglacialo smilšu nogulas, kas veido minerālās grunts augšējo daļu.

Ierīkojot 15–30 m dziļas novērošanas akas, ņemām grunts paraugus, pēc kuru granulometriskā sastāva laboratorijā tika izskaitļots filtrācijas koeficients pēc Hāzena formulas $k = 800 d_k^2 m dn^{-1}$, kur d_k – grunts darbīgo daļiņu caurmērs, ko aprēķina no vienādojuma $d_k^{-1} = 3,00A + 0,60B + 0,15C$, kur **A**, **B**, **C** – grunts daļiņu skaits (%) ar diametru mazāku par 0,01 mm, 0,01–0,05 mm un 0,05–0,10 mm.



16. attēls. Hidroloģiskās uzbūves shēma Vesetnieku stacionāra teritorijā.
 1 – kūdra; 2 – smiltis; 3 – smilšmāls; 4 – māls; 5 – mālsmiltis; 6 – dolomīts;
 7 – pazemes spiedes ūdeņu pjezometriskais līmenis.

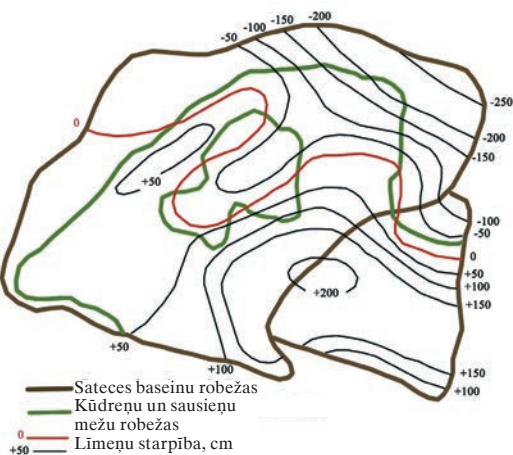
Fluvioglaciālo smilšu slānī $\bar{k} = 1,23 \text{ m dn}^{-1}$, standartnovirze $s = 0,61 \text{ m dn}^{-1}$, limnoglaciālajās smiltīs $\bar{k} = 1,88 \text{ m dn}^{-1}$, $s = 0,74 \text{ m dn}^{-1}$. Ūdens sprosts slāņu filtrācijas koeficientus mēla un smilšmēla slāņos noteicām ar ūdens atsūkņēšanas paņēmieni. Šim gruntīm $\bar{k} = 0,016 \text{ m dn}^{-1}$, $s = 0,006 \text{ m dn}^{-1}$. Iegūtie rādītāji tālāk izmantoti pazemes spiedes ūdeņu izplūdes aptuveniem aprēķiniem.

Gruntsūdeņu (augšnes gruntsūdeņu) un pazemes spiedes ūdeņu attiecības shematiski atspoguļo 16. attēlā. Vesetas kreisajā krastā ar Avenu salu vērojams samērā stāvs pjezometrisko līmeņu kritums: no upes līdz Avenu salai aptuveni 800 m atstatumā pjezometriskais līmenis pieaug par 4,3–4,8 m, t.i., ūdens slīpums i sasniedz 0,006. Meža nogabalos lejpus Avenu salas pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis pārsniedz zemes virsu par apmēram 80 cm. Šeit izveidojusies īpaši pārmitrināta zona, un kūdras slāņa biezums pārsniedz 4 m. Fašinu drenas, kas ierīkotas šajā vietā, nespēj pietiekoši intensīvi drenēt pieplūstošo ūdeni. Sateces baseina augšējā malā aiz Avenu salas pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis ir zemāks par augšnes gruntsūdeņu līmeni. Vesetas labajā krastā pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis dolomīta slānī ir ievērojami lēzenāks nekā kreisajā krastā. Līdzās upei (15. aka) pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis pārsniedz zemes virsu par 75 cm. Attālinoties no upes, pjezometriskais līmenis paaugstinās par aptuveni 0,2 m uz katriem 100 m attāluma – slīpums $i = 0,002$.

Upes labā krasta mežos pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis ir zemāks par augsnes gruntsūdeņu līmeni, un šeit pazemes ūdeņi nepapildina augsnes gruntsūdens krājumus. Tas atspoguļojas arī meža augsnēs – upes labajā pusē pārsvarā ir hidromorfās minerālaugsnes, un rupjā humusa slānis nepārsniedz 30 cm, kas liecina par lēnāku pārpurvošanās gaitu atšķirībā no upes kreisā krasta mežiem.

Pazemes ūdeņu izķīlēšanās likumsakarību detālākai izpētei lietderīgi apskatīt mūsu metodiku 1. un 2. sateces baseinā, kas atrodas Vesetas kreisajā krastā. Šo baseinu teritorijas ir atbilstoši 27,7 ha un 105,1 ha. Pārmitrā – tagad meliorētā daļa, t.i., tā daļa, kurā ir analizēta ūdens bilance pirmajā baseinā, aizņem 84 %, otrā – 56 % no baseina platības. Pazemes ūdeņu pieplūde augsnes gruntsūdeņiem iespējama pirmajā baseinā, iespējama visā nosusinātajā platībā, otrajā baseinā – uz 85 % no nosusinātās platības.

Uz baseinu plāna izvilktās pazemes ūdeņu pjezometriskā līmeņa h izolīnijas, kas iegūtas no mērījumiem četrās (16., 17., 19., 20.) augšdevona dolomīta izvēlētajās akās. Augsnes gruntsūdeņu līmenis mērīts 38 akās, nosakot tā augstumu virs jūras līmeņa (H). Izskaitļota līmeņu starpība $\Delta h = h - H$. Δh izolīnijas nodrošina iespēju atrast robežu starp pazemes ūdeņu barošanās un izplūdes teritorijām (17. attēls). Planimetrējot izmērīta platība starp izolīnijām un aprēķināts vidējais aritmētiskais spiediens $\Delta \bar{h}$



17. attēls. Pazemes ūdeņu pjezometriskā un gruntsūdeņu līmeņu starpība Vesetnieku stacionāra 1. un 2. sateces baseinā 15.09.93.

pazemes ūdeņu barošanās un izplūdes teritorijās. Izmantojot Darsi formulu, atklājās, ka pazemes ūdeņu barošanās robeža nesakrīt ar baseina ūdens šķirtnes robežu. Analizēto meliorēto baseinu ietvaros pazemes ūdeņu barošanā ik dienu iesaistās aptuveni 126 m^3 , bet izplūst 259 m^3 ūdens.

Kā jau varēja paredzēt, pazemes ūdeņu vidējais svērtais pjezometriskais līmenis h_p pa visu sateces baseinu cieši korelē ar vidējo svērto pjezometrisko līmeni novērošanas akās h ($r = 0,97$). Tas ļauj aprēķināt regresijas lineāro vienādojumu starp h_p un Δh : pirmajam baseinam $h_{b1} = 1,125 \Delta h - 1346$ (cm) un otrajam baseinam $h_{b2} = 1,167 \Delta h - 1740$ (cm). Visi rādītāji ir izteikti absolūtajos augstumos virs jūras līmeņa.

Pazemes ūdeņu izplūdes intensitāte $P_p = f(\Delta h, k, L)$, kur Δh – ūdens spiediens, k – filtrācijas koeficients un L – grunts slāņa biezums (filtrācijas ceļš). Veicot ilglaicīgos novērojumus vienā sateces baseinā, k un L var uzskatīt par nemainīgiem un P_p dinamiku var analizēt kā funkciju no Δh un h .

Kā jau atzīmējām iepriekš, mēs izskaitļojām galvenokārt tos pazemes ūdeņus, kas piedalās ūdens notecē pa grāvjiem. Notece Q ir atkarīga no augsnes gruntsūdens līmeņa H , kas savukārt atspoguļo atmosfēras nokrišņus, pazemes spiedes ūdeņu pieplūdi, pieplūdi no pieguļošajiem sausieņu mežiem un ūdens summāro iztvaikošanu ET . Tāpēc pazemes ūdeņu izplūdes režīms analizēts ziemā, kad evapotranspirācija $ET = 0$, un augsnes gruntsūdens līmeņa svārstības ΔH periodā (visbiežāk 10 dienas) nepārsniedz 1–2 cm. ΔH nelielā ietekme uz noteces apjomu koriģēta, izmantojot ūdens daudzuma izmaiņas 1,0 m biežā augsnes slānī.

Lai atšifrētu funkciju $P_p = f(\Delta h, k, L)$, kas ir pazemes spiedes ūdeņu līdzdalība ūdens notecē pa nosusināšanas tīklu, vispirms izskaitļota sakarība $q_p = \varphi(\Delta h, h)$. Tas nepieciešams, lai izslēgtu no pieguļošajiem sausieņu mežiem pieplūstošo ūdeņu līdzdalību ūdens notecē. Tāpēc funkcijas $q_p = \varphi(\Delta h, h)$ analīzei izmantoti tikai tie atsevišķie grāvji un slēgtās drenas, kuru sateces baseini atdalīti vismaz ar vienu norobežojošo grāvi no sausieņu mežiem.

Sateces baseinā analizējot meža ūdens bilanci, kuras sastāvdaļas, izņemot iztvaikošanu, tiek mērītas tilpuma mērvienībās, bet bilances vienādojums uzrakstīts ūdens slāņa biezuma, tātad milimetru izteiksmē, nepieciešams zināt analizējamās teritorijas platību. Platība ne vienmēr sakrīt ar virszemes robežšķirtnes iezīmēto teritoriju. Īpaši svarīga ir platību apzināšana meliorētajās teritorijās, kurās noteci mēra nosusināšanas grāvjos. Dažkārt šādos novērojumos [77] kļūmīgi tiek palielināts iztvaikojošā ūdens dau-

dzums un samazināti noteces rādītāji. Cēlonis tam ir sateces baseina platības izmaiņas laikā. Ja augsnes gruntsūdens līmenis ir dziļi, tad depresijas līkne starp grāvjiem ir tik lēzena, ka ūdens plūst paralēli grāvjiem pat 5–10 m atstatumā no tiem. Mežos ar kūdras augsnēm arī pie neliela virsas slīpuma ($i \approx 0,001$) 80 % no noteces pieplūst grāvīm tikai no augstākās platības pusēs. Kur tad varam novilkt apakšējo robežu? Piemēram, ar 90 % ticamību izskaitļot, ka gadījumā, ja vidū starp grāvjiem augsnes gruntsūdens līmenis atrodas 80 cm dziļumā, attālums, no kura ūdens plūst uz grāvi nepārsniedz 20 m. No šādas, nevis starpgrāvju platības arī lietderīgi izskaitļot pa grāvjiem aiztekošā ūdens daudzumu milimetru mērvienībās. Pie citiem ūdens līmeņiem grāvja sateces baseinam būs atšķirīga platība.

Līdzienās platībās, kur grāvju tīkls projektēts pa paralēlām līnijām, atsevišķu grāvju sateces baseina robežu bieži vien novelk pusceļā starp blakus grāvjiem. Tādā situācijā, ja, piemēram, atstatums starp grāvjiem pārsniedz 60 m, no mehāniski novilktām sateces baseina robežām ūdens grāvī nokļūs tikai nedaudz gadījumos, un notece, izskaitļota kā vidējais rādītājs pa visu šķietamo platību, tiks stipri samazināta un ar to saistītā iztvaikošana nepamatoti paaugstināta.

Lai iespēju robežās mazinātu kļūmes, nosakot sateces baseinu robežas atsevišķiem grāvjiem vai segtajām drenām, mērīts grunts ūdens dziļums vismaz divās aku rindās katrā sateces baseinā. Bez tam 30 vietās aprīkotas īpašas akas, kas izvietotas vienādmalu trijstūra (malas garums 10,0 m) virsotnēs. Ūdens līmeņa mērījumi ar 1 mm precizitāti ļauj noskaidrot, kā laikā gaitā izmainās ūdens plūsmas virziens. Sateces baseina robeža pieņemta tur, kur leņķi starp ūdens plūsmas virzienu un grāvja asi nepārsniedz 6° . Tādā vietā ūdens plūsma ir niecīga, un tikai 10 % no plūsmas apjoma virzās uz grāvi, un ar 90 % ticamību pieļaujam, ka ūdens ārpus šīm robežām nenonāks nosusināšanas grāvī.

Ar neatkarīgo mainīgo Δh un h svārstībām vienādojumā $q_p = \varphi(\Delta h, h)$ varam izskaidrot 87 % no noteces atšķirības pa atsevišķiem nosusināšanas grāvjiem – multiplās korelācijas koeficients $R = 0,93$ pie noteikumiem, ka ūdens pieplūde no pieguļošajiem sausieņu mežiem $P_m = 0$ un evapotranspirācija $ET = 0$.

Likumsakarības, kas izpaužas grāvju sateces baseinos, attiecinātas uz visu kopējo sateces baseinu. Tas rada iespēju pēc diviem samērā viegli iegūstamiem rādītājiem – vidējā pjezometriskā līmeņa (mērīts no zemes virsas) un pazemes spiedes ūdeņu spiediena Δh – izskaitļot, cik pazemes

spiedes ūdeņu P_p notek pa meliorācijas grāvjiem.

Matemātisko koeficientu aprēķināšanai izmantoti 23 mērījumu dati, kas iegūti piecās ziemās. Regresijas vienādojumi, kas raksturo pazemes ūdeņu izplūdes režīmu pirmajā sateces baseinā ir $P_{p1} = 0,022 \bar{h} + 0,004 \Delta \bar{h} - 3,61$, kur h un Δh izteikti centimetros, P_{p1} – milimetri diennaktī; ierobežojumi: $130 < \bar{h} < 200$ un $180 < \Delta \bar{h} < 230$. P_{p1} svārstības par 98 % izskaidrojamas ar h un Δh rādītāju atšķirībām, pie tam 95 % no svārstībām attiecas uz h un 3 % – uz Δh .

Otrajā sateces baseinā regresijas koeficienti ir līdzīgi iepriekš aprakstītajiem $P_{p1} = 0,022 \bar{h} + 0,004 \Delta \bar{h} - 2,24$; ierobežojumi: $80 < \bar{h} < 150$ un $130 < \Delta \bar{h} < 18$. P_{p2} izmaiņas par 95 % saistītas ar izmantoto regresoru atšķirībām; 91 % attiecas uz h un tikai 4 % – uz Δh . Nelielā Δh ietekme uz P_p ir viegli saprotama: pazemes spiedes ūdeņu pjezometriskais līmenis h cieši un pozitīvi korelē ($r = 0,95$) ar augsnes gruntsūdeņu augstumu H , un pie dziļiem gruntsūdeņiem pazemes spiedes ūdeņi vairs grāvī nenokļūst, kaut arī spiediens Δh saglabājas gandrīz nemainīgs, un intensīvi turpinās augsnes gruntsūdeņu papildināšana ar spiedes ūdeņiem.



Mūsu analīzes rezultāti liecina, ka viena sateces baseina ietvaros ar regresijas vienādojumu, kas satur divus regresorus, pietiekoši precīzi varam aprēķināt pazemes spiedes ūdeņu noteci pa grāvjiem. Atšķirīgas ticamības rezultātus iegūstam, ja paraugkopu veido vairāki sateces baseini. Piemēram, ja vienā paraugkopā apvienojam divus sateces baseinus, tad ar iepriekšējos aprēķinos pārlicinoši izmantotiem regresoriem h un Δh , varam izskaidrot tikai 78 % no P_p dispersijas, kur 64 % attiecas uz h un 14 % – uz Δh . Pārējie 22 % attiecas uz grunts un nosusināšanas sistēmas savdabībām (nosusināšanas tīkla biezumu, grāvju dziļumu un dibena slīpumu, zemes virsas slīpumu etc.). Lai šo rādītāju ietekmi skaitliski novērtētu, nepieciešama papildus informācija, kuras mūsu rīcībā pagaidām nav.

Sauszemes ekosistēmās, kuru ūdens bilanci nepiedalās pazemes ūdeņi P_p , pārmitro mežu hidrotehniskā meliorācija izmaina galvenokārt ūdens noteces dinamiku. Ūdenim vajag vai nu notecēt uz blakus esošiem grāvjiem (P_m), vai iztvaikot (ET). Turpretī mežos, kuru ūdens bilanci ietilpst P_p , nosusināšana, pazeminot augsnes gruntsūdens līmeni un palielinot Δh , rosina pazemes ūdeņu pastiprinātu izplūdi. Vesetnieku stacionāra pārmitrajās mežos pēc to nosusināšanas augsnes gruntsūdens līmenis pazeminājās par 25 cm, kas izraisīja spiediena Δh pieaugumu par tādu pašu lielumu. Izskaitļojot P_p kā spiediena funkciju regresijas vienādojumā $P_p = f(h, \Delta h)$, ieguvām rezultātus, ka pazemes spiedes ūdeņu papildinājums ūdens notecē pa grāvjiem pieaudzis vidēji par 0,10 mm dn⁻¹ (0,05 un 0,30 mm dn⁻¹ pie 95 un 5 % nodrošinājuma). Lietderīgi pieminēt, ka Igaunijas zemajos purvos pēc to nosusināšanas augsnes gruntsūdens apjoms palielinājies gadā no 50 līdz 300–400 mm [243].

Lai izpētītu ūdens pieplūdes dinamiku no pieguļošajām sausieņu platībām P_m , izmantojām sakarību $P_m = Q - P_p$. Šīs funkcijas aproksimācijā iekļauti iepriekš minētie piecās ziemās iegūtie 23 rādītāji. Rezultātā iegūti P_m regresijas vienādojums pirmajā baseinā $P_{m1} = 0,27 - 0,002\bar{H}_1$ un otrajā baseinā $P_{m2} = 1,43 - 0,015\bar{H}_1$, kur $25 < \bar{H} < 85$ cm; P_m aprakstīts mm dn⁻¹ un H – cm no zemes virsas.

Pieplūdes ūdeņu aprēķināšanai var izmantot arī Darsi vienādojuma modifikāciju: $P_m = BHki$, kur B – pārmitro un sausieņu platību saskares kontūras garums, H – ūdens plūsmas biezums, k – filtrācijas koeficients un i – plūsmas slīpums. Regresoru, izņemot B , vērtības variē gan laikā, gan telpā samērā plašās robežās, un viļņota reljefa objektos ir riskanta šāda vienādojuma lietošana. Tomēr atkārtotos novērojumos pieļaujams pieplūdes

atšķirību aprēķins, izmantojot sakarību $P_m = f(\bar{H})$, jo pārējie regresori ir nemainīgi atsevišķu sateces baseinu ietvaros.

Ja nosusināšanas tīkls darbojas normāli, tad no malas pieplūstošo ūdeņu apjoms P_m pie līdzīga augsnes gruntsūdens līmeņa H lielā mērā atkarīgs no kontūras garuma B , precīzāk, no kontūras garuma attiecības ar sateces baseina platību F . Piemēram, pirmajā sateces baseinā ikvienam nosusināto mežu hektāram atbilst 11 m saskares kontūra, bet otrajā baseinā – 58 m. Mūsu aprēķinātie regresijas vienādojumi uzrāda, ka pie augsnes gruntsūdens līmeņa sastopamajās robežās $45 < \bar{H} < 65$ cm pieplūstošo ūdeņu apjoms otrajā baseinā arī ir aptuveni piecreiz lielāks nekā pirmajā baseinā.

Šī sakarība izmantota, lai aprēķinātu P_m arī tādos sateces baseinos Vesetnieku un Popes stacionāros, kuros veikti ilgstoši augsnes gruntsūdens līmeņa mērījumi. Izskaitļoto rezultātu ticamība novērtēta tālākos aprēķinos. Aprēķinot evapotranspirāciju kā kokaudzes parametru funkciju un papildus ūdeņu pieplūdi $P_p + P_m$ kā ūdens bilances meklējamo locekli veģetācijas periodā piecu gadu laikā, starpība starp $P_p + P_m = ET - N \pm \Delta W$ un $P_p + P_m = f(h, \Delta h, H, B)$ nepārsniedza 10 mm.

Nenoliedzami, ka atšķirības papildus ūdeņu pieplūdē saistītas ar i un k , kā arī BF^{-1} rādītāju skaitliskiem lielumiem. Kaut arī pirmie divi rādītāji stipri svārstās pat viena neliela sateces baseina robežās, vidējās rādītāju svārstības prāvos sateces baseinos, kā rāda iepriekš veiktais aprēķinu salīdzinājums, atšķiras tikai nedaudz.

Astoņu gadu laikā (1972.–1979.) pa nosusināšanas grāvjiem Vesetnieku stacionārā pazemes ūdeņu P_p maksimālais pieplūdums sasniedza $1,5 \text{ mm dn}^{-1}$ (2. baseins) un pieplūde no pieguļošajām blakus platībām $1,3 \text{ mm dn}^{-1}$ (3. baseins). Vidējie papildus pieplūdes rādītāji mainās pa gada laikiem: pavasarī $P_p + P_m = 1,2 \text{ mm dn}^{-1}$, vasarā – $0,4 \text{ mm dn}^{-1}$, rudenī – $0,8 \text{ mm dn}^{-1}$, ziemā – $0,6 \text{ mm dn}^{-1}$, vidēji pa gadu – $0,7 \text{ mm dn}^{-1}$ (ar 5 % nodrošinājumu) (15. tabula).

Papildus ūdeņu pieplūde Vesetnieku stacionāra nosusinātajos
sateces baseinos, mm dn⁻¹

Sateces baseins	Baseina kopplata, ha	Baseina nosusī- nātā daļa, %	Pazemes ūdeņu izplūdes intensitāte		Pieplūde no blakus platībām		Papildus ūdeņu kopējā pieplūde	
			moda	robež- vērtības 95-5% nodroš.	moda	robež- vērtības 95-5% nodroš.	moda	robež- vērtības 95-5% nodroš.
1	27,7	84	0,50	0,08-1,20	0,07	0,02-0,16	0,40	0,10-1,40
2	105,1	56	0,45	0,02-1,50	0,50	0,20-1,10	0,60	0,20-2,60
3	141,5	66	0,47	0,04-1,30	0,58	1,18-1,30	0,62	0,20-2,70
4	62,6	90	-	-	0,12	0,00-0,40	0,12	0,00-0,40
5	31,0	94	-	-	0,08	0,00-0,30	0,08	0,00-0,30

Pazemes ūdeņu P_p pieplūdes rādītāji praktiski sakrīt ar tiem rādītājiem, kas pēc Darsi formulas aprēķināti, lai novērtētu augsnes gruntsūdeņu papildināšanos ar pazemes spiedes ūdeņiem, izmantojot dziļurbuma akās iegūtos grunts parametrus: starpība sastāda tikai 0,05 mm dn⁻¹. Tas liecina, ka pārmitros mežos dabiskās ūdens promtekas vāji drenē ūdeni saturošos grunts horizontus. Gada noteces apjoms gruntī zem meliorācijas grāvju gultnes nepārsniedz 20 mm. Tas ir niecīgs daudzums no pazemes ūdeņu pieplūdes meža augsnes gruntsūdeņiem, kas nepārtraukti noplūst pa grāvjiem. Tas arī ir cēlonis tam, ka pa meliorācijas grāvjiem augsnes gruntsūdeņu notece turpinās visu gadu, un nereti pazemes ūdeņu pieplūde veģetācijas periodā sasniedz 102 mm (1972. gads 2. baseins).

Sausajās vasarās (1975., 1976.), kad veģetācijas periodā nolist mazāk nekā puse no normas, vasaras otrajā pusē augsnes gruntsūdens pazeminās neierasti dziļi, tādējādi izraisot pastiprinātu pazemes ūdeņu pieplūdi augsnes gruntsūdeņiem. Šādās vasarās augsnes gruntsūdeņi visticamāk papildinās tikai ar pazemes spiedes ūdeņiem un no pieguļošajām sausienēm pieplūstošiem ūdeņiem. Lietus nokrišņi pilnībā izmantoti iztvaikošanai. Iztvaikošanā pastiprināti iesaistās arī augsnes gruntsūdeņi, kas samazina ūdens noteci pa grāvjiem. Sausajās vasarās pazemes ūdeņu papildus pieplūde nereti ir lielāka nekā noteces apjoms pa grāvjiem.

Mēs analizējam to pazemes ūdeņu pieplūdes daļu, kas piedalās notecē pa grāvjiem. Ja grāvji nav dziļi, tie drenē to augsnes un grunts slāni, no kura ūdens uzskatāms kā ieejas elements meža ekosistēmā. Tomēr arī samērā seklos (ne dziļāk par 1,5 m) grāvjos daļa no pazemes spiedes ūdeņiem izķīlējas tieši grāvjos, apejot līdzdalību meža ekosistēmas dzīvē. Kā iepriekš pieminēts, sausās vasarās pazemes spiedes ūdeņi, kas izplūst meža joslā starp grāvjiem, iesaistās iztvaikošanā un nepiedalās notecē. Tas ierobežo iespējas novērtēt pazemes ūdeņu ietekmi uz atsevišķo kokaudžu ūdens bilanci, jo spiedes ūdeņu līdzdalība notecē tiek aprēķināta vidēji pa visu baseinu, bet nenovērtētas paliek pazemes ūdeņu pieplūdes teritoriālās atšķirības baseina mozaikas ietvaros.

Ja attiecība starp filtrācijas koeficientu k un filtrācijas ceļa garumu L (kL^{-1}) saglabātos nemainīga pa visu sateces baseinu, tad pazemes ūdeņu izplūdes intensitāte būtu tieši proporcionāla spiedienam h – H . Tomēr morēnu smilšmāla kā ūdens sprosts slāņa biezums baseina ietvaros mainās 4–10 m robežās, un lietderīga slāņa biezuma izzināšana nav iespējama atsevišķos mežā nogabalos. Visai sarežģīti ir aprēķināt ūdens filtrācijas koeficientu māla sprosts slānī, jo tur ūdens pārvietojas caur māla spraugām.

Tādēļ pazemes ūdeņu izplūdes teritoriālo atšķirību izpētei jāizmanto īpašie indikatori. Tādi ir kūdras ķīmiskā sastāva rādītāji 55–75 cm dziļā kūdras slānī. Tādā dziļumā kūdra aktīvi nemineralizējas un vēl joprojām bieži applūst ar augsnes gruntsūdeņiem.

Lai noskaidrotu P_p atsevišķos meža parauglaukumos, mēs izmantojām trīs ķīmiskā sastāva rādītājus, kas raksturīgi augšējā devona dolomītiem: kalcija un magnija saturs ($mg\ 100^{-1}g$) un apmaiņas bāzu summa ($mg\ ekv.\ 100^{-1}g$). Starp šiem rādītājiem un ūdens spiedienu aprēķināta ne visai cieša, bet tomēr signifikanta korelācija $r = 0,47...0,52$ pie $r_{0,05} = 0,25$. Ar mazāko kvadrātu metodi izskaitļots lineārās regresijas vienādojums $x = b + a\Delta h$, kur b – fona ietekmes rādītājs, un a rāda, kā mainās augsnes ķīmisko īpašību rādītāji, mainoties spiedienam Δh .

Tādējādi pazemes ūdeņu izķīlēšanās intensitātes izskaitļošanai ikvienā no 30 parauglaukumiem izmantoti šādi rādītāji: vidējā pa visu sateces baseinu pazemes ūdeņu izķīlēšanās intensitāte P_p meliorācijas grāvī; vidējais spiediens Δh ; katra no trim izvēlētajiem ķīmiskajiem elementiem vidējais daudzums \bar{x} , kā arī vienādojums, kas raksturo sakarību starp ūdens spiedienu Δh un kūdras ķīmisko sastāvu. Eliminējot fona ietekmi (elementa daudzums pie $\Delta h = 0$), no regresijas vienādojumiem varam aprēķināt

pārējos koeficientus, lai ikvienā parauglaukumā no trīs ķīmiskajam saturam atbilstošiem kL^{-1} koeficientiem izrēķinātu vienu vidējo koeficientu un tam piederīgo pazemes spiedes ūdeņu pieplūdi P_p mm dn^{-1} . Pazemes ūdeņu pieplūdes vērtības, kas izskaitļotas atsevišķi saistībā ar kalcija un magnija koncentrāciju, kā arī ar apmaiņas bāzu summu, savā starpā korelē samērā cieši $r = 0,87...0,93$. Pa parauglaukumiem gada vidējā P_p piensese ūdens no-tecei pa grāvjiem svārstās robežās no 0,3 līdz 1,7 mm dn^{-1} (16. tabula).

16. tabula

Kūdras ķīmiskais sastāvs un pazemes spiedes ūdeņu izplūdes intensitāte
Vesetnieku stacionāra 30 parauglaukumos

Pa- raug- lau- kums	kL^{-1} vērtības, kas izskaitļotas no:				Δh , cm	Pieplūde P_p , mm dn^{-1}
	Mg	Ca	apmaiņas bāzu summa	vidēji		
1.	0,00086	0,00099	0,00126	0,00102	60	0,6
2.	0,00075	0,00069	0,00126	0,00090	60	0,5
3.	0,00126	0,00114	0,00141	0,00126	60	0,8
4.	0,00108	0,00060	0,00102	0,00090	70	0,6
5.	0,00033	0,00039	0,00033	0,00036	80	0,3
6.	0,00015	0,00048	0,00057	0,00039	100	0,4
7.	0,00024	0,00036	0,00027	0,00030	90	0,3
8.	0,00039	0,00027	0,00051	0,00039	70	0,3
9.	0,00057	0,00042	0,00054	0,00051	70	0,4
10.	0,00060	0,00048	0,00057	0,00054	60	0,4
11.	0,00087	0,00081	0,00093	0,00087	70	0,6
12.	0,00264	0,00219	0,00237	0,00240	70	1,7
13.	0,00093	0,00078	0,00087	0,00087	130	1,1
14.	0,00051	0,00060	0,00057	0,00057	160	0,9
15.	0,00066	0,00060	0,00069	0,00063	170	1,1
16.	0,00054	0,00054	0,00063	0,00057	190	1,1
17.	0,00039	0,00039	0,00042	0,00039	240	0,9
18.	0,00021	0,00030	0,00036	0,00030	230	0,7
19.	0,00021	0,00042	0,00075	0,00045	210	1,0
20.	0,00024	0,00036	0,00048	0,00036	230	0,9
21.	0,00021	0,00042	0,00048	0,00036	240	0,9
22.	0,00021	0,00033	0,00030	0,00027	210	0,6

Paurauglaukums	kL ⁻¹ vērtības, kas izskaitļotas no:				Δh, cm	Pieplūde P _p , mm dn ⁻¹
	Mg	Ca	apmaiņas bāzu summa	vidēji		
23.	0,00063	0,00042	0,00048	0,00051	220	1,1
24.	0,00078	0,00060	0,00060	0,00066	200	1,3
25.	0,00086	0,00078	0,00081	0,00082	190	1,6
26.	0,00057	0,00096	0,00087	0,00081	140	1,1
27.	0,00114	0,00111	0,00135	0,00120	90	1,1
28.	0,00081	0,00096	0,00129	0,00102	140	1,4
29.	0,00069	0,00090	0,00150	0,00102	150	1,5
30.	0,00099	0,00081	0,00126	0,00102	100	1,0

Kūdras auglība, tās piesātinājums 70 cm dziļumā ar biogēniem elementiem saistībā ar pazemes ūdeņu izķīlēšanās intensitāti ir veidojies vairāku simtgadu laikā. Pazemes ūdeņu izplūdes operatīvai izpētei uzsākām īpašus novērojumus. 30 parauglaukumos, kuros kūdras slānis biežāks par 2 m, ierīkojām speciālas akas. Katrā parauglaukumā izurbām trīs vienu metru dziļas akas vienādmalu trijstūra virsotnēs; trijstūra malas garums 10,0 m. Trijstūra centrā ieurbām ceturto aku precīzi divu metru dziļumā. Visas akas aprīkotas tā, lai ūdens dziļumu varētu izmērīt ar viena milimetra precizitāti. Kūdras slānī 1,0–2,0 m dziļumā noteicām ūdens filtrācijas koeficientu k un ūdens atdeves rādītāju μ . Ūdens līmeni mērijām ik pēc 3–5 dienām.

Izmantojot mērījumu rezultātus, noskaidrots: a) augsnes gruntsūdeņu plūsmas horizontālais virziens; b) augsnes gruntsūdeņu līmeņa slīpums un horizontālās plūsmas ātrums; c) augsnes gruntsūdens vertikālās plūsmas virziens un intensitāte 1,0 m dziļumā. Kā jau iepriekš minēts, augsnes gruntsūdeņi uzskatāmi kā ieplūdes elements meža ekosistēmā. Vertikālās plūsmas virziens un intensitāte aprēķināti, izmantojot vienādojumu $q = 0,001k(h - \bar{H})$ mm dn⁻¹, kur k – filtrācijas koeficients 1,0–2,0 m dziļā kūdras slānī, mm dn⁻¹; h – ūdens līmeņa dziļums trijstūra centrā ierīkotajā akā; \bar{H} – aritmētiskais vidējais ūdens līmenis trijstūra virsotnēs ierīkotajās akās.

Mērījumu rezultāti liecina, ka plūsmas intensitāte un pieplūstošo ūdeņu apjoms meža ekosistēmā svārstās neparedzēti plašās robežās. Veģetācijas perioda sešos mēnešos pazemes ūdeņu pieplūde 30 parauglaukumos vidēji svārstījās robežās no 0 līdz 56 mm; vidējā pieplūde ir 16 mm (17. tabula). Nosusināšanas tīklā, kas drenē parauglaukumus, pieplūde P_p sasniedza 87 mm.

17. tabula

Pazemes ūdeņu pieplūde P_p meža parauglaukumos un ūdens promtece Q_p no parauglaukumiem vidēji veģetācijas periodā, mm

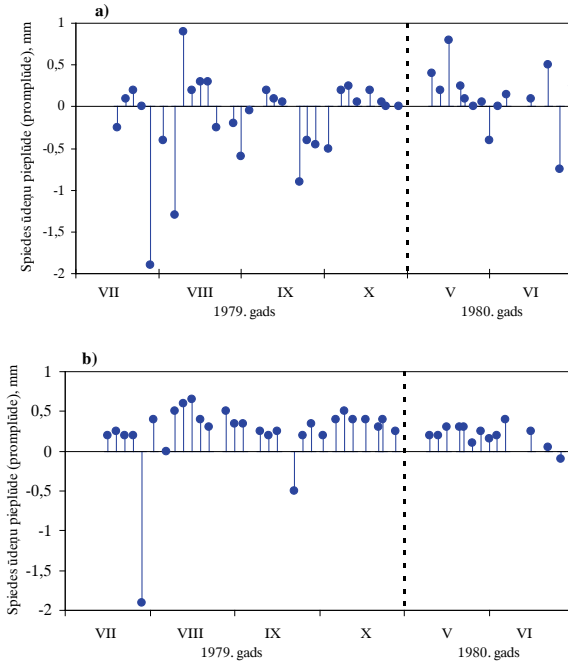
Parauglaukums	P_p	Q_p	Starpība
1.	16	29	-13
2.	16	12	+4
3.	6	15	-9
4.	21	28	-7
5.	12	42	-30
6.	31	12	+19
7.	38	29	+9
8.	26	5	+21
9.	16	3	+13
10.	12	10	+2
11.	8	34	-26
12.	0	5	-5
13.	3	14	-11
14.	18	11	+7
15.	8	24	-16
16.	6	1	+5
17.	2	39	-37
18.	5	31	-26
19.	0	47	-47
20.	0	11	-11
21.	2	7	-5
22.	16	3	+13
23.	12	14	-2
24.	0	21	-21

Parauglaukums	P_p	Q_p	Starpība
25.	0	14	-14
26.	52	14	+38
27.	46	11	+35
28.	11	29	-18
29.	56	41	+15
30.	41	2	+39
Vidēji	0,00081	140	1,4

Ūdens vertikālā promplūde, tas ir augsnes gruntsūdeņu aizplūde dziļāk par vienu metru, parauglaukumos svārstās robežās no 1 mm (16. parauglaukums) līdz 47 mm (19. parauglaukums); vidējā promplūde ir 19 mm.

Visticamāk, ka ūdens vertikālās pieplūdes un promplūdes attiecības svārstās pa veģetācijas periodiem: lietainās vasarās promplūde ir lielāka un vertikālā pieplūde meža ekosistēmā mazāka. Tas liecina, ka nosusinātajos mežos augsnes mitrums ir izlīdzinātāks nekā sausieņu mežos, kur augsnes gruntsūdeņu vertikālā plūsma ir tikai vienā virzienā – lejup. Analizējot 43 mērījumu rezultātus (18. attēls), arī mežos uz kūdras gruntīm visos parauglaukumos pēc spēcīga lietus 1979. gada jūlija beigās daļa no augsnē nonākušajiem nokrišņiem papildina dziļākos gruntsūdeņus un aizplūst ārpus meža ekosistēmas. Pārējie mērījumu dati raksturo pieplūdes un promplūdes režīmu pa parauglaukumiem, kas, piemēram, 27. parauglaukumā galvenokārt vērst augšup, bet 4. parauglaukumā šis režīms ir mainīgāks.

Kokaudzes krājas vidējais tekošais pieaugums pozitīvi korelē ar pazemes ūdeņu pieplūdi meža ekosistēmā. Korelācijas koeficients starp meža ražību un pazemes ūdeņu pieplūdi viena veģetācijas perioda laikā $r = 0,51$ pie $r_{0,05} = 0,36$ liecina par pieplūdes ticamību, kaut arī sakarība samērā vāja. Korelācijas koeficients starp meža ražību un pazemes ūdeņu promplūdi pa meliorācijas grāvjiem ir nedaudz mazāks: $r = 0,43$. Abi šie rādītāji ir nelieli un apstiprina, ka P_p mērījumi viena veģetācijas perioda laikā visai nedaudz raksturo meža ekosistēmas potenciālo ražību. Meža ekosistēmas ražības un pazemes ūdeņu pieplūdes savstarpējo sakarību analīzei nepieciešami ilggadīgi mērījumi mežaudžu parauglaukumos.



18. attēls. Pazemes spiedes ūdeņu pieplūde un promplūde
4. (a) un 27. (b) kūdreņu parauglaukumos.

Nenoliedzami, ka pazemes spiedes ūdeņos pieplūde meža ekosistēmai vērtējama gan pozitīvi, gan negatīvi. Pozitīvā ietekme izpaužas galvenokārt divos aspektos – augsnē veidojas izlīdzinātāks mitruma režīms un pieplūst minerālās barības vielas. Gandrīz nepārtraukts mitruma pārsātinājums augsnes apakšējos slāņos un kūdras gruntī spēj negatīvi ietekmēt kokaudžu ražību. Lietainos periodos augsnes gruntsūdens līmenis parasti paceļas tik augstu, ka sakņu aizņemtajā augsnes slānī veidojas anaerobi apstākļi kā kokaudzes augšanai visnelabvēlīgākā situācija. Tāpēc minerālo barības vielu piesums ar pazemes ūdeņiem daļēji uzlabo augsnes auglību, un meža faktiskā ražība saistāma ar šo divu faktoru mijiedarbību, kurā izšķirošā loma pieder hidroloģiskajam režīmam.

6. PAZEMES SPIEDES ŪDEŅI KĀ MINERĀLO BARĪBAS VIELU PIEGĀDĀTĀJS

Minerālās barības vielas uzskatāmas par vienu no pieciem neaizvietojamiem elementiem, kas reglamentē meža ekosistēmu saglabāšanos un ražību. Pārpurvoto mežu ražība lielā mērā ir atkarīga no minerālo barības vielu „importa”, jo koku saknes nesniedzas dziļāk par 40 cm kūdras augšējā slānī, bet kūdras slāņa biezums nereti sasniedz piecus metrus. Ar atmosfēras nokrišņiem un putekļiem minerālās vielas kūdras augsnē nonāk visai nelielā daudzumā, un augstajos purvos barības vielu daudzums kūdrā samazinās eksponenciāli līdz ar atstatumu no minerālās grunts.

Teikto apstiprina kūdras slāņa ķīmiskā analīze Palšu purvā, kas atrodas 25 km attālumā no Vesetnieku stacionāra un iekļaujas pazemes ūdeņu barošanās zonā. Purvā kūdras slāņa biezums sasniedz piecus metrus. Visi analizētie rādītāji – pelnu saturs, kalcija, magnija daudzums un apmaiņas bāzu summa samērā strauji samazinās līdz ar kūdras slāņa pacelšanos virs minerālās grunts (18. tabula).

Ja 50 cm atstatumā no minerālās grunts barības vielu kūdrā pietiek, lai izaudzētu I–II bonitātes priežu audzes, tad 200 cm atstatumā potenciālās iespējas ļauj izveidot IV–V bonitātes priežu audzes. Tas neatkarīgi no tā, cik intensīvi nosusināta šī teritorija. Gan bijušajā PSRS, gan citos Eiropas reģionos populārs ir uzskats, ka platībās ar biezu kūdras slāni augstražīga meža izveidošana nav iespējama. Ilglaicīgu pētījumu rezultātā Latvijā mēs noraidām šādu vērtējumu.

Kūdras slāņa ķīmiskais raksturojums Palšu purvā

Atstatums no minerālās grunts, cm	Pelni	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Apmaiņas bāzu summa, mg ekv.
	%					
50	7,3	0,020	0,40	4,0	2,8	118
100	4,2	0,016	0,19	1,1	1,0	66
200	2,5	0,009	0,17	0,9	0,6	50
300	2,3	0,006	0,18	0,5	0,6	44
400	2,1	0,006	0,19	0,5	0,8	33
450	2,2	0,005	0,17	0,7	0,5	32
480	2,0	0,008	0,20	0,8	0,3	26

Izmantojot datus, kas ievākti 182 parauglaukumos mežos ar kūdras augsnēm, analizētas sakarības starp priežu un egļu mežu ražību saistībā ar kūdras slāņa biezumu. Izlases ietvaros kūdras slāņa biezums svārstās robežās no 0,3 līdz 4,2 m, un kokaudzes ražību raksturojošās bonitātes no I^a (aprēķinos pielīdzināta nulles bonitātei) līdz III.5. Izlasē nav iekļauti parauglaukumi augstajos purvos, kuru mežsaimnieciskā izmantošana nav lietderīga.

Priežu mežos sakarību raksturo regresijas vienādojums

$B = 2,13 - 0,22K$, kur **B** – kokaudzes tekošā bonitāte un **K** – kūdras slāņa biezums, m.

Egļu mežos šī sakarība izpaužas kā

$B = 0,68 - 0,08K$.

Kaut arī minētajos vienādojumos iezīmējas norāde – jo biežāks kūdras slānis, jo augstāka meža ražība – šī sakarība uzskatāma kā statistiski nejauša $r_{\text{fakt}} = -0,06$ pie $r_{0,05} = 0,21$. Analīzes rezultāti tomēr apliecina unikālu un citviet neraksturīgu likumsakarību – audzes ražība nav atkarīga no kūdras slāņa biezuma.

Šādas savdabības skaidrojamas saistībā ar mūsu meža pārpurvošanās cēloņiem: 86 % no mežiem uz kūdras slāņa biežāka par 30 cm (kūdreņi) lokalizējas vietās, kur pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis sasniedz vai pārsniedz pašreizējo augsnes virsmu [113]. Tātad straujāk pārpurvojas un biežāks kūdras slānis izveidojas vietās, kur intensīvāk izķīlējas minerālvielām bagātākie pazemes spiedes ūdeņi. Tas nodrošina meža

augšanai nepieciešamās minerālās barības vielas neatkarīgi no kūdras slāņa biezuma.

Augstajos purvos, kur biogēnie elementi pieplūst tikai ar atmosfēras nokrišņiem, meža ieaudzēšanai nepietiek ar hidrotehnisko meliorāciju. Zināms izņēmums ir purvu nomales, kur pēc nosusināšanas var izaudzēt III–V bonitātes kokaudzes. Kūdras slānis šeit nav pārāk biezs, un bieži vien tas nav izšķirošais šķērslis biogēno elementu pieplūdei no minerālās grunts. Biogēnie elementi purva nomalēs pieplūst ar augsnes gruntsūdeņiem no pieguļošajām sausienēm. Purva un meža ekosistēmas ar dziļu kūdru, kurās barības vielas papildina no sausienēm pieplūstošie augsnes gruntsūdeņi aizņem tikai 14 % no meža hidromelioratīvā fonda. Pārējā kūdreņu tipu daļā mežam nepieciešamās barības vielas piegādā izplūstošie pazemes spiedes ūdeņi.

No pieguļošajām sausienēm pieplūstošo augsnes gruntsūdeņu ietekme uz purvu ekosistēmām parasti nepārsniedz 100 m atstatumu no purva malas. Tālāk šo ūdeņu ietekme neizpaužas [173]. Turpretī pazemes spiedes ūdeņu iespaids vienmērīgi vērojams visā purva platībā. Te tad arī iezīmējas viena no ekoloģiskajām atšķirībām starp augsnes gruntsūdeņu pieplūdi no malām un pazemes ūdeņu izplūdi kūdrainās ekosistēmās. Tas lielā mērā reglamentē nosusināšanas tīkla izveidošanas shēmu. Ja izplūstošie pazemes ūdeņi ir bagātāki ar biogēnajiem elementiem, tad apkārt purvam lietderīgi ierīkot dziļākus grāvjus, lai tie labāk pārtvertu no sausienēm pieplūstošos nabadzīgākos augsnes gruntsūdeņus.

Mūsu pētījumos, lai salīdzinātu barības vielu koncentrāciju augsnes gruntsūdeņos un pazemes ūdeņos, izmantoti trīs elementi – kalcijs, magnijs un skābeklis. Īpaši neiedziļinoties šo elementu iedarbības analīzē, atzīmēsim tikai dažus aspektus, kas tieši ietekmē kokaudžu fizioloģiskos procesus.

Kalcijs. Stimulē nitrātu uzsūkšanu, olbaltumvielu sintēzi, ogļūdeņražu apmaiņu un, kas īpaši svarīgi pārmitrajos apstākļos, kā arī nosusinātajos mežos, sakņu šūnu pastiepšanos un vispār sakņu augšanu, tādējādi nodrošinot labāku transpirāciju [23]. Ar kalciju bagātās kūdras augsnēs vērojam daudz bezmugurkaulnieku, kas intensīvi sadala atmirušās augu daļas augsnē [204].

Magnijs. Kā hlorofila sastāvdaļa tas veicina normālu fotosintēzi, aktivizē fermentu sintēzi un kopā ar kāliju un kalciju nodrošina šūnu plazmā koloidālo režīmu. Magnija trūkums var izraisīt kaitīgu slāpekļa

savienojumu uzkrāšanos. Skuju koku koksnes tekošais pieaugums samērā cieši korelē ar kalcija un magnija koncentrāciju kūdras augsnē [154].

Skābeklis. Skābekļa trūkums un augsnes anaerobioze nenoliedzami ir svarīgākais faktors, kas samazina kokaudzes ražību pārmitrajās ekosistēmās.

Ne mazāk svarīga ir arī kalcija un magnija indikatoriskā nozīme. CaO koncentrācija robežās līdz 3 % cieši korelē ar pH rādītājiem un slāpekļa saturu [178]. Cieša pozitīva korelācija atrasta arī starp CaO koncentrāciju un koksnes kūdras sadalīšanās pakāpi, kas savukārt pozitīvi korelē ar kokaudzes ražību [18, 94]. Kūdras ķīmiskais sastāvs, vispirms CaO koncentrācija veiksmīgi tiek izmantota kūdras tipu un apakštipu precīzai izdalīšanai [202, 203, 204].

Mēs analizējām datus par purvu ūdeņu ķīmisko sastāvu un cietību dažādos Latvijas rajonos [45, 46, 48]. Ūdens cietību galvenokārt nosaka kalcija un magnija sāļu klātbūtne, t.i., to elementu klātbūtne, kas dominē pazemes spiedes ūdeņos. Kaut arī šie purvi klasificēti kā augstie, pārejas un zemie purvi, izmantojot to fitocenožu struktūru par uzskatāmu indikatoru, var izmantot arī ūdens cietības rādītājus (19. tabula). Viena purvu tipa ietvaros ūdens cietība signifikanti nemainās, kaut arī ūdens paraugi ņemti dažādos rajonos. Toties signifikanti atšķiras cietības rādītāji starp purvu tipiem (t kritērijs). Vidēji pa Latviju ūdens cietība pārejas purvos ir divkārt lielāka nekā augstajos purvos un zemajos purvos cietība divkārt lielāka nekā pārejas purvos.

19. tabula

Purva ūdeņu cietība (vācu grādos) atšķirīgos purva tipos
(izejmateriāls P. Nomala mērījumu dati)

Rajons	Augstie purvi				Pārejas purvi				Zemie purvi			
	n	\bar{X}	s	$S_{\bar{X}}$	n	\bar{X}	s	$S_{\bar{X}}$	n	\bar{X}	s	$S_{\bar{X}}$
Rīgas smilšu līdzenums un Ventas-Usmas ieplaka	15	1,51	0,79	0,20	7	5,25	3,97	1,5	-	-	-	-
Ziemeļkurzeme	9	1,40	0,27	0,09	6	2,48	1,19	0,49	4	6,83	2,06	1,03
Austrumlatvija	45	1,43	0,90	0,13	30	3,85	1,41	0,21	6	7,72	3,12	1,27
Vidēji	69	1,44	0,79	0,09	43	3,89	1,80	0,27	10	7,36	2,70	0,85

Apzīmējumi: n – mērījumu skaits; \bar{X} – aritmētiskais vidējais; s – standartnovirze; $S_{\bar{X}}$ – vidējā aritmētiskā standartklūda.

Lietderīgi atzīmēt, ka vēl joprojām nav pabeigti minerālo barības vielu optimālās koncentrācijas pētījumi meža ekosistēmās. Cēlonis tam ir meža ekosistēmu visai sarežģītais dzīvošanas režīms. Jāsamierinās, ka atsevišķu faktu līmenī paliek atziņas par meža ražības un biogēno elementu koncentrācijas sakarībām. Neveiksmīgi ir bijuši mēģinājumi iegūtās atziņas ekstrapolēt uz citām neizpētītām meža ekosistēmām ar atšķirīgiem edafiskiem, orografiskiem un biotiskiem apstākļiem.

Jāpiekrīt, ka vairākkārt sekmīgi risinās pētījumi par viengadīgo augu barošanās režīmu. Kā piemērs var noderēt Latvijas Bioloģijas institūtā iegūtie pētījumu rezultāti par dažu makroelementu optimālo koncentrāciju kūdras augsnē (mg augsnes litrā): N – 110; P – 300; Ca – 2400; Mg – 340. Tomēr riskanti šos rezultātus attiecināt arī uz meža ekosistēmām. Šaubas izraisa minēto elementu savstarpējās attiecības. Piemēram Ca : Mg attiecība, audzējot zālaugus, ir 7 : 1, taču mūsu kūdras augšņu analizē augstāžīgos mežos ir iegūta attiecība 2 : 1. Vesetnieku stacionāra kūdreņos kalcijs ir 1500 mg l⁻¹, bet magnijs 940 mg l⁻¹. Pazemes spiedes ūdeņos kalcijs un magnija koncentrācija nepārsniedz 200 mg l⁻¹ un 80 mg l⁻¹ (10 % ticamība).

Savulaik Eiropā saistībā ar skābajiem lietiem tika prognozēta kalcijsamazināšanās augsnē krietni vien zem pieļaujamām robežām, kas nenovēršami izraisīs kokaudžu ražības samazināšanos [69]. Kalcijs pieplūde ar pazemes spiedes ūdeņiem spēj nobremzēt šo procesu.

Mums nepietiek datu, lai objektīvi novērtētu kālija, slāpekļa un fosfora pieplūdi ar pazemes spiedes ūdeņiem. Orientējošie rādītāji liecina, ka nitrātu vai amonija savienojumos slāpekļa koncentrācija pazemes ūdeņos reti pārsniedz 1,0 mg l⁻¹, fosfora – 0,01 mg l⁻¹. Šo elementu paaugstināta koncentrācija novērota mājlopu fermu un piena kombinātu apkārtnē. Arī kālija un nātrija koncentrācija ūdeņos paraugos nepārsniedz 10 mg l⁻¹. Minētie rādītāji raksturo to, ka biogēno elementu koncentrācijas pazemes ūdeņos nav augsta, un pazemes ūdeņu intensīva izplūde pilnībā nenodrošina meža ekosistēmu ar tai nepieciešamām minerālvielām, kaut arī to pieplūdes pozitīvā ievirze nav apstrīdama. Pozitīvi meža dzīvi ietekmē arī salīdzinoši nelielā skābekļa klātbūtne pazemes ūdeņos (parasti 2–4 mg l⁻¹). Eksperimentos iegūtie rezultāti uzrāda, ka priedes un egles saknes saglabājas dzīvas, ja skābekļa koncentrācija ūdenī pārsniedz 1–2 mg l⁻¹. Ja skābekļa koncentrācija ūdenī pārsniedz 4 mg l⁻¹, tad koncentrācijas izmaiņas vairs neietekmē sakņu augšanu. Tādējādi arī nelielā skābekļa koncentrācija pazemes ūdeņos jāuzskata kā reāls skābekļa bilances papildinājums aug-

snēs gruntsūdeņos.

Dati par biogēno elementu koncentrāciju pazemes spiedes ūdeņos un augsnes gruntsūdeņos iegūti Latvijas Mežzinātnes institūtā un Vissavienības jūras ģeoloģijas institūta arhīvos. Pazemes ūdeņu aktīvas apmaiņas raksturošanai Latvijas teritorijā ir izdalītas (I. Dzilna) [108] četras sistēmas: 1) Ziemeļkurzemes, 2) Rietumlatvijas, 3) Igaunijas-Latvijas, 4) Austrumlatvijas (19. attēls). Ikviena sistēma aptver gan pazemes ūdeņu barošanās, gan izplūdes rajonus. Tādējādi katrā sistēmā pazemes ūdeņu plūsma veic pilnu ciklu no infiltrācijas līdz izplūdei. Lietderīgi atzīmēt, ka pazemes spiedes ūdeņi, kas formējas sauszemes apgabalos, nereti izplūst diezgan tālu (70–100 km) jūrā [107]. Šādas tikai četras nosacīti slēgtas sistēmas norāda, ka ūdens bilances vienādojumu risinājums nokrišņi = notece + iztvaikošana nelieliem baseiniem vienmēr saistās ar praktiski nenovērtējamām neprecizitātēm.

Pazemes spiedes ūdeņu galvenais akumulators ir pirmskvartāra nogulumi. Katras sistēmas ietvaros mēs analizējam pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu atsevišķi pēcdevona, augšdevona un vidusdevona nogulumos. Aprēķinājam paraugkopu statistiskos rādītājus. Ja starpība starp paraugkopas vidējiem aritmētiskiem un standartnovirzēm nebija signifikanta, paraugkopas apvienojām. Rezultātā saglabājās trīs paraugkopas. Pirmajā paraugkopā ietilpst pēcdevona un daļēji augšdevona nogulumi (Kazaņas, Burega, Sargajevas, Amulas un Pamūšu horizonti).



19. attēls. Pirmskvartāla virsmas atšķirības un ūdens sistēmu robežas:

- 1 – ūdens sistēmu robežas; 2 – pēcdevona nogulumi;
3 – augšdevona nogulumi; 4 – vidusdevona nogulumi.

Augšdevona apakšējā daļa (Šventojas horizonts) un vidusdevona augšējās daļas slāņi veido vienotu ūdens kompleksu (20. tabula). Saistībā ar kalcija un magnija koncentrāciju šajā kompleksā veidojas otrā izlase no paraugiem, kas savākti Ziemeļkurzemes un Igaunijas-Latvijas spiedes ūdeņu sistēmās. Kalcija un magnija koncentrācija šeit ir signifikanti mazāka nekā Austrum- un Rietumlatvijas sistēmās, kas veido trešo paraugkopu. Ikvienā no trīs paraugkopām salīdzināta biogēno elementu koncentrācija augsnes gruntsūdeņos un pazemes ūdeņos, kas aktīvi piedalās teritorijas ūdens bilancē.

20. tabula

Pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs, mg l⁻¹
(Mežzinātnes institūta un Jūras ģeoloģijas institūta dati)

Nogulumu sistēma	Ūdens kompleksa horizonts	Ģeoloģiskā struktūra	Spiedes ūdeņu sistēma	Ķīmiskais elements	n	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$
Pēcddevona un augšdevona	Kazaņas, Burega, Sargajevas, Amulas un Pamūšu	Dolomīti, dolomītmeŗģeļi, māls, ģipsis	Rietumlatvijas Ziemeļkurzemes Igaunijas-Latvijas Austrumlatvijas	Ca	24	126,3	37,8	7,7
				Mg	24	34,1	12,7	2,6
				O	20	2,2	0,9	0,2
	Šventojas	Mālsmilts, smilts, māls	Ziemeļkurzemes Igaunijas-Latvijas	Ca	28	62,6	26,8	5,1
				Mg	28	24,2	9,1	1,7
				O	19	2,3	0,2	0,03
Augšdevona	Starooskoļskas	Mālsmilts, māls, alevrolīti	Rietumlatvijas Austrumlatvijas	Ca	46	113,4	50,0	7,4
				Mg	46	43,5	20,1	3,0
				O	34	3,2	1,0	0,2

Biogēno elementu koncentrācija analizēta 596 ūdens paraugos. Dati sagrupēti pa 24 ģeomorfoloģiskiem rajoniem un kvartārnogulumu ģenētiskiem tipiem: aluviālie, fluvioglaciālie, limnoglaciālie un glaciālie. Tādējādi veikta biogēno elementu koncentrācijas analīze 96 paraugkopās. Izmantojot Ievas Dzilnas monogrāfijā (1970) [108] detāli izklāstīto informāciju par kvartārnogulumu teritoriālo izvietojumu Latvijā, mēs izskaitļojām ūdens paraugu sastāva vidējos rādītājus un novērtējam to statistisko atšķirību salīdzinājumā ar pazemes ūdeņu sastāvu. Daudzos ģeomorfoloģiskajos rajonos biogēno elementu koncentrācija pazemes ūdeņos ir lielāka nekā augsnes gruntsūdeņos. Pazemes ūdeņu izplūdes ra-

jonos kalcija un magnija koncentrācija ir 1,24 un 1,69 reizes augstāka nekā augsnes gruntsūdeņos. Tomēr Talsu-Tukuma, Dundagas un Ziemeļvidzemes pacēlumos, kā arī Zemgales līdzenumā augsnes gruntsūdeņos biogēno elementu ir vairāk nekā pazemes ūdeņos. Šajos rajonos, kā arī citos pazemes ūdeņu barošanās rajonos lietderīgi pārmitrās teritorijas neierobežot ar sekliem kontūrgrāvjiem, lai pilnībā nepārtrauktu augsnes gruntsūdeņu pieplūdi no pieguļošām sausienēm.

Samērā vienmērīgi pa teritoriju izvietotos 153 meža nogabalos ar kūdras augsnēm mēs salīdzinājām meža ražību ar pazemes ūdeņu izplūdes intensitāti. Ikvienā nogabalā ir zināms kvartārnoguluma slāņa biezums (**L**), augsnes virsas augstuma atzīme un pazemes spiedes ūdeņu pjezometriskais augstums. Lai objektīvi aprēķinātu pazemes ūdeņu pieplūdes faktiskos rādītājus, nepieciešami arī grunts hidroloģiskie un fizikālie rādītāji. Tie nav pieejami ikvienam no analizētajiem nogabaliem. Tāpēc nosacīti pieņemam, ka nezināmo rādītāju skaitliskā ietekme uz pazemes ūdeņu izplūdes intensitāti ir pastāvīgs lielums visos nogabalos. Tādējādi pieļaujam, ka pazemes ūdeņu izplūdes intensitāte variē atbilstoši rādītāja $(h - H)L^{-1}$ izmaiņām.

Katrā no četrām spiedes ūdeņu sistēmām aprēķināti vidējie pa meža tipiēm pazemes ūdeņu izplūdes intensitātes nosacītie rādītāji – **IINR**.

Ziemeļkurzemes sistēma aizņem 10 % no Latvijas teritorijas. Šīs sistēmas robežās atrodas 9 % no mežiem uz kūdras augsnēm un 20 % no mežiem uz hidromorfām minerālaugsnēm. Vidējie **IINR** lielumi pa kūdreņu meža tipiēm mainās plašās robežās – no 0,39 līdz 1,80 (21. tabula). **IINR** izmaiņas par 0,35 izraisa meža potenciālās ražības izmaiņas par vienu bonitāti – tāda ir atšķirība starp diviem blakus esošiem meža tipiēm. Samērā lielās **IINR** vērtību atšķirības starp meža tipiēm visticamāk skaidrojamas ar biogēno elementu koncentrāciju pazemes spiedes ūdeņos. Spiedes ūdeņos kalcija koncentrācija ir krietni vien mazāka nekā augsnes gruntsūdeņos, kas arī ir diezgan nabadzīgi: Ca 80 un Mg –23 mg l⁻¹. To raksturo arī nabadzīgo kūdreņu – viršu un mētru – lielais īpatsvars; tie aizņem 70 % no kūdreņu platības.

21. tabula

Pazemes ūdeņu izķīlēšanās intensitātes svārstības pa meža tipiem

Nogulumu sistēma	Ķīmiskais elements	n	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$
Ziemeļkurzeme	Viršu kūdreņi	13	0,39	0,24	0,07
	Mētru kūdreņi	5	0,71	0,37	0,16
	Šaurlapju kūdreņi	4	1,50	0,62	0,31
	Platlapju kūdreņi	5	1,80	0,71	0,32
Rietumlatvija	Viršu kūdreņi	6	0,51	0,34	0,14
	Mētru kūdreņi	5	0,66	0,31	0,14
	Šaurlapju kūdreņi	5	1,33	0,57	0,25
	Platlapju kūdreņi	8	1,45	0,72	0,25
Igaunijas-Latvijas	Viršu kūdreņi	–	–	–	–
	Mētru kūdreņi	4	0,27	0,17	0,08
	Šaurlapju kūdreņi	5	0,61	0,32	0,14
	Platlapju kūdreņi	6	0,94	0,45	0,18
Austrumlatvija	Viršu kūdreņi	24	0,32	0,27	0,06
	Mētru kūdreņi	17	0,48	0,28	0,07
	Šaurlapju kūdreņi	20	0,62	0,35	0,08
	Platlapju kūdreņi	26	1,03	0,47	0,09

Rietumlatvijas sistēma aizņem 25 % no republikas teritorijas. Šīs sistēmas robežās ir 14 % no Latvijas kūdreņiem un 33 % no mežiem ar hidromorfām minerālaugsnēm. Šeit tāpat kā Ziemeļkurzemes sistēmā kūdreņu meža masīvi veidojušies uz vairākkārt pārskaloziem Baltijas baseina smilšu slāņiem. Pazemes ūdeņu barošanās režīmi šeit ir bagātāki ar biogēniem elementiem nekā Ziemeļkurzemes sistēmā. Tāpēc kūdreņu ražības izmaiņām par vienu bonitāti pietiek, ja **IINR** lielumi izmainās par 0,26. Piemēram, Babītes mežniecībā, kur **IINR** lielumi ir mazi (0,02), pārsvarā ir priežu mētru kūdreņi, bet turpat netālu Misas mežniecībā, kur **IINR** ir 1,5–1,8 – dominē egļu platlapju kūdreņi.

Igaunijas-Latvijas sistēma aizņem 11 % no republikas teritorijas, un tajā aug 16 % no kūdreņiem un 16 % no āreņiem. Sistēmas lielāko daļu aizņem

Vidzemes Centrālā augstiene ar ļoti artikulētu reljefu, ko pārsvarā veido limnoglaciālie un glaciālie kvartārnogulumi ar samērā bagātām augsnēm. Otra sistēmas īpatnība ir nokrišņu daudzums. Pazemes ūdeņu izplūde reljefa ieplakās nepārprotami palielina ūdens bilanci, kaut arī nepalielina biogēno elementu koncentrāciju augsnes gruntsūdeņos. Samērā intensīvā pazemes ūdeņu kustība rosina skābekļa pieplūdi augsnes gruntsūdeņiem un samazina to skābumu (pazemes ūdeņos pH = 7,6). Bez tam paugurainais reljefs ir cēlonis tam, ka dabiskie strauti un upītes labi drenē gandrīz visas pazemes ūdeņu izplūdes zonas. Tas pozitīvi ietekmē augsnes hidroloģisko režīmu. Tāpēc kūdreņu ražības izmaiņām par vienu bonitāti pietiek ar **IINR** lielumu izmaiņām par 0,22.

Austrumlatvijas sistēma aizņem nedaudz vairāk par pusi (54 %) no Latvijas mežu kopplatības. Šajā sistēmā ietilpst 61 % kūdreņu un 31 % āreņu. Galvenie meža masīvi, kuros izplūst pazemes spiedes ūdeņi, izvietojušies Viduslatvijas nolaidenumā, Austrumlatvijas zemienēs, kā arī Vidzemes Centrālās un Latgales augstieņu perifērijās.

Austrumlatvijas zemienēs, kur atrodas gandrīz puse (40 %) no visiem sistēmas kūdreņiem, tie veidojušies uz limnoglaciāliem un glaciāliem kvartārnogulumiem. Šajos nogulumos biogēno elementu koncentrācija būtiski neatšķiras no to koncentrācijas pazemes spiedes ūdeņos. Tas liecina par ciešiem hidroloģiskiem kontaktiem starp ūdens slāņiem. Citādāka situācija vērojama Viduslatvijas nolaidenumā un augstieņu perifērijās: biogēno elementu koncentrācija pazemes ūdeņos šeit būtiski pārsniedz to koncentrāciju kvartārnogulumu (fluvioglaciālo) nogulumos. Tāpēc **IINR** izmaiņas par 0,18 jau izraisa meža potenciālās ražības izmaiņas par vienu bonitāti.

Analizējot vidējos **IINR** lielumus saistībā ar meža tipiemi, iezīmējas šāda likumsakarība. Viena meža tipa ietvaros republikas rietumdaļā **IINR** lielumi ir būtiski lielāki nekā austrumdaļā. Piemēram, mētru kūdreņi **IINR** rietumdaļa ir 0,68, bet uz austrumiem no līnija Rīga–Bauska – 0,35. Visticamāk atšķirības izriet no kvartārnogulumu savdabībām. Uz rietumiem no minētās līnijas pārmitrie meži galvenokārt veidojušies uz smilts gruntīm, kas vairākkārt pārskalotas pēdējā ledus laikmetā un Baltijas baseina ledus kušanas laikā. Minētie nogulumi dominē Rietumlatvijas Piejūras un Rīgas smiltāju zemienēs un Ventas–Usmas ieplakā. Šis biogēniem elementiem nabadzīgais fons neapstrīdami samazina pazemes ūdeņu izķīlēšanās ietekmi uz kokaugu ražību.

Lietderīgi atcerēties, ka uz purvu atšķirībām rietumos un austrumos no līnijas Rīga–Bauska jau pirms hidroģeologiem norādīja ģeobotāniķi T. Lipmaa [37] un A. Rasiņš [208]. Šie autori ģeobotāniskās atšķirības saista ar purvu izcelšanos un attīstību. Rietumu pusē purvi ir būtiski jaunāki nekā austrumu pusē. Tajā laikā, kad austrumu pusē ledāji bija izkusuši, rietumu pusi vēl klāja ledi, un pēc to nokušanas tā vēl ilgu laiku atradās zem ūdens.

Kokaudžu ražības un pazemes ūdeņu izķīlēšanās **IINR** lielumam savstarpējās attiecības kūdreņos biometriski pārbaudījām, veicot korelāciju analīzi. Iegūtie rezultāti liecina par šo rādītāju ciešo sakarību. Republikas rietumdaļā lineārās korelācijas koeficients $r = -0,95$, $r^2 = 0,92$ un $t = 4,33 > t_{0,05} = 2,44$; republikas austrumdaļā $r = -0,94$, $r^2 = 0,88$ un $t = 3,48 > t_{0,05} = 2,57$.

Atšķirīgi rezultāti iegūti, analizējot sakarības starp pazemes ūdeņu izplūdes intensitāti un āreņu ražību. Vietās, kur iespējama pazemes ūdeņu izplūde, atrodas tikai 60 % āreņu. Jau šis fakts norāda, ka meža ražība šajos mežos daudz vājāk korelē ar pazemes ūdeņu izplūdes intensitāti nekā tas vērojams kūdreņu mežos. Korelācijas analīzes rezultāti to pilnīgi apstiprina – sakarība nav signifikanta: $r = -0,08$.

Kā jau iepriekš minēts, pazemes ūdeņu izplūdes intensitāte un līdz ar to arī biogēno elementu pieneses apjoms svārstās samērā plašās robežās arī viena sateces baseina ietvaros.

Pētījumi par pazemes ūdeņu izķīlēšanās režīmu nosusinātos mežos uzsākti Vesetnieku stacionārā 1972. gadā, ierīkojot 33 dziļurbuma (5–31 m) novērošanas akas, 17 no kurām iesniedzas augšdevona dolomītos. Pjezometrisko līmeņu novērojumi joprojām turpinās kā dziļurbumos, tā arī 150 sekļajās (2 m dziļās) akās, novērojumus veicot ik pēc 10 dienām ar 1 cm precizitāti.

Vesetas kreisajā krastā palienes daļā dolomīta plaisas pildītas ar ūdeni zem tāda spiediena, ka pjezometriskais līmenis dziļurbuma akās paceļas līdz 2 m pār kūdras augšnes virsmu un līdz 2,5 m pārsniedz augšnes gruntsūdens līmeni. Tādēļ šeit izveidojusies īpaši pārmitra zona, un kūdras slāņa biezums pārsniedz piecus metrus.

Vesetas labajā krastā pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis ir zemāks nekā augšnes gruntsūdeņu līmenis. Šeit pārsvarā aug meži ar hidromorfām minerālaugsnēm, un kūdras slāņa biezums nepārsniedz 30 cm.

Dolomīta horizonts stacionāra teritorijā raksturojas ar hidrokarbonātu magnija un kalcija tipa pazemes ūdeņiem. Tādēļ kalcija un magnija jonu koncentrācija kūdras augsnes gruntsūdenī uzskatāmi ilustrē pazemes ūdeņu izķīlēšanās intensitāti. Veģetācijas periodā pazemes ūdeņu pieplūde [113] meža ekosistēmā ar dziļas kūdras augsnēm svārstās robežās no 10 mm (ļotisausās vasarās) līdz 102 mm (lietainās vasarās).

Vesetnieku stacionāra nosusinātajos mežos piecu gadu laikā (1997.–2001.) mežzinātņu doktora Aigara Indriksona vadībā ievākti 2518 ūdens paraugi, kuros līdztekus slāpekļa, fosfora un kālija daudzumam ūdenī noteikts arī Ca^{2+} un Mg^{2+} koncentrācija, ievāktos paraugus titrējot ar trilonu B.

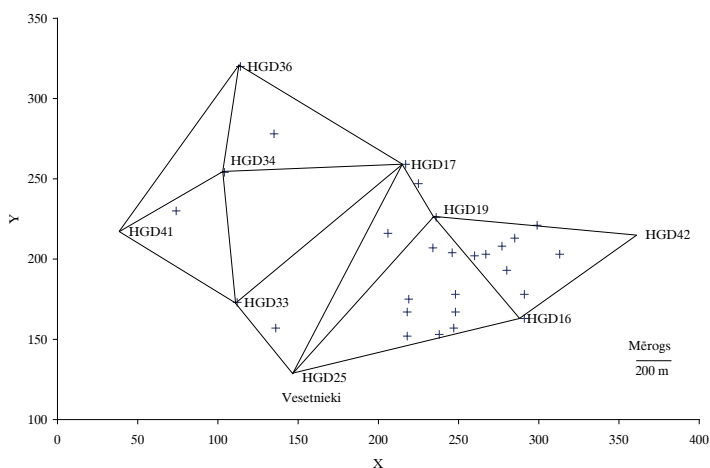


Zem ūdeni necaurļaidīgā morēnas sprostsļāņa esošā devona dolomīta spraugās akumulētā ūdens spiediens ir teritoriāli izlīdzināts, un tā pjezometriskā virsma veido samērā līdzenu plakni. Varam pieņemt, ka starp divām samērā tuvu ierīkotām novērošanas akām h mainās lineāri. Tas pavē iespēju izmantot meža hidroloģijas praksē reti pielietoto trijstūra plaknes vienādojumu $ax_i + by_i + cz_i = 1$, kur x un y – dziļurbuma aku koordinātes plaknē, h – pjezometrisko līmeņu augstums virs jūras līmeņa un $i = 1...3$. Izmantojot aprēķinātās koeficientu a , b , c skaitliskās vērtības, var aprēķināt h , kā arī $h - H$ vērtības ikvienā plaknes punktā ar koordinātēm x un y , kur izmērīts augsnes gruntsūdens līmenis H .

Iezīmējot poligonu ar 9 dziļurbuma akām daudzstūra virsotnēs (20. attēls), var izveidot 8 trijstūra plaknes un ikvienas no tām ietvaros iespējams aprēķināt piezometrisko līmeni atbilstoši izvēlētajā punkta x un y koordinātēm. Kā punktus izvēlējamies gruntsūdens līmeņa ilglaicīgo novērojumu akas, no kurām pēdējos piecos gados sistemātiski ņemti arī ūdens paraugi biogēno elementu koncentrācijas noteikšanai.

Piemēram, ka mūsu uzdevums ir noskaidrot Δh augsnes gruntsūdeņu novērošanas akas H12 vietā 14.07.2001.

Dots: aka H12 atrodas trijstūra HGD25, HGD19, HGD16 plaknē (20. attēls). Trijstūra virsotņu koordinātes stacionāra teritorijas plānā: akai HGD25 ($x = 148$, $y = 129$); akai HGD19 ($x = 236$, $y = 226$); akai HGD16 ($x = 288$, $y = 163$) un akai H12 ($x = 218$, $y = 158$).



20. attēls. Dziļurbuma aku, kā arī seklo aku (+) izvietojuma un trijstūra plakņu shēma ar x un y koordinātēm Vesetnieku stacionārā Vesetas upes kreisajā krastā.

Piezometrisko līmeņu augstumi trijstūra virsotnēs virs jūras līmeņa: akai HGD25 $h = 9296$ cm; akai HGD19 $h = 9601$ cm, akai HGD16 $h = 9107$ cm. Seklajā akā H12 augsnes gruntsūdens līmenis $H = 9248$ cm.

Izveidojam vienādojumu sistēmu un izskaitļojam koeficientus a , b un h .

$$\begin{cases} 148a + 129b + 9296h = 1 \\ 236a + 226b + 9601h = 1 \\ 228a + 163b + 9107h = 1 \end{cases}$$

Iegūstam: $a = 0,00014$, $b = -0,00034$, $h = 0,00011$.

Ievietojam plaknes vienādojumā akas H12 koordinātēs x, y un iegūstam vienādojumu $0,00014 \times 218 - 0,00034 \times 158 + 0,00011h = 1$, no kurienes $h = 9302$ cm un $\Delta h = h - H = 9302 - 9248 = 54$ (cm).

Tātad 14.07.2001. akas H12 atrašanās vietā pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis ir par 54 cm augstāks nekā augsnes gruntsūdens līmenis.

Vesetnieku stacionāra teritorijā pazemes ūdeņu pjezometrisko līmeņu starpība kūdreņos un tiem pieguļošajos sausieņu pauguros sasniedz 12 m: videji $h_{\max} = 102,01$ m un $h_{\min} = 89,53$ m.

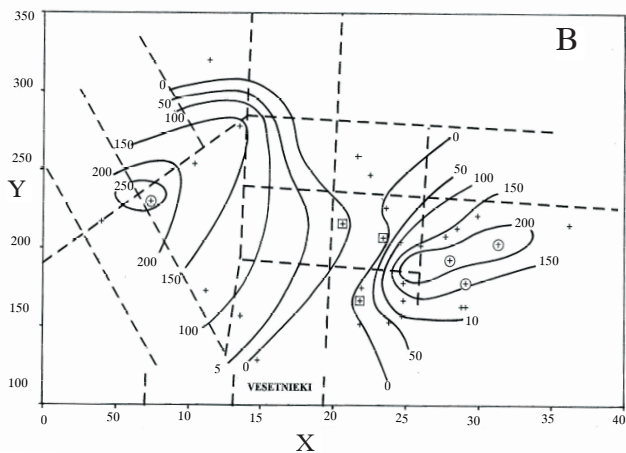
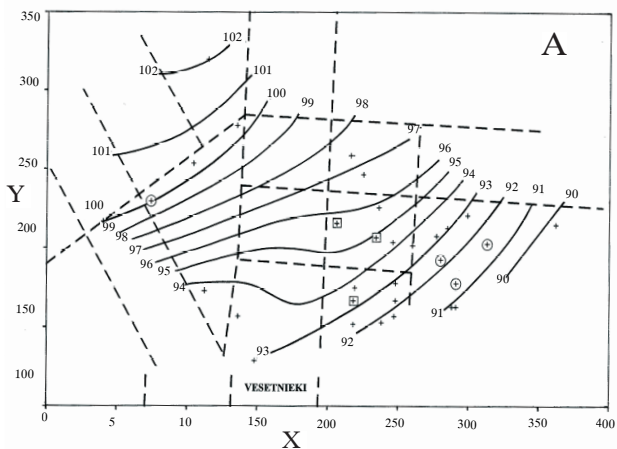
Aprēķinot h un izmērot H , Vesetnieku stacionāra kūdreņos iezīmējas samērā lielas Δh vidējo vērtību atšķirības (21. attēlā): no -97 cm līdz $+265$ cm. Mēs izvīrijām mērķi noskaidrot, vai vietās ar atšķirīgām Δh vērtībām atšķirīgas ir arī augsnes gruntsūdeņos izšķīdušo kalcija un magnija jonu koncentrācijas, kas raksturīgas dolomītos lokalizētiem pazemes ūdeņiem.

Pārbaudei izvēlējamies 7 mērpunktus (22. tabula), no tiem 3 mērpunktos iegūtie dati veido vienu neliela spiediena kopu, kur Δh vidējās vērtības atrodas robežās no -97 cm līdz $+27$ cm (21. attēlā apzīmēti \boxtimes); otru pastiprināta spiediena kopu veido y mērpunktos iegūtie dati pie Δh vidējām vērtībām robežās no $+162$ cm līdz $+205$ cm (21. attēla apzīmēti \oplus).

22. tabula

Ca^{2+} un Mg^{2+} jonu koncentrācijas statistiskie rādītāji augsnes gruntsūdeņos mežos ar dziļu kūdras slāni ($>0,5$ m)

Mērpunkti	H 72 aka		H 103 aka		H 130 aka		H 201 aka		H 13 aka		H 30 aka		H 31 aka	
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Vidējā vērtība	37,5	12,7	34,4	10,6	65,3	20,0	55,4	15,9	23,1	7,9	17,4	5,1	11,4	5,0
Reprezent. kļūda	1,4	1,0	1,0	0,7	2,1	1,4	3,0	1,1	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4
Standartnovirze	9,9	6,6	7,0	4,8	14,6	9,7	20,4	7,5	5,7	4,0	4,0	3,8	3,6	2,6
Skaitis	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Maks. vērtība	75,1	33,2	50,1	22,8	105,2	54,4	125,3	36,5	45,1	27,4	30,1	22,8	20,0	12,2
Min. vērtība	15,1	0,1	10,0	3,0	30,1	6,1	5,0	1,5	15,0	3,0	8,0	0,0	3,6	0,1



21. attēls. Pazemes ūdeņu iespējamās pieplūdes shēma Vesetnieku stacionārā Vesetas upes kreisajā krastā: A – spiediena pazemes ūdens horizonta pjezometriskie ūdens līmeņi, m.v.j.l.; B – spiediena pazemes ūdens horizonta pjezometriskā ūdens līmeņa h un augšnes gruntsūdens līmeņa H starpība $\Delta h = h - H$, cm; \oplus , \boxplus – akas, kur mērīta biogēno elementu koncentrācija; - - - meža kvartālistīgas.

Devona dolomīta spraugās lokalizētos pazemes spiedes ūdeņos kalcija jonu koncentrācija sešu 18–31 m dziļo novērošanas aku ierīkošanas laikā (1972. g.) bija vidēji $51,7 \text{ mg l}^{-1}$, magnija jonu koncentrācija – $12,8 \text{ mg l}^{-1}$.

Līdz divi metri dziļajās augsnes gruntsūdens līmeņa novērošanas akās pēdējo piecu gadu laikā jonu vidējā koncentrācija pazemes ūdeņu neliela spiediena zonā pie $\Delta h = -20 \text{ cm}$ bijusi: Ca – $17,4 \text{ mg l}^{-1}$; Mg – $6,1 \text{ mg l}^{-1}$; pastiprināta spiediena zonā pie $\Delta h = +213 \text{ cm}$ Ca – $45,0 \text{ mg l}^{-1}$; Mg – $15,0 \text{ mg l}^{-1}$.

Pastiprināta spiediena zonā Ca un Mg jonu vidējā koncentrācija kūdras slānī ierīkoto aku ūdeņos šeit aprakstītā pētījuma laikā signifikanti neatšķiras (t kritērijs) no 1972. gadā izmērītām jonu koncentrācijām dolomītu spraugās lokalizētajā ūdenī: attiecībā uz Ca $t_{\text{fakt}} = 1,11 < t_{0,05} = 1,96$; attiecībā uz Mg $t_{\text{fakt}} = 1,03 < t_{0,05} = 1,96$. Neliela spiediena zonā kūdras slāņa gruntsūdeņos kalcija un magnija jonu vidējā koncentrācija ir signifikanti mazāka nekā pazemes ūdeņu pastiprināta spiediena zonā: attiecībā uz Ca $t_{\text{fakt}} = 20,7 < t_{0,05} = 1,96$; attiecībā uz Mg $t_{\text{fakt}} = 13,1 < t_{0,05} = 1,96$ [28].

Biogēno elementu papildus pieplūde ar pazemes spiedes ūdeņiem atspoguļojas arī meža ražībā: pastiprināta spiediena zonā augošo 8 priežu kokaudžu augstuma pieaugums pēdējo 25 gadu laikā atbilst pirmajai bonitātei; neliela spiediena zonā 7 audžu augstuma pieaugums – otrai bonitātei. Tas apstiprina iepriekš atzīmēto [72] likumsakarību, ka kūdreņu meža tipi un ar tiem saistītā meža ražība atspoguļo pazemes spiedes ūdeņu izķīlēšanās intensitāti: šaurlapju kūdreņos (1. bonitāte) pazemes spiedes ūdeņi pieplūst aptuveni divreiz intensīvāk nekā par mežu bonitāti nabadzīgākos mētru kūdreņos.

Kūdras biežā slāņa veidošanās ilgst vairākus gadu tūkstošus, un kūdras botāniskais sastāvs, kā arī slānī akumulētās barības vielas saistās ar pazemes ūdeņu nepārtrauktu pieplūdi kūdras substrātam. Biogēno elementu pieplūdes intensitāte ar pazemes ūdeņiem ikvienā vietā savukārt izpaužas kā trīs argumentu funkcija: 1) biogēno elementu koncentrācija pieplūstošos pazemes ūdeņos; 2) pieplūstošo ūdeņu spiediens; 3) sprosts slāņa biežums un ūdens filtrācijas koeficients. Varam pieņemt, ka vienā izvēlētajā vietā pirmais un trešais arguments uzskatāmi kā laikā nemainīgi lielumi. Tādējādi biogēno elementu koncentrācija augsnes gruntsūdeņos mainās līdz ar pazemes ūdeņu pjezometriskā līmeņa un augsnes gruntsūdens līmeņa starpības Δh izmaiņām.

Mežā ar biezu kūdras slāni (biezums >50 cm) kalcija un magnija jonu koncentrācija saistībā ar Δh izmaiņām laikā analizēta septiņos mērpunktos, ikvienā no tiem 5 gadu laikā ievācot un analizējot 42 gruntsūdens paraugus. Vienlaicīgi izmērīts arī augsnes gruntsūdens līmeņa augstums, un no plaknes vienādojuma aprēķināts pazemes ūdeņu pjezometriskā līmeņa augstums. Sakārtojot mērpunktus Δh vidējo aritmētisko rādītāju pieaugošā secībā (23. tabula) un novērtējot divu blakus esošo rādītāju starpību ar t kritēriju, varam secināt, ka visas starpības ir signifikantas ($t_{\text{fakt}} > t_{0,05} = 1,96$). Tas apliecina, ka Δh teritoriālās atšķirības ir daudz lielākas nekā Δh rādītāju izkliede 5 gadu laikā vienā mērpunktā.

Aprēķinot sakarību starp Ca un Mg jonu koncentrāciju augsnes gruntsūdenī un Δh 7 mērpunktos, strikti iezīmējas mērpunktu savdabības, ko nosaka: 1) samērā nelielās Δh vērtību svārstības ikvienā mērpunktā, un 2) niecīgā korelācija starp Δh un Ca, kā arī Mg jonu koncentrāciju vienā mērpunktā: $r = 0,01 \dots 0,25$ pie $r_{0,05} = 0,31$ (23. tabula). Tas norāda, ka jonu koncentrācijas izmaiņas vienā vietā vērtējamas kā nejaušas, ko, iespējams, ietekmē arī jonu koncentrācijas svārstības dolomīta spraugās lokalizētajos ūdeņos, kas šajā darbā nav detāli analizētas.

23. tabula

Ūdens līmeņu starpības ($\Delta h = h - H$, cm) statistiskie rādītāji atsevišķos mērpunktos mežos ar biezu kūdras slāni

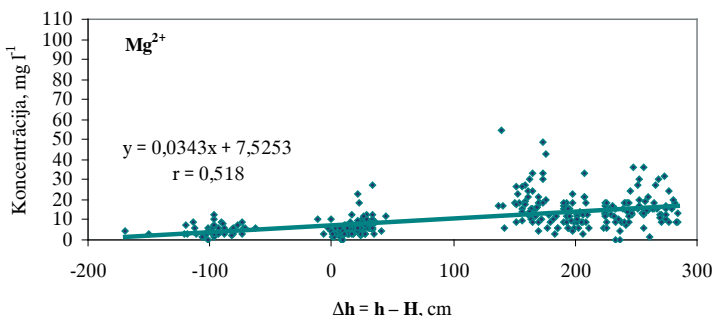
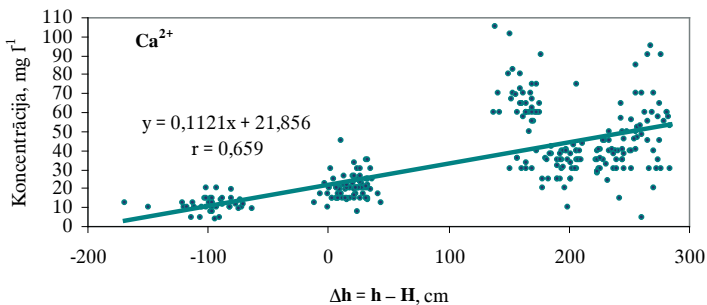
Mērpunkti	H 31 aka	H 30 aka	H 13 aka	H 130 aka	H 103 aka	H 72 aka	H 201 aka
Vidējā vērtība	-97	12	27	162	193	231	265
Reprezentācijas kļūda	3,0	1,7	1,1	1,6	2,0	2,4	1,8
Standartnovirze	19,7	10,7	7,2	10,3	13,1	15,4	11,76
Maksimālā vērtība	-63	44	41	177	211	252	284
Minimālā vērtība	-169	-11	7	137	151	178	243

Apvienojot vienā izlasē visus 293 mērījumus mežā ar biezu kūdras slāni ar Δh svārstībām robežās no -169 cm līdz +284 cm, iezīmējas signifikanta sakarība starp Δh un jonu koncentrāciju (22. attēls). Korelācijas koeficients starp Δh (cm) un Ca jonu koncentrāciju (mg l^{-1}) $r = +0,66$; starp Δh (cm) un Mg jonu koncentrāciju (mg l^{-1}) $r = +0,52$, pie $r_{0,05} = 0,11$. Sakarību starp Δh

un jonu koncentrāciju raksturo regresijas vienādojumi:

$$\text{Ca} = 0,1121 \Delta h + 21,9;$$

$$\text{Mg} = 0,0343 \Delta h + 7,5.$$



22. attēls. Kalcija (Ca^{2+}) un magnija (Mg^{2+}) jonu koncentrācija augsnes gruntsūdenī kā $\Delta h = h - H$ funkcija mežos ar biezu kūdras slāni.

Citā izlasē apvienojot 242 mērījumu rezultātus par Ca un Mg jonu koncentrāciju āreņu (kūdras slāņa biezums nepārsniedz 20 cm) augsnes gruntsūdeņos, iegūti šādi vidējie rādītāji: Ca – 26,8 mg l⁻¹ ar reprezentācijas kļūdu 2,1 mg l⁻¹ un Mg – 9,8 mg l⁻¹ ar reprezentācijas kļūdu 0,6 mg l⁻¹. Ievietojot šos skaitļus iepriekš aprakstītajos regresijas vienādojumos, iegūstam šādas Δh vērtības: attiecībā uz kalcija jonu koncentrāciju $\Delta h = 44$ cm un attiecībā uz magnija jonu koncentrāciju $\Delta h = 67$ cm. No šiem rezultātiem varam secināt: mežos ar biezu kūdras slāni pazemes ūdeņu pjezometriskā līmeņa un augsnes gruntsūdens līmeņa starpība $\Delta h \approx 0,5$ m spēj nodrošināt

tādu pat kalcija un magnija jonu koncentrāciju augsnes gruntsūdeņos, kāda tā ir hidromorfās minerālaugsnēs. Ja $\Delta h > 0,5$ m, tad kūdras augsnes ir labāk apgādātas ar kalciju un magniju nekā hidromorfās minerālaugsnes, kur Δh ir ar negatīvu zīmi un mežaudze barības vielas iegūst tieši no augsnes minerālajiem horizontiem.

Ar to arī izskaidrojami fakti, ka Vesetnieku stacionārā sausienēm pieguļošajos kūdreņos ar samērā plānu kūdras slāni (0,5–1,0 m), kur biogēnie elementi pieplūst no blakus esošām minerālgruntīm, kokaudžu ražība nereti ir zemāka par kokaudžu ražību tālu prom no sausieņu nogāzēm vietās ar biezu kūdras slāni (2–5 m), kur minerālvielu pieplūdi nodrošina pazemes ūdeņu pastiprināta atslodze.



Mūsu acu priekšā (2004. g. – attēls A, 2011. g. – attēls B) bebrei veido meliorātoriem un augsnes pētniekiem ļoti pazīstamo grīšļu-koku kūdru; vēl pirms pusgadsimta tās izcelsme nebija izprotama.

7. ŪDENS NOTECE NO NOSUSINĀTIEM MEŽIEM

Novērtējot līdzšinējos pētījumus par nosusināšanas intensitātes ietekmi uz ūdens bilanci, jāsaprot, ka tie veikti galvenokārt sūnu purvos. Darbu šādos apstākļos atvieglo tas, ka līdz minimumam samazinās ūdens infiltrācija dziļākajos grunts slāņos. Tādējādi ūdens zudumus sastāda tikai evapotranspirācija un notece. Tā kā sūnu purvs lielākā platībā ir diezgan homogēns, tajā ir vieglāk atkārtot eksperimentu. Pielietotajai metodikai tomēr piemīt virkne trūkumu, kas liek kritiski novērtēt iegūtos datus un traucē to plašāku izmantošanu. Notece tiek analizēta pa atsevišķiem grāvjiem vai pavisam nelielām 2 grāvju sistēmām, kas aptver tikai dažus hektārus. Tāpēc jau neliela kļūda, nosakot noteces baseina robežas, var būtiski izmainīt noteces parametrus, kas, kā zināms, tiek aprēķināti platības vienībai. Bez tam datus par ūdens bilanci nosusinātos, bet parasti mežsaimnieciski neapgūtos purvos nevar izmantot mežu nosusināšanas hidroloģiskā efekta novērtēšanai. Tas ir sevišķi svarīgi Latvijā, kur nosusināšanas sistēmas parasti aptver platības ar ļoti daudzveidīgu augšanas apstākļu un mežaudžu tipu struktūru.

Ūdens noteces režīms un apjoms no mežiem vistiešāk raksturo meža ūdensregulējošo un ūdensaizsargājošo lomu. Tomēr, skaitliski izvērtējot šo lomu, nepieciešams ievērot, ka notece no meža aizņemtām lielām platībām nav pielīdzināma notecei no meža ekosistēmām. No platībām notekošā ūdens daļa ir tikai ūdens sistēmas sastāvdaļa, kas līdzīgi kā reljefs, ekspozīcija u.c. meža ekosistēmas ārējie faktori meža ekosistēmas darbībā tieši nepiedalās.

Pagaidām nav izstrādāta strikta metodika, kā atdalīt ūdens noteci no meža ekosistēmas un no noteces pa hidroloģisko tīklu. Sarežģījumi



Kopš 1967. gada ierīkotā taisnleņķa pārgāze uz maģistrālā grāvja, un ūdens līmeņa mērījumi ar koriģēto “Valdas” pašrakstītāju.

veidojas no tā, ka ūdeņi, kas aktīvi piedalās meža ekosistēmas darbā, paši papildinās gan ar nokrišņu ūdeņiem, gan ar gruntsūdeņiem, gan ar pazemes spiedes ūdeņiem, kas pieplūst no citām teritorijām. Daudzos gadījumos, risinot hidrotehniskās un ūdens saimniecības problēmas, tomēr var iztikt bez šāda detāla izskaidrojuma un izmantot vienu integrālu rādītāju, kas raksturo kopējo noteci pa hidroloģisko tīklu.

Grāvju tīkla lomu pārmitrajos mežos var izvērtēt vairākos aspektos. Raugoties no hidroloģiskās puses, grāvji aktivizē noteci. Noteces apjoms pēc nosusināšanas var izmainīties tik daudz, cik daudz izmainīsies evapotranspirācija un ūdeņu pieplūde no citām platībām. Nosusināšanas sistēmu var vērtēt arī kā augsnes aeratoru, kā koku sakņu aizsargsistēmu pret sakņu applūšanu, vai arī kā biogēno elementu pieplūdes šķērslī. Bez tam 5–18 % no pārmitro un vēlāk nosusināto mežu platības zūd zem grāvju trasēm. Tāpēc meliorācijas sistēmu projektēšana saistās ar kompromisa varianta meklēšanu, sasaistot mežsaimniecības un ūdenssaimniecības prasības.

Rēķinoties ar uzskaitītajām prasībām, jārisina jautājumi par meliorācijas sistēmas parametriem gan vertikālajā, gan horizontālajā griezumā. Pārmitro mežu gruntis ir vāji filtrējošas. Tāpēc grāvju padziļināšana dziļāk par 1,1–1,3 m nav lietderīga. Atstatums starp nosusināšanas grāvjiem ir atkarīgs no augsnes filtrējošām īpašībām un ūdens pieplūdes režīma. No šiem abiem faktoriem lielā mērā ir atkarīga meža ekosistēmas struktūra (komponenti un to savstarpējās sakarības), kas atspoguļojas meža tipā. Tāpēc nav pārsteigums, ka sevi pilnā mērā attaisno atstatumi starp grāvjiem, kas atrasti saistībā ar meža tipu, un kokaudzes ražības izmaiņām atšķirīgos atstatumos no grāvja.

Ne jau tikai mežsaimnieciskais efekts nosaka hidromeliorācijas tautsaimniecisko nozīmi. Analizējot ūdens noteces likumsakarības no meliorētajiem mežiem, uzskatāmi izpaužas nosusināšanas ietekme uz teritorijas ūdens resursiem. Noteces režīmā pa meliorācijas sistēmām summāri parādās savstarpējās attiecības starp ūdens pieplūdes rādītājiem un patēriņu evapotraspirācijā.

Dažkārt izvirzās jautājums [20]: kurš kuru ietekmē – iztvaikošana noteci vai otrādi? Abi šie rādītāji raksturo ūdens bilances patēriņa daļas elementus. Viennozīmīgi atbildēt uz šādu jautājumu nav iespējams. Attiecības starp noteci un iztvaikošanu mainās atkarībā no faktiskās ūdens aprites meža ekosistēmā. Ja ūdens pieplūde veidojas tikai no atmosfēras nokrišņiem ar to pārvietošanos gruntī uz leju, notecē piedalās tas ūdens, kas paliek pēc iztvaikošanas. Tādējādi pa grāvjiem vasarā aiztek visai nedaudz ūdens, parasti pēc spēcīgiem lietiņiem. Meža nogabalos, kur atslagojas pazemes spiedes ūdeņi, vairums šo ūdeņu aiztek pa nosusināšanas grāvjiem. Ja šādā situācijā grāvjus aizsprosto, tad caurtece samazinās un palielinās iztvaikojošā ūdens apjoms. Taču meliorācijas grāvju

padziļināšana palielinās noteci, bet nemazinās iztvaikošanu, jo noteces palielināšanās notiks sakarā ar pazemes ūdeņu atslodzes pastiprināšanos – vienlaicīgi notiks gan ūdens bilances pieplūde, gan patēriņa daļas noteces pieaugums.

Analizējot hidrotehniskās meliorācijas ietekmi uz ūdens noteci, visbiežāk tiek salīdzināta notece pa dabīgām promtekām no meliorātiem un nemeliorātiem sateces baseiniem. Apzinoties, ka nav divu vienādu baseinu un salīdzināmo objektu skaits vienmēr ir ierobežots, pētnieki viennozīmīgi secina, ka pēc platību nosusināšanas samazinās maksimālā notece pavasara plūdu laikā un paaugstinās minimālā vasaras notece pa upēm. Ne tik vienprātīgi ir uzskati par noteces kopējo apjomu. Taču arī šeit sastopamas divas atziņas – pēc meliorācijas noteces apjoms vai nu palielinās vai nemainās.

Visticamākos rezultātus par hidrotehniskās meliorācijas ietekmi uz upju noteci var iegūt, veicot ilglaicīgus stacionārus novērtējumus par visiem ūdens bilances elementiem, to savstarpējām attiecībām. Tas uzskatāms kā aktīvs eksperiments, kas pieļauj ierīkot atkārtotus novērojumu objektus un novērtēt rezultātu ticamību.

Noteces režīma izpētei Vesetnieku stacionārā 1966. gada rudenī uzsākti un joprojām turpinās noteces nepārtraukti mērījumi no pieciem sateces baseiniem. Baseini 1960. gadā meliorēti ar vaļēju grāvju tīklu, kas 1. un 2. baseinā papildināts ar segtām drenām. 1970. gadā Ventspils mežrūpsaimniecības Puzes mežniecībā tika aprīkotas četras ūdens mērīšanas pārgāzes, kur novērojumus veica Mežsaimniecības problēmu institūta doktorants Andris Aire.

Visi baseini ir pilnībā klāti ar mežu, un tajos pārmitro (meliorēto) mežu īpatsvars sastāda apmēram 70 %. Vesetnieku stacionāra baseinos kūdreņu īpatsvars svārstās robežās no 2 % (4. baseins) līdz 100 % (1. un 2. baseins), bet Puzes stacionāra visos baseinos pārsvarā ir āreņi (24. tabula).

Nosusināšanas sistēmu svarīgākie rādītāji Vesetnieku un Puzes stacionāros

Sateces baseins	Sateces baseina platība, ha		Kanalizācija, m ha ⁻¹	Kūdrēnu īpatsvars, %	Grāvju un drenu garums ar dibenslīpumu <i>i</i> , %				
	kopējā	t.sk. hidro-melioratīvais fonds			Grāvji		Segtās drenas		
					<i>i</i> ≤ 0,001	<i>i</i> = 0,001 ÷ 0,0040	<i>i</i> > 0,004	<i>i</i> = 0,004	<i>i</i> = 0,006
Vesetnieku stacionārā									
1.	27,7	23,3	120	100	39	61	–	100	–
2.	105,1	58,9	101	100	–	65	35	84	16
3.	141,5	93,4	92	73	6	32	62	–	–
4.	62,6	56,3	60	2	30	52	18	–	–
5.	31,0	31,0	75	35	53	47	–	–	–
Puzes stacionārā									
1.	235,6	205,0	54	16	–	33	67	–	–
2.	218,8	177,2	56	26	–	11	89	–	–
3.	144,6	104,4	64	6	–	13	87	–	–
4.	163,0	106,0	13	17	–	–	–	–	–

Ūdens notece taisnleņķa pārgāzēs tiek mērīta nepārtraukti ar „Valdaja” tipa pašrakstītājiem, kas pārveidoti nedēļas režīmā. Noteces apjoma precizēšanai veikta koriģēšana pie atšķirīgām plūsmas intensitātēm un nepieciešamības reizēs mērījumu rezultāti izlaboti.

Kaut arī noteces mērījumi tiek veikti nepārtraukti, dažkārt rodas nepieciešamība (pārgāžu remonta vai pārbūvju laikā) noteces apjomu aprēķināt, izmantojot citus, viegli izmērāmus hidroloģiskā režīma rādītājus. Šim nolūkam visatbilstošākie ir augsnes gruntsūdens līmeņa rādītāji.

Noteces intensitāte (mm dn⁻¹) cieši korelē ar augsnes gruntsūdens līmeņa dziļumu: $\eta = 0,92 - 0,93$. Tas nozīmē, ka viena sateces baseina ietvaros noteces daudzums (**Q**) par 85 % izskaitļojams, zinot ūdens līmeni (**H**) vidū starp grāvjiem. Sakarību lietderīgi aproksimēt ar hiperbolas vienādojumu

$$Q = a(105 - H)(b + H)^{-1},$$

kur a un b – empīriskie koeficienti pie $30 \leq H < 105$.

Ja $H \geq 105$ cm, notece pa grāvjiem ir izbeigusies. Vesetnieku un Puzes baseinos koeficientiem a un b ir šādas vērtības:

Koeficienti	Vesetnieku sateces baseini					Puzes sateces baseini			
	1.	2.	3.	4.	5.	1.	2.	3.	4.
a	0,73	0,57	0,70	3,9	3,7	0,4	0,5	1,3	0,6
b	-13	-5	-20	42	22	-15	-30	-5	-24

Koeficientu vērtības visticamāk svārstās saistībā ar augsnes hidroloģiskajām īpašībām, taču mūsu rīcībā nav pietiekošā daudzumā materiāla, lai šīs īpašības ticami noformētu.

Regresijas vienādojuma standartnovirze nepārsniedz $0,17 \text{ mm dn}^{-1}$, un ar 90 % ticamību varam teikt, ka faktiskie mērījumi no regresijas līnijas neatšķiras vairāk par $0,28 \text{ mm dn}^{-1}$.

Kā jau minēts, aptuveni 15 % no noteces apjoma svārstībām nevar izskaidrot ar augsnes gruntsūdens līmeņa atšķirībām. Apmēram 40 % no šīs nesaistes var biometriski izskaitļot kā augsnes gruntsūdens līmeņa un pazemes spiedes ūdeņu pjezometrisko līmeņu nesakritību laikā. Zinām, ka daļa no pazemes spiedes ūdeņiem atslogojas tieši grāvī, un šie ūdeņi neietekmē augsnes gruntsūdens līmeni mežaudzēs.

7.1. Noteces daudzums

Noteces daudzuma svārstības analizētas deviņos nosusināta meža ūdens sateces baseinos – piecos baseinos Vesetnieku stacionārā sākot ar 1968. gadu un četros baseinos Puzes stacionārā 1971.–1974. g. Noteces daudzums šajā laikā ik gadu (01.05.–31.10.) atšķirās plašās robežās no 21 mm līdz 265 mm. Lai novērtētu ārējo faktoru, t.i., kanalizācijas pakāpes, nosusināšanas grāvju dibena slīpuma un grunts savdabību ietekmi, veikta multiplā regresijas analīze. Grunts savdabības raksturotas ar kūdras augšņu īpatsvaru sateces baseina teritorijā. Aprēķinos lietotie parametri svārstījās šādās robežās: kanalizācijas pakāpe – no 54 līdz 120 m ha^{-1} ; vidējais svērtais grāvju dibena slīpums – no 0,0017 līdz 0,0057 un kūdras augšņu īpatsvars – no 2 līdz 100 %. Ar parametru svārstībām uzrādītajās robežās var izskaidrot 76 % no noteces daudzuma svārstībām

(multiplās korelācijas koeficients $R = 0,87$). Atsevišķu parametru ietekme izpaužas šādi: kanalizācijas pakāpe – 8 % (sakarība nejauša pēc Fišera kritērija), kūdraino augšņu īpatsvars – 63 % (sakarība signifikanta), grāvju dibena slīpums – 5 % (sakarība nejauša). Par cik kūdraino augšņu īpatsvars būtiski un pozitīvi korelē ar pazemes ūdeņu atslodzes intensitāti, varam uzskatīt, ka ūdens noteces daudzums atkarīgs no augsnes gruntsūdeņu barošanās režīma meliorētajos mežos.

Tādi rezultāti iegūti, analizējot noteces daudzumu deviņos sateces baseinos četru gadu laikā. Gruntsūdeņu barošanās režīma savdabības iespaido arī noteces apjoma svārstības pa gada laikiem. Vesetnieku stacionāra piecos baseinos 41 veģetācijas perioda laikā (01.05.–31.10.) noteces daudzums svārstījās robežās no 7 mm (4. baseins 2002. gadā) līdz 418 mm (3. baseins 1980. gadā) (25. tabula); atmosfēras nokrišņi šajās vasarās bijuši robežās 169 mm (1975. gads) līdz 692 mm (1980. gads). Dispersiju analizē uzziņāts, ka ar nokrišņu svārstībām var izskaidrot tikai 56 % no noteces daudzuma rādītāju izkliedes, pārējie 44 % saistās ar sateces baseinu teritoriālo nevienādību.

25. tabula

Ūdens notece (mm) pa grāvjiem Vesetnieku stacionāra sateces baseinos (01.05.–31.10.)

Gads	1. baseins	2. baseins	3. baseins	4. baseins	5. baseins
1968	217	223	249	144	144
1969	164	190	185	91	144
1970	63	107	160	48	91
1971	46	81	104	21	57
1972	101	175	201	81	116
1973	124	179	192	64	74
1974	131	217	265	116	135
1975	33	71	63	12	12
1976	34	37	118	16	30
1977	155	147	247	94	92
1978	193	234	329	131	134
Aritm. vidējais	115	151	192	74	94

Gads	1. baseins	2. baseins	3. baseins	4. baseins	5. baseins
1979	119	160	198	61	65
1980	211	256	418	200	220
1981	134	240	265	94	106
1982	82	182	198	56	56
1983	117	157	171	47	55
1984	86	152	226	71	97
1985	123	191	266	87	114
1986	110	221	226	81	89
1987	209	288	382	127	164
1988	139	223	334	85	129
Aritm. vidējais	133	207	268	91	110
1989	73	127	171	41	46
1990	124	162	270	96	116
1991	133	151	239	65	105
1992	66	72	123	28	31
1993	77	68	188	44	63
1994	93	111	188	21	48
1995	85	108	174	63	81
1996	40	74	101	16	39
1997	94	99	186	38	80
1998	97	262	281	104	188
Aritm. vidējais	88	123	192	52	80
1999	25	118	144	17	43
2000	51	90	114	11	20
2001	65	102	115	19	25
2002	27	127	52	7	10
2003	35	73	79	12	35
2004	130	145	210	58	72
2005	162	209	253	81	72
2006	57	56	113	8	13
2007	121	126	188	33	81
2008	48	80	117	10	16
Aritm. vidējais	72	113	139	26	39

Atsevišķos sateces baseinos noteces apjoms veģetācijas periodā cieši korelē ar atmosfēras nokrišņiem ($r = 0,75$ pie $r_{0,05} = 0,31$). Samērā ciešā sakarība pieļauj aprēķināt lineāras regresijas vienādojumu, kurā regresors ir atmosfēras nokrišņi veģetācijas periodā (N), bet regresents – noteces apjoms (Q).

Vienādojuma forma $Q = a + bN$. Koeficients a vērtējams kā noteces rādītājs, ja $N = 0$; koeficients b raksturo noteces apjoma izmaiņas, mainoties nokrišņu daudzumam. Vesetnieku stacionāra piecos sateces baseinos 41 gada laikā iegūti šādi regresijas koeficienti:

	1.	2.	3.	4.	5.
a	-65	-50	-94	-91	-91
b	0,378	0,448	0,657	0,343	0,387

Atrisinot regresijas vienādojumu pie $Q = 0$, iegūstam rezultātus, ka grāvju sistēma 1.–5. baseinos nestrādā visu veģetācijas periodu, ja nokrišņu apjoms nepārsniedz 173, 112, 143, 266 un 236 mm. Tas nozīmē, ka nav iespējama situācija, ka arī t.s. sausajās vasarās pa 1,0 m dziļiem grāvjiem kūdreņos neplūstu ūdens. Maz ticams, bet principā iespējamās tādas vasaras, kurās ūdens neplūst āreņos pa 4. un 5. baseina grāvjiem. Ilustrācijai atzīmēsim, ka 1975., 2002., 2006. gadu vasarās notece pa minēto baseinu grāvjiem nepārsniedza 20 mm visā veģetācijas periodā.

Koeficienti b signifikanti korelē ar grāvju dibena slīpuma vidējiem svērtiem rādītājiem ($r = 0,91$ pie $r_{0,05} = 0,88$). Otrajā un trešajā sateces baseinā, kuros grāvju dibena slīpums ir 0,0044, ūdens noteces koeficients (attiecība starp noteci un nokrišņu daudzumu klajumā) ir divkārt lielāks par noteces koeficientu 1., 4., 5. baseinos, kur $i = 0,0022$. Te lietderīgi pieminēt, ka pa grāvjiem notek tikai neliela daļa no tiem nokrišņiem, kas veģetācijas periodā nolīst klajumā. Piemēram, 14 gadus veģetācijas periodā notece pa grāvjiem 1., 4. un 5. baseinos vidēji bija 18–20 mm no nokrišņu apjoma, bet 2. un 3. baseinos – 42 mm. Vidējais nokrišņu apjoms laikā no maija līdz oktobrim bija 410 mm. Tas atkārtoti norāda, ka notecē pa grāvjiem galvenokārt piedalās no malas pieplūstošie ūdeņi un pazemes spiedes ūdeņi.

Pamatots ir pieņēmums, ka ūdens plūsma pasliktinās, deformējoties grāvju tīklam. Izvirzās jautājums, kā samazinās noteces apjoms līdz ar grāvju deformēšanos.

Pagājušā gadsimta astoņdesmito gadu otrajā pusē, kad jaunu meliorācijas projektu iestrāde tika pārtraukta, institūta „Meliorprojekts” mežu meliorācijas daļas darbinieki veica Latvijas meža nosusināšanas sistēmu inventarizāciju, apsekojot dabā grāvju, hidrotehnisko un transporta būvju stāvokli. Mēs rekomendējam nosusināšanas tīklu pēc stāvokļa iedalīt trīs grupās: labs, apmierinošs un slikts, to skaitliski izsakot ar atzīmi 4, 3 un 2.

Grāvju darbība tika novērtēta kā laba, ja: 1) grāvji visā garumā atbilst projektētajiem parametriem vai ir tuvu tiem; 2) grāvis ir sauss vai 3) pa to netraucēti plūst ūdens.

Grāvju darbība ir apmierinoša, ja 1) tajos sastopami atsevišķi aizsērējumi vai nelielas gultnes deformācijas – piesērējums nepārsniedz vienu trešdaļu no projektētā grāvju dziļuma; 2) grāvju gultne nav aizaugusi ar krūmiem un zāli; 3) grāvju darbību var uzlabot, tos kopjot.

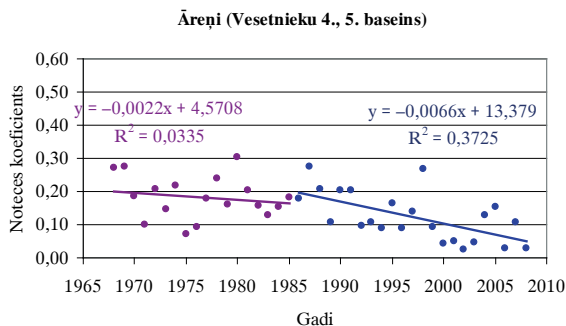
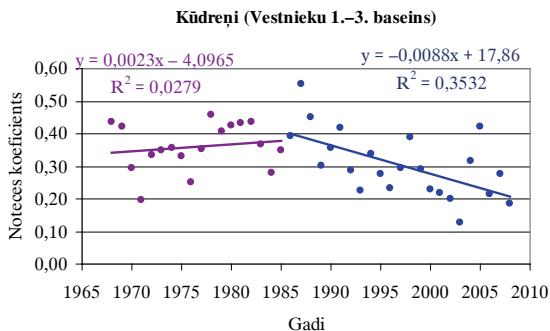
Grāvju darbība ir slikta, ja: 1) to dziļums samazinājies vairāk kā par vienu trešdaļu; 2) gultnes aizaugums ar zāli un krūmiem traucē ūdens plūsmu; 3) grāvjos uzstādināts ūdens bebru darbības ietekmē, kā arī bojātu tiltu vai caurteku dēļ; 4) nepieciešams kapitālais remonts.

Dīvēdesmit apsekotajās virsmežniecībās kā labi novērtēti vidēji 28 % grāvju, apmierinoši – 41 %, bet slikti – 31 % grāvju. Tas nozīmē, ka slikto grāvju ir nedaudz vairāk nekā labo grāvju, un republikas mežos slikto grāvju kopgarums pārsniedz 16 tūkst. km.

Izvērtējot nosusināšanas sistēmu stāvokli atkarībā no to vecuma, iegūts samērā precīzs regresijas vienādojums $GS = e^{1,41 - 0,012T}$, kur **GS** – grāvja stāvoklis, izteikts izvēlētajās atzīmēs; **T** – sistēmas vecums gados; korelācijas koeficients $r = -0,83$. Svarīgākās atziņas: pirmajos 5 gados visas grāvju sistēmas darbojas labi (**GS** \approx 4,0); visu sistēmu, kas vecākas par 25 gadiem, darbība kļūst neapmierinoša (**GS** $<$ 3,0), un visas 60 gadu un vecākas sistēmas darbojas slikti (**GS** \approx 2,0).

Noteces mērījumu dati stacionārā Vesetnieki pārlicieņos apstiprina grāvju inventarizācijas laikā iegūtos rezultātus (23. attēls). Atšķirīga ir noteces koeficienta dinamika kūdreņos un āreņos. Pirmos 25 gadus (līdz 1985. gadam) pēc grāvju ierīkošanas kūdreņos noteces koeficients praktiski nemainās; vērojama pat neliela kāpjoša tendence ($r = 0,17$), kas izriet arī no teorētiskiem priekšnosacījumiem: kūdreņos augsnes gruntsūdens līmeņa **H** pazemināšanās pēc nosusināšanas izraisa hidrauliskā spiediena

Δh palielināšanos un ar to saistīto pazemes spiedes ūdeņu atslodzes nelielu pieaugumu. Grāvju sistēmas tālāka deformēšanās, kas kūdreņos notiek straujāk nekā āreņos, izraisa noteces koeficienta signifikantu ($r = -0,59$) samazināšanos.



23. attēls. Noteces koeficients (QN^{-1}) vasaras mēnešos.

Āreņos, kur pazemes spiedes ūdeņi neatslogojas grāvju tīklā, visu laiku vērojama noteces koeficienta samazināšanās; pirmos 25 gadus samazināšanās ir neliela ($r = -0,18$), otrajā mērījumu posmā pēc 1985. gada samazināšanās ir straujāka ($r = -0,60$), kas visai līdzīga noteces izmaiņām kūdreņos.

Līdzīgi rezultāti par noteces apjomu meliorētajos purvos iegūti arī Baltkrievijā [253]. Tur aprēķināts, ka tikai 30 % no gada nokrišņu apjoma sasniedz augsnes gruntsūdeņus, no kuriem 80 % atkal atgriežas meža ekosistēmā un iztvaiko. Tādējādi notecē pa meliorācijas kanāliem piedalās tikai 6 % no ikgadējā nokrišņu apjoma.

7.2. Noteces dinamika

Noteces svārstības gada laikā sakrīt ar augsnes gruntsūdens līmeņa svārstībām – raksturīgi ir divi maksimumi (pavasārī un rudenī), kā arī divi minimumi (ziemā un vasarā). Pa grāvjiem notekošā ūdens diennakts rādītāji variē plašās robežās – no 0 līdz 5 mm dn⁻¹. Tāpēc noteces likumsakarības lietderīgi analizēt pa gada laikiem.

Sadalot hidroloģisko gadu pa sezonām, parasti tiek pielietotas divas metodes. Pēc pirmās metodes noteces mērīšanas periods tiek sadalīts apakšperiodos pa gadiem ar mainīgām robežām. Par pavasara plūdu un rudens lietavu sākumu pieņem noteces intensīvas iestāšanās laiku. Vasaras un ziemas apakšperiodi sākas tad, kad intensīvās noteces periods beidzas, un noteces apjoms ir līdzīgs iepriekšējam pirmsplūdu apjomam. Šādam apakšperiodu izdalījumam ir lietderība, analizējot atsevišķu gadu hidroloģiskās īpatnības. Šī metode zaudē savas priekšrocības, ja mērķis ir analizēt dažādas noteces nodrošinājumu daudzu gadu laikā. Noteces intensitātes nodrošinājuma pētījumiem mēs lietojām otru metodi, t.i., gada nosacītu sadalījumu pa apakšperiodiem. Tādā sakarā pavasari raksturo 2 mēneši: aprīlis, maijs; vasaru – 5 mēneši: jūnijs, jūlijs, augusts, septembris, oktobris; rudeni – 2 mēneši: novembris, decembris; ziemu – 3 mēneši: janvāris, februāris, marts. Šo apakšperiodu ietvaros aprēķināti un savstarpēji salīdzināti diennakts vidējie noteces apjoma rādītāji pa kūdreņos un āreņos ierīkotajiem grāvjiem.

Pavasari pa meliorācijas grāvjiem notek 22–43 % no gada noteces apjoma. Noteces intensitātes rādītāji šajā apakšperiodā vislielāko vērtību izraisa ar savām maksimālajām vērtībām. Pēc tām var novērtēt meža meliorācijas ietekmi uz plūdu režīmu upēs, un tieši šie rādītāji arī nosaka hidrotehnisko būvju parametrus uz grāvjiem.

Diennakts maksimālās noteces (5 % nodrošinājums) atšķirības no kūdreņiem un āreņiem novērtētas, salīdzinot noteces intensitāti pirmajā

un otrajā sateces baseinos (kūdreņi) ar noteces intensitātes rādītājiem ceturtajā un piektajā sateces baseinā. No kūdreņiem maksimālā notece ir 3,6 mm dn⁻¹, no āreņiem – 5,0 mm dn⁻¹. Šajā laikā maksimālā notece pa Vesetu sasniedz 10,5 mm dn⁻¹.

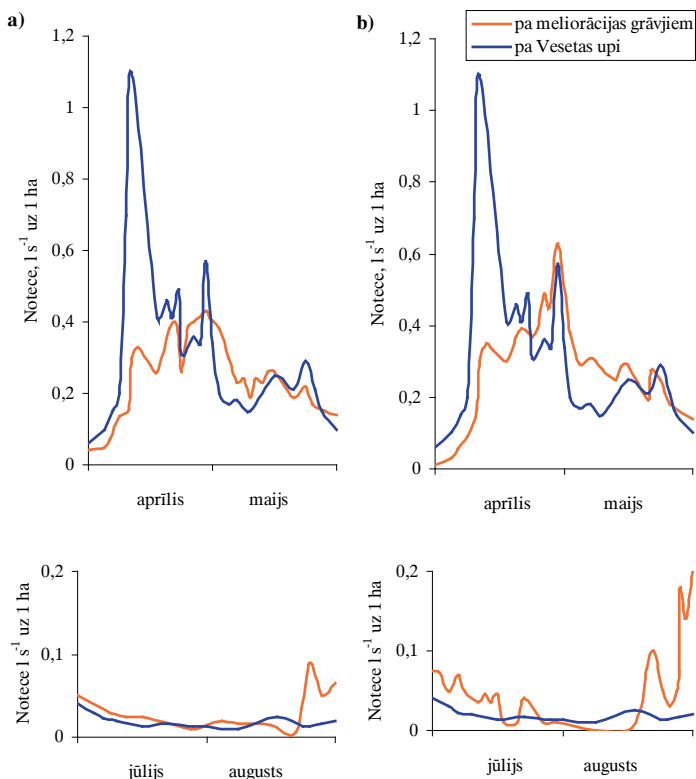
Nedaudz atšķirīgi ir pavasara plūdu rādītāji Puzes stacionārā. Klimatiskos apstākļus šeit ietekmē jūras tuvums. Ziemā te mēdz būt vairāki atkušņi, un sniega segā uz kušanas sākumu ir aptuveni divkārt mazāk ūdens nekā Vesetnieku stacionārās. Tāpēc maksimālā notece pavasarī pa nosusināšanas grāvjiem ir tikai 2,7 mm dn⁻¹. Salīdzinoši maza ir arī maksimālā notece pa dabisko promteku – Stendes upi – 2,8 mm dn⁻¹.

Šie dati apstiprina likumsakarību, ka pavasarī notece no āreņiem ir intensīvāka nekā notece no kūdreņiem. Tomēr arī no āreņiem maksimālā notece pa grāvjiem ir mazāka nekā notece pa dabīgām promtekām (24. attēls). Mūsu rīcībā nav datu, kāda bija notece no pārmitrajiem mežiem pirms to meliorācijas, tādēļ nevaram apstiprināt, vai mežu nosusināšana samazina vai arī nesamazina upju noteci plūdu laikā. Mūsu mērījumu rezultāti nepārprotami liecina, ka mežu nosusināšana neietekmē upju maksimālo noteci.

Ir saprotams, ka meliorācijas grāvju darbība bezatkušņu ziemās palielina ūdens akumulācijas spējas kūdras augsnēs. Šo spēju skaitliskai apzināšanai mēs aprēķinājām noteces koeficientu pavasara apakšperiodā (noteces apjoma attiecību pret ūdens uzkrājumu sniega segā kušanas sākumā, pieskaitot tam kušanas laikā nokritušo nokrišņu apjomu). Noteces koeficienti ir lieli un kūdreņos nereti tuvi vienam. Tomēr jāievēro, ka notecē piedalās arī no blakus platībām pieplūstošie ūdeņi. Atskaitot pieplūstošo ūdeņu daudzumu, aprēķinājām, ka vidējais noteces koeficients kūdreņos ir 0,54 un āreņos – 0,68. Tas liecina par noteces izlīdzināšanos no nosusinātiem mežiem, īpaši no kūdreņiem.

Hidrologi ir vienisprātis, ka meža klātbūtne sateces baseinā izlīdzinoši ietekmē pavasara noteces režīmu. Atšķirības izpaužas, novērtējot optimālo mežainumu.

Passen ir izstrādātas (Uiska, Rieksts) vairākas empīriskas formulas, kuras pielietoja hidromeliorācijas pasākumu projektēšanā, lai aprēķinātu maksimālo noteci. Kā neatkarīgais rādītājs formulās ietilpst arī teritorijas mežainums. Mežainuma procentam pieaugot no 0 līdz 50 %, moduļa vērtība samazinās apmēram uz pusi. Tālāks mežainuma procenta pieaugums it kā atkal izraisa noteces moduļa palielināšanos. Līdzīgas atziņas sastopamas



24. attēls. Noteces dinamika pa meliorācijas grāvjiem no kūdreņiem (a) un āreņiem (b) 1979. gadā salīdzinājumā ar noteci pa Vesetas upi.

arī citu pētnieku darbos [239]. Šīs formulas izstrādātas, aproksimējot noteces moduļa vērtības, izmantojot faktiskos sateces baseina struktūras komponentus: purvus, ezerus, zemes virsas slīpumus un arī mežus.

Mūsaprāt nepieciešams kritiski novērtēt tādu modeļu ticamību, kas paredz noteces moduļa palielināšanos sakarā ar mežainuma pieaugumu. Nevienam autoram nebija pietiekami noteces mērījumi no pilnīgi apmežotiem sateces baseiniem. Visai bieži mežainuma procents raksturo cilvēka izveidotās attiecības starp meža un lauksaimniecības zemju platībām. Paaugstināts mežainums parasti vērojams pārmitrās teritorijās, kas mazāk

piemērotas to lauksaimnieciskai izmantošanai. Noteces empīriskie moduļi šādās mežainās teritorijās ir lielāki nekā mazāk mežainos sateces baseinos, taču tas nav vērtējams kā meža ietekme uz noteci.

Mēs analizējam meža ūdens regulējošo lomu, izmantojot datus par ūdens krājumiem sniega segā, sniega kušanas režīmu atšķirīgas struktūras kokaudzēs un ūdens noteci pa nosusināšanas grāvjiem. Iegūtie rezultāti apstiprināja, ka visizlīdzinātākais noteces režīms vērojams pilnīgi apmežotos sateces baseinos [212, 240].

Kā iepriekš atzīmējām, atšķirība ir 0,48 starp maksimālo noteces moduļi pavasarī maģistrālajos grāvjos un Vesetas upē (5 % nodrošinājums), t.i., noteces modulis upē ir divreiz lielāks nekā meliorācijas grāvjos. Nevar noliegt, ka zināmu lomu spēlē upes un maģistrālo grāvju gultnes atšķirības. Tomēr 12 gadu laikā Vesetnieku stacionārā un 4 gadu laikā Puzes stacionārā faktiskie maza nodrošinājuma noteces moduļi ne reizi nesakrīta ar tiem moduļiem, kas aprēķināti, izmantojot rekomendētās formulas. Vēl vairāk – faktiskie moduļi ar 5 % nodrošinājumu izrādījās 2–5 reizes mazāki par izrēķināto moduļi ar 25 % nodrošinājumu. Toties faktiski sakrīt aprēķinātie un izmērītie noteces moduļi pa dabiskajām ūdenstecēm – Vese-



tas un Stendes upēm. Tas norāda uz meža ūdensregulējošo lomu un liecina, ka hidrotehniskās būves (dzelzsbetona vai plastmasas caurtekas, tilti) uz nosusināšanas sistēmām tiek projektētas ar lielu rezervi.

Pavasara plūdu laikā maksimālie noteces moduļi nosusinātos mežos atšķiras ne tikai ar savām skaitliskām vērtībām. Noteces maksimums ir nobīdīts arī laikā, salīdzinājumā ar bezmežainām vai daļēji apmežotām teritorijām. Rādītāji, kas laikā raksturo atšķirības starp noteces maksimumu meliorācijas grāvjos un Vesetas upē, atbilst normālā sadalījuma prasībām ($\chi^2_{\text{fakt}} = 4,7 < \chi^2_{0,05} = 7,8$). Tāpēc šajā sakarā nosusināto mežu noteces režīma savdabību raksturošanai var izmantot normālā sadalījuma parametrus: aritmētiskais vidējais $\bar{x} = 6$ un standartnovirze $s = 9$ dienas. Tas norāda, ka Vesetnieku stacionāra teritorijā 90 % gadījumu nosusinātos mežos plūdu maksimums var iestāties ne ātrāk par 9 dienām pirms un ne vēlāk par 21 pēc noteces kulminācijas Vesetas upē.

Tomēr arī šie rādītāji ir koriģējami. Vesetnieku stacionāra teritorija atrodas upes baseina lejasgalā. Sniega kušana Vesetas augšgalā aizkavējas 6 dienas salīdzinājumā ar sniega kušanu Vesetnieku stacionārā. Ievērojot šo korekciju, par visai maz iespējamu jāuzskata situācija, ka maksimālā notece pa meža grāvjiem apsteigtu maksimālo noteci no neapmežotām platībām. Vispārinot mūsu iegūtos rezultātus, jāsecina, ka noteces maksimums mežā aizkavējas par 2 nedēļām, vai pat par mēnesi. Aptuveni līdzīgi ir arī citu autoru secinājumi [190, 229]: ekstrēmos gadījumos sniega nokušana mežos var aizkavēties par 45 dienām vai arī apsteigt par 18 dienām sniega kušanu klajumā.

Vasarā piecos mēnešos pa meliorācijas grāvjiem notek 9–26 % (vidēji 18 %) gada noteces apjoma. Vērtējot meliorācijas grāvjus no mežsaimnieciskā viedokļa, tiem jāaktivizē ūdens plūsma augsnē un vasarā jānovērš koku sakņu nevajadzīga applūšana. Arī vasarā, līdzīgi pavasarim, izpaužas nosusināto mežu ūdensregulējošā loma. Vasarā nav svarīgi īslaicīgi maksimālās noteces rādītāji, kas vasarā vienmēr ir mazāki par kulminācijām pavasarī. Tāpēc noteces režīma salīdzināšanai vasaras periodā izmantojām diennakts noteces apjoma rādītājus ar 50 % nodrošinājumu; tie fiksēti visbiežāk un ir tuvu sadalījuma modālajām vērtībām. Pa noteces baseiniem šie rādītāji (mm dn^{-1}) svārstījās diezgan plašās robežās:

Stacionārs	Sateces baseini				
	1.	2.	3.	4.	5.
Vesetnieki	0,43	0,39	0,51	0,22	0,19
Puze	0,16	0,09	0,10	0,30	

Tanī laikā pa Vesetu noteces modālā vērtība bija 0,31, bet pa Stendi (Puzē) – 0,16 mm dn⁻¹.

Salīdzinot ūdens noteces rādītājus pa maģistrālajiem grāvjiem un upēm, spilgti iezīmējas šāda likumsakarība – no sateces baseiniem, kur pārsvarā sastopamas kūdras augsnes, vasarā notece ir būtiski lielāka nekā notece no upes baseina (t-kritērijs). Nosusinātos mežos ar hidromorfām minerālaugsnēm noteces rādītāji svārstās daudz plašākās robežās, un starpība starp noteces vidējiem rādītājiem šajos mežos statistiski neatšķiras no upes noteces vidējā rādītāja. Noteces dispersiju no minerālaugšņu mežiem pastiprināti ietekmē tas, ka sausās vasarās izbeidzas notece pa grāvjiem. Periodi, kad grāvju ir sausi, ilgst 3–5 mēneši (1971., 1975., 1976., 2002., 2006. gadi).

Atbilstoši hidraulikas likumiem, ūdens pieplūde grāvim un arī tā notece pa grāvjiem mainās saistībā ar ūdens līmeņa gradientu starpgrāvju platībā. Matemātiski šī sakarība aproksimējas kā hiperbola – pie augsta gruntsūdens līmeņa, kad ūdens plūsmā iesaistās arī virsējie irdenākie augsnes slāņi, notece ir visai spēcīga. Ūdens līmenim padziļinoties, notece samazinās un pakāpeniski izbeidzas, ja ūdens līmenis vidū starp grāvjiem tuvojas grāvja gultnes dziļumam. Taču arī notece ikvienā sateces baseinā ir nedaudz atšķirīga pie vienāda ūdens līmeņa augstuma. Starpību izraisa gan dažāds grunts mehāniskais sastāvs, gan augsnes mitrums, gan ūdens kapilārā pacelšanās un iztvaikošana.

Ar augsnes gruntsūdens dziļuma izmaiņām raksturojama arī ūdens pieplūde no pieguļošajām platībām un pazemes ūdeņu izplūde. Gadu gaitā, mainoties sausām un slapjām vasarām vidējais augsnes gruntsūdens līmenis veģetācijas periodā svārstās gandrīz divkārtīgi: kūdreņos no 40 cm līdz 85 cm; āreņos – no 70 cm līdz 140 cm. Šīs svārstības izraisa grāvjos noteces atšķirības kūdreņos no 37 mm līdz 288 mm; āreņos – no 7 mm līdz 200 mm. Apkopojot mūsu novērojumu datus, varam secināt, ka Latvijas apstākļos mežu nosusināšana neietekmē ūdens plūsmu pa upēm – promtekām. Visticamāk, ka pazemes spiedes ūdeņu izplūdes aktivizēšanās

pastiprina ūdens noplūdi no meliorētajām platībām un meliorācija izlīdzina ūdens plūsmu pa upēm vasaras minimālās noteces periodā.

Rudenī divos mēnešos pa meliorācijas kanāliem aiztek 25–50 % (vidēji 36 %) no gada noteces apjoma, t.i., pat vairāk kā tikpat ilgā pavasarī. Cēlonis tam ir samērā intensīvas noteces garākie periodi rudenī un ūdens vājā iztvaikošana. Sevišķi krasi tas izpaužas piekrastes un rietumu rajonos, kur kaut cik noturīgs sniega slānis sāk izveidoties tikai janvārī. Tā rezultātā Puzes stacionārā pa grāvjiem rudenī aiztek vidēji 45 % no gada noteces apjoma, bet pavasarī – uz pusi mazāk. Vesetnieku stacionārā ar ziemām pa grāvjiem rudenī aiztek 27 %, bet pavasarī 37 % no noteces gada apjoma.

Atbilstoši tam mainās arī maksimālie (5 % nodrošinājums) noteces rādītāji. Vesetnieku stacionārā kā no kūdreņiem, tā āreņiem notece sasniedz 2,3 mm dn⁻¹, bet no Vesetas upes baseina – 5,6 mm dn⁻¹. Puzes stacionārā maksimālie noteces rādītāji ir krietni lielāki – 5,0–6,9 mm dn⁻¹ (vidēji 6,4 mm dn⁻¹, bet maksimālā notece pa Stendes upi ir 6,5 mm dn⁻¹. Tādējādi meža hidrotehniskā meliorācija rudenos nepaaugstina ūdens noteci promtekas upēs.

Ziemā trīs mēnešos pa meliorācijas grāvjiem aiztek 8–20 % (vidēji 16 %) no gada noteces. No ziemā aiztekošā ūdens daudzuma lielā mērā ir atkarīgas meliorēto mežu ūdensregulējošās īpašības pavasara plūdu laikā. Augsnes gruntsūdens līmeņa pazemināšanās nodrošina grunts ūdens akumulējošo spēju palielināšanos. Pie dziļiem gruntsūdeņiem vienu metru biezā minerālās augsnēs slānī var ietilpt līdz 100 mm no augšas pieplūstošais ūdens [240]. Kūdras grunts akumulējošās spējas ir vēl lielākas.

Ziemas noteces daudzums un dinamika galvenokārt atkarīga no sniega segas noturības un ūdens pieplūdes īpatnībām. Vesetnieku stacionārā, kur spēcīgi atkušņi janvāra–marta posmā ir samērā reti, ūdens pa grāvjiem tek daudz mazāk nekā Puzes stacionārā. Vesetniekos no āreņiem ziemas notece sastāda tikai 9 % no gada noteces, Puzes stacionārā – 19 %. Gandrīz tikpat ūdens (16 %) notek no Vesetnieku kūdreņiem.

Noteces vidējie rādītāji (50 % nodrošinājums) Vesetnieku kūdreņos ziemā sasniedz 0,6 mm dn⁻¹, āreņos – 0,1 mm dn⁻¹; Vesetas baseinā kopumā 0,4 mm dn⁻¹. Puzes āreņos un Stendes baseinā kopumā ziemas noteces vidējie rādītāji praktiski sakrīt – 0,6 mm dn⁻¹.

Ūdens noteces pieaugums ziemā iespējams tikai tad, kad atkušņu laikā mežos izkusušais sniega ūdens sāk papildināt augsnēs gruntsūdeņus.

Ja tādi atkušņi neiestājas, tad augsnes gruntsūdeņu līmenis pakāpeniski pazeminās, kamēr iestājas līdzsvars starp no malas pieplūstošo ūdeņu daudzumu un noteci pa grāvjiem. Šī atziņa izmantota kā ticamības apliecinājums, lai pārbaudītu iepriekš aprakstītos ūdens pieplūdes modeļus.

Kā jau iepriekš aprakstīts, citu ūdeņu pieplūdes **P** diennakts apjomu ikvienā sateces baseinā var apzināt kā divu mainīgo funkciju – augsnes gruntsūdens līmeņa dziļums **H** un pazemes spiedes ūdeņu pjezometriskais līmenis **h**. Mūsu objektos šie abi rādītāji savstarpēji korelē visai cieši ($r = 0,95$), tāpēc citu ūdeņu pieplūde **P** ar dažiem pieņēmumiem var tikt aproksimēta arī tad, ja zināms tikai viens arguments, t.i., augsnes gruntsūdens līmeņa dziļums **H**. No šī paša rādītāja ir atkarīga arī noteces intensitāte **q**. Tāpēc atrisinot vienādojumu $q - P = f(H) = 0$, pirmajam sateces baseinam ar kūdreņiem iegūstam $H_1 = 65$ cm. Tas nozīmē, ka pirmajā baseinā pie $\bar{H}_1 = 65$ cm citu ūdeņu pieplūde ir vienāda ar noteci pa meliorācijas grāvjiem. Otrajam sateces baseinam ar kūdreņu mežiem minētais līdzsvars iestājas pie $\bar{H}_2 = 60$ cm. Ilggadīgie novērojumi Vesetnieku stacionārā liecina, ka pie stabilas sniega segas augsnes gruntsūdens līmenis patiešām pazeminās līdz aprēķinātajam dziļumam. Pēc tam pazemināšanās apstājas, un augsnes gruntsūdens līmenis saglabājas 60–65 cm dziļumā. Desmit dienu laikā \bar{H} izmainījās ne vairāk kā par 1–2 cm, kas ir adekvāti mitruma izmaiņām par 0,6–1,2 mm vienu metru biežā augsnes slānī.

Visi mūsu mērījumu rezultāti un aprēķini norāda, ka hidrotehniskās meliorācijas rezultātā nepasliktinās mežu ūdensregulējošās īpašības, un šo darbu veikšana pozitīvi ietekmē apkārtnes ūdens saimniecību. Saprotams, tas ir spēkā, ja hidrotehniskajos pasākumos netiek padziļinātas un iztaisnotas dabiskās promtekas.

8. EVAPOTRANSPIRĀCIJA NO MEŽA SAVRUPIENĒM

Ūdens daudzums, ko saista meža virszemes fitocenoze, parasti nepārsniedz 50 mm. Kokaudzes tekošajā pieaugumā ik gadus tiek patērēts 1–2 mm ūdens, kaut gan meža ekosistēmas ūdens bilance gada laikā nereti pārsniedz 500 mm. Tas nozīmē, ka ūdens bilances patēriņa daļas svarīgākā sastāvdaļa ir evapotranspirācija (summārā iztvaikošana).

Spēcīga lietus laikā daļa no nokrišņiem infiltrējas augsnē un sasniedz augsnes gruntsūdeņus vai arī dziļākos gruntsūdeņus, t.i., aizplūst ārpus meža ekosistēmas. Beidzoties lietum, daļa no gruntsūdeņiem kapilārās pacelšanās ceļā atkal nokļūst ekosistēmā un iekļaujas evapotranspirācijā. Minētais process ir īpaši raksturīgs pārmitriem un meliorētiem mežiem. Šajos mežos evapotranspirācija nereti ir lielāka nekā augsnē nonākušie nokrišņi. Piemēram, Vesetnieku stacionāra kūdreņos 14 gadu laikā evapotranspirācija par 26 mm pārsniedza nokrišņu apjomu šajā periodā. Līdzīgi novērojumi arī Puzes stacionārā, kur 5 gadu laikā (1971.–1975.) summārā iztvaikošana par 17 mm pārsniedza nokrišņu daudzumu. Īpaši sausās vasarās (1975., 1976.) iztvaikošana pārsniedza nokrišņus 2,2 un 1,4 kārtas. Līdzīgus datus ieguvuši pētnieki [74] Baltkrievijas Poļesjē, kur iztvaiko ap 250 % no nokrišņiem. Tāda attiecība starp nokrišņiem un evapotranspirāciju iespējama vienīgi tad, ja līdz ar nokrišņiem un sniega kušanas ūdeņiem iztvaikošanā iesaistās arī citi ūdeņi, t.sk. arī pazemes spiedes ūdeņi.

Evapotranspirācijas rādītāji lielā mērā reglamentē meža hidroloģisko nozīmīgumu. Tieši evapotranspirācijas atšķirības mežā un nemeža ekosistēmās raksturo mežsaimniecisko pasākumu ietekmi uz teritorijas nodrošinājumu ar ūdeni vasaras minimālās noteces laikā. Lietderīgi atzīmēt, ka evapotranspirācijas izpēte ir ļoti grūta. Sauszemes meža

ekosistēmas ietvaros evapotranspirācija **ET** var tikt aprakstīta kā sešu neatkarīgu argumentu funkcija [80]. $ET = f(E, p, q, T, q_1, T_1)$, kur **E** – ūdens pieplūdes blīvums, **p** – siltuma pieplūdes blīvums, **q**, **T** – gaisa mitrums un temperatūra vainaga iekšpusē, **q**₁ – gaisa mitrums lapas iekšienē, **T**₁ – lapas temperatūra. Šie rādītāji stipri variē laikā un telpā, un nepieciešams liels skaits mērinstrumentu, lai aprēķinātu kaut viena koka evapotranspirāciju. Tas iespējams speciāli sagatavotā laboratorijā, bet atkrīt rēķināties ar nepārtrauktiem mērījumiem kokaudzē.

Evapotranspirācijas empīriskie mērījumi brīvā dabā pieļauj apzināt galvenos iztvaikošanu limitējošus faktoros. Neapstrīdami ir saules radiācija un vēja ātrums [135]. Vēja ietekme uz iztvaikošanas intensitāti atkarīga no gaisa plūsmas turbulences. Gaisa laminārās plūsmas ietekme ir maznozīmīga. Tādā situācijā iztvaikošanas intensitāte saistās tikai ar molekulāro difūziju, kura ir tūkstoškārt mazāka par turbulento plūsmu [134, 138, 218].

Evapotranspirācijas aprakstīšanai izveidotas daudzas formulas. Tās nosacīti var sagrupēt pēc izmantotajām metodēm: ūdens bilances, siltuma bilances, turbulentās difūzijas, kompleksās. Visas formulas vieno enerģijas un vielas nezūdamības likums, t.i., iztvaikošanu reglamentē ūdens daudzums augsnē, enerģijas pieplūde un patēriņš. Evaporācijas aprēķinos pārsvarā ir empīriskie vienādojumi, kuros aproksimēti stacionāro novērojumu rezultāti sauszemes ekosistēmās vai arī iztvaikošana no vaļējas ūdens virsas saistībā ar hidrometeoroloģiskajās stacijās pieejamiem datiem. Daudzi no vienādojumiem nosaukti to autoru vārdos: Oldekopa, Tjurka, Bogrova, Tornveita, Hamona u.c. Rietumu zemēs plaši tiek izmantota Penmana formula un tās modifikācijas. Bijušajā PSRS populāras bija Konstantinova un Budiko formulas.

Daudzos pētījumos tiek vērtēta atšķirīgu formulu izmantošanas lietderība, rosinot **ET** pielietot arī jaunas metodes: radiācijas-siltuma bilance, lielo lizimetru; ir pat apcerēta iespēja aprēķināt transpirāciju saistībā ar ūdens plūsmas ātrumu stumbra koksnē.

Iztvaikošanas aprēķināšanai samērā īsos laika posmos (stunda, diennakts) visnoderīgākā ir siltuma bilances metode [30, 122, 217, 246]. Ar šo metodi iegūtie rādītāji pamatoti tiek izmantoti kā etalons, lai novērtētu citu metožu ticamību. Kaut arī siltuma bilances metode ir darbietilpīga (sevišķi siltuma plūsmas parametru apzināšana), tā tomēr dod 1,5–2,5 reizes ticamākus rezultātus kā citas, t.sk. plašāk izmantotā turbulentās difūzijas metode [136].

Lietderīgi piezīmēt, ka, lietojot ūdens bilances, kā arī siltuma bilances metodi, iztvaikošanas rādītāji tiek izskaitļoti kā vienādojuma paliekošie locekļi. Siltuma bilances priekšrocība izriet no tā, ka radiācijas bilances vislielākā daļa tiek patērēta iztvaikošanai. Piemēram, Penmans [166] ir aprēķinājis, ka vasaras laikā Anglijā radiācijas bilance strukturējas sekojoši: iztvaikošana – 85 %, gaisa sasildīšana – 9 %, augsnes sasildīšana – 4 % un fotosintēze – tikai 2 %. Līdzīgus rezultātus pauž arī Sleičers [231]: summārās iztvaikošanas patēriņš – 78 % no diennakts radiācijas bilances. Tādējādi ar lielu ticamību varam teikt, ka jebkura evapotranspirācijas izmaiņa atspoguļosies radiācijas bilancē. Šīs metodes priekšrocība izpaužas kā iespēja izmērīt iztvaikošanu īsā laika periodā mežaudzes atšķirīgās vietās – no augsnes, dzīvās zemsedzes, koku zemvainagu telpas u.c. Pašreizējie mērinstrumenti nodrošina iespēju uzzināt radiācijas bilances izmaiņas ar procenta simtdaļas precizitāti, taču šo aparātu plašu pielietojumu meža ekosistēmas darbības pētījumiem ierobežo gan to dārgums, gan sarežģītība apzināt tos procesus, kuros saules enerģija tiek patērēta. Perspektīvāki šķiet kompleksi pētījumi, kuros radiācijas-siltuma bilance tiek mērķtiecīgi mērīta kompleksā ar hidroloģiskām, fizioloģiskām vai bioķīmiskām norisēm.



Aprēķinot evapotranspirāciju garākiem periodiem, kad jūtami samazinās gadījuma kļūmju ietekme, daudzas metodes dod līdzīgus rezultātus.

Matemātiskie vienādojumi, kuri izskaitļoti, lai aprēķinātu kādas ekosistēmas iztvaikošanu saistībā ar meteostaciju datiem, satur specifiskus lielumus un koeficientus, kas stipri vien ierobežo šo formulu pielietojumu meža ekosistēmas ūdens bilances aprēķinos. Tas īpaši izpaužas intensīvi apsaimniekotos mežos, kur jāvērtē mežu masīvi, kur ir raiba kokaudžu struktūra un mežsaimnieciskie pasākumi tiek veikti lielā mērogā. Tādi pasākumi kā hidromeliorācija kokaudzēs struktūras izmaiņas skar visai daudzas atšķirīgas meža ekosistēmas. Šādā situācijā labākus rezultātus dod ūdens bilances izpēte:

$N + P_p + P_s = ET_m + Q_p + Q_s \pm \Delta W$, kur N – nokrišņi, P_p , P_s – pazemes ūdens un blakus ūdens pieplūde no pieguļošajām teritorijām, ET_m – evapotranspirācija mežā, Q_p , Q_s – noplūde gruntsūdeņu papildināšanai un sāniskā noplūde, ΔW – ūdens daudzuma izmaiņas analizētajā grunts slānī.

Ja pieņemam, ka izmērītā notecē grāvjos ir vienāda ar noteci no analizējamās ekosistēmas un nav atšķirību starp sateces baseina virszemes un pazemes ūdeņu teritorijām, tad iepriekš minēto vienādojumu var būtiski vienkāršot: $ET_m = N - Q \pm \Delta W$. Šādas vienkāršotas formulas ir populāras un tiek plaši izmantotas.

Aktīvas ūdens apmaiņas zonas ūdens bilance Latvijā noslēdzas vienīgi dažu sistēmu ietvaros. Kā jau iepriekš atzīmēts, Latvijā pastāv četras ūdens aprites sistēmas. Divās no šīm sistēmām (Ziemeļkurzemes un Rietumlatvijas) pazemes ūdens izplūst nevis upēs, bet jūrā diezgan tālu no krasta, kas apgrūtina vai pat padara neiespējamu ūdens bilances ticamu aprēķināšanu.

Vienkāršotās formulas lietošana ūdens bilances komponentu, tanī skaitā evapotranspirācijas izskaitļošanai īpaši riskanta ir nelielos sateces baseinos, jo tur praktiski neiespējami ir uzzināt citu ūdeņu pieplūdes skaitliskās vērtības un vēl jo vairāk – promplūdes. Gruntsūdeņu papildināšanai nereti infiltrējas 500–700 mm gadā [15]. To nezinot, izskaitļotās evapotranspirācijas kļūdas, kas aprēķinātas lielām ūdens aprites sistēmām un nelieliem sateces baseiniem, var sasniegt 300–400 mm gadā. Dabā vieglāk izmērīt ir ūdens bilances pieplūdes komponentus P_p un P_s nekā promplūdes komponentus Q_s un īpaši Q_p , kura izmērīšanai nemeliorētos mežos joprojām nav striktas metodikas. Varam atcerēties, ka 1964. gadā, uzsākot nokrišņu mērītājos uzkrātā ūdens koriģēšanu meteostaciju novērojumos, nokrišņu

daudzums un līdz ar to arī evapotranspirācija palielinājās par apmēram 200 mm gadā.

Evapotranspirācijas aprēķināšanai mežā Latvijas nosusinātajiem mežiem ar kūdras augsnēm (kūdreņiem) ir ievērojamas priekšrocības salīdzinājumā ar sausieņu mežiem. Nosusināšanas tīkls pārtver sātisko ūdens pieplūdi un promplūdi, ar vertikālo ūdens promplūdi varam nerēķināties, jo kūdreņi vairumā gadījumu atrodas vietās, kur notiek pazemes spiedes ūdeņu izplūde, bet ne pazemes gruntsūdeņu piebarošana ar nokrišņu ūdeņiem.

Ūdens bilances struktūra Vesetnieku stacionāra mežos tiek mērīta kopš 1968. gada. Visu laiku tiek analizēts augsnē nonākušo nokrišņu daudzums un nepārtraukti izmērīta ūdens notece pa nosusināšanas grāvjiem. Pazemes spiedes ūdeņu pieplūdi aprēķinājām pēc empīriskās formulas $P_p = f(\mathbf{h}, \Delta\mathbf{h})$, kur \mathbf{h} – pjezometriskais līmenis, $\Delta\mathbf{h}$ – hidrauliskais spiediēns ($\mathbf{h} - \mathbf{H}$). Ūdens pielūdi no pieguļošām sausienēm izskaitļojām ar vienādojumu $P_s = f(\bar{\mathbf{H}})$, kur $\bar{\mathbf{H}}$ – vidējais gruntsūdens līmenis. $\Delta\mathbf{W}$ izmērijām kā ūdens daudzumu 100 cm biežā augsnes slānī veģetācijas perioda sākumā un beigās. Nepieciešamības gadījumā īsākiem laika periodiem izmantojām empīrisko formulu $\mathbf{W} = f(\bar{\mathbf{H}})$.

Tādējādi mūsu rīcībā ir aprēķinu rezultāts par evapotranspirāciju veģetācijas periodā Vesetnieku stacionāra piecos meliorēta meža sateces baseinos 41 gadu garā periodā (1968.–2008. g.). 26. tabulā ievietoti arī piecu gadu laikā evapotranspirācijas aprēķini četros sateces baseinos Puzes stacionārā. Izveidotajā paraugkopā šī laikā evapotranspirācijas rādītāji svārstījās robežās no 251 mm (1975. g. 3. baseinā) līdz 646 mm 1980. g. 2. baseinā). Veicot dispersiju analīzi ikvienā stacionārā (vienādos klimatiskos apstākļos), evapotranspirācijas rādītāju izkliede par 20 % izskaidrojama ar sateces baseinu augsnes un kokaudzes struktūru atšķirībām. Tātad sateces baseinu struktūra kaut kā nedaudz, bet statistiski būtiski ietekmē summāro iztvaikošanu ($F = 2,89 > F_{0,05} = 2,61$). Pārējie 80 % izskaidrojami ar meteoroloģisko apstākļu izmaiņām pa gadiem. Evapotranspirācijas rādītāju ciešo saistību ar gada nokrišņu daudzumu atzīmē arī citi autori [30, 230, 231].

26. tabula

Evapotranspirācija (mm) analizētajos sateces baseinos 01.05.–31.10.

Gads	Vesetnieki					Puze			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4
1968		528	618	466					
1969	421	478	566	421	409				
1970	498	444	421	385	375				
1971	490	455	442	402	397	395	384	421	414
1972	519	493	565	411	426	394	382	419	430
1973	539	494	526	451	446	397	386	424	401
1974	501	467	507	407	440	407	392	431	411
1975	438	322	251	352	236	343	338	369	362
1976	488	404	276	407	333				
1977	504	530	363	506	509				
1978	501	495	503	520	477				
Aritm. vidējais	490	464	458	430	405	387	376	413	404
1979	486	407	397	438	397				
1980	636	646	602	611	598				
1981	479	404	456	420	427				
1982	458	379	399	388	388				
1983	460	430	448	424	407				
1984	542	505	477	465	488				
1985	589	566	587	557	565				
1986	523	453	561	450	475				
1987	559	534	565	515	533				
1988	572	527	527	507	519				
Aritm. vidējais	530	485	502	477	480				
1989	437	395	425	406	437				
1990	455	452	397	393	433				
1991	496	475	430	440	454				
1992	413	406	331	393	376				
1993	498	492	342	424	475				
1994	471	423	417	424	412				
1995	540	510	502	478	477				
1996	434	386	401	424	376				
1997	477	453	423	430	485				

Gads	Vesetnieki					Puze			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4
1998	559	433	491	469	481				
Aritm. vidējais	478	442	416	428	441				
1999	442	341	365	394	388				
2000	405	371	375	397	412				
2001	493	447	471	466	492				
2002	458	350	461	434	388				
2003	507	478	481	462	475				
2004	435	439	422	409	510				
2005	487	431	437	504	549				
2006	452	426	412	474	426				
2007	477	469	446	463	488				
2008	441	404	401	424	408				
Aritm. vidējais	460	415	427	442	454				

Analizējot evapotranspirācijas aprēķinu rezultātus ilgā laika posmā, varam secināt, ka pirmajos gados pēc meliorācijas būtiski vairāk (1,13 reizes) ūdens iztvaiko tajos sateces baseinos, kuros izplūst pazemes spiedes ūdeņi, t.i., 1.–3. sateces baseinos Vesetnieku stacionārā. 4. un 5. sateces baseinos iztvaikošanas apjomi ir līdzīgi Puzes sateces baseinos iztvaikojošā ūdens daudzumam. Samērā liela datu izkliede (standartnovirze) Vesetnieku stacionārā ir saistīta ar garu novērojumu periodu. Ja mēs salīdzinām iztvaikošanu tikai 1971.–1975. gadu periodā, tad redzam, ka iztvaikošana Vesetnieku stacionārā 4. un 5. sateces baseinos ($ET = 396$ mm) būtiski atpaliek no iztvaikošanas 1.–3. baseinos ($ET = 458$ mm), bet praktiski sakrīt ar iztvaikošanu Puzes baseinos ($ET = 395$ mm). Vidējais nokrišņu daudzums Vesetnieku stacionārā šīnī laikā ir 421 mm, bet Puzes stacionārā – 395 mm; vidējie iztvaikojamības (iztvaikošana no 20 m² vaļējas ūdens virsmas) rādītājs 522 un 520 mm. Starpība kā starp nokrišņu daudzumu, tā arī starp iztvaikojamības rādītāju nav statistiski būtiska (t-kritērijs). Starpība starp evapotranspirāciju āreņos un kūdreņos gadu gaitā daļēji samazinās (26. tabula), un pēdējā desmitgadē (1999.–2008. g.) āreņos iztvaiko 103 % no iztvaikojošā ūdens apjoma kūdreņos. Visticamāk, tas saistās ar kokaudžu struktūras straujāku uzlabošanu āreņos salīdzinājumā ar kūdreņiem.

Kokaudžu struktūra sateces baseinos ir ļoti raiba, un to nav iespējams precīzi aprakstīt. Vispārēju priekšstatu par kokaudzes struktūru baseinā varam iegūt, salīdzinot atšķirīgu koku sugu stumbru šķērslaukumu summas. Tas veikts ar Biterliha relaskopu, izmērot šķērslaukumus 312 vietās Vesetnieku stacionārā un 260 vietās Puzes stacionāra audzēs. Puzes stacionārā priežu pārstāvēniecība sateces baseinā ir 86 %, pārējo sugu klātbūtne ir maznozīmīga. Vesetnieku stacionārā vidēji priede aizņem 51 %, bērzs – 33 % un egle – 16 % (27. tabula). Jautājums par kokaudzes sastāva ietekmi uz meža evapotranspirāciju sīkāk iztirzāts 10. nodaļā.

27. tabula

Kokaudžu sastāvs sateces baseinos, %			
Sateces baseins	Priede	Egle	Bērzs
Vesetnieku stacionārā			
1.–3.	57	8	35
4.–5.	33	38	29
Puzes stacionārā			
1.–4.	86	5	9

Evapotranspirāciju no sauszemes ekosistēmām nepieciešams analizēt kā funkciju no trim argumentiem: $ET = f(E_0, \mathbf{W}, \mathbf{B})$. Pirmais arguments raksturo enerģētisko daļu, kas nepieciešama, lai ūdens no šķidrās fāzes pārvērstos tvaikā un tvaiks tiktu aizvadīts no iztvaikojošās virsmas. Rādītājs \mathbf{W} apraksta ūdens nodrošinājumu augsnē, t.i., augsnes sūcēj spēku un hidraulisko pretestību. Visās sauszemes ekosistēmās E_0 ir cieši saistīts ar trešo mainīgo \mathbf{B} – biocenozes (fitocenozes) struktūru. Raksturojot fitocenozi kā svarīgāko parametru, tiek uzskaitīti sakņu sistēmas tilpums un blīvums, ūdens plūsmas apgrūtinājums un sūcēj spēka kritiskais lielums lapas virspusē [231]. Šeit lietderīgi akcentēt, ka iztvaikošanas enerģētiskos resursus raksturo ne tikai enerģijas pieplūde ekosistēmai, bet arī fitocenozes spējas izmantot šo pieplūdušo enerģiju.

Klimatoloģijā un hidroloģijā funkciju $ET = f(E_0, \mathbf{B})$ pie $\mathbf{W} = \mathbf{W}_{\max}$ uzskata kā potenciālo evapotranspirāciju vai iztvaikojamību. Tā raksturo iztvaikošanu no analizējamās ekosistēmas ar neierobežotu ūdens pieplūdi, t.i., kur ūdens pieplūde iztvaikojošai virsmai norisinās bez enerģijas

patēriņa. Tāds formulējums nozīmē, ka iztvaikojamība šādā izpratnē tomēr uzskatāma kā abstrakts rādītājs. Līdztekus tam, ka neierobežota „bez-maksas” ūdens pieplūde iztvaikojošai virsmai dabā iespējama tikai retos gadījumos (tūlīt pēc spēcīga lietus), visai neskaidra ir sistēmas bioloģiskās sastāvdaļas loma, tās fenoloģiskās savdabības.

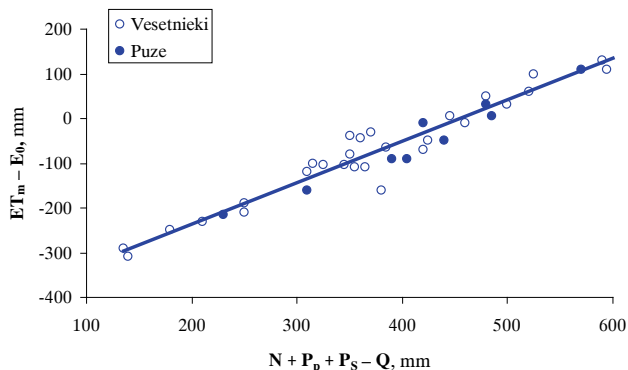
Mēs izmantojam iztvaikojamības raksturošanai atšķirīgos klimatiskos apstākļos iztvaikošanu no speciāla baseina ar 20 m² vaļēju ūdens virsmu. Bez tam šāds rādītājs pēc empiriskiem vienādojumiem [136] viegli aprēķināms pēc meteostaciju mērījumu datiem, un tālākajā analizē par iztvaikojamības etalonu mēs pieņemām šo iztvaikošanu no klaja ūdens virsmas. Tas, ka faktiskā iztvaikošana atšķirīgās ekosistēmās novirzās no etalona uz vienu vai otru pusi, nemazina šī rādītāja lietderību.

Literatūrā [29, 30] uzsvērti tiek izklāstīts, ka meža ekosistēmās ar mitrām un labi aerētām augsnēm potenciālā evapotranspirācija aptuveni divkārt pārsniedz iztvaikošanu no atklātas ūdens virsmas. Kļūmīgi bija pieņemts, ka mežs spēj iztvaikot tikai ap 70 % no tā daudzuma, kas iztvaiko no ūdens virsmas. Tāpēc visai kritiski jāvērtē spriedelējumi par to, ka par pārpurvošanās galveno cēloni uzskatāms priekšnosacījums, ka nokrišņu daudzums pārsniedz iztvaikojamību.

Augsnes mitruma nodrošinājums W veģetācijas periodā ir atkarīgs no: 1) augsnē nonākušo nokrišņu apjoma N ; 2) citu ūdeņu pieplūdes P ; 3) ūdens noplūdes ārpus meža ekosistēmas Q . Tādējādi $W = N + P - Q$.

Kā jau iepriekš pieminēts, arī pie vienādiem ārējo faktoru E_0 un W lielumiem evapotranspirāciju reglamentē fitocenozes struktūra. Struktūras dažādību aprēķinos ietvert nav iespējams, tāpēc lietderīgi evapotranspirācijas aprēķinos visas sauszemes ekosistēmas sadalīt divās grupās – ar kokaudzi klātas un ar kokaudzi neklātas ekosistēmas. Katras grupas ietvaros evapotranspirācija visciešāk mainās atbilstoši hidro-meteoroloģiskajiem rādītājiem. Evapotranspirācija mežā tikai par 20 % skaidrojama ar meža tipoloģiskās struktūras atšķirībām [209]. Tipoloģisko atšķirību ietekme samazinās vēl vairāk, ja mēs analizējam iztvaikošanu no meža masīviem ar raibu mežaudžu struktūru, kāda nenovēršami izveidojas intensīvas mežsaimniecības apstākļos. Eliminējot meža fitocenozes ietekmi, evapotranspirāciju meža ūdens sateces baseinos mēs analizējam kā divu mainīgo E_0 un W funkciju. Rādītājs $ET_m - E_0$ mainās saistībā ar vienādām likumsakarībām Vesetnieku un Puzes stacionāru mežos. Atstātums starp stacionāriem aptuveni 250 km. 25. attēls ilustrē, cik atsaucīgi

evapotranspirācija mežā reaģē uz augsnes mitruma nodrošinājumu. Pie neliela nodrošinājuma ($W = 160$ mm) mežs iztvaiko par 300 mm mazāk nekā iztvaiko vidējās ūdens krātuves (E_0). Turpretī slapjās vasarās, kad W pārsniedz 600 mm, iztvaikošana no meža masīviem par 100 mm pārsniedz iztvaikošanu no vaļējām ūdenskrātuvēm.



25. attēls. Atšķirība starp evapotranspirāciju mežā ET_m un iztvaikojamību E_0 Vesetnieku un Puzes stacionāros.

Mūsu mērījumu un aprēķinu rezultāti izmantoti arī, lai novērtētu arī vēl vienu meža ūdensregulējošo aspektu – evaporācijas apjomu veģetācijas periodā meža un nemeža ekosistēmās. Mēs neveicām tiešus evapotranspirācijas mērījumus nemeža ekosistēmās ET_n , bet izmantojām līdzīgi kā E_0 aprēķiniem no vaļējām ūdenskrātuvēm A. Konstantinova metodiku [136].

Salīdzinot evapotranspirācijas rādītājus, kas aprēķināti pēc A. Konstantinova metodes, ar citiem praktiski veiktiem mērījumiem (ar siltuma bilanci un kompleksajiem), noskaidrojās [122], ka A. Konstantinova metode dod nedaudz samazinātus rezultātus intensīvas iztvaikošanas laikā un nedaudz paaugstinātus rādītājus, ja iztvaikošana ir neliela. Latvijas apstākļos pieminētās metodes dod vienādus rezultātus, jo iztvaikošana no nemeža ekosistēmām $ET_n = 45$ mm mēnesī. Ievērojot L. Zubenokas [122] korekcijas, koriģēti aprēķinu rezultāti. Evapotranspirācijas galīgie rezultāti no nemeža ekosistēmām aprēķināti ar regresijas vienādojumu $ET_n = 1,66ET_k - 30$, kur ET_k – evapotranspirācijas rādītāji, kas izskaitļoti pēc A. Konstantinova metodes.

Tādējādi mūsu rīcībā ir evapotranspirācijas rādītāji meža un nemeža ekosistēmās, kas izskaitļoti ar dažādām metodēm. Bez tam augsnes mitruma nodrošinājums mežā raksturots ar bruto samitrinājumu $W = N + P - Q$, bet augsnes mitruma nodrošinājums nemeža ekosistēmās noteikts tikai ar atmosfēras nokrišņu apjomu. Izvirzās jautājums par iespējām salīdzināt šos rādītājus un ekstrapolēt iegūtās atziņas arī uz citiem objektiem.

Mūsu mērījumu rezultāti liecina, ka bruto samitrinājuma rādītāji veģetācijas periodā maz atšķiras no nokrišņu daudzuma. Piemēram, pirmajā un otrajā sateces baseinā ūdens pieplūdes un noteces rādītāji cieši korelē savā starpā: $r = 0,96$ pie $r_{0,05} = 0,31$. 90 % gadījumu starpība starp pieplūdi un noteci nepārsniedz 44 mm. Uzskatām, ka pie nokrišņu daudzuma svārstībām 173–602 mm robežās šāda atšķirība ir pieciešama.

Kā iepriekš aprakstīts, meža tips kūdrenos lielā mērā ir atkarīgs no pazemes ūdeņu pieplūdes intensitātes. Izstrādājot Latvijas nosusināto mežu tipoloģiju saistībā ar mežaudzes parametru atšķirībām, Kaspars Bušs netieši panāca arī to, ka atstatumi starp grāvjiem nodrošināja visu pieplūstošo ūdeņu pārtveršanu. Līdz ar to nosusinātajos mežos izveidojās līdzsvars starp pieplūdi un noteci. Noteces apjoms, kā iepriekš secināts, cieši korelē ar grāvju gultnes slīpumu i , tādēļ nosusināto mežu masīvos evapotranspirāciju var aproksimēt ar funkciju $ET = f(N, E_0, i)$. Meliorēto mežu sateces baseinos ar kokaudzes jauktu sastāvu un vecumu evapotranspirācija aproksimēta ar lineāro vienādojumu veģetācijas periodā

$ET = 0,56N + 0,64E_0 + 3150i - 125$ (mm); ierobežojumi: $0,001 < i < 0,006$; $175 < N < 600$; $430 < E_0 < 630$; multiplās korelācijas koeficients $R = 0,87$; regresijas standartnovirze $s = 36$ mm. Neatkarīgiem faktoriem apzināts šāds ietekmes īpatsvars: nokrišņi $N - 67$ %, iztvaikošana $E_0 - 6$ % un grāvja gultnes slīpums $i - 3$ %. Šie rezultāti vēlreiz apstiprina nokrišņu apjoma izšķirošo lomu evapotranspirācijas procesā un liecina par meža atsaucību uz augsnes mitruma izmaiņām. Pozitīvi evapotranspirāciju ietekmē arī iztvaikojamība un grāvja gultnes slīpums. Kā aprakstīts iepriekšējā nodaļā, gultnes slīpums cieši un pozitīvi korelē arī ar noteces apjomu, t.i. gultnes slīpums pozitīvi korelē veģetācijas periodā ar diviem it kā pretstatāmiem rādītājiem – noteci un iztvaikošanu. Pretrunas te tomēr nav. Visupirms, gultnes slīpums mūsu pētītajos objektos izrāda tikai nebūtisku ietekmi uz evapotranspirāciju ($F = 3,71 < F_{0,05} = 4,22$). Otrkārt, intensīvāka notece pa grāvjiem slīpās vietās veicina ražīgāku meža ekosistēmu izveidošanos, kas iztvaiko ūdeni vairāk nekā līdzenie meža nogabali.

Literatūrā nereti tiek akcentēts [211, 217, 122, 143], ka evapotranspirācija no sauszemes nemeža ekosistēmām mainās proporcionāli augsnes samitrinājumam tikai tad, ja samitrinājums ir zemāks par kritisko līmeni. Virs šī kritiskā līmeņa iztvaikošana vairs nav atkarīga no augsnes mitruma svārstībām. Latvijas apstākļiem kritiskais līmenis ir 150 mm ūdens daudzums vienu metru biezā augsnes minerālajā slānī [122]. Tas tomēr ir orientējošs rādītājs, kas nenoliedzami mainās līdz ar dzīvās zemsedzes fenoloģisko situāciju. Arī mūsu aprēķinu rezultāti liecina, ka nemeža ekosistēmu iztvaikošana vāji korelē ar augsnes samitrinājumu (nokrišņu daudzumu veģetācijas periodā): $r = 0,11$. Tas liecina, ka Latvijas apstākļos nokrišņu apjoms visai maz ietekmē nemeža ekosistēmu iztvaikošanu. Evapotranspirācija no meža korelē ar nokrišņu apjomu daudz spēcīgāk: $r = 0,77$.

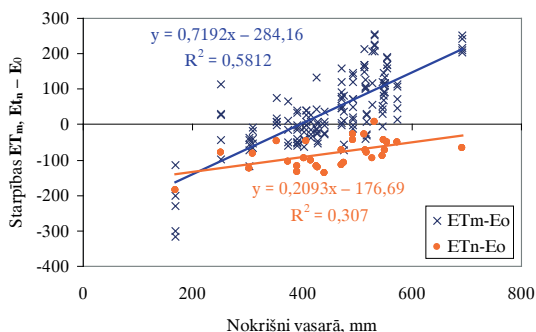
Evapotranspirācija meža neapklātās teritorijās, kurām nedaudz nosacīti var pieskaitīt arī lielus izcirtumus, aprakstāma ar regresijas vienādojumu

$$ET_n = 330 + 0,03N + 0,05E_0 \text{ (mm)}, R = 0,21, s = 49 \text{ mm.}$$

Ar 90 % ticamību (t-kritērijs) vērtējot starpību starp evapotranspirāciju mežā un nemežā, tā kļūst statistiski būtiska, ja $ET_m - ET_n \geq 29$ mm. Atrisinot šo nevienādību pie $E_0 = \bar{E}_{0 \text{ vid}} = 500$ mm un $i = i_{\text{vid}} = 0,0025$, iegūstam $N \geq 300$ mm. Tādējādi, ja veģetācijas periodā nokrišņu apjoms pārsniedz 300 mm, nosusinātie meži iztvaiko ūdeni vairāk nekā nemeža teritorijas. Ja $N < 300$ mm, atšķirības būtiskums statistiski neapstiprinās.

Jau daudzus gadus meža hidrologi popularizē, ka meži iztvaiko vairāk nekā nemeža platības. Pārliecinošs piemērs tam ir izcirtumu pārpurvošanās [146]. Tāpat meža pastiprināta iztvaikošana salīdzinājumā ar lauksaimniecības zemēm tiek atzīmēta sausajos gados [32, 257]. Mūsu rezultāti liecina par atšķirīgu koncepciju. Potenciālā iztvaikošana mežā patiešām ir lielāka kā nemežā. Slapjās vasarās evapotranspirācija mežā ir par 150–200 mm lielāka nekā ūdens iztvaikošana no vaļējām ūdenskrātuvēm un nemeža platībām. Sausās vasarās kokaudzes mežā atsaucīgi reagē uz mitruma samazināšanos augsnē, un samazina evapotranspirāciju. Tā rezultātā sausās vasarās meža platības un nemeža ekosistēmas iztvaiko apmēram vienādu ūdens daudzumu (26. attēls).

Latvijas teritorijā viscaur veģetācijas periodā nolist vairāk par 300 mm nokrišņu. Tas nozīmē, ka visur meži iztvaiko vairāk nokrišņu nekā nemeža ekosistēmas. Pēc A. Pastora [194] datiem vidēji pa Latviju veģetācijas periodā (maijs–oktobris) nolist 484 mm nokrišņu, 37 mm no tiem notek pa



26. attēls. Summārās iztvaikošanas atšķirības meža (ET_m) un lauksaimniecības ekosistēmās (ET_n).

upēm. Līdz ar to bruto samitrinājums ir 447 mm, kas nereti pārsniedz mūsu iepriekš izskaitļoto kritisko lielumu. No tā izriet, ka notecei pa upēm ar mežainākiem sateces baseiniem jābūt mazākai nekā no mazmežainākām teritorijām.

Notece apjoma un sateces baseina mežainuma tieša salīdzināšana nevar noderēt kā meža ūdensregulējošo funkciju apliecinājums. Mežainuma procents Latvijā ir mākslīgi radīta attiecība starp meža un nemeža platībām. Meža masīvi ir saglabājušies galvenokārt vai nu pārmitrās platībās vai arī nabadzīgās smilšu augsnēs, kas ir mazvērtīgas lauksaimnieciskai apguvei.

Lai pārbaudītu pieņēmumu par meža noteci samazinošo lomu, izmantota kovariāciju analīze, izslēdzot citu fona faktoru ietekmi uz noteses režīmu. Pieņēmām, ka fona faktoru (ģeoloģiskā struktūra, gultnes erozijas iegriezums, citu ūdeņu pieplūde) ietekme visspilgtāk izpaužas minimālās noteses (95 % nodrošinājums) laikā. Šinī laikā meža un nemeža ekosistēmas iztvaiko apmēram vienādi, un mežainuma ietekme uz noteci ir mazāk svarīga. Minimālās noteses rādītājus izmantojām, lai koriģētu noteses kopējo apjomu.

Mežainuma ietekmi novērtējām, salīdzinot koriģētos daudzgadīgos noteses apjomus. Izmantojām hidrometeoroloģijas datus [103] par 53 upju noteci. Pa visu Latviju atšķirīgos ģeomorfoloģiskos rajonos izvēlētas tādas upes, kuru garums no iztekas līdz mērīšanas vietai nepārsniedz 50 km, un kurās notece mērīta vismaz 10 gadus.

Upju sateces baseini sagrupēti pēc to mežainuma trīs klasēs: 5–25, 30–50, 55–75 %. Katrai klasei izskaitļots vidējais koriģētais noteces apjoms, un iegūti šādi rezultāti: 7,8; 7,4; 8,0 l sek⁻¹ no kvadrātkilometra. Atšķirību būtiskums novērtēts ar Fišera kritēriju, un jāsecina, ka mežainuma ietekmei uz upju vidējo noteci ir gadījuma raksturs ($F = 2,64 < F_{0,05} = 3,23$). Galvenais cēlonis tam, ka mežainuma svārstības no 5 līdz 75 procentiem maz ietekmē upju noteces apjomu, saistās tieši ar meža ūdeņu regulējošām īpašībām – paaugstināta augsnes samitrinājuma apstākļos mežs paaugstina arī evapotranspirāciju. Meža klātbūtne sateces baseinā izlīdzinoši ietekmē noteces režīmu pa upēm, jo ūdens plūsma, pirms tā nokļūst upē, parasti sūcas arī caur meža ekosistēmām, kas atbilstoši reagē uz papildus samitrinājumu. Tāpēc varam piekrist citu autoru atziņām, ka mežainuma procents sateces baseinā nav noteces apjoma objektīvs indikators [228].

Evapotranspirācijas atšķirības meža un nemeža ekosistēmās nereti izpaužas kā izcirtumu pārpurvošanās. Šis jautājums kļūst svarīgs sakarā ar kailciršu koncentrāciju meža savrupienēs un lielu izcirtumu izveidošanos. Cirsmu pārpurvošanās tiek uzskatīta par neizbēgamu trešās grupas mežos Krievijas taigā, taču arī mūsu mežos ar to ir jārēķinās. Piemēram, pēc 1967. un 1969. gadu vējgāžu izstrādes Liepājas un Ventspils mežrūpsaimniecībās izcirtumos strauji savairojās hidrofītie zemsedzes augi, un sekmīga meža atjaunošana varēja notikt tikai pēc platību meliorācijas. Svarīgi pieminēt, ka daudzas no šīm platībām kļūdaini neietilpa meža hidromelioratīvajā fondā.

Kā jau iepriekš minēts, evapotranspirācija meža ekosistēmās veģetācijas periodā var sasniegt 600 mm. Tāds nokrišņu apjoms nepārsniedz 10 %. Tāpēc visai maza ir meža pārpurvošanās iespēja, ja ūdens bilances ienesuma daļu veido tikai nokrišņi. Pārmitro nemeliorēto mežu ūdens bilance veidojas tur, kur līdz ar nokrišņiem augsni samitrina no malas P_s vai no pazemes pieplūstošie P_p ūdeņi, kas arī daļēji piedalās evapotranspirācijā, bet to pieplūdes rezultātā augsnē veidojas pastāvīgs pārmitrinājums. Šāds pastāvīgs samitrinājums veicina to, ka pēc spēcīgiem lietiņiem vai pēc sniega nokušanas augsnes gruntsūdens appludina koku sakņu sistēmas. Pēc meliorācijas kokaudzes pieaugums uzlabojas visos nosusinātajos mežos, un šis uzlabojums saglabājas daudzus gadu desmitus. Tas nozīmē, ka nosusināšanas sistēmas parametri (atstatums starp grāvjiem un grāvju dziļums) nodrošina likumsakarību, $P_s + P_p < Q$, t.i., notece pa meliorācijas grāvjiem ir lielāka nekā citu ūdeņu pieplūde. Tāpēc nosusinātiem mežiem ne-

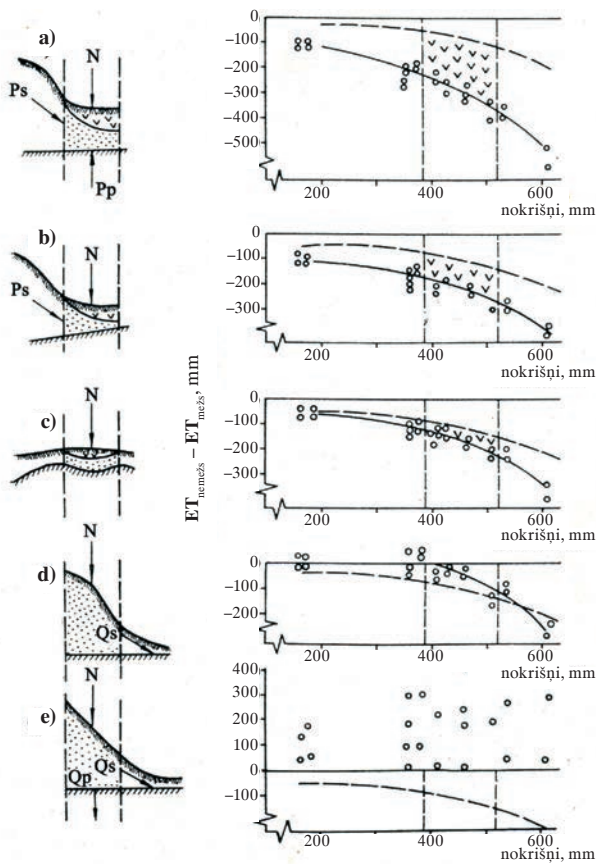
draud atkārtota pārpurvošanās arī pēc kokaudzes nociršanas. To apliecina arī simtgadīgā pieredze nosusināto mežu apsaimniekošanā: ja meliorācijas sistēma nav sabrukusi, izstrādājot mežā cirmsas, atkārtota pārpurvošanās nekur nav novērota.

Šāda likumsakarība darbojas tikai meliorētajos mežos. Pārmitrajos un pārpurvotajos mežos saglabājas nevienlīdzība $P > Q$, t.i., svešu ūdeņu pieplūde pārsniedz noteci, un daļa pieplūdušo ūdeņu piedalās arī evapotranspirācijā. Tas nozīmē, ka nemeliorēto platību pastiprināta pārpurvošanās pēc kokaudzes nociršanas jāvērtē saistībā ar nokrišņu daudzumu un ūdeņu aprītes savdabībām, neatkarīgi no kokaudžu sastāva.

Vispārīgā veidā $\Delta ET = ET_{nemežs} - ET_{mežs} = f(P, E_0)$, kur P – ūdens pieplūde un E_0 – iztvaikošana no ūdens virsas. Varam pieņemt, ka pēc kokaudzes nociršanas nogabalā sveša ūdens pieplūde nemainās. Tāpēc lietderīgi izdalīt piecus ūdens pieplūdes tipus: 1) $P = N + P_p + P_s$, 2) $P = N + P_s$, 3) $P = N$, 4) $P = N - Q_s$, 5) $P = N - Q_s - Q_p$. Pirmais tips nosacīti raksturo ūdens režīmu mežos ar dziļām kūdras augsnēm; otrais un trešais tips – mežos ar hidromorfām minerālaugsnēm; ceturtais un piektais tips – sausieņu mežos.

Daudzgadīgajos stacionārajos mērījumos meliorētajos mežos ar pirmā tipa ūdens režīmu veģetācijas periodā P sastāda 800 mm, pa grāvjiem notek 200 mm, un pēc kokaudzes nociršanas izcirtumi nepārpurvojas. Evapotranspirāciju pie šāda ūdens režīma varam uzskatīt kā kritisko lielumu $\Delta ET_{kr} = \Delta ET = 0,25N - 0,0008N^2 - 70$ (mm). Īpaši slapjās vasarās, kad nokrišņu apjoms pārsniedz 500 mm, ΔET_{kr} sasniedz 200 mm, bet tas nav atkārtotas pārpurvošanās cēlonis. Mūsu mežsaimniecībās nokrišņu daudzums ar 95 % ticamību veģetācijas periodā svārstās 380–510 mm robežās. Pie šādas amplitūdas tiek izvērtēts izcirtumu pārpurvošanās potenciāls piecos ūdens pieplūdes tipos.

Izcirtumos ar nenozīmīgu svešu ūdeņu pieplūdi bez promteces ($Q_s = Q_p = 0$) pārpurvošanās var sākties pat tad, ja ūdens bilances pieplūde ir vienīgi nokrišņi (27. att., c). Šādi apstākļi raksturo līdzenas vietas, kur ūdens pieplūdi un arī promplūdi radikāli kavē blīvs māls vai ortšteina slānis. Izcirtumu pastiprinātu pārpurvošanos (27. att., a un b, iekrāsots ar ķeksīšiem) rosina svešu ūdeņu pieplūde no pieguļošajām sausienēm un īpaši – ar izplūstošiem pazemes ūdeņiem. Tas kārtējo reizi apstiprina, ka āreņos un kūdreņos pret pārpurvošanos izšķirošā loma piemīt sānu noteces aktivizēšanai ar hidrotehnisko meliorāciju.

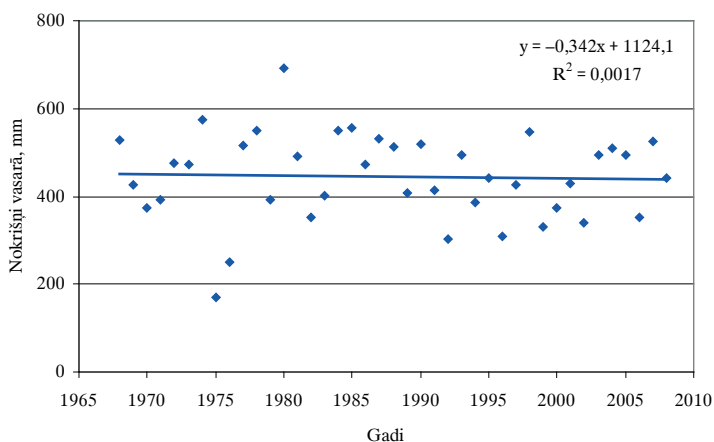


27. attēls. Izcirtuma pārpurvošanās varbūtība atkarībā no ūdens režīma tipa: — ΔET ; - - - ΔET_{kr} .

Negaidīti rezultāti iegūti, salīdzinot ΔET un ΔET_{kr} sausieņu mežos, kuros daļa no nokrišņu daudzuma aiztek kā gruntsūdeņi uz reljefa iepakām vai vēl vairāk tur, kur daļa nokrišņu arī iesūcas, lai papildinātu pazemes ūdeņu krājumus. Abos variantos d) un e) pie mūsu nokrišņu daudzuma ierobežojumiem nekāda izcirtuma pārpurvošanās nav iespējama, un $ET_n - ET_m > ET_{kr}$. Uzrādītā nevienlīdzība tomēr nav uzskatāma kā pierādījums, ka meža nociršana sausieņu paugurainēs pastiprinās iztvaikošanu un veicinās zemāk esošo upju panīkšanu. Mūsu dati liecina,

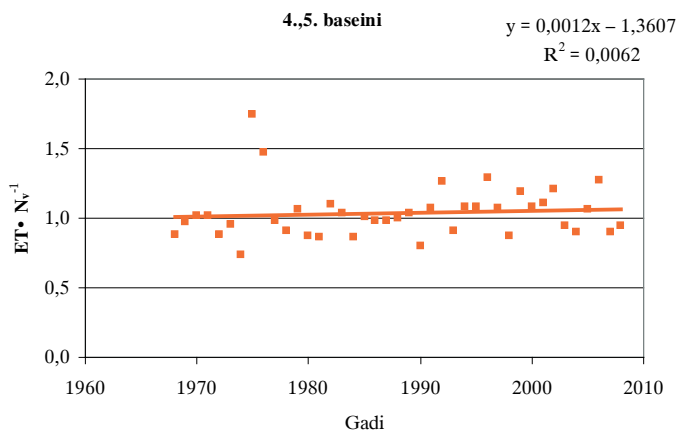
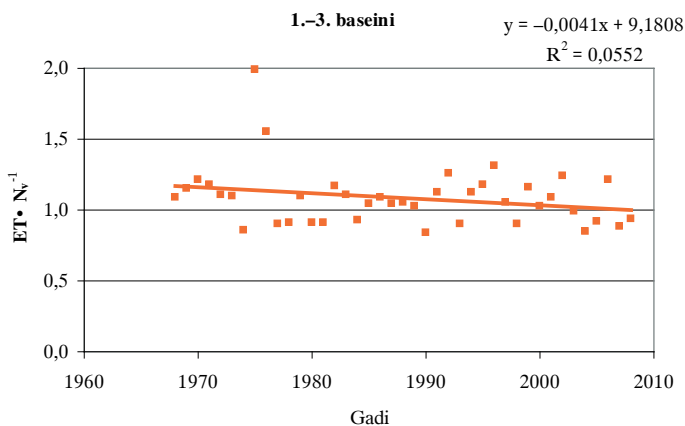
ka sausās vasarās, kad nokrišņu apjoms nepārsniedz 300 mm, nepastāv iztvaikošanas atšķirības meža un lauksaimniecības zemēs (skat. 26. attēlu).

Sausās un slapjās vasaras mainās samērā simetriski, un nokrišņu vidējais apjoms veģetācijas periodā ir diezgan pastāvīgs (28. attēls): 40 gadu laikā apjomu raksturojošā regresijas taisne ir $N = -0,342x + 1124,1$, liecinot, ka šīnī laikā nokrišņu apjoms vidēji samazinājies par 14 mm, kas nav statistiski būtiski. Analizētajā periodā īpaši jāatzīmē ekstrēmi atšķirīgās īpaši sausās (1975., 1976. g.) un ļoti pārmitrā 1980. gada vasaras.



28. attēls. Nokrišņi vasarā (maijs–oktobris) 1968.–2008. g.

Līdzīga tendence vērojama arī evapotranspirācijas un nokrišņu daudzuma attiecībās kūdreņos un āreņos (29. attēls). Kūdreņos šīnī laikā $ET N_v^{-1}$ vidēji izmainījies no 1,1 līdz 0,9 (starpība nav statistiski būtiska), bet āreņos šī attiecība visu laiku vidēji līdzinās 1,0. Grafiskajā attēlā izceļas divas pēc kārtas īpaši sauso gadu (1975., 1976.) koordinātes – evapotranspirācija šajos gados 1,5–2,0 reizes pārsniedz nokrišņu apjomu. Toties īpaši slapjajā 1980. gadā mežs iztvaikoja gandrīz visus nokrišņus.



29. attēls. Evapotranspirācijas kūdreņos (1.–3. baseini) un āreņos (4., 5. baseini) attiecības ar vasaras nokrišņu apjomu N_v .

Populārs ir pieņēmums, ka sausās vasarās kokiem veidojas šaurākas gadskārtas. Pētījumi par nokrišņu ietekmi uz gadskārtu platumu veikti dažādos platuma grādos un atšķirīgos augšanas apstākļos. Visos gadījumos korelācijas koeficients starp gadskārtu platumu un nokrišņu daudzumu nepārsniedz 0,4. Šāda korelācija apstiprina, ka sakarība pastāv, taču tikai 16 % no gadskārtu platumu izmaiņām var izskaidrot ar nokrišņu apjoma

svārstībām pa gadiem. To apstiprina arī mūsu pētījumi par kokaudzes ražību ekstrēmi sausās vasarās. Ja augsnes izžūšana ietekmē koksnes veidošanos, tad šai ietekmei vispirms jāparādās sausās vasarās, vēl jo vairāk tad, ja šādas vasaras atkārtojas, kā tas bija 1975. un 1976. gados.

Meža pētīšanas stacijas “Kalsnava” Vesetnieku stacionāra mežos 18 gadu laikā (1965.–1982.) nokrišņu vidējais apjoms veģetācijas periodā (V–X) bija 343 mm. 1975. gada vasarā nolija 169 mm, 1976. gada vasarā – 251 mm. Pēc varbūtību sadalījuma likumiem (normētās novirzes t funkcija) 169 mm nokrišņu varbūtība ir 0,51 %, bet 251 mm – 2,64 %. Vēl mazāk (0,47 %) ir varbūtība, ka divas tik sausas vasaras sekos viena otrai. Ekstrēmi sausajās vasarās arī augsnes gruntsūdens līmenis bija noslīdējis visai dziļi; tik zema gruntsūdens līmeņa varbūtība ir tikai 1,8 %.

Augsnes gruntsūdens līmeņa sistemātisko mērījumu rezultāti pierāda kokaudzes spēju adaptēties dažādiem augšanas apstākļiem. Augstražīgas priežu audzes (I–II bonitāte) sastopamas gan tur, kur gruntsūdens līmenis atrodas vidēji 54 cm dziļumā (šaurlapju kūdrenis), gan tur, kur šis līmenis vidēji ir 908 cm dziļumā (damaksnis). Augstražīgos egļu mežos vidējais gruntsūdens līmenis svārstās robežās no 81 cm (platlapju ārenis) līdz 940 cm (damaksnis); bērzu mežos – no 78 cm (platlapju kūdrenis) līdz 641 cm (damaksnis). Šie rādītāji uzskatāmi ilustrē kokaudzes ražības neatkarību no vidējā gruntsūdens līmeņa.

Koksnes tekošā pieauguma izmaiņas ekstrēmi sausu vasaru ietekmē analizētas trīs augšanas apstākļu tipos: sausieņu mežos, āreņos un kūdreņos. Sausieņu mežos viena tipa ietvaros tika analizēti divi varianti: reljefa paaugstinājumos (pauguru virsotne) un reljefa pazeminājumos (paugura piekāje). Pieņemām, ka paugura piekājē augsnes mitruma režīms ir vienmērīgāks, t.i., sausos periodos pagura piekājē augsne ir mitrāka nekā citur.

Gadskārtu platums izmērīts 1962.–1982. gadu periodā. Pēc tam katram kokam aprēķināts atsevišķu gadskārtu šķērslaukums. Koksnes veidošanās intensitāte pēc sausajām vasarām novērtēta uz koksnes pieauguma fona retroperiodā pirms sausajām vasarām (1962.–1974. g.). Vienas gadskārtas vidējais šķērslaukums retroperiodā pieņemts par 100 %, un novirze no šī rādītāja raksturo koksnes pieauguma palielināšanos vai samazināšanos salīdzinājumā ar retroperiodu.

Mērījumi 1975.–1978. gadu periodā ļauj novērtēt sauso vasaru ietekmi dendroklimatiskajā aspektā. Uzskatījām par lietderīgu pagarināt pārbaudāmo periodu (1975.–1982.), lai raksturotu arī mežsaimniecisko aspektu. Pieļāvām, ka pēc koksnes pieauguma iespējamās samazināšanās tūlī pēc sausajām vasarām nākamajos gados atkal var palielināties koksnes pieaugums un tādējādi kompensēt iepriekšējo gadu koksnes zudumus.

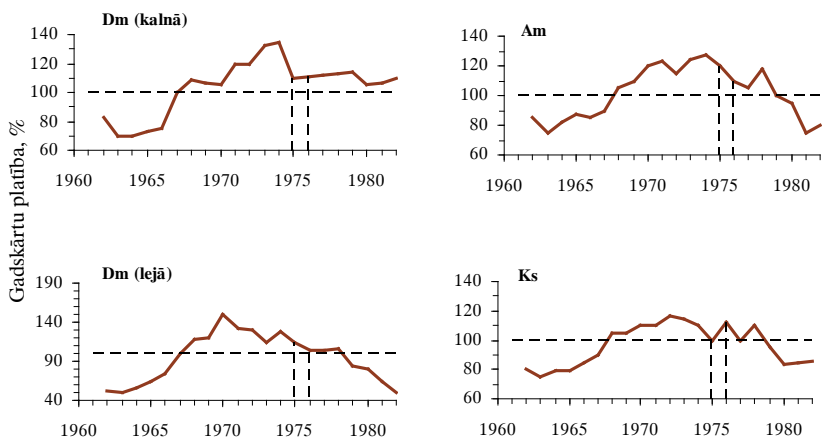
Priede. Visnozīmīgākajā periodā – divas sausās vasaras un divas nākamās – nevienā meža tipā, salīdzinot ar iepriekšējo periodu, koksnes pieaugums nav samazinājies (28. tabula). Gluži otrādi – visur vērojama ražības pieauguma tendence. Turpretī nākamajos gados koksnes veidošanās intensitāte samazinās (30. attēls). Pieauguma samazināšanās sākās ar 1979. gadu, un nav pamata to tieši saistīt ar sausajām vasarām. Ražības samazināšanos visticamāk izraisīja skujkoku dzinuma vēzis *Ranula abietena* Lagerb. Slimības ārējās pazīmes spilgti parādījās 1980. gadā, tātad koku inficēšanās notikusi ne vēlāk kā 1979. gadā. Jautājums par to, cik lielā mērā sausās vasaras stimulēja slimības izplatību, paliek neatbildēts.

28. tabula

Koksnes tekošā pieauguma izmaiņu statistisks novērtējums (t kritērijs)

Suga	Meža tips	Relatīvais pieaugums, %				
		1962.–1974.	1975.–1978.		1975.–1982.	
			vid. aritm.	t	vid. aritm.	t
Priede	Dm (kalnā)	100	110	2,26	108	2,34
	Dm (lejā)	100	105	(1,10)	88	2,62
	Am	100	106	(1,23)	98	(0,75)
	Ks	100	105	(0,86)	93	2,12
Egle	Dm (kalnā)	100	110	2,17	110	2,68
	Dm (lejā)	100	119	3,65	121	4,38
	Ap	100	133	7,03	126	4,76
	Kp	100	89	2,13	90	2,49
Bērzs	Dm (kalnā)	100	98	(0,40)	96	(1,45)
	Dm (lejā)	100	104	(0,73)	104	(1,73)
	Am	100	105	(1,21)	109	2,65
	Ks	100	108	(1,61)	113	5,20

Starpība signifikanta, ja $t_{0,05} = 1,96$.



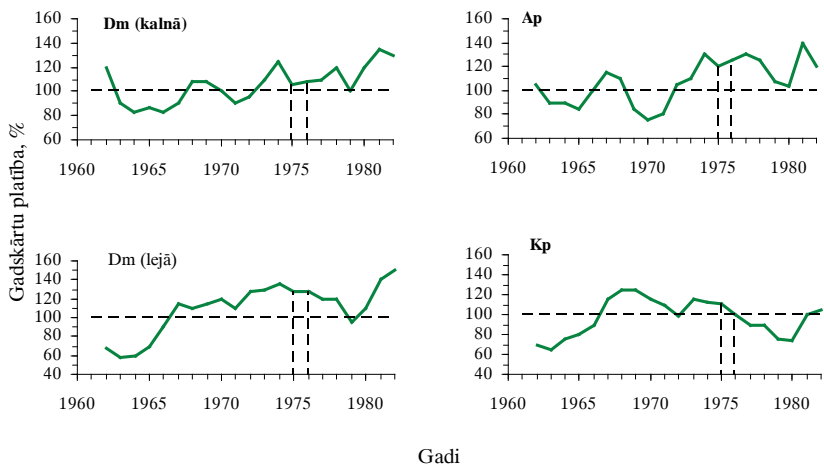
Gadi

30. attēls. Koksnes relatīvā pieauguma dinamika priežu mežos.

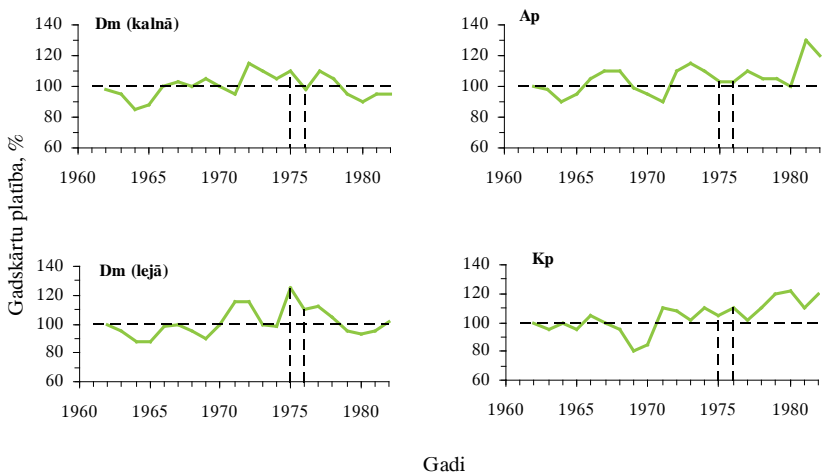
Egļe. Pēc sausajām vasarām eglu mežos vērojama koksnes pieauguma palielināšanās (31. attēls). Visā periodā (1975.–1982. g.) koksnes pieaugums eglu mežos bija 112 %, salīdzinot ar retroperiodu. Izņēmums ir platlapju kūdrēnis (Kp), kur koksnes pieaugums krities par 10 % (sk. 28. tabulu). Šajā meža tipā augsnē ir ap 80 % labi sadalījušās kūdras piemaisījums, kam raksturīga niecīga (tikai līdz 25 cm) ūdens kapilārā pacelšanās, un sausajās vasarās egļu izjuta ūdens trūkumu. Mums šis izskaidrojums šķiet vispareizākais.

Bērzs. Visos pētītajos objektos bērza koksnes veidošanās intensitāte pēc sausajām vasarām bija tāda pati vai arī nedaudz augstāka nekā retroperiodā (32. attēls).

Evapotranspirācijas un nokrišņu daudzuma attiecību svārstības veģetācijas periodā ap 1,0 liecina arī par to, ka viss nolijušais lietus iztvaiko, un pa grāvjiem var tecēt tikai no ārpuses pieplūstošie ūdeņi, vai arī pārpalikums no sniega kušanas ūdeņiem pavasarī.

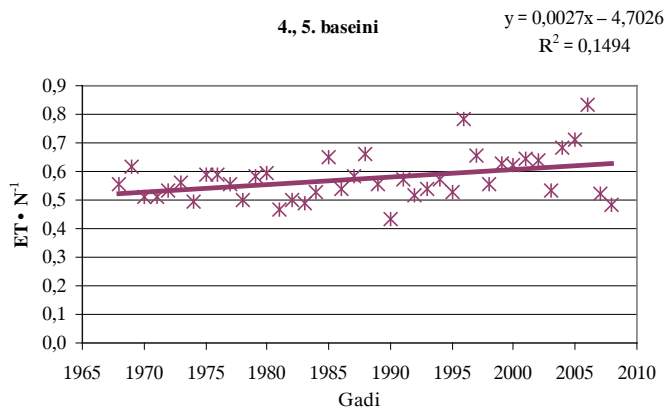
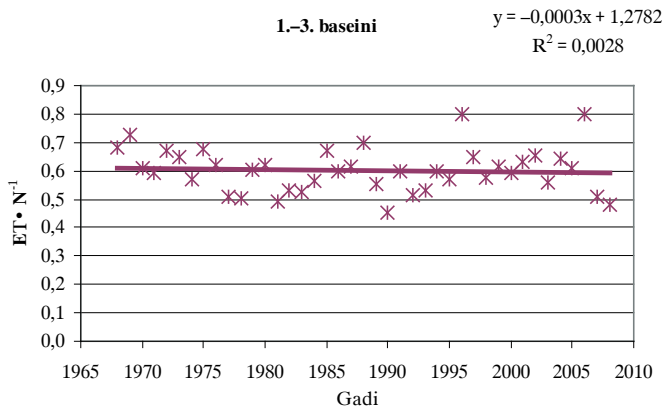


31. attēls. Koksnes relatīvā pieauguma dinamika eglu mežos.



32. attēls. Koksnes relatīvā pieauguma dinamika bērzu mežos.

Nokrišņu daudzums rudenī un ziemā, pieskaitot tos nokrišņu daudzumam veģetācijas periodā, izlīdzina nokrišņu attiecību ar evapotranspirāciju (33. attēls): vairs īpaši neizceļas sausie gadi, un varam teikt, ka kūdreņos un āreņos evapotranspirācija vidēji sastāda 60 % no hidroloģiskā gada (01.11.–31.10.) nokrišņu daudzuma.



33. attēls. Evapotranspirācijas **ET** un ikgadējo nokrišņu apjoma **N** attiecība kūdreņos (1.–3. baseini) un āreņos (4., 5. baseini).

9. AUGSNES ŪDENS KĀ SISTĒMA MEŽĀ

Augsne kā viena no sauszemes ekosistēmas galvenajām sastāvdaļām spēlē ļoti svarīgu lomu ūdensapmaiņas procesā: atmosfēra – augsne – grunts – fitocenoze. Mūsu pētījumos augsne vērtēta kā komponents, kas saista divas sistēmas – meža ekosistēmu un teritorijas ūdens sistēmu.

Atmosfēras nokrišņi nenoliedzami ir augsnē nonākušā ūdens galvenais priekšnoteikums. Daļa nokrišņu ekosistēmā tiek izmantota to pieplūdes vietā, daļa no tiem papildina gruntsūdeņus vai pazemes ūdeņus, bet pārpalikums notek reljefa ieplakās. Ūdens plūsmas vektorus reglamentē teritorijas ģeomorfoloģiskā un fitoloģiskā struktūra.

Augsnes mitruma nodrošinājumu un tā izmaiņas raksturo mitruma režīms [214, 215], ar to saprotot augsnes samitrinājuma pieaugumu vai samazināšanos. Mitruma režīms savukārt atkarīgs no augsnes ūdens režīma, kas aptver visus ūdens pieplūdes, plūsmas un patēriņa etapus. Ūdens režīmu raksturo augsnes ūdens bilance.

Sausieņu mežos ūdens pieplūst tikai kā nokrišņi. Pārmitrajos meža nogabalos ūdens pieplūdē papildus nokrišņiem iesaistās arī blakus teritoriju gruntsūdeņi.

Uzsākot augsnes mitruma režīma pētījumus, jāvienojas par augsnes robežām. Augsnes augšējo robežu veido meža nobiru slānis, bet apakšējo robežu – kokaudzes sakņu dziļums [121]. Kokaudzes sakņu sistēmas maksimālo dziļumu ne vienmēr var precīzi apzināt, tādēļ mēs, neiebilstot pret iepriekšējo formulējumu, augsnes apakšējo robežu saistījām ar dziļumu, kurā ietilpst 95 % no fizioloģiski aktīvajām koku saknēm. Nenoliedzami, ka atsevišķas ekoloģiski aktīvas saknes iesniedzas dziļāk par sakņu galveno masu, bet to loma fizioloģiskajās norisēs ir neliela [188], un mitruma režīms grunts dziļumā maz ietekmē kokaudzes mitruma nodrošinājumu. Meliorētajos mežos augsnes slānis parasti nav biezāks par 30–40 cm.

Cik biežā augsnes un grunts slānī jāveic hidroloģiskā režīma mērījumi? Tas atkarīgs no pētījuma mērķa. Ja mērķis ir uzziņāt augu mitruma nodrošinājumu, tad to var paveikt augsnes slānī. Taču tas ir nepietiekoši, ja pētām sakarības starp meža ekosistēmām un teritorijas ūdens sistēmu. Šeit novērojumi jāveic tik biežā augsnes un grunts slānī, zemāk par kuru ūdens režīms būtiski nemainās visā novērojumu laikā. Praktiski to raksturo gruntsūdeņu lielākais dziļums. Veicot hidroloģiskos novērojumus meliorētajos mežos, jāatceras arī tas, ka, novērtējot noteci kā meža ūdens bilances sastāvdaļu, tiek mērīta notece pa grāvjiem. Tāpēc nav lietderīgi padziļināt novērojumus zemāk par to grunts slāni, ko drenē meliorācijas tīkls. Līdztekus tehniskām grūtībām izmērīt gruntsūdeņu pieplūdi un noplūdi lielākā dziļumā, jāreķinās arī ar to, ka dziļie gruntsūdeņi nepiedalās meža nodrošināšanā ar ūdeni. Mūsu gadījumā lietderīgi pētīt 1,0 m biezu augsnes un grunts slāni. Tik biezs slānis tiek drenēts ar meliorācijas grāvjiem, un pie augsnes grunts ūdeņu līmeņa līdz šādam dziļumam ūdens ar kapilāro pacelšanos aizsniedz meža ekosistēmas apakšējo robežu. Uzskatām, ka augsnes gruntsūdeņu līmenim atrodoties dziļāk par 1,0 m, tas vairs nepiedalās meža ekosistēmas darbībā, un arī grāvji ir sausi.



Augsnes hidroloģiskā režīma fizikālās īpašības un mitruma nodrošinājums fitocenozei ir pamatīgi izpētīti [104, 119, 216, 221, 250].

Augsnes mitruma un ūdens režīma pētījumus mēs veicam no 1963. gada. Objektī, kuros tiek veikti nepārtraukti novērojumi, atrodas Vesetnieku stacionāra bijušajos pārejas purvos un mežos ar hidromorfām minerālaugsnēm.

1,1–1,2 m dziļi grāvji izrakti 1960. gadā, un pēc 2 gadiem (1962. g.) 80–90 cm dziļumā bijušajā purvā ar vairākus metrus biezu kūdras slāni ierīkoja segto drenāžu ar koka drenām. Atstatums starp drenām ir 35–75 m, starp grāvjiem – 150 m. Pirms meliorācijas purvā auga ceturtās piektās vecumklases priežu audzes ar bērza piemistrojumu, ar ražību zemāku par piekto bonitāti. Nosusināšanas laikā audžu krājas tekošais pieaugums svārstījās 0,5–2,0 m³ ha⁻¹ robežās, un kokaudžu kopkrāja nepārsniedza vidēji 50 m³ ha⁻¹. Laikā pēc meliorācijas audžu ražība krasi palielinājās, sasniedzot vidēji 9,0 m³ ha⁻¹ gadā un audžu kopkrāja 2006. gadā sasniedza 312 m³ ha⁻¹. Audžu fiziskais vecums atbilstoši pārsniedz 140 gadus.

29. tabula

Kokaudžu krāja Vesetnieku stacionāra meliorētajos pārejas purva
30 parauglaukumos (m³ ha⁻¹)

Gadi	Priede	Egle	Bērzs	Kopā
1965.	35	0	15	50
1970.	67	10	19	96
1976.	97	19	24	140
1981.	114	29	27	170
1990.	151	59	30	240
1999.	173	96	22	291
2006.	186	106	20	312
2011.	181	121	11	313

Priežu krāja turpina pakāpeniski pieaugt, neraugoties uz to, ka 7 no 30 parauglaukumiem tā nedaudz samazinās, atmirstot ar sakņu piepi bojātiem kokiem. Audžu kopkrājas pieaugums galvenokārt saistās ar eglu pastiprinātu ieviešanos un to augsto ražību. Bērzu krāja 40 gadus nav būtiski mainījusies, un laika gaitā tā svārstījusies 11–30 m³ ha⁻¹ robežās.

Vienā nogabalā, kas 1960. gadā nosusināts ar vaļējiem grāvjiem un segtajām drenām pie kūdras dziļuma 4,5 m, 1962. gadā nocirsta visa kokaudze, un 1963. gadā iestādīti egļu mežeņi. Laika posmā 1988.–1994. g.g. pie audzes vidējā augstuma 12–16 m krājas uzkrāšanās temps sasniedz ap $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā, kam seko krasa produktivitātes samazināšanās, krājas diferencei kļūstot negatīvai.

Meži ar hidromorfām minerālaugsnēm jau daļēji bija nosusināti pagājušā gadsimta pirmajā pusē. Kaut arī meliorācijas tīkls bija neregulārs un atstatums starp grāvjiem sasniedza 250 m, tās ietekme nenoliedzami bija pozitīva, un kokaudžu ražība paaugstinājās līdz trešajai bonitātei. Kara gados meliorācijas tīkls tika stipri bojāts, un 1960.–1965. gadā platības nosusināja atkārtoti.

30. tabula

Egļu kokaudzes parametri kūdreņos

Gads	Koku skaits, gab. ha^{-1}	Vid. caurmērs, cm	Vid. augstums, m	Šķērs-laukums, $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$	Krāja, $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$
1966.	2900	–	0,4	–	–
1970.	2800	–	1,2	–	–
1977.	2700	7,0	5,5	12	41
1986.	2700	12,0	11,4	27	160
1988.	2700	13,1	12,5	29	179
1990.	2400	13,2	14,0	32	242
1994.	2100	15,1	15,0	38	302
1999.	1800	16,8	16,5	39	341
2006.	1300	18,1	17,7	33	307

Lai analizētu augsnes gruntsūdens līmeņa dinamiku, ierīkojām 1,2 m dziļas novērošanas akas – 250 akas kūdras gruntī un 40 akas hidromorfās minerālgruntīs.

Augsnes samitrinājuma režīma pētījumos izmantojām dažādas metodes: žāvēšanas, pastāvīgo paraugu atkārtotas svēršanas un tenziometrisku. Izvirzījām trīs mērķus: 1) analizēt augsnes mitruma režīmu

un noskaidrot tā ietekmi uz kokaudzes ražību; 2) izpētīt augsnes ūdens režīmu, lai izzinātu sakarību starp meža ekosistēmas komponentiem un teritorijas ūdens sistēmu; 3) novērtēt augsnes gruntsūdens līmeņa kā indikatora lomu augsnes mitruma režīma apzināšanā.

9.1. Ūdens uzkrājumi augsnē

Augsnes samitrinājuma un ūdens režīma pētījumi saistās ar ūdens daudzuma mērījumiem izvēlētajā augsnē un grunts slānī. Ūdens krājuma aprēķins grunts slānī ir viens no vissarežģītākajiem, svarīgākajiem un tanī pat laikā arī viens no neprecīzākajiem aprēķiniem meža hidroloģijā. Lai aprēķinātu ūdens krājumu augsnē kādā no izvēlētajiem punktiem, nepieciešami 8–10 mērījumu atkārtojumi [151]. Pat nelielā meža nogabalā vienlaicīgi mitruma mērījumu teritoriālās atšķirības pārsniedz rādītāju izmaiņas laikā [180]. Apmēram 500–700 mm nokrišņu gadā aizplūst augsnes gruntsūdeņu un tālāk pazemes ūdeņu papildināšanai [3, 15]. Dziļāka izplūstošo ūdeņu daudzuma neprecīza novērtēšana ietekmē evapotranspirācijas aprēķinus, kas kā ūdens bilances vienādojuma trūkstošais loceklis var gadā kļūdīties par 300–400 mm [64]. Tāpēc saprotams, ka daudzi zinātnieki augsnes mitruma un ūdens daudzuma noteikšanu gruntī saistījuši ar augsnes gruntsūdens līmeņa mērījumiem [9, 21, 125, 141, 142, 144, 175, 205, 235, 240]. Sakarības starp šiem rādītājiem aproksimētas ar lineāriem, hiperboliskiem vai paraboliskiem regresijas vienādojumiem. Izskaitļotie regresijas vienādojumi samērā labi raksturo augsnes mitruma vai arī ūdens daudzuma sakarības ar augsnes gruntsūdeņu līmeņa svārstībām: starpība starp izskaitļotajiem un izmērītajiem rādītājiem parasti nepārsniedz $\pm 10\%$. Tomēr tāda precizitāte attiecināma tikai uz vidējiem rādītājiem. Atsevišķi mitruma mērījumi nereti atšķiras pat pie vienādiem gruntsūdens līmeņa rādītājiem. Saprotams, ka daži autori [94] visai kritiski vērtē iespēju izmantot gruntsūdens līmeņa mērījumus kā augsnes mitruma indikatorus.

Šādas sakarības analīzei mēs izmantojām datus, kas ievākti 8 gadu laikā 17 vietās: 11 mērpunkti izvietoti bijušajos purvos; 6 – mežos ar hidromorfām minerālaugsnēm. Katrā no šiem punktiem ar trīs- četrkārtīgu atkārtojumu mēs ar žāvēšanas metodi aprēķinājām mitruma daudzumu 1,0 m biezā grunts slānī. Paraugi ievākti šādos dziļumos, cm: 0–4, 18–22, 38–42, 58–62, 78–82, 98–102. Vienlaicīgi ar paraugu ņemšanu izmērījām

augsnes gruntsūdeņu līmeni. Iegūtie dati izmantoti, lai aprēķinātu:
1) ūdens daudzumu gruntī zem gruntsūdens līmeņa līdz 1,0 m dziļumam;
2) ūdens daudzumu slānī no augsnes virsas līdz gruntsūdens līmenim;
3) ūdens daudzumu visā 1,0 m biežā grunts slānī. Iegūto rezultātu analīzi lietderīgi izklāstīt atsevišķi kūdras un hidromorfo minerālaugšņu gruntīm.

9.1.1. Kūdras grunts augsnes

Kūdras grunts augsnes tika analizētas pirmajā un otrajā noteces baseinos, kuros tās aizņem ap 90 ha. Kūdras slāņa biezums šeit svārstās 220–550 cm robežās. Kūdras botāniskais sastāvs šeit samērā viendabīgs: 75–80 % šeit ir grīšļu un 20–25 % koku kūdra. 1,5–2,0 m dziļumā ir fiksēts niedru kūdras neliels piemaisījums. Augsnes pašā virskārtā līdz 5–10 cm dziļumam vietām ir saglabāties sfagnu slānītis. Pēc meliorācijas kūdra sablīvējas, un ir sākusies augšējā kūdras slāņa intensīva sadalīšanās, un jau pēc 15 gadiem sfagnu kūdra ir praktiski mineralizējusies.

Kūdras sadalīšanas pakāpi (S_k) noteicām ar N. Pjāvčenko mērinstrumentu. Līdz 10 cm dziļumam $S_k = 20$ %, standartnovirze $s = 3$ %; 11–40 cm dziļumā $S_k = 26$ %, $s = 3$ %, 41 cm un lielākā dziļumā $S_k = 33$ % un $s = 3$ %.

Kūdras pelnu procents (P_k) 0–10 cm dziļumā ir 14,6 % un $s = 3,6$ %; 11–40 cm dziļumā $P_k = 7,3$ % un $s = 1,7$ %, bet 41 cm un lielākā dziļumā $P_k = 7,5$ % un $s = 1,6$ %.

Kūdras blīvums 1–10 cm dziļumā ir $0,15 \text{ g cm}^{-3}$ un $s = 0,04$; 11–40 cm dziļumā $0,14 \text{ g cm}^{-3}$ un $s = 0,01$; 41 cm un lielākā dziļumā $0,15 \text{ g cm}^{-3}$ un $s = 0,03$. Kūdras blīvums ir līdzīgs visos dziļumos, tikai pašā augsnes virsū tas svārstās $0,09$ – $0,21 \text{ g cm}^{-3}$ robežās. Lielākos dziļumos svārstību amplitūda samazinās. Mūsu objektos kūdras pelnu procents un blīvums labi sakrīt ar citu autoru datiem zemos un pārejas purvos [94, 155].

Mūsu mērījumos dažādās vietās iegūtie dati ir statistiski pieskaitāmi vienai ģenerālkopai.

Ūdenskrājumi gruntī zem gruntsūdens līmeņa W_1 cieši korelē ar gruntsūdens līmeņa dziļumu ($r = -0,93$ līdz $-0,98$). Lineārā sakarība gandrīz funkcionāla. Nelielas novirzes visticamāk izraisa kūdras struktūras atšķirības (botāniskais sastāvs, sadalīšanās pakāpe). Šīs sakarības aproksimācijai izmantotie ierobežojumi:

ja vidējais gruntsūdens līmenis $H \leq 60$ cm, tad $W_1 = 930 - 9,00H$,

ja $H > 60$ cm, tad $W_1 = 975 - 9,75H$ (W_1 tiek izmērīts milimetros).

Ja H tiek aprēķināts no 40 vienlaicīgiem mērījumiem, tad ūdens daudzuma aprēķinu kļūda 90 ha platībā 90 gadījumos no 100 nepārsniedz $\pm 2,0$ mm.

Ūdens daudzums kūdras virsslānī no augšas līdz gruntsūdens līmenim W_2 korelē ar gruntsūdens līmeni nedaudz vājāk nekā W_1 . Sakarība turklāt ir nelineāra.

Ja $H \leq 60$ cm, tad korelāciju attiecība $\eta = 0,88$ un $W_2 = 8,10H - 0,016H^2$; ja $H > 60$ cm, tad $\eta = 0,85$ un $W_2 = 8,86H - 0,016H^2 - 45$.

Virsslānī aprēķinātais ūdens daudzums nav vienāds pie atšķirīgiem gruntsūdens dziļuma rādītājiem: ja mērījumu daudzums $n = 40$, tad 90 % pie $\bar{H} < 20$ cm, standartkļūda $s_w = 2,3$ mm, ja $40 < \bar{H} < 50$ cm, $s_w = 5,3$ mm, bet pie $80 < \bar{H} \leq 100$ cm $s_w = 8,5$ mm.

Kopējā ūdens daudzuma W 1,0 m biežā kūdras slānī atkarība no ūdens dziļuma H atsevišķos gadījumos ir visai cieša (123. aka $\eta = 0,89$) un citreiz (5. aka $\eta = 0,35$) samērā vāja.

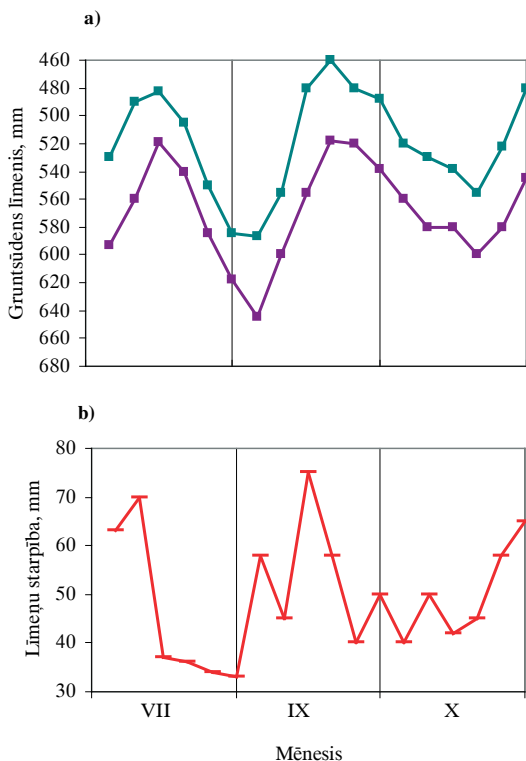
Ūdens daudzuma rādītājs W ir ūdens bilances sastāvdaļa, un tādēļ iegūto aprēķinu ticamība ir ļoti svarīga. Jāatzīmē, ka tā perioda sākumā un beigās, par kuru tiek aprēķināti ūdens bilances komponenti, ūdens daudzums grunts slānī tiek izskaitļots kā vidējais aritmētiskais visam sateces baseinam. Iegūto rezultātu ticamība ir atkarīga no mērīto aku skaita. Pēc ikviena mērījuma var aproksimēt sakarību starp ūdens daudzumu un gruntsūdens līmeņa dziļumu. Rosinoši ir uzzināt, vai šī sakarība ir spēkā arī tālākajos mērījumos. Šāda jautājuma skaidrošanai mēs speciāli mērījām, lai uzzinātu: 1) kā svārstās W rādītāji pa vietām, kur vienlaicīgi augšnes gruntsūdeņi atrodas vienādā dziļumā; 2) kā vienā un tai pašā vietā izmainās W laika gaitā, kad gruntsūdens līmenis nemainās.

Piemēram, $H = 55$ cm. Piecās akās ar šādu ūdens līmeni aprēķinātais ūdens vidējais daudzums $\bar{W} = 837$ mm; standartnovirze $s = 7,7$ mm. Izmērot pie 123. akas ūdens daudzumu W pie $H = 55$ cm, ieguvām $\bar{N} = 829$ mm un $s = 9,5$ mm. Iegūtie dati, novērtējot tos ar biometriskās ticamības indikatoriem, pieskaitāmi vienai paraugkopai, un paraugkopu apvienošanas priekšraksti ļauj tās savienot, un rezultātā iegūstam, ka pie $H = 55$ cm $W = 833$ mm un $s = 4,0$ mm.

Ar šādu metodiku mēs salīdzinājām laikā un telpā iegūtās svārstības pie $H = 38, 44, 55, 70, 75, 85$ un 90 cm. Piecos gadījumos no septiņiem ar 95 % ticamību paraugkopās pieļauts apvienot, ko mēs arī izdarījām.

W rādītāju atšķirības laikā un telpā galvenokārt saistās ar grunts piesātinājuma dažādību. Ir atzīmēti gadījumi, kad 5 mm nokrišņi nemaz neizraisīja gruntsūdens līmeņa paaugstināšanos dažās akās.

Ūdens daudzuma atšķirības augsnē teorētiski ir atkarīgas no tā, cik daudz nokrišņu lietus laikā caur koku vainagiem nokļūst augsnē (4.1. nodaļa). Kā iepriekš aprakstīts, šis rādītājs svārstās diezgan plašās robežās, un kūdrā tas saistās ar koku piemistrojuma klātbūtni. Tā rezultātā augsnes gruntsūdeņu līmenis meža nogabalā neveido vienu līdzenu plakni, bet plaknē sastopami gan pacēlumi, gan kritumi. Piemēram, divās blakus akās, atstatums starp kurām ir 10 m, augsnes gruntsūdens līmeņa atšķirība 9. parauglaukumā 1979. gada augusta oktobra mēnešos svārstījās robežās no 32 mm līdz 75 mm (34. attēls). Kā jau varēja paredzēt, atšķirības palielinājās lietus laikā.



34. attēls. Augsnes gruntsūdens līmeņu svārstības divās blakus esošās akās (a) un līmeņu starpība (b) šajās akās 1979. gada vasarā.

Iepriekš pieminētais liecina par vienu svarīgu likumsakarību: vienādojuma $W = f(\bar{H})$ ticamība ir atkarīga no gruntsūdens līmeņa novērošanas aku skaita. Ūdens krājumu izmaiņas laikā var analizēt daudz precīzāk, ja kaut vai tikai ar šādu mērķi ierīkotu dažus desmitus gruntsūdens līmeņa izmērīšanas aku. Vismaz kādā no tām ūdens līmenis noreagēs uz ūdens daudzuma izmaiņām 1,0 m biezā grunts slānī.

Sakarība $W = f(H)$ nav lineāra, taču tas nav ierobežojums, lai ūdens krājumu aprēķināšanai izmantotu vidējās ūdens līmeņa mērījumu datus. Mūsu mērījumu dati liecina, ka vienlaicīgi izmērītie ūdens līmeņi apmēram 90 % neatšķiras vairāk kā par 20 cm no aprēķinātā aritmētiskā vidējā ūdens līmeņa $|H - \bar{H}| \leq 20$ cm. Pie šādas svārstību amplitūdas sakarību starp ūdens līmeni un ūdens daudzumu var uzskatīt par lineāru un ūdens krājumu aprēķinos var lietot formulu $\bar{W} = f(\bar{H})$.

Aproksimējot mērījumu rezultātus, iegūts šāds regresijas vienādojums:

$$\bar{W} \text{ mm} = 930 - 0,016 \bar{H}^2 - 0,893 \bar{H}, \quad H \leq 90 \text{ cm}.$$

Ja H izmērīts 40 akās 90 ha lielā sateces baseinā, tad \bar{W} aprēķinos 90 % gadījumu nepārsniedz 5,0 mm. Šis vienādojums apliecina arī vienu kūdras slāņa savdabību – ja $H = 0$, t.i., ja gruntsūdens līmenis sasniedz zemes virsu, tad 1,0 m biezā kūdras slānī ir uzkrāti 930 mm ūdens, un tikai 7 cm no slāņa veido kūdras cietās struktūras.



9.1.2. Hidromorfās minerālaugšnes

Hidromorfās minerālaugšnes Vesetnieku stacionāra meliorētajos mežos vērtējamas kā tipiskas āreņu audžu grupā. Organiskā slāņa biežums ar blīvumu $0,15-0,30 \text{ g cm}^{-3}$ nepārsniedz $20-25 \text{ cm}$. Zem organiskā slāņa atrodas $30-60 \text{ cm}$ bieža fluvio-glaciālo smilšu kārtā ar blīvumu $1,3-1,5 \text{ g cm}^{-3}$, kurā augsnes sīkdaļas caurmērā mazākas par $0,01 \text{ mm}$ un sastāda tikai 3% no masas tilpuma. Šī smilšu kārtā parasti nobeidzas ar ortšteina vai smilšmāla slāni $30-50 \text{ cm}$ biežumā ar blīvumu $1,6-1,9 \text{ g cm}^{-3}$, kam seko smilts krājumi ar blīvumu $1,6 \text{ g cm}^{-3}$.

Ūdens daudzums lejpus augsnes gruntsūdeņu līmeņa W_1 samērā cieši korelē ($r = -0,85$ pie $r_{0,05} = 0,28$) ar gruntsūdens līmeņa dziļumu. Ja līmenis ir dziļāk par 30 cm , sakarība aproksimējama ar taisnes vienādojumu $W_1 = 371 - 3,71 \bar{H}$. Pie $H < 30 \text{ cm}$ sakarība kļūst nelineāra, kas visticamāk izskaidrojams ar organiskā slāņa un minerālās grunts saskares zonu. Šādā situācijā $W_1 = 470 - 11,5 \bar{H} + 0,15 \bar{H}^2$. Ja $n = 25$, tad 90% gadījumu ūdens daudzuma aprēķinu kļūda nepārsniedz $\pm 2,0 \text{ mm}$.

Ūdens daudzums augšpus gruntsūdens līmeņa W_2 arī cieši korelē ar līmeņa dziļumu ($\eta = 0,81$). Tāpat kā kūdras augsnēs šī sakarība aproksimējas kā otrās kārtas parabola. Ja $H < 30 \text{ cm}$, tad $W_2 = 11,5 \bar{H} - 0,164 \bar{H}^2$, bet ja $30 < H < 100 \text{ cm}$, tad $W_2 = 99 + 3,73 \bar{H} - 0,014 \bar{H}^2$.

Vienādojumu ticamība mainās atkarībā no gruntsūdens līmeņa dziļuma H . Ja $n = 25$, tad 90% gadījumu pie $\bar{H} < 30 \text{ cm}$, regresijas standartkļūda $s_{\bar{W}_2} = < 2,5 \text{ mm}$, pie $30 < \bar{H} < 100 \text{ cm}$, $s_{\bar{W}_2} < 4,5 \text{ mm}$.

Ūdens daudzums $1,0 \text{ m}$ biežā slānī W arī cieši korelē ($\eta = 0,83$) ar gruntsūdens līmeņa dziļumu. Aproksimējot šo sakarību ar otrās kārtas parabolas vienādojumu, iegūta formula $W = 470 - 0,02 \bar{H} + 0,014 \bar{H}^2$ pie $20 < \bar{H} < 130 \text{ cm}$.

Arī šī vienādojuma ticamība saistās ar ūdens līmeņa dziļumu: ja $n = 25$, tad 90% gadījumu pie $20 < \bar{H} < 70 \text{ cm}$ novirze ir $s_{\bar{W}} < 5,0 \text{ mm}$, bet pie $80 < \bar{H} < 130 \text{ cm}$ $s_{\bar{W}} = 7,0 \text{ mm}$.

Salīdzinājumam lietderīgi apzināties, ka applūdušās teritorijas pie $\bar{H} = 0$ kūdras augšņu $1,0 \text{ m}$ biežā slānī ietilpst 970 mm ūdens, bet pārmitro minerālaugšņu slānī tikai 470 mm .

Kā jau iepriekš minēts, Vesetnieku stacionāra mežos ierīkoto novērošanas aku skaits ir samērā liels. Ūdens līmeņa sistemātiskie novērojumi tiek veikti kopš 1963. gada. Izvirzās jautājums, cik precīzi mēs varam aprēķināt

ūdens krājumus sateces baseina teritorijā, izmantojot ūdens līmeņa mērījumu datus. Te jāatceras, ka ūdens līmeņa informatīvā slodze aku starpā nav vienāda, jo akas vienā līnijā starp grāvjiem vai drenām ierīkotas tā, lai pietiekoši ticami pēc ūdens mērījumiem varētu aprakstīt līmeņa depresijas likni. Atstatums starp akām nereti nav lielāks par dažiem metriem grāvju tuvumā. Vienmērīgi izvietoto aku skaits ir krietni vien mazāks – pirmajā sateces baseinā tādas ir 15 akas, otrajā – 40 akas, ceturtajā un piektajā baseinā **W** aprēķiniem izmantotas 25 akas. Tādējādi 1. baseinā pie $n = 15$ $s_{\overline{W}} = 8,7$, otrajā baseinā pie $n = 40$ mm $s_{\overline{W}} = 5,0$ mm, baseinos ar hidromorfām minerālaugsnēm pie $n = 25$ $s_{\overline{W}} = 7,0$ mm.

Izmantojot ierastos procentuālos ticamības rādītājus, iegūstam, ka pie $\overline{W} = 850$ mm baseinos ar kūdras augsnēm, 1. baseinā kļūda ir tikai nedaudz lielāka par 1 %, bet 2. baseinā tā sastāda tikai 0,6 %. Baseinos ar hidromorfām minerālaugsnēm pie $\overline{W} = 400$ mm kļūda nepārsniedz 2 %. Tas liecina par vienādojumu samērā augsto ticamību. Svarīgas ir kļūdu absolūtās vērtības, aprēķinot ūdens bilances komponentus samērā īsiem laika posmiem. Nevar atrisināt ūdens bilances vienādojumus dienakts ilgumā, arī dekādes laikā ūdens bilance parasti nepārsniedz 40 mm, un kļūdas, aprēķinot augsnē uzkrātā ūdens daudzumu, var izraisīt nepieļaujamas nesaistes. Ja standartkļūda $s_{\overline{W}}$ sasniedz 7–8 mm, ūdens bilances noslēgšana kļūst nelietderīga īsā laika posmā. Tāpēc mēs izvēlējamies vienu mēnesi par īsāko laiku, bet parasti lietojam arī visu veģetācijas periodu (6 mēnešus), lai analizētu datus par evapotranspirāciju.

9.2. Augsnes mitruma atdeve

Pētot augsnes gruntsūdeņa mitruma režīmu, t.i., skaidrojot ūdens plūsmas likumsakarības no augsnes lejup uz gruntsūdeņiem un atpakaļ, svarīgi zināt vēl vienu augsnes grunts parametru – ūdens atdevi. Ūdens atdevi pieņemts raksturot ar koeficientu, kas raksturo ūdens daudzumu, kas noplūst smaguma spēka ietekmē no analizējamā grunts slāņa, pazeminoties gruntsūdens līmenim par vienu augstuma mērvienību [122, 251].

Ūdens atdeves koeficients μ svārstās ļoti plašās robežās, un tā vērtības cieši korelē ar grunts filtrācijas koeficientu un piesātinājumu ar ūdeni. Koeficienta μ noteikšana ir sarežģīta kā kūdras augsnēm [124], tā arī minerālaugsnēs [213]. Papildus svārstības līdzīgas struktūras kūdras augsnēs izraisa paraugu atšķirīgs piesātinājums, kam cēlonis ir porās iesprostotā gai-

sa daudzums un koloīddaļiņu dažāds sabriedums. Tas īpaši izpaužas augstajos purvos, kur μ svārstās robežās 0,17–0,71, un orientējošiem aprēķiniem tiek rekomendēts [124] to pielīdzināt 0,5. Rēķinoties ar mežam raksturīgo mitrāko mikroklimatu, var sagaidīt, ka mežā ar kūdras gruntīm koeficients μ svārstīsies šaurākās robežās nekā atsegtajā augstajā purvā. Koeficienta μ izskaitļošanai mēs lietojām šādu metodi.

Ar īpašu urbi mēs ievācām 30–50 cm dziļumā 12 kūdras paraugus 3000 cm³ tilpumā. Mūsu objektos tādā dziļumā parasti ir koku-grīšļu kūdra ar 30 % sadalīšanās pakāpi. Paraugu ievākšanas laikā tie bija gandrīz pilnīgi piesātināti ar ūdeni. Paraugus apšuvām ar stipri perforētu plastmasas plēvi un uz divām nedēļām iegremdējām 50 cm dziļā ūdenī. Izņemot paraugus no ūdens, ļāvām notecēt ārējam ūdenim trīs minūšu laikā, pēc tam paraugus uz paliktņiem ievietojam slēgtā traukā. Pēc 15 dienām izmērījām noecējušo ūdeni. Ūdens daudzums svārstījās 45–310 cm³ robežās (vidējais aritmētiskais – 121 cm³), un koeficients μ atbilstoši 0,015–0,103 robežās. Svārstības tik plašās robežās aprūtinā koeficientu μ aprēķināt ar pietiekošu ticamību priekš visa baseina.

Mūsaprāt, ticamākus rezultātus varam iegūt, analizējot sakarības starp atsevišķu lietus laikā nolijušo nokrišņu daudzumu un gruntsūdens līmeņa izmaiņām daudzās sateces baseinā esošajās novērošanas akās. Līdzīgi domā arī citi pētnieki [94, 177].

Veicot aprēķinus, mēs vadījāmies no šādiem apsvērumiem. Ja augšnes gruntslānis visā dziļumā būtu piesātināts ar ūdeni līdz gruntsūdens līmenim, tad ikviens nokrišņu apjoms N izraisītu līmeņa paaugstināšanos par lielumu ΔH , un attiecība $N \Delta H^{-1}$ būtu tuva koeficientam μ . Pie tāda samitrinājuma ar histerēzes lomu var nerēķināties.

Tomēr augšnes gruntslāņa pilns piesātinājums sastopams ļoti reti, un parasti tikai kaut kāda daļa nokrišņu papildina gruntsūdeņus. Ja mūsu rīcībā ir daudzgadīgi dati par nokrišņu daudzumu atsevišķu lietus laikā un piecu pašrakstītāju dati par gruntsūdens līmeņa izmaiņām, mēs uzskatām, ka regresijas vienādojums $\Delta H = f(N)$ satur informāciju par μ atšķirībām.

Gruntsūdens līmenim atrodoties vienā fiksētā dziļumā H , sakarību starp nokrišņu daudzumu N un ūdens līmeņa izmaiņām ΔH var uzskatīt kā lineāru: $\Delta H = aN$, un rādītāju a^{-1} var pieņemt par ūdens atdeves koeficientu μ . Jāatgādina, ka tradicionālais regresijas vienādojums ar rādītāju modālajām vērtībām šeit nav piemērots. Jāizmanto vienādojumi ar maksimālām ΔH vērtībām pie līdzīga nokrišņu apjoma N .

Izskaitļojot koeficientu μ dažāda dziļuma grunts slāņiem, lietots regresijas vienādojums $\Delta \bar{H}_i + 2s = aN_i$, kur $N_i = 5, 10, 15, 20, 25, 30$ mm un $\Delta \bar{H}_i$ – vidējais aritmētiskais ūdens līmeņa izmaiņu rādītāju, s – standartnovirze ΔH_i . Piemēram, ja augsnes gruntsūdens līmenis ir 20 cm dziļumā, t.i. $16 < \bar{H} < 25$ cm, tad pie $N = 5$ mm $\Delta \bar{H} + 2s = 47$ mm, ja $N = 10$ mm, tad $\Delta \bar{H} + 2s = 110$ mm, utt. Ja $H = 60$ cm, t.i. $56 < \bar{H} < 65$ cm, tad pie $N = 5$ mm un $\Delta \bar{H} + 2s = 90$ mm, bet pie $N = 10$ mm $\Delta \bar{H} + 2s = 165$ mm utt. Visos gadījumos $N_i(\Delta H + 2s)^{-1} = \mu$. Stacionāros, kuros analizē augsnes gruntsūdens līmeņa svārstības, šāda izejas datu ievākšana nerada nekādas papildus grūtības. Kūdras augsnēm stacionāra teritorijā iegūtas šādas koeficienta vērtības:

H, cm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
μ	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

H, cm – kūdras slāņa dziļums.

Šie rādītāji ir mazāki par citu autoru pieminētajām μ vērtībām [117, 216].

Minerālajās gruntīs μ rādītāji ir apmēram tāda pat lieluma:

H, cm	30	40	50	60	70	80	90	100
μ	0,10	0,06	0,05	0,05	0,07	0,09	0,10	0,14

Mūsu dati par μ vērtībām samērā labi sakrīt ar citu pētnieku uzrādītajām vērtībām [215, 251]. Grunts slāņiem, kas guļ dziļāk par 50 cm no augsnes virsas, ticamus rezultātus dod Ivicka formula (kūdras augsnēm) $\mu = 8,2k^{0,375}H^{0,75}$ un Erkina vienādojums (minerālaugsnēm) $\mu = 16,5k^{0,5}H^{0,33}$ [49], kur k – filtrācijas koeficients, m sek⁻¹. Ar šīm formulām aprēķināto koeficientu vērtību ticamību apstiprina arī augšņu hidrologs B. Maslovs [161]. Šeit minētās formulas paredzētas koeficienta μ vidējās vērtības aprēķināšanai visam grunts slānim zem gruntsūdens līmeņa, un, tās pielietojot augstāko slāņu koeficienta noteikšanai, iegūtie rezultāti ir samazināti.

Mūsu analizētās likumsakarības un iegūtie rezultāti ievērojami atvieglo ūdens režīma novērtējumu Vesetnieku stacionāra mežos. Pastāvot ciešām sakarībām starp ūdens režīma parametriem un grunts blīvumu [176], kā arī starp kūdras sadalīšanās pakāpi un blīvumu [155], uzskatām, ka mūsu iegūtie rezultāti ekstrapolējami arī uz citiem objektiem, ja grunts fizikālie parametri ir tuvi mūsu objektiem.

9.3. Augšnes samitrinājums

Augšnes mitrums ir vienīgais rādītājs, kas reglamentē kokaudzes nodrošinājumu ar ūdeni. Vielu apriti, tai skaitā arī ūdens, starp augšni un fitocenozi raksturo virkne savstarpēji saistītu attiecību starp mitruma režīmu, temperatūru, minerālvielu pieejamību un aerāciju.

Pārmitrajos un arī meliorētajos mežos kokaugus visbiežāk nomāc augšnes pārmitrinājums. Pārlieta mitruma apstākļos esošā anaerobioze sagrauj daudzus fizioloģiskos procesus mežā [92, 183]. Visupirms augšnes applūšana pārtrauc vielu apmaiņu koku sakņu sistēmās, kas nereti beidzas ar neatgriezeniskām izmaiņām un fizioloģiski aktīvo sakņu atmiršanu. Kā izšķirošais faktors parasti tiek vērtēta ogļskābās gāzes uzkāšanās augšnē [76, 94]. Ja ogļskābās gāzes koncentrācija augšnē sasniedz 2–3 % no augšnes gaisa, augšnē izveidojas bioloģiskā barjera, un koku saknes dziļāk par to nesniedzas. Daudzi pētījumi [22, 23, 24, 94, 97, 118, 146, 147, 179, 184, 185] liecina, ka kūdras augšņu ūdenī skābeklis nav sastopams. Tāpēc īpaši bīstama ir ūdens pacelšanās līdz augšnes virsai. Priedes un egles sakņu atmiršana vasarā sākas, ja tās applūst 3–5 dienas ilgi.

Sakņu sistēmas applūšana un fizioloģisko procesu sabrukums saknēs ietekmē arī daudzas norises kokaugu virszemes daļā: samazinās transpirācija un biogēno elementu uzsūkšana no augšnes, pasliktinās vitamīnu un pigmentu sintēze, kas savukārt izraisa fotosintēzes norises. Visi šie nelabvēlīgie ierobežojumi negatīvi ietekmē kokaudzes ražību un koksnes kvalitāti pārmitrajos mežos.

Egles saknes atgūstas un sāk augt tikai pēc 2–4 nedēļām, kad to applūšana ir izbeigusies. Priedes sakņu reģenerācija sākas nedaudz ātrāk, ar ko var daļēji izskaidrot priežu labāku adaptāciju pārmitros augšanas apstākļos [186].

Loģiski, ka fizioloģiskos procesus negatīvi ietekmē arī ūdens deficīts augšnē. Tikai pie optimāla augšnes samitrinājuma ūdens režīms vērtējams kā labvēlīgs meža augšanai, un tas nav uzskatāms kā kokaudzes ražību limitējošs faktors.

Augšnes mitruma režīma raksturošanai lietderīgi kā mērvienību izmantot augšnes sūcējspēku vai arī ūdens daudzumu augšnē procentos no pilna piesātinājuma. Sūcējspēks paver iespēju salīdzināt mitruma režīmu atšķirīgas struktūras augšnēs. Izmainoties ūdens uzkrājumiem augšnē par vienādu lielumu, augšnes sūcējspēks izmainīsies saistībā ar augšnes mehā-

nisko sastāvu. Piemēram, izmainoties sūcējspēkam no 8 līdz 1500 kPa, mitruma krājumi vienu metru biežā graudainā smilts slānī samazināsies par 36 mm, mālsmilts slānī – par 150 mm, smilšmāla slānī – par 180 mm un māla slānī – par 230 mm.

Ūdens daudzums augsnē procentos no pilna piesātinājuma kaut arī orientējoši, bet uzskatāmi raksturo, kāda daļa no porām ir brīva no ūdens.

Literatūrā nereti augsnes mitrums tiek raksturots arī masas mērvienībās. Tas ir izteikti tehnisks rādītājs, ko var izmantot, piemēram, lai raksturotu kūdras piemērotību kūts pakaišiem. Kūdras blīvums tomēr svārstās ļoti plašās robežās, un augsnes samitrinājuma novērtēšana masas mērvienībās nav izmantojama mitruma raksturošanai meža augsnēs.

Augsnes mitrums veģetācijas periodā nepārtraukti mainās meteoroloģisko un citu faktoru ietekmē, un mitruma apstākļus lietderīgi vērtēt kā varbūtību blīvuma sadalījuma rādītājus. Tas nozīmē, ka augsnes mitruma rādītāju varbūtību sadalījums izvēlētajā meža nogabalā vai arī kādā citā teritorijā uzskatāmāk raksturo gan visticamākais (modālais) sūcējspēka rādītājs, gan arī papildus informācija iegūstama par atšķirīga sūcējspēka rādītāju sastopamību.

Augsnes mitruma rādītāju svārstības nelielās robežās visticamāk būtiski neietekmē meža ražību, tāpēc mēs visu mitruma svārstību amplitūdu sadalījām trīs daļās: nepietiekošs mitrums, optimāls (normāls) un pārlics mitrums. Hidrotehniskās meliorācijas mežkopiskais efekts lielā mērā raksturojams ar optimālā mitruma sastopamību.

Par optimālā mitruma augšējo robežu, kas to atdala no pārlics mitruma, mēs uzskatām 80 % no pilna piesātinājuma [94, 98, 114, 159, 172, 197, 198]. Pie tāda mitruma no augsnes aizgājis ir tikai gravitācijas ūdens no lielākajām porām, un augsnes sūcējspēks nepārsniedz 10 kPa vai $pF < 2,0$ [64].

Optimālā mitruma zemākā robeža svarīgāka nekā augšējā robeža un saistās ar koku bioloģiskajām savdabībām, visupirms ar šūnsulas osmotiskajām īpašībām saknēs. Daudzi autori uzskata, ka kokiem jānokalst, ja augsnes sūcējspēks sasniedz 1000–2500 kPa robežu [106, 198, 214, 231, 237, 241]. Sastopamas arī atziņas, ka priede ir pārdzīvojusi augsnes izžūšanu virs 4000 kPa sūcējspēka [145, 187, 189]. Tomēr lietderīgi atšķirt koku izdzīvošanu un koku ražību – koku ražības samazināšanās iespējama pie krietni vien mazāka sūcējspēka. Nospriegotais mitruma režīms sevišķi spēcīgi ietekmē transpirāciju un fotosintēzi [30, 154]. Nav datu, kas lieci-

na par to, kā augsnes izžūšana samazina kokaudzes ražību, kaut gan ir atziņa [187], ka priede samērā netraucēti var uzsūkt ūdeni pie sūcējspēka līdz 250 kPa vai $pF \leq 3,4$. Lauksaimniecības kultūrām par optimālu augsnes samitrinājumu tiek uzskatīts 10–100 kPa [255] vai 3–16 kPa [162]. Savos tālākajos aprēķinos par optimālā samitrinājuma zemāko robežu mēs pieņemām sūcējspēku 80 kPa vai $pF = 2,9$.

Optimālā samitrinājuma robežu noteikšanu lielā mērā sarežģī tas, ka samitrinājums tiešā veidā neierobežo organisko vielu ražošanu un kokaudžu ražību. Piemēram, pārlieks mitrums jau neietekmē negatīvi dažus augus pat tad, ja augsne ir applūdusi. Taču tas izraisa virkni nevēlamu blakusparādību, visupirms sagraujot augsnes aerāciju [188]. Tāpat nevaram apgalvot, ka optimāls ir tāds augsnes sūcējspēks, pie kura nesamazinās transpirācija. Bioloģiskajām sistēmām ar neapstrīdamām pašregulācijas iespējām, ir pieļaujams, ka pie mazākā augsnes samitrinājuma un it kā ierobežotas koku transpirācijas šis process norisinās ar „paaugstinātu lietderības koeficientu”, kas izlīdzina stumbra koksnes veidošanās procesu. Tāpēc augsnes mitruma režīmu ir kļūmīgi uzskatīt tikai kā koksnes ražošanu ietekmējošu faktoru, bet gan kā veiksmīgu indikatoru, kas uzskatāmi raksturo augsnē notiekošo procesu visas norises, kas atšķirīgi arī ietekmē koku augšanu. Tas rosina uzskatīt, ka nosacīta saglabājas augsnes optimālā apakšējā robeža.

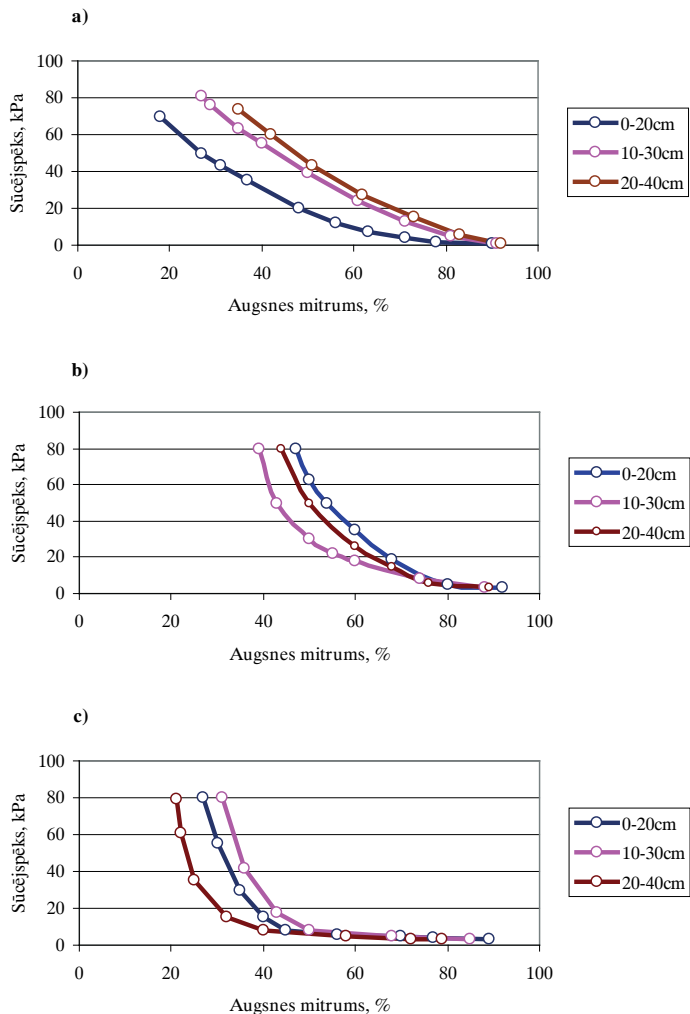


Kā jau iepriekš pieminēts, augsnes mitruma režīmu mēs pētījām vairākām metodēm: 4 gadus – atkārtoti sverot pastāvīgus augsnes paraugus; 4 gadus – tenziometriski un 6 gadus – augsnes paraugus žāvējot. Paraugu tilpums bija 1000–2000 cm³, bet žāvēšanai paredzēto paraugu tilpums bija 100 cm³ neizjauktas struktūras augsnei. Augsnes sūcējspēka tiešiem mērījumiem izmantojām tenziometru AN-20-II. Lai salīdzinātu augsnes sūcējspēka un augsnes mitruma rādītājus, tie tika noteikti kā mežā, tā laboratorijā. Laboratorijas eksperimenti izrādījās nepieciešami tāpēc, ka meliorētajos mežos ar kūdras augsnēm sūcējspēks nepārsniedz 30–40 kPa, un nesasniegta palika optimālā mitruma apakšējā robeža – 80 kPa.

Ar īpašu urbi mēs ieguvām 10 cm resnus un 20 cm garus neizjauktus augsnes paraugus 0–20, 10–30, 20–40 cm dziļumā. Paraugi ievākti rudenī, kad augsnes mitrums tuvs pilnam piesātinājumam. Paraugus apšuvām ar stipri perforētu apvalku un uz divām nedēļām iegremdējām ūdenī. Pēc tam aprēķinājām paraugu tilpummasu, ievietojām tenziometru un nolikām paraugus uz svāriem. Atkārtoti daudzkreiz sverot, izskaitļojām tilpummasu un nolasījām augsnes sūcējspēka rādītājus.

Mūsu pētījumu rezultāti uzrāda eksponenciālas sakarības starp augsnes mitrumu un sūcējspēku (35. attēls). Žūšanas sākumā sūcējspēks izmainījās ļoti lēnām. Mitrumam mainoties no 100 % līdz 60 % no pilna piesātinājuma, augsnes sūcējspēks pieauga tikai līdz 10 kPa. No vienas puses tas norāda uz lielo poru nozīmīgu īpatsvaru augsnes paraugos, kuros ūdens noturas ar nelielu spēku. No otras puses – ar tenziometra AM-20-II nedrošību, nosakot optimālā samitrinājuma augšējo (robežu ar pārlieko mitrumu) robežu. Optimālā samitrinājuma apakšējā robeža (80 kPa) iezīmējās uzskatāmi. Augšējos slāņos (0–20 cm) kūdras gruntis (a) tam atbilst 20 % no pilna piesātinājuma; dziļākajos slāņos izvēlētajam sūcējspēkam atbilst 30 % no pilna piesātinājuma.

Atšķirīgas sakarības vērojamas arī hidromorfajās minerālaugsnēs (b). Šeit augsnes sūcējspēks pie vienāda samitrinājuma procenta mainās saistībā ar organiskā substrāta piemaisījuma un arī koloidālo minerālo daļu klātbūtni. Tāpēc ūdens visvieglāk aizplūst no podzola horizonta apmēram 20 cm dziļumā. Šajā slānī optimālā mitruma apakšējā robeža parādās pie 40 % mitruma no pilna piesātinājuma, bet pašam augšējam (0–20 cm) un 20–40 cm dziļajam grunts slānim – pie 50 % piesātinājuma. Tāpat kā divos pārējos augšņu paraugos, optimālā samitrinājuma augšējā robeža (80 % no pilna piesātinājuma) raksturojas ar nelielu augsnes sūcējspēku.



35. attēls. Sakarības starp augšnes mitrumu un sūcējspēku kūdras (a), hidromorfās minerālaugsnēs (b) un sausieņu mežu (c) augšnes. Paraugu ņemšanas dziļums, cm: 1) 0–20; 2) 10–30; 3) 20–40.

Hidraulikas likumi norāda, ka, ūdensvadošo kapilāru diametram samazinoties pieckārt, sūcējspēks palielinās apmēram 600 kārtīgi. Arī augsnē, mitrumam samazinoties par 1 % zem 15–20 % no pilna piesātinājuma, augšnes sūcējspēks pieaug par 50–80 kPa [170]. Tas padara par neiespējamu sausieņu mežos (c) atrast precīzu un ticamu sakarību starp augšnes sūcējspēku un mitrumu tā svārstību visā amplitūdā [96, 214].

Līdzīgi eksperimenti veikti arī PSRS ZA Mežzinību laboratorijā [237] un Somijā [52]. Kaut arī šajos pētījumos izmantoti atšķirīgi optimālā mitruma kritēriji, t.i., tika aprēķināts kokiem neizmantojamais ūdens daudzums, sakarība starp augšnes mitrumu un sūcējspēku visumā raksturojas ar mūsu eksperimentā iegūtajiem rādītājiem.

Saprotams, ka visvieglāk ūdeni atdod sausieņu mežu augšnes. Sakarības analīzei starp augšnes mitruma procentu un sūcējspēku mēs ņēmām paraugus otrās bonitātes priežu mežos labi drenētās smilts augsnēs Avenu salā. Augsnē sastopams neliels (0,5–3,5 %) organisko vielu piemaisījums un pavisam nedaudz smalko (ar caurmēru <0,01 mm) smilts daļiņu klātbūtne. Visos gadījumos optimālā mitruma augšējā robeža (80 % no pilna piesātinājuma) šeit parādās kā visai mazs augšnes sūcējspēks: $F < 5$ kPa. Optimālā mitruma apakšējā robeža 80 kPa arī šeit līdzīgi kā kūdras augsnēs svārstās 20–30 % robežās no pilna piesātinājuma.

Mūsu iegūtie rezultāti liecina par to, ka savdabīgs augšnes sūcējspēks raksturīgs tieši mežos ar hidromorfām minerālaugsnēm. Līkņu forma liecina, ka augšnes sūcējspēks krasi palielinās līdz 500–1000 kPa jau pie 30 % augšnes samitrinājuma. Pie šāda samitrinājuma kūdras augsnēs sūcējspēks nepārsniedz 10 kPa. Tas, saprotams, var apdraudēt koku stādu izdzīvošanu hidromorfās minerālaugsnēs, ja stādiem jāpārdzīvo pirmā karstā un sausā vasara.

Izmantojot mūsu ievāktos datus par augšnes mitruma izmaiņām vairāku gadu garumā un augšnes gruntsūdens svārstībām, mēs analizējām sakarības starp šiem rādītājiem. Augšnes mitruma empīriskais sadalījums ir tuvs normālajam sadalījumam. Analizējot 23 paraugkopas ar novērojumu skaitu $n > 30$, visās paraugkopās svārstību izkliede atbilda normālā sadalījuma kritērijiem: $\chi^2_{\text{fakt}} = 1,0...4,0 < \chi^2_{0,05} = 7,8...12,6$.

Ja ūdens daudzuma aprēķiniem izvēlētajā sateces baseinā pietiek ar vienu sadalījuma parametru, proti, ūdens krājumu vidējo aritmētisko, tad augsnes mitruma raksturošanai papildus jāizmanto otrs normālā sadalījuma parametrs – standartnovirze.

Ar lielu ticamību parādās cieša sakarība starp augsnes mitrumu (procentos no pilna piesātinājuma) un augsnes gruntsūdens līmeņa dziļumu: augsnes slānim 0–10 cm dziļumā $r = -0,74$, 10–20 cm $r = -0,83$, 20–30 cm $r = -0,87$, 30–40 cm $r = -0,85$ un 40–50 cm $r = -0,86$ pie $r_{0,05} = 0,31$.

Aprēķinu rezultāti parāda, ka mitruma svārstības augsnes augšējā slānī par 55 % nosaka gruntsūdens līmeņa izmaiņas; dziļākajos slāņos determinācijas koeficients sasniedz 64–76 %. Dispersijā atšķirības pārējo daļu nosaka kūdras struktūras, meteoroloģisko un mikroklimatisko faktoru ietekme.

Mežos ar kūdras augsnēm fizioloģiski aktīvās saknes iestiepjas dziļumā līdz 30 cm [94, 115]. Tāpēc tālākajos aprēķinos galvenā uzmanība veltīta mitruma izpētei trīs augšējos augsnes horizontos: 0–10, 10–20 un 20–30 cm.

Ja augsnes gruntsūdens līmenis ir 10 cm dziļumā, tad augsnes virsslānī līdz gruntsūdens līmenim augsnes vidējais mitrums ir 90 % no pilna piesātinājuma. Tanī pat laikā analizētajā teritorijā 25 % no platības augsnes samitrinājums atbilst optimālajam rādītājam, t.i., tas nepārsniedz 80 % no pilna piesātinājuma (31. tabula), un augsnes sūcējspēks nepārsniedz 8 kPa. Pie šāda gruntsūdens līmeņa ievērojama ir augsnes nanopaaugstinājuma loma, kas aizņem 30–50 % no kūdreņu nogabala platības [95]. Optimālā mitruma nodrošinājums augsnes virspusē pakāpeniski palielinās līdz ar gruntsūdens līmeņa pazemināšanos līdz 70 cm dziļumam. Pie šāda līmeņa 95 % no kūdraino mežu platības augšējā kūdras slānī ir optimāls mitruma nodrošinājums. Ja ūdens līmenis pazeminās dziļāk par 80 cm, iespējams neliels (3–8 %) augsnes sūcējspēka pieaugums virs 80 kPa, un optimālais augsnes mitrums var nedaudz samazināties – līdz 80 %.

31. tabula

Kūdras slāņa mitrums saistībā ar gruntsūdens līmeņa dziļumu

Augsnes gruntsūdens dziļums, cm	Augsnes mitrums no pilna piesātinājuma, %			Augsnes sūcējspēks, kPa	Augsnes sūcējspēka nodrošinājums virs 80 kPa, %	Optimālā mitruma nodrošinājums, %
	Vidējais aritmētiskais	Standartnovirze	Variācijas koeficients			
<u>1–10 cm dziļumā</u>						
10	90	6,0	7	1	0	25
20	84	7,0	8	2	0	35
30	78	6,5	8	3	0	55
40	72	8,2	11	5	0	85
50	67	10,3	15	8	0	95
60	61	11,4	19	10	0	95
70	55	13,0	24	15	0	95
80	49	14,6	30	17	3	90
90	43	16,4	39	24	5	85
100	37	18,2	40	37	8	80
<u>10–20 cm dziļumā</u>						
10	98	5,5	6	1	0	0
20	95	6,0	6	2	0	0
30	90	5,0	6	3	0	5
40	85	6,3	7	5	0	20
50	81	8,9	11	8	0	45
60	76	8,2	11	10	0	70
70	71	8,6	12	15	0	80
80	66	10,5	16	16	0	90
90	61	13,0	21	23	0	95
100	57	13,8	24	27	3	90
<u>20–30 cm dziļumā</u>						
10	100	–	–	0	0	0
20	98	2,5	3	0	0	0
30	95	3,0	3	1	0	0
40	92	4,2	5	2	0	0
50	89	5,5	6	3	0	5
60	85	7,0	8	4	0	20
70	82	8,0	10	6	0	35
80	78	9,5	12	7	0	50
90	70	10,5	15	14	0	85
100	60	12,0	20	25	0	95

Kūdras slānī 10–20 cm dziļumā optimālā mitruma neliels nodrošinājums (5 %) parādās tikai pie $H = 30$ cm. Līdz ar ūdens līmeņa tālāku pazemināšanos optimālā mitruma nodrošinājums pakāpeniski pieaug un pie $H = 90$ cm sasniedz 95 %.

Līdzīgi mainās arī optimālā mitruma nodrošinājums 20–30 cm dziļā kūdras slānī. Neliels (5 %) optimālā mitruma nodrošinājums te iestājas tikai tad, ja augsnes gruntsūdens līmenis pazeminās līdz 50 cm dziļumam. Pie augstākiem līmeņiem augsne vienmēr ir nevēlami pārmitrināta, bet, pazeminoties līmenim, optimālā mitruma nodrošinājums strauji pieaug un pie $H = 100$ cm tāpat sasniedz 95 %.

Izmantojot optimālā augsnes samitrinājuma likumsakarības, mēs aprēķinājām, kā šis nodrošinājums mainās pa mēnešiem 12 gadu laikā atšķirīgos attālumos no grāvja (32. tabula).

32. tabula

Atšķirīga augsnes mitruma vidējais nodrošinājums dažādos attālumos no grāvja

Mēnesis	Kūdras samitrinājums, %	Attālums no grāvja, m			
		5	15	35	75
<u>1–10 cm dziļumā</u>					
Maijs	20	0	0	0	0
	21–80	54	42	40	35
	81	46	58	60	65
Jūnijs	20	0	0	0	0
	21–80	90	83	80	57
	81	10	17	20	43
Jūlijs	20	0	0	0	0
	21–80	93	90	83	64
	81	7	10	17	36
Augusts	20	3	3	4	5
	21–80	92	89	86	76
	81	5	8	10	19
Septembris	20	3	3	3	5
	21–80	90	87	87	82
	81	7	10	10	13
Oktobris	20	0	0	0	0
	21–80	90	87	84	71
	81	10	13	16	29
Veģetācijas periodā	20	1	1	1	2
	21–80	85	80	77	64
	81	14	19	22	34

Mēnesis	Kūdras samitri- nājums,%	Attālums no grāvja, m			
		5	15	35	75
<u>10–20 cm dziļumā</u>					
Maijs	30	0	0	0	0
	31–80	29	26	23	6
	81	71	74	77	94
Jūnijs	30	0	0	0	0
	31–80	43	42	37	20
	81	57	59	63	80
Jūlijs	30	0	0	0	0
	31–80	71	69	65	62
	81	29	31	35	38
Augusts	30	0	0	0	0
	31–80	84	82	74	71
	81	16	18	26	29
Septembris	30	0	0	0	0
	31–80	80	80	80	75
	81	20	20	20	25
Oktobris	30	0	0	0	0
	31–80	68	68	62	55
	81	32	32	38	45
Veģetācijas periodā	30	0	0	0	0
	31–80	62	61	57	48
	81	38	39	43	52
<u>20–30 cm dziļumā</u>					
Maijs	30	0	0	0	0
	31–80	15	8	0	0
	81	85	92	100	100
Jūnijs	30	0	0	0	0
	31–80	32	29	24	6
	81	68	71	76	94
Jūlijs	30	0	0	0	0
	31–80	60	57	53	48
	81	40	43	47	52
Augusts	30	0	0	0	0
	31–80	73	70	61	57
	81	27	30	39	43
Septembris	30	0	0	0	0
	31–80	69	68	66	60
	81	31	32	34	40

Mēnesis	Kūdras samitrinājums, %	Attālums no grāvja, m			
		5	15	35	75
Oktobris	30	0	0	0	0
	31–80	57	56	49	41
	81	43	44	51	59
Veģetācijas periodā	30	0	0	0	0
	31–80	51	48	42	35
	81	49	52	58	65

Optimālā mitruma nodrošinājumu (P_w) mēs aprēķinājām ar vienādojuma palīdzību $P_w = \sum_{i=1}^{10} p(H_i) \cdot p_w(H_i)$, kur $p(H_i)$ ir gruntsūdens līmeņa varbūtība procentos ikvienā no veģetācijas perioda mēnešiem; p_w – optimālā mitruma varbūtība mūsu izvēlētajos kūdras slāņos pie gruntsūdens līmeņa H_i .

Dīvpadsmit gadu laikā augšējā kūdras slāņa pārkalšana vērojama tikai retos 1–2 % brīžos augustā–septembrī. Savdabīgi, ka grāvmalā (5 m atstatumā) pārkalšana ir pat mazāk iespējama nekā vidū starp grāvjiem. Nobīdes no optimālā samitrinājuma (21–80 % un 31–80 % no pilna piesātinājuma) parādās tikai pārmitrinājuma virzienā. Ja atstatums starp grāvjiem ir 150 m, tad veģetācijas periodā pārmitrinājuma iestāšanās vidēji visā starpgrāvju platībā sasniedz 26 % pašā augšējā augsnes slānī; 10–20 cm dziļā kūdras slānī pārmitrinājuma varbūtība ir 46 %, bet 20–30 cm dziļumā – 60 %.

Pēc kokaudzes nociršanas augsnes mitruma režīms kļūst nospriegotāks. Pārmitrinājuma iespējamība saglabājas iepriekšējā līmenī, taču pārkalšanas iespēja palielinās, sasniedzot 25 % [114]. Tāpat kā mežā, augsnes pārkalšana izcirtumā nepārsniedz zem 20 cm dziļuma, bet augsnes pārmitrinājums jau šādā dziļumā izcirtumā ir 1,5–2,0 reizes lielāks nekā mežā. Varam uzskatīt, ka optimālā mitruma atšķirības mežā pirms un pēc kokaudzes nociršanas raksturo kokaudzes ūdensregulējošās īpašības.

Kokaudzes regulējošās īpašības mainās veģetācijas perioda laikā. Augsnes pašā augšējā horizontā izmaiņas izcirtumā parādās kā pārkalšanas iespēja; visbiežāk augustā. Desmit centimetrus dziļāk augsnes optimālā mitruma nodrošinājums pakāpeniski palielinās, un vislielākā starpība starp mežu un izcirtumu novērota veģetācijas perioda beigās (33. tabula). 20–30 cm dziļumā mežā zem kokaudzes optimālā augsnes mitruma nodrošinājums ir vairākkārt lielāks nekā izcirtumā. Atšķirību pakāpeniska palielināšanās visticamāk saistāma ar sakņu aktivitātes pieaugumu vasaras otrajā pusē.

Optimālā mitruma nodrošinājums kūdras augsnēs (%) mežā zem
kokaudzes un izcirtumā (15 m no grāvja)

Mēnesis	0–10 cm dziļumā			10–20 cm dziļumā			20–30 cm dziļumā		
	Mežā	Izcirtumā	Starpība	Mežā	Izcirtumā	Starpība	Mežā	Izcirtumā	Starpība
Maijs	42	40	2	26	6	20	8	0	8
Jūnijs	83	68	15	41	23	18	29	2	27
Jūlijs	90	70	20	69	43	26	57	8	49
Augusts	89	50	39	82	53	29	70	17	53
Septembris	87	60	27	80	43	37	68	17	51
Oktobris	87	77	10	68	30	38	56	12	44

Gan atbilstoši citu autoru atziņām [112], gan arī pēc mūsu aprēķinu rezultātiem, augsnes režīms mežos ar hidromorfām minerālaugsnēm diezgan ievērojami atšķiras no mitruma režīma kūdreņos un sausieņu mežos. Mūsu mērījumi sešu gadu laikā liecina, ka āreņos kā zem kokaudzes, tā arī izcirtumā no jūnija līdz septembrim augsne nav bijusi pārmitrināta – mitrums nepārsniedz 80 % no pilna piesātinājuma. Novirzes no optimālā samitrinājuma te bijušas tikai pārkalšanas virzienā. Gadījumi, kad augsnes sūcējspēks pārsniedza 80 kPa, sadalījusies šādi:

Augsnes slāņa dziļums, cm	Zem kokaudzes, %	Izcirtumā, %
0–10	10	18
10–20	8	20
20–30	0	0

Visi mūsu ievāktie dati liecina, ka āreņos augsnes mitruma režīms ir nedaudz sliktāks nekā kūdreņos. Taču arī āreņos optimālais augsnes mitruma režīma nodrošinājums vidēji nav mazāks par 80 %.

9.4. Koku sakņu mitruma nodrošinājums

Iepriekšējā nodaļā mēs analizējām augsnes mitruma režīmu, nesaisot to ar koku sakņu izvietojuma augsnē. Tomēr tieši sakņu samitrinājums visprecīzāk raksturo sadarbību starp meža ekosistēmu un teritorijas ūdens sistēmu. Sakņu aizņemtā augsnes slāņa samitrinājumu noteicām kā divu varbūtības rādītāju reizinājumu:

$P_{w_s} = \sum_{i=1}^s p_{w_i} \cdot p_{k_i}$, kur p_{w_i} – optimālā mitruma nodrošinājums i-tajā augsnes slānī; p_{k_i} – fizioloģiski aktīvo sakņu relatīvā sastopamība i-tajā augsnes slānī. Tādējādi kokaudzes mitruma raksturošanai nepieciešams analizēt fizioloģiski aktīvo sakņu izvietojumu augsnes slāņos.

Sakņu izvietojuma kūdras augsnē noskaidrošanai mēs analizējām augsnes paraugus 24 parauglaukumos. 40 cm dziļus augsnes cilindrus sadalījām divus centimetrus biežās sloksnītēs un katrā sloksnītē izmērījām sīkās koku saknes. Vienlaicīgi ikvienam slānim noteicām kūdras botānisko sastāvu, sadalīšanās pakāpi un mitruma režīmu. Analizējot iegūtos datus ar multiplās regresijas metodi, ieguvām rādītājus, kas raksturo katra faktora ietekmi uz fizioloģiski aktīvo koku sakņu izvietojumu augsnē (34. tabula).

34. tabula

Faktoru ietekme uz bioloģiski aktīvo koku sakņu izvietojumu
kūdras augsnē

Faktors	Parametra robežvērtības	Ietekme, %	Fišera kritērija F vērtība
Parauga dziļums, cm	1–39	–18	24,73
Applūšanas varbūtība, %	0–26	–1	1,16
Kūdras sadalīšanās pakāpe, %	5–35	+3	4,52
Kūdras piemaisījums, %			
grišļu	0–100	–19	25,66
koku	0–100	+8	11,15
sfagnu	0–100	+5	5,27
Kritiskā vērtība $F_{0,05} = 4,0$			

Galvenā loma piešķirama faktoriem, kas ierobežo gaisa apmaiņu augsnē: augsnes slānīša dziļums (18 %) un grīšļu kūdras piemistrojums kūdrāi (19 %). Šie dati sakrīt ar citos plašākos pētījumos iegūtajām atziņām [87] – koku saknes labprāt izvietojas kūdrā ar sfagnu piemaisījumu. Kokaudzes ražība (bonitāte) pasliktinās vietās, kur zem sfagnu slāņa atrodas ar barības vielām nabadzīgās grīšļu kūdras nogulas. Pārējos gadījumos sfagnu segšņu slānis vērtējams pozitīvi. Segšņu slāņa veiksmīgā aerācija un labā filtrācija nodrošina meža nobiru sadalīšanos un gravitācijas ūdens ātru noplūdi no augsnes augšējā slāņa. Mūsu pieredze apliecina, ka līdz 20 cm biezs segšņu slānis netraucē nosusināto mežu ražībai. Arī somu zinātnieki [52, 53] atzīmē, ka sfagnu segšņu kārtā veicina koku augšanu meliorētajās platībās.

Sakņu īslaicīga applūšana, kaut arī tas notiek vairākkārt veģetācijas periodā, netraucē sakņu izvietošanos augsnē. Labi aerētās augsnēs kokaudze pati spēj pazemināt ūdens līmeni, pastiprinot transpirāciju. Ja tas nav iespējams (apgrūtināta augsnes aerācija), kokaudze sašaurina sakņu aizņemto augsnes slāni, un ekosistēma stabilizējas citā mazāk ražīgā līmenī.

Mūsu analizētajos objektos augšējā 0–10 cm biežajā augsnes slānī vidēji izvietojas 63 % fizioloģiski aktīvo sakņu, bet to relatīvais daudzums svārstās 33–92 % robežās. 10–20 cm dziļumā vidējais sakņu daudzums ir 23 % (5–41 %), 20–30 cm dziļumā – 10 % (0–23 %), bet 30–40 cm dziļumā 4 % (0–13 %).

Slāņa biezums, kurā ietilpst 15 % sīko sakņu, ar 90 % ticamību svārstās robežās no 11 cm līdz 38 cm. Sakņu daudzums, kas iestiepjas dziļāk par 30 cm, ir neliels, un mitruma režīma raksturošanai sakņu aizņemtajā augsnes slānī mēs izveidojām trīs grupas – 0–10, 10–20 un 20–30 cm dziļas augsnes grupas.

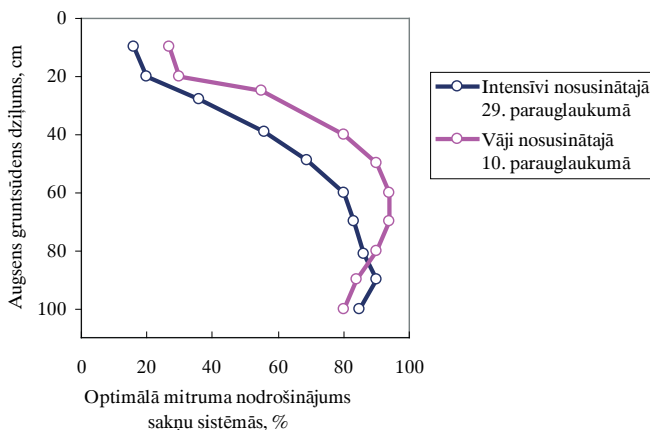
Izmantojot mērījumu rezultātus, kā arī augsnes optimālā mitruma integrālos rādītājus $P_{w\text{ opt}} = f(\mathbf{H}, \mathbf{p}_k)$, kur \mathbf{H} – augsnes gruntsūdens līmeņa dziļums un \mathbf{p}_k – sakņu relatīvais daudzums pa trīs slāņiem, izrēķinājām optimālā mitruma nodrošinājumu visā 30 cm biežajā augsnes slānī divpadsmit gadu laikā (35. tabula).

Sakņu sistēmas optimālā mitruma nodrošinājums, %

Mēnesis	Vidējais aritmētiskais	90 % svārstību amplitūda
Maijs	54	26–82
Jūnijs	72	51–93
Jūlijs	74	59–89
Augusts	80	70–90
Septembris	81	70–89
Oktobris	77	64–90

Sakņu sistēmas optimālā mitruma nodrošinājums ir samērā augsts un pakāpeniski pieaug vasaras otrajā pusē. Mūsu aprēķinu rezultāti norāda arī uz to, ka 100 % optimālā mitruma nodrošinājums sakņu sistēmā praktiski nav sasniedzams. Kaut arī veģetācijas perioda laikā augsnes gruntsūdeņu līmenis ir dziļāks par 60 cm, sakņu sistēmas optimālais samitrinājums ir 85–90 %, t.i., 10–15 % fizioloģiski aktīvo sakņu atrodas apstākļos, kad augsnes samitrinājums ir lielāks par 80 % no pilna piesātinājuma vai arī augsnes sūcēj spēks pārsniedz 80 kPa. Arī koki paši īpaši necenšas, lai viņu saknes izvietotos tikai optimālā mitruma nodrošinājuma zonā. Saglabājas tendence, saknēm iespējams dziļāk, pavirzīt meža ekosistēmas apakšējo robežu zemāk un apgūt jaunu biogēno elementu ieguves zonu.

Ilustrēšanai veikta kūdras augsnes samitrinājuma analīze sakņu aizņemtajā slānī 10. un 29. parauglaukumos (36. attēls). 10. parauglaukumā augsnes mitruma režīms ir līdzīgs nenosusināto mežu mitruma režīmam – 12 gadu laikā augsnes gruntsūdens līmenis veģetācijas periodā (jūnijs–septembris) atradās vidēji 34 cm dziļumā. Atbilstoši tam koku sakņu sistēma 93 % aizņēma augšējo 0–10 cm slāni, un 10–20 cm dziļā augsnes slānī bija tikai 7 % no koku saknēm.



36. attēls. Optimālā mitruma nodrošinājums sakņu aizņemtajā augsnes slānī intensīvi nosusinātajā 29. parauglaukumā un vāji nosusinātajā 10. parauglaukumā.

Varam pieņemt, ka tagad intensīvi nosusinātajā 29. parauglaukumā pirms meliorācijas saknes izvietojās līdzīgi. Patlaban šajā parauglaukumā augsnes gruntsūdens līmenis vidēji ir divkārt dziļāks (65 cm) nekā 10. parauglaukumā, un koku saknes izvietojas sekojoši: 0–10 cm dziļumā – 56 %, 10–20 cm – 33 % un 20–30 cm – 11 % no saknēm. Ja 29. parauglaukumā koku saknes saglabātos tādā pat dziļumā kā 10. parauglaukumā, tad 29. parauglaukumā optimālais nodrošinājums būtu par 15 % augstāks nekā vājāk nosusinātajā. Visticamāk tomēr, ka neliels zaudējums optimālā mitruma nodrošinājumā tiek veiksmīgi kompensēts ar sakņu aizņemtā slāņa padziļināšanos un iespējām izmantot biogēnos elementus zemākos augsnes slāņos. 29. parauglaukumā priežu audzei ir I,3 bonitāte, bet 10. parauglaukumā – II,5 bonitāte.

Mēs analizējam arī, kā mainās kokaudžu ražība izvēlētajos 30 priežu parauglaukumos saistībā ar optimālā mitruma nodrošinājumu. Audžu ražību raksturoja priežu virsaugstuma koku tekošā bonitāte. Šī parametra noskaidrošanai ar teodolītu tika izmērīts koku augstums un desmit pēdējo gadu augstuma pieaugums pa pieciem kokiem ikvienā parauglaukumā. Augstumi mērīti ar 1 cm precizitāti. Pa desmit gadiem virsaugstuma koku tekošā bonitāte svārstījās 23,0–29,4 robežās, kas atbilst I,0–II,5 vidēja

augstuma bonitātēm. Korelācijas koeficienti starp tekošās bonitātes un sakņu sistēmas optimālā nodrošinājuma rādītājiem ir šādi: maijā – +0,501, jūnijā – +0,461, jūlijā – +0,524, augustā – +0,414, septembrī – +0,506 un oktobrī – +0,450 pie $r_{0,05} = 0,374$. Iegūtie dati liecina par sakarības statistisko būtiskumu, taču apstiprina arī to, ka sakarība ir samērā vāja un ar optimālā mitruma nodrošinājumu mēs nevaram determinēt kokaudzes ražību.

Līdzīgus rezultātus uzrāda arī dati, kas iegūti multiplās regresijas analizē. Optimālā mitruma nodrošinājums koku ražību izskaidro par 2 % maijā, par 3 % jūnijā, par 5 % jūlijā, par 4 % augustā, par 9 % septembrī un par 8 % oktobrī. Pielietojot Fišera kritēriju, noskaidrots, ka optimālā mitruma nodrošinājums maijā un jūnijā meža ražību neietekmē ar 95 % ticamību. Lietderīgi pieminēt, ka sakarība visciešākā ir rudens mēnešos.

Šie nedaudz pārsteidzošie rādītāji prasa papildus skaidrojumu. Vispirms tie apliecina, ka meliorētajos mežos augsnes mitrums nav uzskatāms par meža ražību galveno limitējošo faktoru. Kā meliorētajos, tā arī pārmitrajos mežos augsnes mitruma nodrošinājums veģetācijas periodā svārstās visai plašās robežās meteoroloģisko apstākļu ietekmē. Meliorācijas ietekme uz mitruma nodrošinājumu nav liela. Otrkārt – mūsu analizētās mežaudzes visas ir samērā ražīgas, kurās tekošā bonitāte svārstās robežās no I,0 līdz II,5, t.i., tās ir tuvu optimumam, liecinot, ka arī mitruma režīms uzskatāms par optimālu.

Ja izveidotajā paraugkopā iekļautu arī mazāk produktīvas audzes, visticamāk būtu ciešāka sakarība starp augsnes mitruma režīmu un kokaudzes ražību. Taču veidojot tādu izlasi, liela vērība jāpievērš tam, lai objekts piederētu vienai ģenerālkopai, t.i., lai visās audzēs to ražību reglamentē augsnes mitrums. Pretējā gadījumā varam aprēķināt, ka augsts optimālā mitruma nodrošinājums nemaz neietekmē audžu ražību vai optimālā mitruma ietekme var būt pat negatīva. Tas iespējams, piemēram, ja vienā izlasē iekļausies zemo un augsto purvu objekti. Nenosusinātā zemajā purvā optimālā mitruma nodrošinājums būs mazāks nekā meliorētajā augstajā purvā, kaut gan kokaudzes ražība zemajā purvā var pārsniegt augstā purva kokaudzes ražību.

Nepareizi ir akcentēt, ka hidrotehniskās meliorācijas galvenais nopelns ir augsnes mitruma samazinājums sakņu aizņemtajā augsnes slānī. Nenosusinātajos pārejas purvos, kā arī augstajos purvos un nabadzīgākajos purvaiņu un slapjainu meža tipos koku saknes aizņem kūdras slāņa pašu augšējo slānīti, un nereti cieš ne tikai no pārmitrinājuma, bet arī no mitru-

ma trūkuma [53]. Pēc hidrotehniskās meliorācijas koku saknes nedaudz irstiepjās kūdrā dziļāk, un kaut arī sakņu aizņemtās kūdras slānis nepalielinās vairāk par 20 cm, tas ir pietiekoši, lai izmainītos kokaudzes ražība.

Iepriekš aprakstītajā multiplās regresijas analīzes piemērā kokaudzes ražības rādītāju dispersija tikai par 31 % skaidrojama ar optimālo mitruma nodrošinājumu sakņu aizņemtajā augsnes slānī, un tikai 7 % attiecināmi uz mitruma atšķirībām augšējā slānī. Izšķiroša loma ir optimālā augsnes mitruma nodrošinājumam 10–20 cm dziļumā. Šajā dziļumā pēc meliorācijas aktivizējas mikroorganismu darbība un palielinās pelnu saturs kūdrā [126]. Mitruma režīms 10–20 cm dziļā augsnes slānī skaidro 20 % no kokaudzes ražības rādītāju dispersijas. Dziļāko slāņu mitruma rādītāju ietekme ir maznozīmīga, jo tur atrodas visai neliela fizioloģiski aktīvo sakņu daļa, un ar mitruma svārstībām 20–30 cm dziļā kūdras slānī varam izskaidrot tikai 4 % no ražības rādītāju dispersijas.

Par vienu no galvenajām hidrotehniskās meliorācijas problēmām izvirzās jautājums – kādos veģetācijas perioda posmos pieļaujama augsnes pārmitrināšanās. No objektīvas atbildes uz šo jautājumu atkarājas gan hidrotehnisko pasākumu apjoms, gan arī to ekoloģiskā loma. Piemēram, ja augsnes pārmitrinājums negatīvi ietekmē meža ražību pavasara plūdu laikā, tad meliorācijas pasākumos jāiekļauj arī upju gultņu regulēšana, kas savukārt izraisīs hidroloģiskā līdzsvara izmaiņas plašā teritorijā.

Meža zinātnieku sabiedrībā pastāv samērā liela vienprātība, ka augsnes pārmitrinājums visnegatīvāk ietekmē koku augšanu tad, kad kokaudzē visintensīvāk norisinās fizioloģiskie procesi. Galvenās atšķirības uzskatos saistās ar atbildi, kad sākas un kad beidzas intensitāte fizioloģiskajos procesos.

Eksperimentējot ar stādiem, noskaidrots [96], ka stādi nobeidzas, ja tos vasarā appludina 20 dienas, toties pavasarī un rudenī tie izdzīvo arī pie 30–40 dienu ilga appludinājuma. Augsnes pārmitrinājuma negatīvo ietekmi uz koku augšanu nereti saista ar fenoloģiskajiem rādītājiem – fizioloģisko procesu sākumu atspoguļo jauno vainagu dzinumumu garums, kad tas sasniedz 4–6 cm garumu [98]. Latvijas apstākļos tādu garumu priedes dzinumumi sasniedz vidēji maija vidū, egļei – jūnija vidū.

Pieaugušās kokaudzēs bīstamāko periodu noskaidrošana iespējama tikai aktīvos eksperimentos, kas dabiskā mežā praktiski nav veicami – dabā nevar iekārtot vairākus poligonus vienādās augstražības ekosistēmās,



Priedes sēklas sadīgst arī sūnu purvos (A), bet augstumam sasniedzot 70 cm (B), kokaudze sāk aktīvi iekļauties ekosistēmas darbībā.

kuras var appludināt dažādos laikos un dažādā ilgumā. Augsnes mitruma periodiskais režīms reglamentē arī jaunaudžu ieaugšanu un augšanu. Ar maziem kociņiem eksperimenti ir paveicami.

Vesetnieku stacionārā četrus gadus turpinājās eksperiments, lai noskaidrotu periodu, kurā pārlieks augsnes samitrinājums negatīvi ietekmē priedes un egles jaunaudžu augstuma pieaugumu. 1972. gadā kokaudzētavā izvēlēti pa 400 veselīgu priedes un egles stādu. Stādu augstums 10–12 cm. Ikviens stāds pavasarī tika iestādīts 3 l lielā podā ar minerālgrunts pildījumu un vaļēju dibenu. Podus ieraka augsnē tā, lai to virsma atrastos vienā līmenī ar zemes virsu. Pirmajā veģetācijas periodā visi stādi raženi auga un tiem izveidojās spēcīga sakņu sistēma.

1973. gada pavasarī priedes augstums sasniedza 16–18 cm, egles – 18–20 cm. Sākot ar maiju līdz oktobrim ikviena mēneša piektajā datumā nejaušas izlases ceļā izvēlēti pa 60 priežu un egļu stādi, un tie kopā ar podu ievietoti ūdens vannā. Vannas iedziļinātas zemē, un ūdens temperatūra tajās bija līdzīga apkārtējās augsnes temperatūrai: maijā 12,1°, jūnijā 17,5°, jūlijā 22,9°, augustā 18,6°, septembrī 10,0° un oktobrī 4,4° C. Visā mērcēšanas periodā vannās pastāvīgi tika saglabāts tāds ūdens līmenis, lai sakņu sistēma vienmēr atrastos zem ūdens. Lai vannā neieplūstu ar skābekli bagātie lietusi ūdeņi, vanna tika pārsegta ar caurspīdīgu jumtu.

Pēc piecu dienu mirkšanas no vannas izņēmām pa 20 priežu un egļu stādus. Atlikušos stādus mērcējām 10 un 15 dienas. Pēc podu izņemšanas no ūdens, tos iestādījām labi drenētā augsne. Sākot ar 1973. gadu visiem kociņiem fiksējām fenoloģisko stāvokli un izmērījām augstuma pieaugumu.

Speciāli fizioloģiskie pētījumi [93] liecina, ka pārlieks augsnes samitrinājums līdz piecu dienu ilgumam tomēr neizraisa sakņu atmiršanu, un priedei nav nepieciešams tērēt uzkrātos asimilātus jaunas sakņu sistēmas veidošanai. Līdztekus tam neviens hidromelioratīvs pasākums pilnīgi nenovērš sakņu pārlieku samitrinājumu pēc spēcīgiem lietiem. Tāpēc, lai samazinātu podu pārstādīšanas ietekmi, kontrolei izmantojām tos stādus, kuru sakņu sistēma tika appludināta piecas dienas.

Pirmie secinājumi 1973. gadā rudenī: izdzīvojuši ir visi mērcētie koki, un to augstuma pieaugumā nav nekādu atšķirību atkarībā no mērcēšanas ilguma.

Nākošajā 1974. gadā kociņu fenoloģiskā attīstība turpinājās neatkarīgi no mērīšanas laika un ilguma. Drīz pēc pumpuru atvēršanās, jūlijā un

augustā 15 dienas mērcēto eglīšu augšanā iezīmējās sarukums salīdzinājumā ar 5 dienas appludināto kociņu augstuma pieaugumu:

Applūduma laiks	V	VI	VII	VIII	IX	X
Augstuma pieaugums, % no kontroles	100	95	42	53	80	93

10 dienas appludināto eglīšu pieaugums atpalika no kontroles ievērojami mazāk.

Mūsu eksperimentā iegūtie rezultāti rāda, ka jauno koku sakņu appludināšana maijā, jūnijā un oktobrī neietekmē sezonas pieauguma gaitu un gadskārtējā pieauguma apjomu nākošajā gadā. Visticamāk, ka fizioloģiskie procesi sakņu sistēmā minētajos mēnešos norisinās ar pazeminātu aktivitāti, kaut arī augsnes temperatūra maijā un jūnijā ir augstāk nekā septembrī. Iespējams, ka sakņu aktivitāte nesaistās vienīgi ar augsnes temperatūru, bet to ietekmē arī ģenētiskās savdabības.

Svarīgi atzīmēt, ka priežu stādu augšanu neietekmēja ne appludināšanas laiks, ne ilgums.

1975. gada pavasarī eglītes izplauka agri un tāpēc cieta no pavasara salnām. Vidēji nosala ap 40 % no jaunajiem dzinumiem, bet dažiem kokiem nosala 80 % dzinumu. Sala bojājumi vienādi intensīvi ietekmēja kā appludināto, tā arī neappludināto kociņu dzinumus. Divnedēļu appludinājums pirms diviem gadiem ietekmēja arī 1975. gada eglīšu pieaugumu. Augustā appludināto eglīšu augstuma pieaugums sasniedza tikai 72 % no kontroles, un divnedēļu appludinājums jūlijā un augustā samazināja eglīšu augstumu par apmēram 50 %.

Priežu augstuma pieaugums arī 1975. gadā neatšķīrās no kontroles priedīšu pieauguma, un eksperimenta rezultāti nedeva atbildi par kritisko appludināšanas periodu.

Jauno priedīšu indierenci pret augšanas apstākļiem raksturo arī mūsu mērījumu rezultāti par priežu augstumiem un pieaugumiem mētru kūdreņa izcirtumā atšķirīgos attālumos no grāvjiem (36. tabula). Priedes dīgsti vai stādi ieaug jebkādos apstākļos – arī sūnu purvā uz ciņa vai akmens šķembu kaudzē. Priežu jaunaudzē koku augstuma pieaugums sāk reaģēt uz augsnes hidroloģisko režīmu tikai pēc tam, kad kociņu augstums sasniedzis 70 cm, kas sakrīt ar stādu sešu gadu vecumu. Ar šādu vecumu kokaudze sāk aktīvi iekļauties ekosistēmas darbībā, un augsnes hidroloģiskais režīms sāk būtiski ietekmēt kokaudzes ražību. Arī ciešās korelatīvās sakarības ($r \geq 0,8$), kas uzrādītas tabulā, nav piemērotas, lai rastu skaidrojumu par

augšnes hidroloģiskā režīma izšķirošo nozīmi uz kokaudzes režīmu ikviena mēneša līmenī – veģetācijas periodā pa mēnešiem r svārstās robežās no +0,81 līdz +0,95. Tas liedz izvirzīt kādu atsevišķu mēnesi augšnes optimālā mitruma ietekmes raksturošanai.

36. tabula

Pāru korelācijas koeficienti starp priedišu augstuma pieaugumu veģetācijas periodā un augšnes gruntsūdens līmeni

Kociņu vecums, gadi	Kociņu vidējais augstums, cm	Korelācijas koeficients r
3	24	-0,218
4	43	+0,206
5	65	+0,142
6	78	+0,792
7	95	+0,788
8	109	+0,826
9	133	+0,875
10	159	+0,825
11	189	+0,815

Piezīme $r_{0,05} = 0,553$

Labākus panākumus gūstam, ja cēloņsakarību analīzei izmantojam multiplās regresijas analīzi [116]. Mums izdevās par 83 % (multiplās korelācijas koeficients $R = 0,91$) izskaidrot priežu audžu ražības svārstības. Iegūtie rezultāti liecina, ka augšnes hidroloģiskais režīms maijā neietekmē būtiski audžu ražību, taču turpmākajos piecos mēnešos ietekme ir būtiska, taču nevar izdalīt nevienu mēnesi, kurā hidroloģiskā režīma ietekme būtu īpaši svarīga. Izpētot koksnes veidošanās gaitu vairākos veģetācijas periodos saistībā ar ūdens režīmu augsnē, neiegūvām precīzāku informāciju par kritiskajiem augšnes pārmitrinājuma periodiem.

Līdzīgus rezultātus ieguvuši arī Somijas zinātnieki [56]. Mākslīgi paaugstinot ūdens līmeni visai tuvu augšnes virsai, noskaidrots, ka pavasarī un vasaras sākumā augstais ūdens līmenis neietekmē kokaudzes ražību. Toties jūlijā–novembrī pārlickais mitrums traucē kokaudzes pieaugumu.

Augšnes hidroloģiskā režīma ietekmes nenoteiktība viena veģetācijas perioda laikā izpaužas arī ilgākā laikā iegūto datu analīzē: hidroloģiskais

režīms būtiski neietekmē audzes ražību ne tikai kārtējā, bet arī nākošajā veģetācijas periodā (37. tabula).

37. tabula

Augsnes hidroloģisko parametru ietekme uz priežu kokaudzes ražības svārstībām šaurlapju kūdrenī

Novērojum perioda ilgums, gadi	Augsnes slāņa optimālā mitruma nodrošinājums (VI-X)		Gruntsūdens līmeņa nodrošinājums dziļāk par 40 cm (VI-X)		Pazemes ūdeni izplūdes intensitāte (I-XII)		Analizēto faktoru kopējā ietekme, %	Multip- lās korelā- cijas koefi- cients R
	Korel. koefic. r	Ietek- me, %	Korel. koefic. r	Ietek- me, %	Korel. koefic. r	Ietek- me, %		
1	(+0,36)	(4)	(-0,27)	(2)	+0,43	28	34	0,58
2	+0,47	7	-0,41	5	+0,51	35	47	0,69
5	+0,53	8	-0,56	4	+0,69	60	72	0,85
10	+0,46	12	-0,64	(3)	+0,86	68	83	0,91

Piebilde: iekavās ievietoto datu ticamība mazāka par 0,5 % nodrošinājumu.

Ekosistēmas pašregulācijas un inerces spējas pārsedz augšņu pārmitrinājuma īslaicīgo ietekmi. Meža ražības teritoriālās atšķirības nosusinātos nogabalos visciešāk saistās ar desmitgadīgiem augšņu hidroloģiskā režīma lielumiem. Ja hidroloģiskā režīma vidējie rādītāji desmit gadu periodā ir dažādi, tad dažāda būs arī kokaudžu ražība. Lietderīgi atzīmēt, ka hidroloģiskā režīma izmaiņas pēc nosusināšanas tikai pēc 5–15 gadiem sāk būtiski ietekmēt ekosistēmas morfoloģiskos (kokaudzes struktūru, dzīvo zemsedzi) rādītājus, kaut arī jaunajā ekosistēmā ir izveidojušās pavisam citas attiecības starp meža ekosistēmas iekšējiem un ārējiem parametriem. Saprātīgāk ir analizēt kokaudzes ražības un augšņu hidroloģisko rādītāju sakarības atsevišķi meliorētajos un nemeliorētajos mežos. Hidroloģisko rādītāju svārstības, kas neizraisa meža tipa atšķirības, neizraisa arī kokaudzes ražības būtiskas izmaiņas.

Tādējādi mūsu iegūtie rezultāti vēlreiz apliecina, ka vasaras mēnešos augšņu pārmitrinājums negatīvi ietekmē meža ražību, un priežu mežos īpaši neizdalās neviens mēnesis, kurā pārmitrinājuma ietekme būtu visspēcīgākā. Varam uzskatīt, ka viena meliorēta priežu meža tipa ietvaros savāktie hidroloģiskie rādītāji laika posmā no jūnija līdz oktobrim pieskaitāmi vienai ģenerālkopai, un optimālā mitruma režīma īslaicīgas svārstības 0,40–0,90 robežās būtiski neietekmē ekosistēmas parametru izmaiņas.



Augstražīgu priedes kokaudžu izveidošanās labi aerētās nogāzēs neatkarīgi no augsnes gruntsūdeņu dziļuma, kas nav aizsniedzams ar koku saknēm.

9.5. Augsnes gruntsūdeņu režīms

Gruntsūdeņi ir pazemes ūdeņu sastāvdaļa. Tos tāpat kā pazemes ūdeņus kopumā var klasificēt pēc dažādām pazīmēm. Tiek pieminēti [158] vairāk kā 30 gruntsūdeņu tipi. Tik daudzveidīga klasifikācija iespējama tādēļ, ka gruntsūdeņus analizē daudzu atšķirīgu zinātnes nodaļu darbinieki. Hidroloģijā par gruntsūdeņiem pieņemts uzskatīt pazemes ūdeņu augšējo slāni, ko drenē virszemes hidrogrāfiskais tīkls [251]. Augsnes hidroloģijā un ekoloģijā gruntsūdeņus lietderīgi iedalīt augsnes gruntsūdeņos un gruntsūdeņos. Par augsnes gruntsūdeņiem saucam to gruntsūdeņu daļu, kas aktīvi piedalās sauszemes ekosistēmas darbībā. Augsnes gruntsūdeņi kļūst par gruntsūdeņiem, kad pārtrūkst to plūsma augšup uz sakņu sistēmām [214].

Kūdreņos, kur ūdens kapilārā pacelšanās parasti ir 60–70 cm, robeža starp augsnes gruntsūdeņiem un gruntsūdeņiem velkama 1 m dziļumā. Kā meliorētajos, tā arī nemeliorētajos mežos Latvijā gruntsūdens līmenis visai reti ir dziļāks par 1 m, un atbilstoši minētajai klasifikācijai parasti runājam par augsnes gruntsūdeņiem.

Kā pārlieku mitrajos, tā meliorētajos mežos augsnes gruntsūdeņi ir viena no galvenajām sastāvdaļām ūdens bilances pieplūdes daļā. Taču ar to augsnes gruntsūdeņu loma nebeidzas. Augsnes gruntsūdeņu līmenis labi indicē daudzas hidroloģiskās norises purvos vai purvu masīvos, ūdens atdevi, ūdens plūsmas rādītājus. Augsnes mitruma rādītāji samērā cieši korelē ar gruntsūdens līmeni un augsnes gruntsūdens režīms bieži vien tiek uzskatīts kā meža hidromeliorācijas efekta rādītājs. Sekls gruntsūdens līmenis vērtējams kā kokaudzes zemas ražības cēlonis pārmitrajās platībās. Populāri ir hidrotehnisko meliorāciju vērtēt kā līdzekli, kas pazemina ūdens līmeni līdz optimālajam dziļumam, kurā tas vairs nelimitē kokaudzes augšanu.

Vispārēju priekšstatu par kokaudzes ražības un gruntsūdeņu dziļuma savstarpējām sakarībām veģetācijas periodā dod daudzu pētnieku rezultāti [9, 13, 17, 57, 89, 132, 199, 222, 223, 234, 225, 236]. Hidromelioratīvajā fondā priežu I–II bonitātes audzes veidojas, jo augsnes gruntsūdens līmenis atrodas 45–80 cm dziļumā, III bonitātes audzes – 25–80 cm un IV–V bonitātes audzes – 25–100 cm dziļumā. Augstražīgos egļu mežos augsnes gruntsūdeņi atzīmēti 40–110 cm dziļumā. Tik plašas svārstības skaidrojamas galvenokārt ar atšķirīgiem augšanas apstākļiem – ūdens pieplūdes režīmu un dažādu

augšnes minerālo sastāvu. Ja augstražīgos mežos augšnes gruntsūdens līmeņa svārstības ir apmēram 35 cm robežās, tad mazāk ražīgajās audzēs svārstības sasniedz 75 cm. Šie fakti liecina, ka augšnes gruntsūdens līmeņa pazemināšana ne vienmēr izraisa būtisku meža ražības paaugstināšanos.

Vairākus gadus notiek strīdi par hidrotehniskās meliorācijas kaitīgo ietekmi kā uz hidromelioratīvā fonda, tā uz tam pieguļošo sausieņu mežu ekosistēmām [16, 26, 120, 259]. Kaut nosusināšanas kaitīgā ietekme uz pieguļošajām ekosistēmām nereti tiek pārspīlēta nepareizas metodikas sakarā, tomēr principā negatīva ietekme ir iespējama. Pārliciecinot piemērs tam ir dažu Poļesjes rajonu pārspīlētā nosusināšana Baltkrievijā pagājušā gadsimta septiņdesmitajos gados, kas pareizāk dēvējama kā upju ieplaku pārsusināšana. Upju pārplūšana un pazemes ūdeņu izķīlēšanās šeit nav vērtējama tikai kā augšnes pārmitrinājuma cēloņi, bet upju visai svarīga loma ir biogēno elementu piegāde slapjajām meža ekosistēmām. Upju un strautu iztaisnošana, to gultņu nesamērīga padziļināšana (līdz 4 m dziļumam) pārtrauca barības vielu pieplūdi mežam, un meža ražība nevis palielinājās, bet gan pazeminājās.

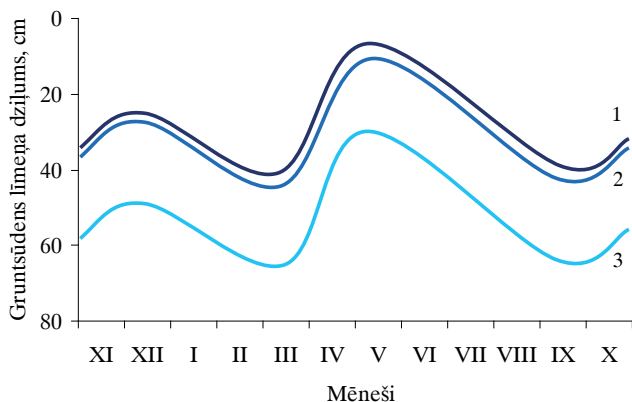
Latvijas apstākļos meža pārsusināšana nav novērota. Augšnes gruntsūdens līmeņa mērījumi veikti parauglaukumu sērijās, un novērošanas akas visur ierīkotas starp diviem grāvjiem vai arī divām slēgtām drenām. Aku sienas nostiprinātas ar perforētām plastmasas caurulēm. Cauruļu augšgals nivelēts ar 1 mm precizitāti, un ar spoguļnivelieri nomērīts mērvietas apkārtnes nanoreljefs ar 1 cm precizitāti. Zemes virsas augstums tādējādi koriģēts atbilstoši 20 mērījumiem.

Nanoreljefa raksturs izrādījās atšķirīgs pat viena meža tipa ietvaros. Nanopaaugstinājumu īpašības stipri atšķiras saistībā ar viņu izcelšanos un augstumu, kā arī ar nosusināšanas ilgumu. Intensīvāk nosusinātajās vietās koku saknes izvietojas puslīdz vienmērīgi pa visu platību, un ciņu loma šajā aspektā samazinās. Tāpēc gruntsūdens līmeņa dziļumu mēs aprēķinājam līdznam nanoreljefam, kas pakāpeniski izveidojas samērā intensīvi nosusinātās audzēs pēc ciņu izlīdzināšanas.

Gruntsūdens līmeņa dinamika tika analizēta 102 parauglaukumos, no kuriem 30 kokaudzēs sistemātiski mērījumi tiek veikti jau no 1963. gada.

Nosusinātajos mežos, varam teikt, būtisks ir augšnes periodisks pārmitrinājums. 37. attēlā ir parādītas augšnes gruntsūdens svārstības gada laikā dažādos attālumos no 1,0 m dziļa nosusināšanas grāvja. Augsni un

gruntslāni veido koka-grīšļu kūdra ar 15–30 % sadalīšanās pakāpi. 15 m attālumā no grāvja priežu kokaudzei ir otrā bonitāte, 75 m attālumā – trešā bonitāte un 135 m attālumā – piektā bonitāte. Daudzgadīgie vidējie gruntsūdens līmeņa dziļumi 16 gadu laikā rāda, ka visaugstākais līmenis ir aprīļa beigās un maija sākumā. Pēc tam līmenis pakāpeniski pazeminās līdz septembrim. Oktobrī un novembrī ūdens līmenis atkal paaugstinās, bet decembrī atsākas tā padziļināšanās. Marta sākumā pirms sniega kušanas augsnes gruntsūdens līmenis ir visdziļāk. Šinī objektā vidējais gruntsūdens līmenis 15 m atstatumā no grāvja ir 53 cm, 75 m atstatumā – 34 cm, bet 135 m atstatumā – 31 cm. Tātad gruntsūdens līmeņa padziļinājums par 3 cm pielīdzināms kokaudzes bonitātes atšķirībām par divām klasēm.



37. attēls. Augsnes gruntsūdens līmeņa daudzgadīgās vidējās svārstības priežu kūdrēnī.

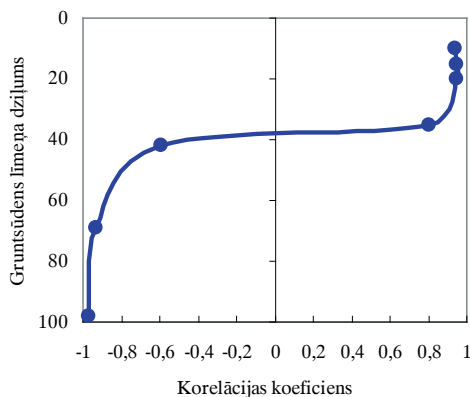
Novērošanas aku attālums no grāvja: 1 – 135 m, 2 – 75 m, 3 – 15 m.

Dažādos attālumos no grāvja un līdz ar to atšķirīgas ražības kokaudzēs gruntsūdens līmeņa svārstības norisinās gandrīz paralēli, kas būtiski sarežģī biometrisko metožu izmantošanu gruntsūdens līmeņa optimālā dziļuma noskaidrošanai. Melioratoru aprindās gruntsūdens optimālais dziļums tomēr parasti tiek interpretēts kā nosusināšanas norma, kaut arī nav vienprātības par to, ko uzskatīt par optimālo.

Populārs ir uzskats, ka nosusināšanas norma raksturo tādu vidējo ūdens līmeni, pie kura visā veģetācijas periodā augsnē nodrošināts optimālais samitrinājums. To sasniegt nav iespējams, regulējot ūdens dziļumu vienīgi nosusināšanas režīmā. Sausās vasarās ūdens dziļums ir daudz lielāks pat vāji nosusinātos meža nogabalos vai pat purvos. Slapjās vasarās ir pilnīgi otrādi – arī grāvja tuvumā augsnes gruntsūdens līmenis ir tuvu zemes virsai. Šādos īslaicīgos periodos ievāktie dati par ūdens režīmu kroplīgi atspoguļo meliorācijas hidrotehnisko ietekmi uz meža augšanu. Visai spilgti tas izpaužas āreņos, kur platību pārpurvošanās norisinās tikai slapjajos periodos, bet sausos periodos iestājas atpārpurvošanās. Rēķinoties ar gruntsūdens dziļuma svārstību lielo amplitūdu un to ekoloģiskām atšķirībām, mēs ar „nosusināšanas normu” saprotam noteiktu dziļumu, kura pārsniegšana jūnija–oktobra mēnešos samazina kokaudzes ražību.

Aprēķinot nosusināšanas normu, mēs balstījāmies uz apsvērumiem, ka vienādos apstākļos (viena meža tipa ietvaros) kokaudzes ražība būs mazāka tur, kur augsnes gruntsūdeņi ilgāk atradīsies tuvāk (piemēram, 10 cm) augsnes virsai. Un otrādi, kokaudzes ražība būs lielāka tur, kur ilgāku laiku gruntsūdeņu līmenis atradīsies dziļāk – piemēram, 70–80 cm. Apstrādājot ar biometriskām metodēm daudzgadīgos ūdens līmeņa mērījumus saistībā ar kokaudžu ražību ikvienā meža tipā, iezīmējas arī indiferentais gruntsūdens dziļums – neatkarīgi no tā, cik ilgi gruntsūdeņi atrodas šādā dziļumā, tie neietekmē audzes ražību. Korelācijas koeficients ir nulle starp dienu skaitu ar indiferento dziļumu un kokaudzes ražību.

38. attēlā parādīts, kā izmainās korelācijas koeficienti, kas raksturo priežu kokaudzes ražības mētru kūdreņi sakarības ar augsnes gruntsūdeņu līmeņa atrašanās ilgumu atšķirīgos dziļumos. Aprēķināts, ka, palielinoties dienu skaitam, kad ūdens līmenis ir tuvu augsnes virsai (10–30 cm dziļumā), kokaudzes ražība samazinās (tekošās bonitātes rādītāji pieaug), un korelācijas koeficients $r = 0,80 \dots 0,97$. Un otrādi, tajos parauglaukumos, kur augsnes gruntsūdeņi ilgāku laiku atrodas samērā dziļi (50–100 cm), tekošās bonitātes rādītāji samazinās ($r = -0,60 \dots -0,97$). Ūdens līmenim saglabājoties 38 cm dziļumā, tā ietekme uz kokaudzes ražību neizpaužas, un korelācijas koeficients ir nulle. Tādējādi šajā meža tipā par nosusināšanas normu varam uzskatīt 40 cm. Līdzīgi aprēķinātas nosusināšanas normas arī citiem meža tiptiem (38. tabula).



38. attēls. Nosusināšanas normas aprēķināšana priežu mētru kūdrenī.

38. tabula

Nosusināšanas normas dažādos meža tipos

Meža tips	Nosusināšanas norma (90 % ticamības intervāls), cm	Kokaudzes tekošā bonitāte grāvja tuvumā (90 % ticamības intervāls)
Kūdreņi:		
priežu viršu kūdrenis	30 (20–40)	II,2–II,6
priežu mētru kūdrenis	40 (30–45)	I,5–II,1
priežu šaurlapju kūdrenis	40 (30–50)	Ia,6–I,4
egļu saurlapju kūdrenis	40 (30–55)	Ia,5–I,5
egļu platlapju kūdrenis	50 (30–60)	Ib,6–Ia,6
Priežu mētru ārenis	60 (40–80)	Ia,6–II,2

Nosusināšanas norma loģiski ir saistīta ar koku sakņu sistēmas dziļumu. Jo dziļāk iesniedzas saknes, jo lielāka ir nosusināšanas norma. Nosusinātos priežu mētru un šaurlapju kūdreņos fizioloģiski aktīvās saknes nesniedzas dziļāk par 40 cm. Ja augsnes gruntsūdens līmenis atrodas tādā dziļumā, tad augsnes samitrinājums sasniedz optimālo.

Auglīgajos meža tipos koku saknes izvietojas dziļāk, un mūsu izpētītajos mazāk auglīgajos mežos saknes ir tikai augsnes virspusē. Tāpēc arī mazāk auglīgajos mežos nosusināšanas norma ir nedaudz mazāka.

Meliorētajos mežos ar 1,0–1,2 m dziļiem grāvjiem aprēķinātās nosusināšanas normas nevar nodrošināt visā veģetācijas periodā pat grāvju tuvumā (39. tabula). Atkarībā no meža tipa pat 15 m attālumā no grāvja nosusināšanas normas nodrošinājums nepārsniedz 63–97 procentus. Attālinoties no grāvja šis rādītājs samazinās.

39. tabula

Nosusināšanas normas nodrošinājums dažādos attālumos
no meliorācijas grāvja, %

Meža tips	Attālums no grāvja, m		
	15	75	135
Kūdreņi:			
priežu viršu kūdrenis	63	53	40
priežu mētru kūdrenis	63	47	35
priežu šaurlapju kūdrenis	74	55	35
egļu saurlapju kūdrenis	73	54	33
egļu platlapju kūdrenis	65	53	40
Priežu mētru ārenis	87	78	40

Atgriežoties pie termina „nosusināšanas norma” interpretācijas, jāatzīmē, ka pastāv visai cieša lineāra sakarība starp nosusināšanas normas nodrošinājumu un augsnes gruntsūdens līmeņa vidējo dziļumu ($r = 0,90$). Lineāro sakarību analīze starp šiem rādītājiem liecina, ka nosusināšanas normas pilnam nodrošinājumam (100 %) nepieciešams, lai priežu šaurlapju kūdrenī (40 cm) augsnes gruntsūdens vidējais dziļums būtu 75 cm, bet priežu mētru ārenī (60 cm) pilnu nosusināšanas normas nodrošinājumu varam sasniegt, ja ūdens līmeņa vidējais dziļums būtu 112 cm. Ar hidrotehnisko meliorāciju nevar nodrošināt nevienu no šiem rādītājiem. Saistībā ar meteoroloģiskajiem apstākļiem pa gadiem svārstās gan nosusināšanas normas nodrošinājuma rādītāji, gan arī gruntsūdens līmeņa vidējais dziļums. Gruntsūdens līmeņa vidējais dziļums tomēr mazāk uzskatāmi nekā nosusināšanas normas nodrošinājums raksturo augsnes samitrinājuma režīmu. Piemēram, ir dati par to, ka vienā priežu šaurlapju kūdrenī ūdens līmeņa vidējais dziļums ir 65 cm, bet otrā audzē – 55 cm. Tas norāda vispirms uz to, ka pirmajā audzē gruntsūdens līmenis ir nedaudz dziļāks



Pārejas purvos (nemeža ekosistēma – A) meliorētajos nogabalos kokaudzes ražība palielinās desmitkārtīgi, un ilgus gadus mežaudzes zaru vietas saskatāmas stumbru mieturos (B).

nekā otrajā audzē, taču arī otrajā audzē gruntsūdens vidējais dziļums ir zem sakņu aizņemtā kūdras slāņa. Izmantojot nosusināšanas normas nodrošinājuma rādītājus, uzzinām, ka pirmajā audzē nosusināšanas norma (40 cm) nodrošināta par 83 %, bet otrajā audzē tikai par 67 %. Tas izskaidro, kāpēc otrajā audzē priežu ražība ir par vienu bonitāti sliktāka nekā pirmās audzes ražība.

Pastāv būtiska atšķirība, kaut arī ne visai cieša korelatīva sakarība saglabājas ($r = 0,59 \dots 0,79$ pie $r_{0,05} = 0,37 \dots 0,41$) starp daudzgadīgiem nosusināšanas normas nodrošinājuma rādītājiem un kokaudžu ražību viena tipa ietvaros. Tas pieļauj gan iespēju aproksimēt šo sakarību ar lineārās regresijas vienādojumiem, gan arī liecina par iegūto rezultātu prāvo izkriedi. Tāpēc izstrādātie vienādojumi (40. tabula) nav piemēroti audzes ražības determinēšanai vienā konkrētā nogabalā, kurā mums zināms nosusināšanas normas nodrošinājums. Šādi vienādojumi toties ir noderīgi mežsaimnieciskā efekta prognozēšanai, piemēram, viena iecirkņa vai meliorācijas projekta robežās.

40. tabula

Sakarības starp kokaudzes tekošās bonitātes **B** rādītājiem un nosusināšanas normas nodrošinājumu **P**

Meža tips	Regresijas vienādojums	Robežvērtības, %
Kūdreņi:		
priežu viršu kūdrēnis	$B = 8,7 - 0,090P$	$45 < P < 70$
priežu mētru kūdrēnis	$B = 5,7 - 0,060P$	$40 < P < 80$
priežu šaurlapju kūdrēnis	$B = 4,0 - 0,038P$	$30 < P < 70$
egļu saurlapju kūdrēnis	$B = 8,0 - 0,096P$	$45 < P < 70$
egļu platlapju kūdrēnis	$B = 4,8 - 0,068P$	$40 < P < 70$
Priežu mētru ārenis	$B = 3,0 - 0,016P$	$40 < P < 90$

Atrisinot šos regresijas vienādojumus pie nosusināšanas normas nodrošinājuma **P**, iegūstam tekošo bonitāti kā priežu un egļu kokaudžu ražības rādītājus.

Apkopojot novērojumu datus un aprēķinu rezultātus, varam secināt, ka 15 m atstatumā no grāvja nosusināšanas norma tiek nodrošināta par 70 %. Pie **P** = 70 priežu audžu ražība svārstās vienas bonitātes robežās –

no I,3 līdz II,4; egļu mežos svārstību amplitūda ir nedaudz lielāka – no Ia,0 līdz I,3. Attālinoties no grāvja, nosusināšanas normas nodrošinājums samazinās un līdz ar to samazinās arī kokaudzes ražība. Piemēram, 135 m attālumā no grāvja nosusināšanas normas nodrošinājums pa meža tipiēm svārstās samērā šaurās robežās no 35 līdz 40 %, taču kokaudžu ražība ir būtiski atšķirīga. Pie $P = 40$ priežu audžu tekošā bonitāte svārstās robežās no II,4 līdz IV,9; egļu audžu ražība no II,1 līdz IV,2. Tas nozīmē, ka vidū starp grāvjiem audžu ražības rādītāju izkliede ir ievērojami lielāka nekā grāvju tuvumā. Kā priežu, tā arī egļu mežos parādās viena ļoti svarīga likumsakarība: jo augstāka ir augsnes ūdens caurlaidība (filtrācijas koeficients), jo mazāk kokaudzes ražība reagē uz nosusināšanas normas nodrošinājuma izmaiņām. Priežu šaurlapju kūdreņos, kur filtrācijas koeficients $k = 0,43 \text{ m dn}^{-1}$ nosusināšanas normas nodrošinājuma samazināšanās par 10 % izraisa ražības krišanos par 0,4 tekošās bonitātes, bet viršu kūdrenī, kur $k = 0,16 \text{ m dn}^{-1}$ – par 0,9 bonitātēm.

Egļu audzes straujāk nekā priežu audzes reagē uz nosusināšanas normas nodrošinājuma samazināšanos – egļu šaurlapju kūdrenī nosusināšanas normas nodrošinājuma samazināšanās par 10 % izraisa audzes ražības pasliktināšanos par vienu bonitāti.

Tādējādi kokaugu ražību ietekmē rinda faktoru, kas raksturo augsnes potenciālo ražību (biogēno elementu krājumi, to pieejamība, ūdens caurlaidība), nosusināšanas intensitāte un kokaudzes struktūra. Pēc meliorācijas radikāli izmainās attiecības kā starp ekosistēmas iekšējiem parametriem, tā arī starp citu sistēmu elementiem. Jau pirmajos gados pēc grāvju izrakšanas aktivizējas bioķīmiskie procesi ekosistēma, krasi palielinās kokaudzes ražība un sāk izmainīties dzīvās zemsedzes struktūra. Tas viss būtībā skaidrojams ar augsnes hidroloģiskā režīma izmaiņām.

Jautājums par to, tieši kādas izmaiņas augsnes hidroloģiskajā režīmā izraisa pārmitro mežu transformēšanos, skar daudzas ekoloģiskas, ekonomiskas un hidrotehniskas problēmas. Atbildes veiksmē galvenokārt atkarīga no tā, cik prasmīgi esam izvērtējuši hidroloģiskās norises raksturojošās pazīmes. Kā jau iepriekš pieminēts, augsnes hidroloģisko režīmu parasti raksturo ar augsnes gruntsūdeņu līmeņa dziļumu, vai arī ar šo rādītāju cieši korelējošo nosusināšanas normas nodrošinājumu. Pieļaujams, ka aprēķinos jālieto jūnijā-oktobrī iegūtie mērījumi (41. tabula).

41. tabula

Gruntsūdens līmeņa svārstības priežu mētru kūdrenī 1957.–1965. gados,
kur : n – mērījumu skaits; \bar{x} – vidējais aritmētiskais, cm;
s – standartnovirze, cm.

Attālums no grāvja, m	Maijs			Jūnijs			Jūlijs			Augusts			Septembris		
	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s
15	432	28	13	353	45	14	364	56	19	349	61	25	306	64	24
45	463	16	10	364	32	13	372	43	19	375	50	26	317	56	27
75	371	12	8	293	24	12	331	36	18	311	44	26	260	48	27
105	302	11	10	261	24	13	264	34	16	255	44	27	216	47	28
135	161	10	7	125	23	9	140	32	19	142	42	29	125	43	28

Mūsu daudzgadīgi mērījumu rezultāti apstiprina svarīgu vērtējumu, ka hidrotehniskā meliorācija izraisa augsnes gruntsūdens līmeņa pazemināšanos tikai par nedaudz centimetriem (6–25 cm). Šādas svārstības irniecīgas salīdzinājumā ar ūdens līmeņa svārstībām meteoroloģisko faktoru ietekmē. Strādājot ar klasiskajām biometrijas metodēm, bieži vien mēs nevaram pierādīt ūdens līmeņa atšķirību meliorētajos un pārmitrajos mežos vairāku gadu griezumā.

Daudzgadīgi novērojumi tomēr ir neaizvietojaama prasība augsnes hidroloģisko parametru un audzes ražības rādītāju mijiedarbības izpētei. Meža ekosistēmas transformācijas analīzei pēc meliorācijas vislabāk noderētu objekti, kuros arī vairākus gadus pēc kārtas būtu veikti hidroloģisko parametru mērījumi pirms grāvju izrakšanas. Tomēr šādu mērījumu nav. Ilgākais laiks ir trīs gadi, un tas ir par mazu, lai šos novērojumus varētu izmantot kā etalonu ūdens režīma raksturošanai nenosusinātos mežos.

Otra vieglāk realizējama metodika ir hidroloģiskā režīma un meža ražības rādītāju analīze dažādos attālumos no grāvja. Objektīvu atziņu ieguvei tomēr arī šeit ir nepieciešams ievērot vairākus ierobežojumus: 1) parauglaukumiem jāraksturo viena savstarpēji saistītu meža tipu grupa; 2) paraugkopā iekļauto kokaudžu struktūra nav būtiski mainījusies pēc grāvju izrakšanas; 3) visu kokaudžu vecuma struktūra ir apmēram līdzīga; 4) paraugkopas objekti atrodas vienādos klimatiskos apstākļos.

Pētījumi, ievērojot iepriekš uzskaitītos ierobežojumus, veikti toreizējā Jēkabpils MRS Oškalnu un Spārnu mežniecībās, kur 1939. gadā

nosusinātajos priežu mētru kūdreņos patlaban ir V–VI vecuma klases kokaudzes. Veiksmīgi ir tas, ka vislielākais atstatums starp grāvjiem ir 432 m, un vidū starp grāvjiem kokaudzes ražība ir mainījusies tikai par vienu bonitāti – no V^a uz V. Grāvju tuvumā ir II bonitāte ar krājas tekošo pieaugumu 6 m³ ha⁻¹ gadā. Pēc nosusināšanas krasi izmainījusies ir dzīvā zemsedze (42. tabula): grāvju tuvumā būtiski palielinājies mezotrofo un eitrofo augu segums un vairākkārt samazinājies hidrofitu klātbūtne. Piegrāvju zonā mineralizējies un aktīvā aprītē iekļāvies augsnes augšējais slānis, kas pirms nosusināšanas par 80 % sastāvēja no sfagnu kūdras. Tā sakarā kūdras augšējā slāņa pelnu procents palielinājies divkārt.

Mūsu analizētās paraugkopas apjoms ir 24 parauglaukumi, kuru ražība (tekošā bonitāte) analizēta saistībā ar augsnes gruntsūdens mērījumiem 16 gados (1959., 1962.–1976. g.). Augsnes hidroloģiskais režīms raksturots ar nosusināšanas normas nodrošinājumu veģetācijas periodā.

42. tabula

Priežu mētru kūdreņa paraugkopas parametri

Mežaudzes parametri	Tekošā bonitāte (Tjurina)			
	V	IV	III	II
Kokaudzes krājas tekošais pieaugums, m ³ ha ⁻¹	1,7	2,2	3,5	6,0
Kūdras augsnes bagātība (eitrofo un mezoeitrofo zemsedzes augu segums, % no kopējā seguma)	1	6	22	64
Higrofitu segums, % no kopējā seguma	74	68	52	17
Kūdras augsnes parametri augšējā 20 cm slānī, %				
sfagnu piemaisījums	80	60	50	10
sadališanās pakāpe	15	15	20	32
pelnu saturs	3,2	3,5	5,0	6,7

Ar kādiem hidroloģiskā režīma parametriem un cik lielā mērā varam noskaidrot meža ekosistēmas struktūras izmaiņas pēc meliorācijas?

16 gadu laikā nosusināšanas normas nodrošinājums svārstījās pa gadiem visai plašās robežās: II bonitātes audzēs – 0,11–1,00 (vidēji 0,89), III bonitātes audzēs – 0,06–1,00 (vidēji 0,72), IV bonitātes audzēs 0,05–1,00 (vidēji 0,63), V bonitātes audzēs – 0,05–1,00 (vidēji 0,70). Korelāciju attiecība η starp

parauglaukumu tekošo bonitāti un nosusināšanas normu nodrošinājumu ir tikai 0,17. Šāds rezultāts pirmkārt apstiprina jau iepriekšminēto faktu, ka meliorācijas pozitīvā ietekme izpaužas tālāk nekā vērojama augsnes gruntsūdens līmeņa pazemināšanās [8]. Otrkārt – salīdzinājumā ar augsnes gruntsūdens līmeņa svārstībām meteoroloģisko faktoru ietekmē, meliorācija it kā būtiski neietekmē kokaudzes ražības izmaiņas (Fišera kritērijs $F = 0,15 < F_{0,05} = 5,80$); kokaudzes bonitātes izmaiņas tikai par 3 % izskaidrojamas ar augsnes gruntsūdens līmeņa izmaiņām.

Šādam, šķietami absurdam, ir vairāki cēloņi. Viens no tiem norāda, ka attiecībā uz mežaudzes ražību ūdens līmeņa pasīva pazemināšanās sausās vasarās nav adekvāta ūdens līmeņa pazeminājumam pēc hidrotehniskās meliorācijas [49, 88]. Tas tomēr nenozīmē, ka visos kūdreņos sausās vasarās kokaudzes ražība pasliktinās kūdras pārkalšanas rezultātā. Kā jau iepriekš minēts, pastāv visai niecīga varbūtība (mazāka par 3 %), ka augsnes sūcējspēks nevēlami pārsniedz 80 kPa.

Mežos ar vāji aerētām purva augsnēm pozitīvi jāvērtē lietus ietekme. Lietus ekoloģiskā loma te nesaistās tikai ar augšņu pārmitrinājumu. Svarīgākā ir vielu patēriņa aprīte, visupirms – skābekļa piegāde. Lietus nokrišņi aerē augsni, kas veicina sakņu iespiešanos augsnē un kokaudzes ražību kopumā. Tēlaini izsakoties, koki purvā ilgojas pēc lietus un arī baidās no tā vairāk nekā koki sausieņu mežos. Ūdens iefiltrēšanās augsnē lietus laikā pozitīvi ietekmē dzīvības procesus augsnē, taču sakņu applūšana ar gruntsūdeņiem pēc lietus var izraisīt fizioloģiski aktīvo sakņu atmiršanu. To apstiprina igauņu pētnieka A. Laijenelaida [156] dati, kurš izskaitļojis, ka stumbra koksnes pieaugums sūnu purvā pozitīvi korelē kā ar saulaino, tā arī ar lietaino dienu skaitu veģetācijas periodā.

Atkārtoti minētā likumsakarība, ka hidromeliorācijas ietekme sniedzas tālāk nekā vērojama grunts ūdens līmeņa pazemināšanās, liecina par citu, mazāk populāru faktoru iesaisti aprēķinos. Svarīga ir augsnes gruntsūdeņu horizontālā plūsma. Ūdens horizontālās plūsmas loma ir līdzīga ūdens vertikālai plūsmai lietus laikā – ar to pie saknēm nonāk skābeklis un biogēnie elementi, bet aizgādāts projām tiek vielu maiņas pārpalikums un, galvenais, tiek aerēta augsne. Ūdens horizontālā plūsma aerē augsni arī virs gruntsūdens līmeņa, rosinot augsnē ieplūst skābeklim. Tas, ka purvu gruntsūdeņos nav skābekļa [76, 92, 94, 182, 233] vēl nepierāda, ka viņš tur nenokļūst; tas visticamāk liecina par skābekļa intensīvu izlietošanu augsnē.

Hidroloģiskās likumsakarības norāda, ka ūdens kustības ātrums augsnē ir tieši proporcionāls ūdens līmeņa slīpumam, un mēs plūsmas ātrumu raksturojām ar vienu rādītāju – līmeņa slīpums 20 cm dziļumā. Pie šāda dziļuma augsnes mitrums ir tuvs pilnam piesātinājumam, un ūdens plūsmas ātrumam ir izšķiroša loma augsnes aerācijā. Mūsu analizētajā paraugkopā ūdens līmeņa slīpums svārstās robežās 0,0003–0,0090, t.i., uz vienu metru horizontālā virzienā vertikālā atšķirība ir no 0,3 mm līdz 9,0 mm.

Kokaudžu ražība korelē ar ūdens virsmas slīpuma rādītājiem ciešāk nekā ar nosusināšanas nodrošinājumu ($r = -0,69$; $r_{0,05} = 0,41$). Samērā cieši savstarpēji korelē arī visi faktoriālie lielumi ($r = 0,76$; $r_{0,05} = 0,41$) – ūdens plūsmas ātrums un nosusināšanas normas nodrošinājums. Pirmkārt, šī sakarība raksturo paraugkopas viendabīgumu, ūdens bilances struktūras līdzību parauglaukumos: pie $r = 1,0$ visos parauglaukumos attiecība varētu būt vienāda starp ūdens bilances pieplūdes (nokrišņi + ūdeņi no malas) un patēriņa (notece + iztvaikošana) daļām. Otrkārt, korelācijas koeficients starp faktoriāliem rādītājiem liecina par to, cik jaunas informācijas satur otra faktora mērījumu iekļaušana aprēķinos: jo korelācija ciešāka, jo mazāk jaunas informācijas. Mūsu gadījumā tikai 58 % no nosusināšanas normas nodrošinājuma varam izskaidrot ar ūdens plūsmas ātruma svārstībām.

Kokaudzes ražības (tekošā bonitāte **B**) atkarību no nosusināšanas normas nodrošinājuma **P** un ūdens līmeņa slīpuma **i** mēs skaidrojām ar multiplās regresijas analīzi. Sakarība $\mathbf{B} = f(\mathbf{P}, \mathbf{i})$ aproksimēta ar otrās kārtas parabolu

$$\mathbf{B} = 5,5 - 0,62\mathbf{P} - 0,9\mathbf{i} + 0,06\mathbf{i}^2$$

un novērtēta faktoru summārā un parciālā ietekme. Daudzfaktoru korelācijas koeficients $R = 0,94$ liecina par to, ka 89 % no kokaudžu ražības izmaiņām meliorācijas rezultātā varam attiecināt uz minēto faktoru svārstībām. Ražības izmaiņas par 57 % nosaka ūdens plūsmas ātrums un 32 % – nosusināšanas normas nodrošinājums. Regresijas standartnovirze $s = 0,34$. Tādējādi pie $0,50 \leq \mathbf{P} \leq 0,95$ un $0,3 \leq \mathbf{i} \leq 9,0$ ‰ ar 90 % ticamību ražības rādītāju faktiskās nobīdes no aprēķinātajiem nepārsniedz 0,6 tekošās bonitātes. Paraugkopā tekošā bonitāte svārstās robežās no I,2 līdz V,2.

Attiecība apmēram 2:1 starp faktoriālo rādītāju ietekmes izpausmēm raksturo visu paraugkopu. Atsevišķos parauglaukumos šī attiecība ir atšķirīga. Piemēram, ja ūdens līmeņa slīpums ir neliels ($\mathbf{i} < 0,003$), kokaudzes ražības svārstības gandrīz pilnīgi atkarīgas no slīpuma izmaiņām.

Pie šāda slīpuma mūsu objektos ūdens plūsmas ātrums svārstās robežās no 5 mm dn⁻¹ līdz 30 mm dn⁻¹, un šo faktoru varam uzskatīt kā limitējošo. Šādos apstākļos kokaudzes ražība ir samērā zema, neskatoties uz samērā augsto nosusināšanas normas nodrošinājumu. Pie tik niecīga ūdens slīpuma nosusināšanas normas nodrošinājums paaugstina meža ražību tikai par 4–10 %. Palielinoties ūdens līmeņa slīpumam, tā limitējošā plūsma samazinās, un vietās, kur $i > 0,05$, ražības svārstības par 80–90 % ir atkarīgas no nosusināšanas normas nodrošinājuma.

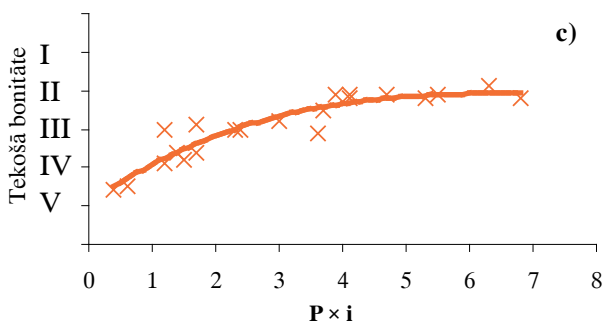
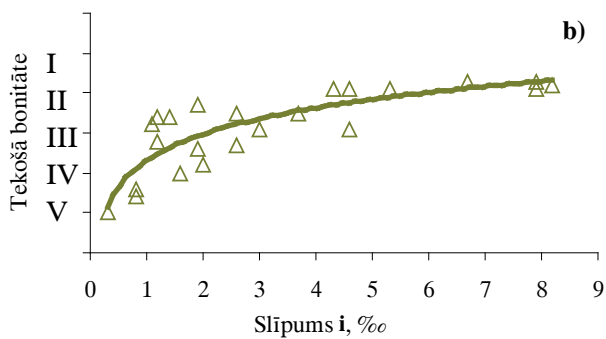
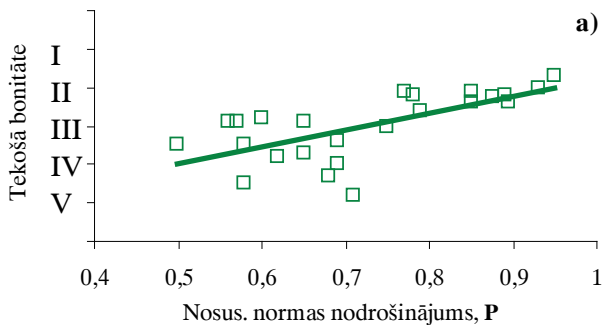
Apskatītās sakarības rāda, ka neprecīzus rezultātus iegūsim, ja pārmitro mežu transformācijas cēloņus izskaidrosim tikai ar viena faktora ietekmi. Hidroloģiskā režīma ietekmes skaidrošanai nepieciešams kopīgi analizēt abu faktoru lomu.

Aprēķinātais un iepriekš analizētais multiplās regresijas vienādojums nav uzskatāmi ilustrējams uz plaknes. Tāpēc pieminēto faktoru ietekmes grafiskie attēli ir vienkāršotas diagrammas (39. attēls).

Kokaudzes ražības un nosusināšanas normas nodrošinājuma **P** sakarība aproksimēta ar taisni (39. att., a). Punktu izkliede ap taisni ir visai liela, un tikai 35 % ($r = 0,59$) no tekošā pieauguma rādītāja dispersijas varam izskaidrot ar nosusināšanas normas nodrošinājuma izmaiņām. Ražības rādītāja (tekošā bonitāte) izkliede vislielākā ir pie samērā nelieliem nosusināšanas normas nodrošinājuma rādītājiem; ja nodrošinājuma rādītājs svārstās robežās 0,5–0,7, tad tekošā bonitāte var saglabāties no V,2 līdz II,3. Tā ir svarīga atziņa, ka nosusināšanas normas nodrošinājums nav tas cēlonis, kas rosina pārmitro meža ekosistēmu transformāciju.

Ražības izmaiņu cēloņsakarība pārliecinošāk izpaužas, ja ražības rādītājus salīdzinām ar ūdens līmeņa slīpumu (horizontālās plūsmas ātrums). Regresijas attēls veido līkni (39. att., b). Ražība strauji mainās jau pie nelielām slīpuma i izmaiņām: slīpumam mainoties no 0,0003 līdz 0,002, ražība paaugstinās par divām bonitātēm.

Tā kā abi analizētie hidroloģiskā režīma parametri pozitīvi ietekmē kokaudzes ražību, tad ir lietderīgi visu summāro ietekmi raksturot ar šo parametru reizinājumu – **Pi** (39. att., c). Arī šajā diagrammā līdzīgi kā augstāk esošajās diagrammās jau nelielas reizinājuma **Pi** izmaiņas no 0,2 līdz 2,0 izraisa krasu ražības pieaugumu – no V,0 līdz II,8 tekošai bonitātei. Un otrādi – hidroloģiskā režīma samazināšanās tādās robežās var būt par kokaudzes ražības krasas pasliktināšanās cēloni. Atšķirīga ir situācija, kad **Pi** > 4,0; kokaudzes ražība šeit ir tuva potenciāli iespējamai priežu



39. attēls. Priežu kokaudzes tekošās bonitātes un nosusināšanas normas nodrošinājuma (a), ūdens līmeņa slīpuma (b) un šo rādītāju reizinājuma (c) sakarības.

mētru kūdrenī, un augsnes hidroloģiskā režīma uzlabojums vairs nelimitē kokaudzes ražību.

Visi mūsu mērījumi un aprēķini liecina, ka kokaudzes ražība daudz straujāk samazinās skābekļa nevis mitruma trūkuma rezultātā [160, 161]. Nosusināšanas sistēmu lietderīgāk vērtēt kā aizsargsistēmu, nevis regulējošo sistēmu, kuras pamatuzdevums ir nodrošināt aerāciju sakņu aizņemtajā augsnes slānī. Šādā skatījumā skaidrāki kļūst arī sākotnēji neizprotami fakti – grāvji deformējās, bet meža ražība nesamazinās. Grāvju darbības pirmajos 25 gados ir izveidojusies jauna, labi aerēta augsne, un grāvja, kaut tagad ierobežotā darbība, novērš stāvošo ūdeņu izveidošanos nosusinātajos mežos.

Visas šeit analizētās likumsakarības liecina par vienu svarīgu atziņu: Latvijas apstākļos nav lietderīga divpusēja augsnes hidroloģiskā režīma regulēšana, ierīkojot uz grāvjiem slūžas. Pie nelieliem zemes viras slīpumiem, un tieši tādi ir raksturīgi mūsu mežu hidromelioratīvajā fondā, stāvoša ūdens uzkrāšana meliorācijas grāvjos var izraisīt nevis meža ražības paaugstināšanos, bet gan pazemināšanos. Ir zināmi objekti (Ventspils un Kuldīgas MRS), kuros rokot grāvjus, smagā grunts kļūdaini izvesta uz grāvja augstāko malu, ūdens plūsma lejup pa nogāzi izbeidzās, un kokaudze nokalta gandrīz visā starpgrāvju platībā, kaut arī grāvis bija gandrīz sauss.

Mūsu iegūtie rezultāti tāpat norāda, ka pārmitro mežu transformācija parasti sākas, aktivizējoties ūdens plūsmai. Tas izpaužas arī tādējādi, ka kokaudzes ražība jūtamai paaugstinās pēc aizsērējušo upju padziļināšanas, kaut arī kokaudzes atrodas vairākus kilometrus no upes. Augstražīgi meži tomēr var izveidoties tikai tādās vietās, kur ūdens līmeņa slīpums i (vai nu dabisks, vai mākslīgi veidots) pārsniedz 0,004 un nosusināšanas normas nodrošinājums sasniedz 0,75–0,80.

Meža meliorācijas grāvju inventarizācijas rezultāti liecina, ka Latvijas mežos sliktu grāvju sistēmu kopgarums pārsniedz 16 tūkst. km. Kā likums šie grāvji ir vecāki par 25 gadiem. Grāvju inventarizācijas procesā tika norādīta ikvienas sistēmas lokalizācija un tika fiksēts, kādus meža kvartālus tā meliorē. Līdz ar to paveras iespēja, izmantojot meža ierīcības materiālus, novērtēt meliorācijas mežsaimniecisko efektu.

Nosusināšanas rezultātā sasniegto mežsaimniecisko efektu novērtējām trijās gradācijās:

- labs – I un augstākas bonitātes audzes;
- apmierinošs – II un III bonitātes audzes;
- slikts – IV un zemākas bonitātes audzes.

Iegūtie materiāli liecina, ka nosusināšanas rezultātā sasniegtais mežsaimnieciskais efekts ir visai augsts. Labu novērtējumu ieguvuši 39 % no visiem nosusinātajiem mežiem, apmierinošu – 52 %, bet sliktu – tikai 9 %.

Sarežģītāka ir faktiskā meža stāvokļa novērtēšana, jo šeit jāievēro gan audzes sastāva, gan koksnes krājas atbilstība mērķa audzes parametriem. Tādējādi labu meža stāvokļa novērtējumu ieguvušas ražīgas mērķa vai palīgmērķa sastāva audzes. Par apmierinošām uzskatītas mērķa, palīgmērķa vai pieļaujamā sastāva audzes, kuru krāja nesasniedz “labo” audžu krāju, bet nav arī mazāka par t.s. kritisko lielumu. Slikto audžu kategorijā ieskaitītas tikai nepieļaujami mazražīgas audzes. Sadalot visus nosusinātos mežus trijās kategorijās pēc viņu faktiskās ražības, tika iegūti šādi vidējie rādītāji: labi – 17 %; apmierinoši – 56 %; slikti – 27 %.

Apsēkojot dabā nogabalus, kuri pēc stāvokļa novērtēti kā slikti, pārliecinājāmies, ka tajos galvenokārt aug pūkainā bērza retainses, kuru pārveidošana augstražīgās skuju koku audzēs pagaidām norisinās visai lēni. Šādu audžu transformēšana ir viens no nākotnes meža veidošanas priekšnoteikumiem.



Aizstājot vērtējumu “labs” ar atzīmi – 4, “apmierinošs” – ar 3 un “slikts” – ar 2, ieguvām vidējās svērtās atzīmes: grāvju stāvoklis – 2,97; mežsaimnieciskais efekts – 3,30; meža stāvoklis – 2,90.

Starp šiem rādītājiem, kuri raksturo nosusinātos mežus, vismazākā vērtība ir meža stāvoklim, bet mežsaimnieciskais efekts (potenciālā ražība) ir relatīvi augsts un pārsniedz gan meža stāvokļa, gan grāvju stāvokļa esošās vērtības.

Pēdējā atziņa rosināja novērtēt, kā mežsaimnieciskais efekts mainās pa republikas mežniecībām saistībā ar grāvju stāvokli. Apsekojot šo saistību 100 mežniecībās, var secināt, ka mežsaimnieciskais efekts nav atkarīgs no grāvju stāvokļa, t.i., audzēm augsta bonitāte un ražība saglabājas arī tad, ja grāvju darbība pasliktinās (43. tabula). Tikai ceturtajā daļā no nosusinātajiem mežiem sasniegtā efekta vērtējums ir zemāks nekā grāvju stāvokļa vērtējums. Bez tam šajā ceturtdaļā ietilpst tikai viena mežniecība (Vērgales), kurā vidējais mežsaimnieciskais efekts ir mazāks par trīs. Šajā mežniecībā I un augstākas bonitātes audzes ir ap 6 %, II un III bonitātes – 65 %, bet IV un zemākas bonitātes audzes – 29 %. Visās pārējās mežniecībās labās (augstražīgās) audzes aizņem lielāku platību nekā sliktās (mazražīgās) audzes. Tas liecina, ka meža ekosistēma ar spēcīgu audzi pati spēj nodrošināt sev labvēlīgu mitruma režīmu.

43. tabula

Priežu audžu krāja ($m^3 ha^{-1}$) pie biežības $\geq 0,7$ 80–120 gadu vecumā

Grāvju ve- cums	Av, Kv, Am, Km		As, Ks	
	labi grāvji	slikti grāvji	labi grāvji	slikti grāvji
1–10	255		295	
11–20	267	266	313	322
21–40	260	252	301	307
41+		275		324
<i>Vidēji</i>	261	264	303	318
Mērķa krāja		268		316

Meža stāvokļa salīdzinājums ar sasniegto mežsaimniecisko efektu raksturo mežsaimniecības līmeni mūsu mežniecībās. Diemžēl tas nav apmierinošs: tikai piecās no visām apsekotajām mežniecībām (Klāņu, Vērgales, Babītes, Saules un Zīles) meža stāvokļa vērtējums nav zemāks kā mežsaimnieciskā efekta vērtējums. Minētajās mežniecībās pārsvarā ir samērā biezas priežu audzes, kas atbilst mērķa audžu šķērslaukumiem. Ne mazāk nozīmīga ir arī otra likumsakarība – jo augstāks ir mežu nosusināšanas mežsaimnieciskais efekts, jo relatīvi sliktāks ir mežu stāvoklis: mežsaimnieciskajam efektam pieaugot no 2,8 līdz 3,8, meža stāvoklis pasliktinās no 3,2 līdz 2,6. Starp apsekotajām mežsaimniecībām potenciālās iespējas vissliktāk izmantotas Bēnes, Vilces, Mežgales un Ērgļu mežniecībā.

Relatīvi mazražīgas audzes saglabājas tieši visauglīgākajos nosusinātajos mežos – platlapju kūdreņos un āreņos. Viens no galvenajiem cēloņiem – mežsaimniecībās daudz pūkainā bērza tīraudžu vai arī liels lapu koku piemistrojums skuju koku audzēs. Platlapju kūdreņos un āreņos starpība starp izzināto mērķa audžu un pieaugušo egļu audžu faktisko krāju ir $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, starpība starp mērķa audžu un faktisko krāju bērzu audzēs – $220 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Pēc nosusināšanas sasniegto potenciālu šajos tipos vislabāk var izmantot, veidojot egļu tīraudzes un audzējot tās plantāciju režīmā.

Tomēr ne vienmēr šis paņēmieni ir veiksmīgi – daudzi bijušie zāļu purvi, kas pēc nosusināšanas tiek vērtēti kā platlapju kūdreņi, vēl nav pārveidojušies par mežu. Tādējādi pie līdzīgiem augsnes agroķīmiskajiem rādītājiem veidojas visai atšķirīgas ražības audzes. Piemēram, MPS “Kalšnava” mežos 26 gadus vecās egļu jaunaudzēs vidējais augstums ir 14 m, bet tikpat vecās egļu jaunaudzēs vidējais augstums bijušā zāļu purvā ir tikai 4,2 m. Salīdzinātajās audzēs ne mazāk krasi atšķiras koksnes krāja – attiecīgi $220 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ un $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Mazražīgo audžu pārveidošanai par augstražīgām lietderīgi lietot kāliju saturošus minerālmēslus.

10. EVAPOTRANSPIRĀCIJAS PAŠREGULĀCIJA

Ūdens apriti meliorētajos mežos parasti analizē kā attiecības starp ūdens bilances komponentiem: nokrišņi, notece un iztvaikošana. Šie komponenti veido arī sistēmu, ko mēs nosacīti vērtējam kā ūdens sistēmu. Meža hidromeliorācijā meža ekosistēmas un ūdens sistēmas savstarpējās attiecības tiek pētītas kā hidroloģiskā režīma ietekme uz meža struktūru un ražību. Tomēr visai svarīga ir arī pretējā darbība, t.i., kokaudzes iedarbība uz augsnes hidroloģisko režīmu un, plašākā mērogā, arī uz plašākas teritorijas ūdens resursiem.

Mežs tāpat kā ikviena sistēma var saglabāties tikai ar tā saucamo atgriezenisko saišu palīdzību. Sistēmu metodoloģijā iestrādātas divas atgriezeniskas saites – pozitīvā un negatīvā. Pozitīvā saite ekosistēmā pastiprina ienākošā faktora ietekmi un uzskatāma kā pamats sistēmas evolūcijai. Negatīvā saite raksturo sistēmas pret darbības faktora ietekmi un nodrošina sistēmas stabilitāti. Īsākā laikā (vienā veģetācijas periodā) dominē negatīvā atgriezeniskā saite, kas izpaužas kā transpirācijas pielāgošanās augsnes mitruma izmaiņām.

Ja meža augsnē samazinās mitrums un pieaug ūdens uzsūkšanai ar saknēm nepieciešamais enerģijas apjoms, koku vainagos sašaurinās lapu (skuju) atvārsnītes, un koki sāk transpirēt mazāk, kaut arī laiks ir karsts un vējains. Toties slapjās vasarās, lai kokaudze nenoslīktu, tā visu savākto saules enerģiju izlieto ūdens pārsūkšanās no augsnes atmosfērā caur lapu pilnīgi atvērtām atvārsnītēm. Pateicoties milzīgai lapu virsmai audzē, tā absorbē radiāciju daudzārt vairāk, nekā to spēj līdzzenas zemes vai ūdens virsmas. Tā rezultātā pārmitros apstākļos, ja vien koku saknes nav nosmacētas bezgaisa vidē, mežs transpirē ūdeni krietni vien vairāk, nekā tas iztvaiko no

vaļējām ūdens krātuvēm. Tātad kritiskos brīžos mežam pietiek spēka gan daudz iztvaikot, gan tālredzīgi apieties ar ūdens krājumiem.

Positīvo atgriezenisko saiti uzskatāmi ilustrē kokaudzes sadarbība ar meliorācijas grāvjiem. Tūlīt pēc grāvja izrakšanas augsnē aktivizējas ūdens plūsma, uzlabojas augsnes aerācija un krasi palielinās gan stuburu koksnēs pieaugums, gan skuju masa koku vainagos. Ikvienu koka transpirācijas iespējas ir tieši proporcionālas tā skuju vai lapu masai (virsmai). Tādējādi pēc meliorācijas kokaudze sistemātiski palielina savu transpirācijas potenciālu un līdz ar to pastiprina nosusināšanas grāvju ietekmi uz augsnes aerāciju un meža ražību.

Positīvās atgriezeniskās saites skaitlisko novērtējumu minētajā piemērā apgrūtinātas, ka vienlaicīgi ar transpirācijas palielināšanos sabiezinātais vainagu klājs samazina fizikālās iztvaikošanas (evaporācijas) iespējas no zemvainagu klāja. No tā, kurš no šiem procesiem norisinās straujāk un cik lielā mērā tie ir atkarīgi no kokaudzes struktūras, atkarīga evapotranspirācijas dinamika, un kas īpaši svarīgi – augstražīgu kokaudžu saglabāšanās arī pie deformētiem grāvjiem.

Meža pašregulācija nozīmē arī to, ka sevi ne vienmēr attaisno dzīvības procesus reglamentējošo fizikālo parametru pārāk precīzi mērījumi. Biocenozēs, starp tām arī mežā, ar dzīvību saistītos procesus nav iespējams precīzi determinēt, kaut arī mums ir zināmi visi fizikālie spēki, ir zināmi visi ieejas elementi sistēmā, bez kuriem dzīvības procesi vispār nevar notikt. Tāpēc pat augstā ticamības līmenī pilnīgi vienādi neregulētiem abiotiskās vides elementu apjomiem dzīvības norises sistēmā var būt diezgan atšķirīgas.

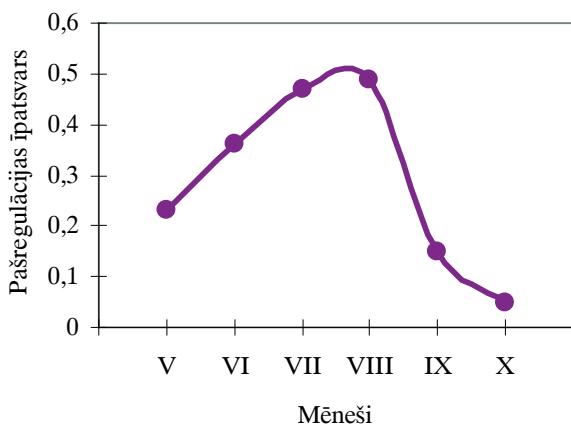
Izmantojot ilglaicīgu novērojumu rezultātus par meža ūdens bilances sastāvdaļām (nokrišņi, intercepcija, augsnes mitrums, gruntsūdens līmenis, notece un pazemes spiedes ūdeņu pieplūde), var izskaitļot arī evapotranspirāciju. Evapotranspirācija (ET) veģetācijas periodā (maijs–oktobris) samērā precīzi aproksimējas kā potenciālās iztvaikošanas (iztvaikojamības) E_0 un augsnes samitrinājuma W funkcijas. E_0 raksturots ar iztvaikošanu no 20 m² liela ūdens baseina un samitrinājums $W = W_0 + N$, kur W_0 – ūdens daudzums 1 m biezā augsnes slānī perioda sākumā un N – atmosfēras nokrišņi izvēlētajā laika periodā.

Summārās iztvaikošanas ET atkarība no minētajiem regresoriem izskaitļota ar otrās kārtas parabolas vienādojumu, un šī vienādojuma determinācijas koeficients pa visu veģetācijas periodu $R^2 = 0,96$. Tas ir aug-

stas ticamības rādītājs pie $n = 26$, un šis rādītājs izmantots kā etalons, ar ko salīdzināti tie determinācijas koeficienti, kas izskaitļoti, aproksimējot ET pa mēnešiem. Pašregulācijas īpatsvara rādītājs C aprēķināts ar formulu

$$C = 1 - (R_i^2 \cdot R^{-2}), \text{ kur } R_i^2 - \text{determinācijas koeficients } i\text{-tajā mēnesī.}$$

Visintensīvāk pašregulācija izpaužas jūlijā un augustā: $C = 0,46 \div 0,50$ (40. attēls). Tas nozīmē, ka laikā, kad fizioloģiskie procesi mežā, tai skaitā arī koksnes veidošanās, norisinās visintensīvāk, faktiskie iztvaikošanas rādītāji visai būtiski var atšķirties no tiem, kas izskaitļoti kā fizikālo faktoru funkcija. Vasaras vidū aptuveni puse no izskaitļoto ET rādītāju izklīdes izskaidrojama ar bioloģiskās sistēmas pašregulāciju. Toties septembrī un vēl jo vairāk oktobrī, kad fizioloģiskie procesi pierimuši, iztvaikošana cieši pakļaujas fizikālo faktoru ietekmei, un pašregulācijas īpatsvars ir vairākkārt mazāks: $C = 0,05 \div 0,17$.



40. attēls. Pašregulācijas īpatsvars meža iztvaikošanas rādītāju svārstībās.

Meža evapotranspirācijas pašregulācija galvenokārt ilustrē fizioloģiskās iztvaikošanas – transpirācijas nepakļaušanos fizikālajiem priekšnosacījumiem. Mežkopju vidū populārs ir pieņēmums, ka kokaudzes ražība (stumbra koksnes tekošais pieaugums, ko uzskatāmi raksturo gadskārtas platība) cieši un pozitīvi korelē ar transpirāciju. Šī pieņēmuma ticamības pārbaudei mēs vispirms aprēķinājām, cik lielā mērā un kā (pozitīvi vai negatīvi) transpirāciju ietekmē tajā iesaistītie fizikālie rādītāji:

augsnē nonākušie nokrišņi N_a , augsnes gruntsūdens līmenis H kā augsnes samitrinājuma un aerācijas rādītājs un potenciālā transpirācija T_p . Potenciālā transpirācija izskaitļota pa dienām kā starpība starp iztvaikojamību E_0 (iztvaikošana no vaļējās ūdens virsmas) un intercepciju I , t.i., koku vainagos aizturēto ūdens daudzumu. $T_p = E_0 - I$. Dienās, kad $E_0 - I \leq 0$, $T_p = 0$.

Funkcijas $T = f(N_a, H, T_p)$ kā otrās kārtas parabolas aproksimācijas rezultātā biometriski izvērtēts minēto faktoru ietekmes īpatsvars uz transpirētā ūdens apjoma svārstībām: $N_a - 61 \%$, $T_p - 20 \%$ un $H - 8 \%$. Visu faktoru ietekme ir statistiski signifikanta un pozitīva. Tas šķiet pārsteidzoši, jo lietainās vasarās, kad augsnē nonāk vairāk nokrišņu nekā tas ir sausās vasarās, augstākam, t.i., seklākam jābūt gruntsūdens līmenim H , bet transpirācijai jāpalielinās. Līdz ar to loģiski šķiet, ka gruntsūdens līmeņa rādītāju ietekmei uz transpirāciju jābūt negatīvai. Tomēr, analizējot H ietekmi kopsakarībā ar citiem rādītājiem, iezīmējas nedaudz atšķirīga likumsakarība.

Transpirācija visoperatīvāk reagē uz augsnē nonākušiem nokrišņiem – lietus laikā un tūlīt pēc lietus ūdens no augsnes ir uzsūcams saknēs ar vismazāko enerģijas patēriņu. Taču, ja gruntsūdens līmenis stāv augstu, augsne ir vāji aerēta, sakņu darbība nomākta un tās nespēj uzsūkt ūdeni arī lietainā laikā. Tādēļ faktiskā transpirācija vienādos meteoroloģiskos apstākļos nedaudz lielāka būs vietās ar labi drenētām augsnēm un dziļāku gruntsūdens līmeni.

Fizioloģisko procesu spēcīgā pašregulācija krasi samazina dendrochronoloģisko mērījumu lomu pagātnes meteoroloģisko apstākļu atšifrēšanā. Dienvidu rajonos Krievijas un Ungārijas stepju zonas mežos, kur atšķirībā no Latvijas kokaudžu ražību reglamentē augsnes mitrums, gadskārtu platums cieši un pozitīvi korelē ar transpirētā ūdens daudzumu. Pie mums, kur nokrišņu daudzums ir tuvs optimālajam un augsnes samitrinājums nav svarīgākais meža augšanu limitejošais faktors, koku gadskārtu platums vāji korelē ($r = +0,24$ pie $r_{0,05} = 0,40$) ar transpirācijas rādītājiem, kas pa veģetācijas periodu svārstās robežās no 180 mm līdz 510 mm.

Pārmitrajos mežos, kur augsnes dziļāko slāņu aerācija ir stipri apgrūtināta, un augsnē uzkrājas ogļskābā gāze un citi augiem kaitīgi savienojumi, koki pielāgojas augšanas apstākļiem, veidojot stipri seklu sakņu sistēmu. Tādos apstākļos transpirētais ūdens daudzums ir krietni mazāks nekā tādās audzēs, kas aug uz mitrām, bet labi drenētām augsnēm. Tomēr

arī pārpuvotos mežos koki sāk intensīvāk transpirēt lietus laikā, taču tas tikpat kā neietekmē koksnes tekošo pieaugumu.

Visi šie fakti apstiprina likumsakarību, ka transpirācija, kas nenoliedzami ir visai svarīga fizioloģiska norise, ekoloģiskā aspektā veģetācijas periodā vērtējama kā negatīva atgriezeniska saite, kā kokaudzes pašsaglabāšanās līdzeklis, kam Latvijas apstākļos nav tieša saistība ar stumbra koksnes tekošo pieaugumu. Šo atziņu pārliecinoši ilustrē pētījumu rezultāti par koksnes veidošanos Teiču purva apkārtņē izvietotajos mežos. Parauglaukumi ierīkoti Ozolsalas, Raksalas un Kurtavas apkārtņē.

Populārs ir uzskats, ka koku un līdz ar to arī visas kokaudzes augšanas gaitu var limitēt viens traucējošs faktors: purva tuvumā šis faktors visticamāk ir nelabvēlīgs mitruma režīms augsnē. Pārbaudot šo pieņēmumu, noskaidrojām, cik sinhroni notiek koksnes veidošanās purvmalas mežā, purvā un starpjoslā (ekotonā) starp šīm abām ekosistēmām; kādas atšķirības ir atsevišķu koku augšanas gaitā vienādos meteoroloģiskos apstākļos.

Pavisam analizēti 210 koksnes paraugi, aptverot 60–90 pēdējās gadskārtas, aprēķinot to šķērslaukumu 1,3 m augstumā.

Lai noskaidrotu, cik sinhroni notiek koksnes veidošanās atsevišķiem kokiem, veikta korelācijas analīze, salīdzinot katru koku ar katru. Pēc šādas metodes iegūto korelācijas koeficientu (r) skaits ir ļoti liels, tāpēc noteikts to sadalījums pa vērtību grupām ar 0,1 gradāciju, kā arī minimālais, maksimālais un vidējais r , sadalījuma standartnovirzes un variāciju koeficients $V\%$ (44. tabula).

44. tabula

Korelatīvās sakarības starp atsevišķu koku gadskārtu šķērslaukumiem

Nr. p. k.	Pauglaukums, fitocenoze (analizēto gadu skaits)	Ko-rel. koef. skaits, gab.	Korelācijas koef. varbūtību sadalījuma parametri				
			r_{\min}	r_{\max}	$r_{\text{vid.}}$	s	$V\%$
1.	Ozolsala I, mežs (90)	435	-0,215	0,883	0,455	0,194	43
2.	Ozolsala II, ekotons (90)	210	-0,399	0,864	0,254	0,298	118
3.	Ozolsala II, ekotons (70)	210	-0,028	0,951	0,656	0,227	35
4.	Ozolsala II, ekotons 90+70 (70)	861	-0,552	0,951	0,338	0,361	107
5.	Ozolsala III, purvs (60)	153	-0,532	0,704	0,120	0,315	262

Nr. p. k.	Parauglaukums, fitocenoze (analizēto gadu skaits)	Ko-rel. koef. skaits, gab.	Korelācijas koef. varbūtību sadalījuma parametri				
			r_{\min}	r_{\max}	$r_{\text{vid.}}$	s	V%
6.	Ozolsala I+II+III (60)	4005	-0,801	0,951	0,151	0,350	232
7.	Kurtava I, mežs (60)	435	-0,479	0,861	0,375	0,289	77
8.	Kurtava III, purvs (60)	190	-0,665	0,828	0,303	0,306	101
9.	Kurtava I+III (60)	1225	-0,742	0,861	0,269	0,307	114
10.	Raksala I, mežs (80)	300	-0,283	0,847	0,374	0,236	63
11.	Raksala I, mežs (60)	105	-0,429	0,931	0,441	0,428	97
12.	Raksala I, mežs 80+60 (60)	780	-0,429	0,946	0,401	0,301	75
13.	Raksala III, purvs (60)	435	-0,595	0,878	0,234	0,364	156
14.	Raksala I+III (60)	2415	-0,595	0,946	0,310	0,330	106
15.	Meža fitocenozes kopā (60)	4950	-0,828	0,946	0,192	0,343	179
16.	Purva fitocenozes kopā (60)	2278	-0,708	0,878	0,185	0,327	176
17.	Apvienotā ģenerālkopa	21945	-0,828	0,951	0,194	0,335	173

Lielākie variāciju koeficienti raksturīgi purva fitocenožu korelācijas koeficientu sadalījumam: Kurtava – 101 %, Raksala – 156 % un Ozolsala – 262 %. Tas liecina, ka kopas ir iekšēji neviendabīgas – koksnes veidošanās dinamika ir visai atšķirīga pat vienas audzes ietvaros pie vienādiem meteoroloģiskiem apstākļiem.

Salīdzinot korelācijas koeficientu sadalījumu purvā, mežā un apvienotajā ģenerālkopā, redzams, ka tie ir visai līdzīgi, t.i., vidējais korelācijas koeficients nepārsniedz +0,20, līdzīgas ir sadalījuma standartnovirzes (0,327–0,343), tāpat maz atšķiras variāciju koeficienti (173–179).

Svarīgi atzīmēt, ka:

- 1) arī vienas fitocenozes ietvaros visvairāk sastopami korelācijas koeficienti, kuru vērtības ir tuvas nullei;
- 2) korelācijas koeficienti svārstās ļoti plašās robežās no -0,828 līdz +0,950.

Tas nepārprotami liecina, ka sastopami koki, kuriem koksne uzkrājas visai sinhroni – 90 gadu ilgā laikā sakrīt visi pieauguma maksimumi un minimumi; taču tāpat ir koki, kuriem pieauguma ritms ir pilnīgi pretējs. Tātad ne visiem kokiem purvos un tiem pieguļošajos pārmitrajās mežos

pieaugumi samazinās slapjās vasarās vai tām sekojošos gados. Tāpēc visai riskanti ir izmantot šos kokus, kā arī kūdrā iekonservējušos viena koka stumbru, lai pēc to gadskārtu svārstībām atšifrētu iepriekšējo gadu klimatu vai, izmantojot gadskārtās ierakstītos svārstību ritmus, spriest par koka nociršanas vēsturi.

10.1. Evapotranspirācija kūdreņu kokaudzēs un izcirtumos

Mūsu uzdevums ir novērtēt augsnes hidroloģiskā režīma izmaiņas pēc kokaudzes nociršanas, kas galvenokārt izpaužas kā evapotranspirācijas atšķirības mežā un izcirtumā (jaunaudzē) parasti ar blīvu dzīvo zemesdzi. Pētījumi veikti 1960. gadā nosusinātajos mežos uz kūdras augsnēm.

Iztvaikošana no kūdras augsnēm līdz šim samērā detalizēti un daudzpusīgi analizēta kā nenosusinātos, tā arī nosusinātos purvos. Purvos iegūtās atziņas tomēr nav tieši piemērojamas mežiem.

Ja purvos fizikālā iztvaikošana (evaporācija) daudzkārt pārsniedz transpirāciju, tad augstražīgos mežos pilnīgi otrādi – veģetācijas periodā transpirācija ir apmēram divas reizes lielāka nekā fizikālā iztvaikošana. Bez tam, transpirācija ir fizioloģisks process, kas realizējas ar atgriezenisko saišu (kā pozitīvo, tā negatīvo) starpniecību. Ja aktīva iztvaikošana norisinās



tikai kūdras augšējā slānī, tad transpirācijas intensitāte ir atkarīga no augšnes mitruma un tam atbilstošās aerācijas visā sakņu sistēmas aizņemtajā kūdras slānī.

Vēl joprojām ilglaicīgi maz pētītas likumsakarības, kas regulē evapotranspirāciju sausieņu mežos. Meža hidroloģisko norišu izziņāšanā tieši nosusinātajiem mežiem kā pētījumu objektam ir virkne priekšrocību, salīdzinot ar sausieņu vai nenosusinātajiem pārmitrajiem mežiem. Kā galvenā atzīmējama iespēja aprēķināt evapotranspirāciju, izmantojot ūdens bilances vienādojumu.

Veicot hidroloģiskus pētījumus nosusinātajos Latvijas mežos, jāatceras viens visai nozīmīgs priekšnoteikums – 86 % mežu uz kūdras augsnēm atrodas vietās, kur pārpurvošanās cēlonis ir pazemes spiedes ūdeņu izplūde. Tas nozīmē, ka šajos mežos ir savdabīga ūdens bilances struktūra: ūdens bilances vienādojumā var neiekļaut vienu, praktiski neizmēramu, bet citur visai nozīmīgu bilances posteni – augšnes gruntsūdeņu infiltrēšanos dziļākajos grunts slāņos. Nosusinātajos mežos uz kūdras augsnēm šis rādītājs ir tuvu nullei, tādējādi ūdens bilances vienādojums izsakāms kā:

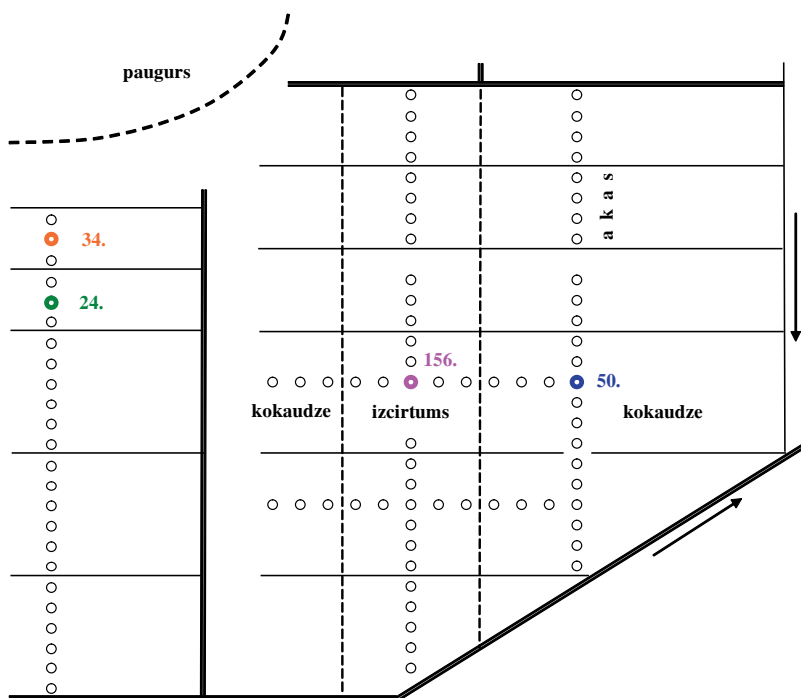
$$N + P_m + P_p = Q + ET \pm \Delta W,$$

kur N – nokrišņi, P_m – ūdens pieplūde no blakus esošajām platībām, P_p – pazemes spiedes ūdeņu izplūde, Q – notece, ET – evapotranspirācija, ΔW – ūdens krājumu izmaiņa: mūsu darbā – 1,0 m biežā kūdras slānī.

P_m samērā vienkārši var pārtvert un izmērīt ar kontūrgrāvju palīdzību, bet jāievēro arī P_p ietekme visos mežos uz kūdras augsnēm, kaut arī izplūstošo ūdens daudzumu nav viegli izmērīt. Tādēļ šajā darbā izmantota nedaudz vienkāršota sakarība: ūdens pieplūde $P = P_m + P_p$. Mūsu ūdens bilances aprēķini liecina, ka vidēji 25 gados nosusinātajos mežos uz kūdras augsnēm veģetācijas periodā pa grāvjiem aiztek 190 mm ūdens, no šī daudzuma tikai 8 % sastāda nokrišņi veģetācijas periodā, bet 76 % – pieplūstošie ($P_m + P_p$) ūdeņi.

Pēc Darsī likuma, pazemes ūdeņu izplūdes intensitāte $P_p = f(\Delta h, k, L)$, kur Δh – ūdens spiediens, k – filtrācijas koeficients, L – grunts slāņa biežums (filtrācijas ceļš). Jebkurā vietā, kur k un L nemainās laikā, P_p izmaiņas atkarīgas no tā, kā laikā mainās $\Delta h = h - H$, kur h – pazemes ūdeņu piezometriskais līmenis, H – augšnes gruntsūdeņu līmenis. Neraugoties uz samērā sinhronajām h un H izmaiņām laikā ($r = +0,95$), Δh tomēr nav strikti konstants lielums arī vienā vietā. Šinī darbā detalizētāk pētītajā objektā ūdens spiediens Δh laikā svārstās 90–130 cm robežās.

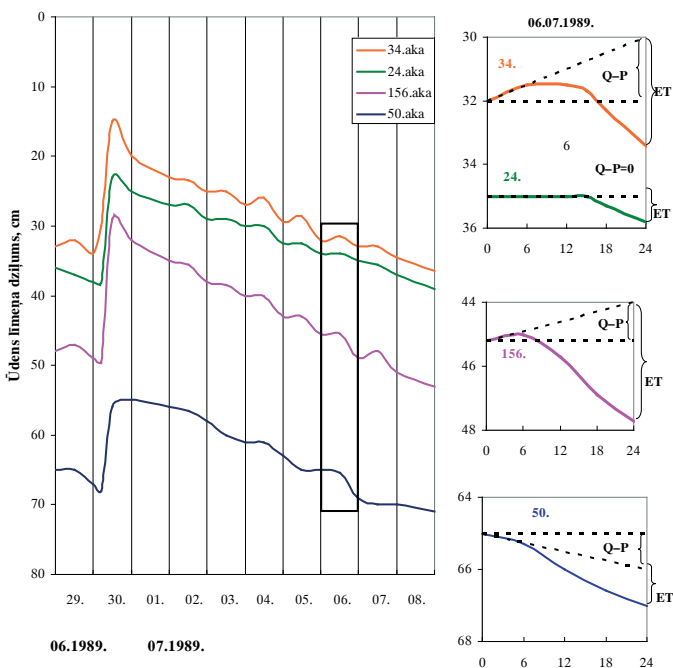
Četrās novērojumu akās, kuru atrašanās vietas parādītas 41. attēlā, kopš 1973. gada ar Valdai tipa pašrakstītājiem 15 gadus datētas augsnes gruntsūdens līmeņa svārstības, parasti no aprīļa līdz aku aizsalšanai rudenī, t.i., līdz decembrim. Trīs akas ar līmeņa pašrakstītājiem ierīkotas priežu audzēs ar egļu piemistrojumu, ceturrtā (Nr. 156) – izcirtumā. 1990. gadā priežu audzēs vidējais augstums bija 18,0 m, vidējais caurmērs – 22,0 cm, krāja – 245 m³ ha⁻¹. Izcirtums pastāv kopš 1963. gada. Šinī laikā tajā divreiz nesekmīgi mēģināts ieaudzēt priedi (stādījumus iznīcināja aļņi); patlaban tur aug samērā, reta bērzu, jaunaudze – vidējais kociņu augstums 4,5 m. Galvenie organiskas radītāji ir avenes, nātres un grīši.



41. attēls. Nosusināšanas tīklu un novērošanas aku izvietojuma shēma Vesetnieku stacionāra 2. baseinā.

Gruntsūdens līmeņa diennakts svārstību analīze mūsu darbā sākotnēji bija galvenais līdzeklis evapotranspirācijas noteikšanai.

Šādu izvēli noteica ūdens līmeņa svārstību spilgti izteiktais diennakts ritms: daudzos gadījumos (kaut arī ne visos) drīz pēc pusnakts sākas gruntsūdens līmeņa paaugstināšanās, kas turpinās apmēram līdz pusdienai (42. attēls), tad seko strauja ūdens līmeņa pazemināšanās. Ūdens līmeņa pacelšanās naktī un no rīta it kā norāda, ka arī bezlietus periodos ūdens pieplūde pārsniedz noteci ($P > Q$), un augsnes gruntsūdens līmeņa pazemināšanās notiek tikai evapotranspirācijas rezultātā.



42. attēls. Gruntsūdens līmeņa izmaiņu pieraksts 4 novērojumu akās.

Apkopoti hidrogrāfu 700 gruntsūdens līmeņa diennakts svārstību pie- rakstī, kas 15 gadus izdarīti gan vasarā (jūlijs–augusts), gan arī vēlā rudenī (oktobris–decembris), t.i. laikā kad kūdra pilnīgi atkususi. Izmantoti tikai tādi periodi, kuros lietus nav lijis vismaz 7 dienas pēc kārtas; tātad, analizēta tikai gruntsūdens līmeņa pazemināšanās un ūdens krājumu samazināšanās augsnē.

Astoņus gadus 11 punktos analizētas ūdens krājumu izmaiņas kūdras augsnē saistībā ar gruntsūdens līmeni. Tas darīts, lai formalizētu sakarību $W = f(H)$ un ūdens bilances vienādojumam atrastu vērtību ΔW . Šajā sakarā katrā no izvēlētajiem punktiem 38 reizes ņemti 20 kūdras paraugi ar tilpumu 100 cm^3 šādos dziļumos: 0–4, 18–22, 38–42, 58–62, 78–82 un 98–102 cm.

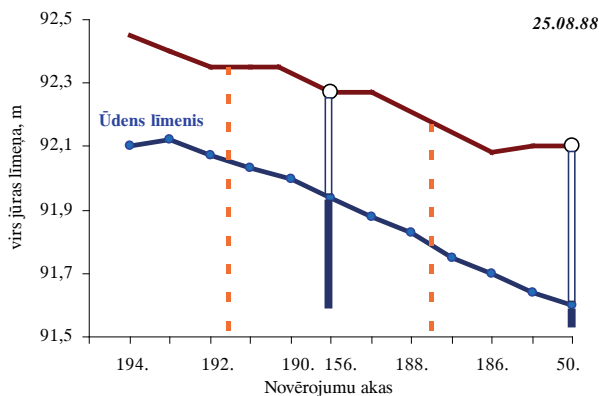
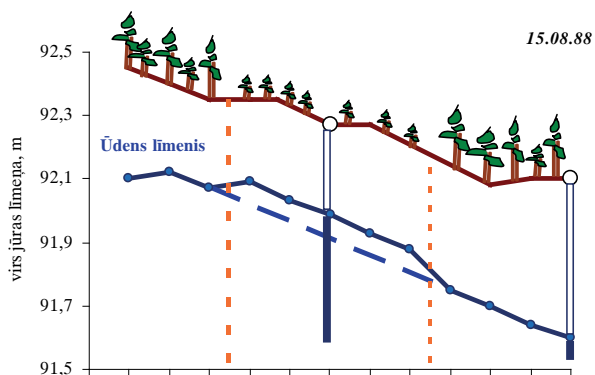
Izzāvējot kūdras paraugus, noteikts mitruma daudzums 1 m biežā aug- snes slānī. Izmantojot iegūtos mērījumu rezultātus, funkcija $W = f(\bar{H})$ aproksimēta kā otrās kārtas parabola. $W_{\text{mm}} = 930 - 0,016 \bar{H}^2 - 0,0893 \bar{H}$, kur $\bar{H} \leq 90 \text{ cm}$ 1,0 m biežā kūdras slānī uzkrātā ūdens maksimālais dau- dzums ir 930 mm; tādu pašu lielumu savos purvos atzīmējuši arī somu pētnieki [1]. Šis empīriskais vienādojums izmantots, lai novērtētu ūdens krājumus nosusinātā mežā un izcirtumā (jaunaudzē). Ūdens krājuma izmaiņas ΔW novērtētas kā $\Delta W = f(H, \Delta H)$. Piemēram, diennakts laikā gruntsūdens līmenis pazeminās no 50 cm līdz 52 cm, t.i., $\Delta H = 2 \text{ cm}$, tad pie dotajiem H ūdens daudzums 1,0 m biežā kūdras slānī izmainās par 4 mm.

Katrā diennakts hidrogrāfā izmērīts: H – gruntsūdens līmeņa atstatums no augsnes virsmas, pēc kura aprēķināts $\Delta W \text{ mm dn}^{-1}$ un $P - Q \text{ mm dn}^{-1}$ – starpības starp ūdens pieplūdi un noteci. Pēc šiem datiem izskaitļota $ET = \Delta W + P - Q$. Šinī darbā nav ievietoti visi mērījumu rezultāti, bet parādīti tikai grupu vidējie ΔW , $P - Q$ un ET lielumi pie gruntsūdens līmeņa H ik pēc 5 cm: $H = 11-15; 16-20, \dots$. Katrā grupā ietilpst 25–35 mērījumu rezultāti, pēc kuriem aprēķināts viens aritmētiskais vidējais lielums.

Evapotranspirācija diennaktī izcirtumā (jaunaudzē)

Pirmajos novērojumu gados, kamēr vēl nebija pašrakstītāju, izseko- tas gruntsūdens līmeņa svārstības divās paralēlās aku rindās, no kurām viena ierīkota izcirtumā (jaunaudzē), otra – blakus mežā, un konstatēts, ka mežā gruntsūdens līmenis atrodas vidēji 36 cm dziļāk nekā izcirtumā (skat. 41. att.). Uzsākot gruntsūdens mērījumus šķērsām izcirtumam,

noskaidrojās, ka šo līmeņa pazeminājumu izraisījuši galvenokārt grāvji, nevis kokaudze. Tomēr arī šķērsmērījumi liecina, ka dažkārt, piemēram, 15.08.88. (43. attēls) jaunaudzē ūdens līmenis tiešām ir apmēram 8 cm augstāks nekā tam vajadzētu būt tikai grāvju ietekmes rezultātā. Pēc 10 dienām (25.08.88) starpība nav novērota. 1989. gadā laikā no 1. jūlija līdz 8. jūlijam (42. attēls) jaunaudzē (156. aka) ūdens līmenis pazeminājies par 19 cm, t.i., ūdens krājumi samazinājušies par 43 mm; tanī pat laikā mežā (50. aka) ūdens līmenis pazeminājies par 16 cm, kas atbilst ūdens krājumu izsīkumam par 45 mm; tātad mežā iztvaikojis par 0,25 mm dn⁻¹ vairāk nekā izcirtumā.



43. attēls. Gruntsūdens līmenis mežā un 50 m platā jaunaudzē.

Iztvaikošanas (ietverot intercepciju) salīdzināšanai analizēti dati par gruntsūdens līmeņa starpību mežā un izcirtumā pēdējos 10 gadus vidēji pa gadalaikiem. Iegūti šādi rādītāji:

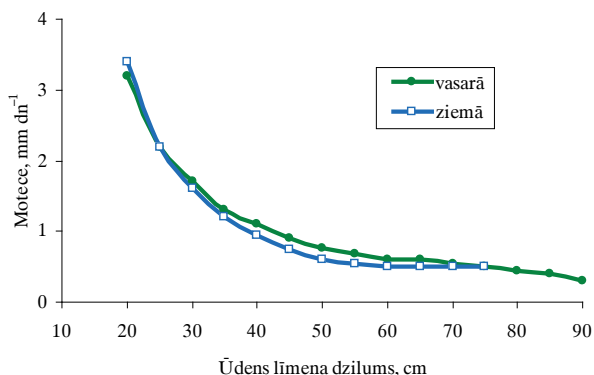
	Ziema (I–III)	Pavasaris (IV–VI)	Vasara (VII–IX)	Rudens (X–XII)
Novērojumu skaits	300	314	324	320
Līmeņu starpība, cm	36,0	37,2	41,8	38,6
Standartnovirze, cm	6,2	6,7	8,5	8,4
Reprezentācijas kļūda, cm	0,36	0,38	0,47	0,47

Pēc strikti statistikas kritērijiem ūdens līmenis mežā vasarā ir signifikanti zemāks nekā pārējos gada laikos, tomēr nelielā starpība (≈ 4 cm) it kā nevarētu raksturot visas ar evapotranspirāciju saistītās augsnes hidroloģiskā režīma atšķirības mežā un izcirtumā (jaunaudzē).

Hidroloģiskā režīma atšķirību raksturošanai izmantots ūdens krājuma izmaiņu rādītājs ΔW mm dn⁻¹. Ūdens līmeņa pazemināšanās ātrums ΔH mm dn⁻¹ uzskatāms par atvasinātu rādītāju, kura skaitliskās vērtības ir funkcija gan no ΔW , gan no augsnes (grunts) parametriem. Tomēr arī vienādojums $\Delta W = ET + Q - P$ norāda, ka ΔW visai cieši saistīts ar jebkuras vietas hidroloģisko un hidroģeoloģisko situāciju, t.i., ar attiecībām starp ūdens noteci Q un pieplūdi P .

Kā jau minēts, pazemes ūdeņu pieplūdes intensitāte P_p atkarīga no tā, kā mainās spiedienu starpība $\Delta h = h - H$ šajā vietā. Nezinot ne filtrācijas koeficientu, ne filtrācijas ceļu, nav iespējams noteikt pieplūdes faktisko daudzumu. Tāpat nav konkrētu datu par noteces Q faktisko lielumu vietās, kur nav ierīkoti ūdens plūsmas pašrakstītāji. Tādējādi nebija iespējams atsevišķi novērtēt ne P , ne Q , un turpmākajos ET aprēķinos lietota nedalīta jau iepriekš minētā izteiksme $P - Q$, kuras skaitliskās vērtības var būt gan pozitīvas, gan negatīvas.

ET skaitlisko vērtību aprēķināšanai pēc diennakts hidrogrāfiem svarīgi bija noskaidrot, vai sakarības $Q = f(H)$ un $P - Q = f(\Delta h)$ nemainās pa gadalaikiem. Mūsu rīcībā esošie dati par noteces dinamiku no visa 63,7 ha lielā sateces baseina ļāva modelēt $Q = f(H)$ līkni. Šīs sakarības pastāvīguma ilustrēšanai izmantotas pēdējos 10 gadus vasaras un ziemas mēnešos iegūtās $Q = f(H)$ līknes (44. attēls); praktiski abas līknes sakrīt.



44. attēls. Notece Q saistībā ar gruntsūdeņa atstatumu no augsnes virsmas (H) vasarā un ziemā.

Pārbaudot Δh noturīgumu, salīdzināti kopu vidējie rādītāji vasarā un rudenī ūdens līmeņa pašrakstītāju vietās:

	50. aka (mežā)		156. aka (jaunaudzē)	
	vasarā	rudenī	vasarā	rudenī
Novērojumu skaits	81	80	81	80
Δh vidējais rādītājs, cm	119,0	116,8	97,9	95
Standartnovirze, cm	7,9	9,4	8,4	5,5

Niecīgās Δh izmaiņas pa gadalaikiem nevar izraisīt pieplūdes P vidējo rādītāju signifikantas atšķirības, un var uzskatīt, ka $\bar{P} \approx \text{const}$ neatkarīgi no gadalaika. Tas nozīmē, ka funkcijas $P - Q = f(H)$ izteiksme vasarā ir tāda pati kā rudenī.

Tomēr mērījumu datu analīze to neapstiprināja. Izmantojot diennakts hidrogrāfus, vasarā $P - Q = f(H)$ ir izteikta līkne ar maksimumu $\approx 3,0 \text{ mm dn}^{-1}$ pie $H = 63 \text{ cm}$; $P - Q > 0$, ja $37 > H > 77 \text{ cm}$ (44. attēls). Turpretī rudenī, kad iztvaikošana tuva nullei un $\Delta W = Q - P$, funkcija $P - Q = f(H)$ ir lineāra, tās skaitliskās vērtības negatīvas; $P - Q = 0$ pie $H = 90 \text{ cm}$, t.i., pie $Q = 0$.

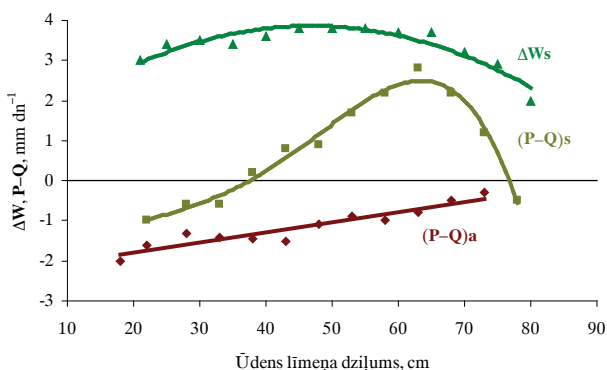
Izvirzās pirmais jautājums, kura no šīm divām $P - Q = f(H)$ vērtībām izmantojama diennakts evapotranspirācijas aprēķiniem atbilstoši vienādojumam $ET = \Delta W + (P - Q)$.

Ja $H = 60$ cm, tad $\Delta W = 3,6 \text{ mm dn}^{-1}$ (45. attēls) un, izmantojot gruntsūdens līmeņa cikliskās svārstības diennaktī, $ET_1 = 3,6 + 2,7 = 6,3$ (mm dn^{-1}). Turpretī, ja izmantojam $P - Q$ sakarību ar gruntsūdens līmeni rudenī, tad $ET_2 = 3,6 - 0,9 = 2,7$ (mm dn^{-1}). Kāpēc?

Otrs jautājums, kādi faktori izraisa tik atšķirīgas $P - Q$ vērtības pie viena un tā paša H .

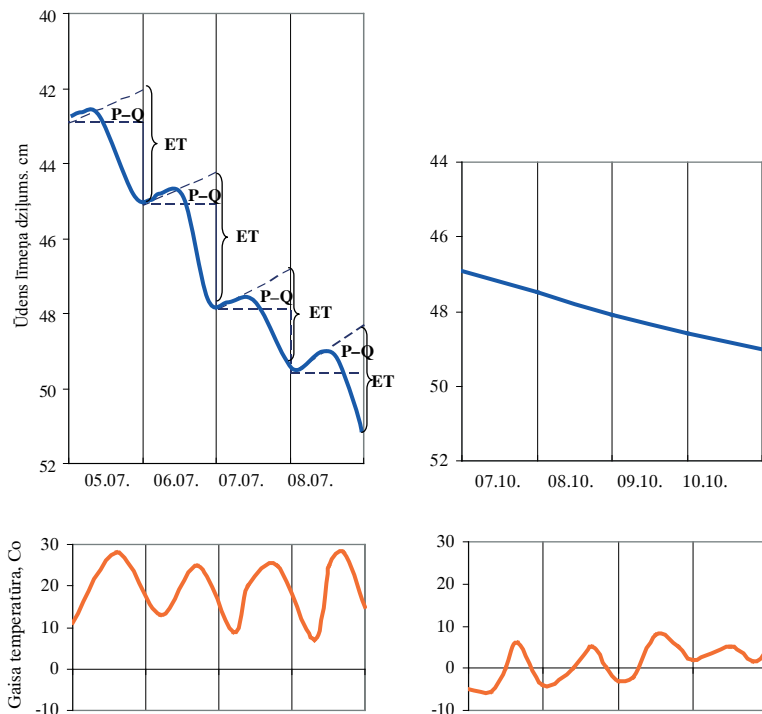
Uzskatām par neizprotamu, ka gruntsūdens līmeņa pacelšanās bezlietus periodā dienas pirmajā pusē (42. attēls) saistās ar to, ka ūdens pieplūde P pārsniedz ūdens noteci Q , un – gruntsūdens līmeņa pazemināšanās pēcpusdienās norāda, ka $ET > (P - Q)$. To paskaidro arī vairāki fakti, kas jāievēro diennakts ūdens bilanci:

1. Gruntsūdens līmenis rudenī pie $ET = 0$ nevis paaugstinās, bet vienmērīgi pazeminās bez jebkādam diennakts svārstībām, kas viennozīmīgi norāda, ka $P < Q$ (46. attēls) pie tādiem pat gruntsūdens līmeņiem, pie kuriem vasarā pieplūde it kā pārsniedz noteci.
2. Gruntsūdens līmeņa diennakts svārstības ΔH vasarā pozitīvi korelē ($r = +0,78$) ar gaisa temperatūras svārstībām (Δt°) diennaktī, un situācija $ET > (P - Q)$ iestājas pievakarē, gaisa temperatūrai pazeminoties (46. attēls).
3. Vasarā $P - Q$ diennakts vērtības, kas šķietami aprēķinātas pēc diennakts hidrogrāfa, uzskatāmi pozitīvi korelē ar diennakts vidējo gaisa temperatūru: korelācijas attiecība $\eta = 0,87$ (47. attēls).

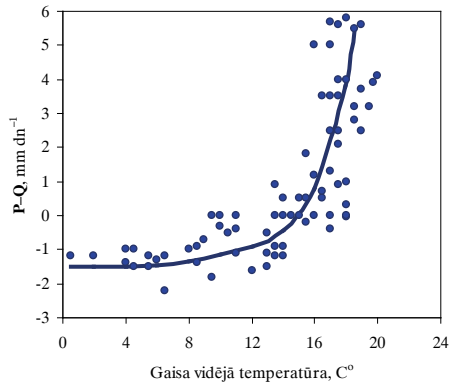


45. attēls. Diennakts hidrogrāfa parametri šaurā izcirtumā (jaunaudzē) saistībā ar gruntsūdens līmeni H vasarā (indekss s) un rudenī (indekss a).

4. Ūdens krājumu izmaiņu rādītājs ΔW mm dn⁻¹ pozitīvi korelē ar $P - Q$ ($\eta = 0,75$), un nelogisks ir no tā izrietošais secinājums, ka ūdens krājumi straujāk samazinās tajās dienās, kad $P - Q$ vērtības ir lielākas, t.i., jo vairāk ūdens pieplūde pārsniedz ūdens noteci, jo straujāk samazinās ūdens daudzums kūdrā.
5. 42. attēlā ūdens līmenis izcirtumā ir augstāks nekā mežā (15.08.88) pie diennakts vidējās gaisa temperatūras +16,2°C; desmit dienas vēlāk, kad gaisa temperatūra bija tikai +12,3°C, līmeņa paaugstināšanās netika novērota.
6. Ilggadīgās vidējās ET vērtības veģetācijas periodā nosusināto mežu masīvos ir fiksētas 2,5 mm dn⁻¹, kas atbilst šeit pie $H = 60$ cm aprēķinātajai $ET_2 = 2,7$ mm dn⁻¹ vērtībai nevis kļūmīgi pieņemot $ET_1 = 6,3$ mm dn⁻¹.



46. attēls. Diennakts hidrogrāfi šaurā jaunaudzē vasarā (VII) un rudenī (X) saistībā ar gaisa temperatūru.



47. attēls. Diennakts vidējās gaisa temperatūras ietekme uz $P - Q$.

Atbildot uz otro jautājumu par šo atšķirību cēloņiem, jāatzīmē, ka šeit uzskaitītie fakti rosina secināt, ka gruntsūdens līmeņa cikliskajām dienakts svārstībām ir termiska, tātad tīri fizikāla izcelsme, kas spilgtāk parādās hidrogrāfā pie $40 < H < 75$ cm, t.i., kad gruntsūdens līmenis vēl atrodas samērā tuvu augsnes virsmai, bet ūdens plūsma ir diezgan lēna filtrācijas dēļ. Evapotranspirācijas diennakts vērtības jaunaudzē, kas aprēķinātas kā ūdens krājumu samazināšanās tempa starpība vasarā un vēlā rudenī parādītas 45. tabulā. Pie samērā lielām H atšķirībām, t.i., $35 < H < 75$ cm, ET ir aptuveni $2,5 \text{ mm dn}^{-1}$.

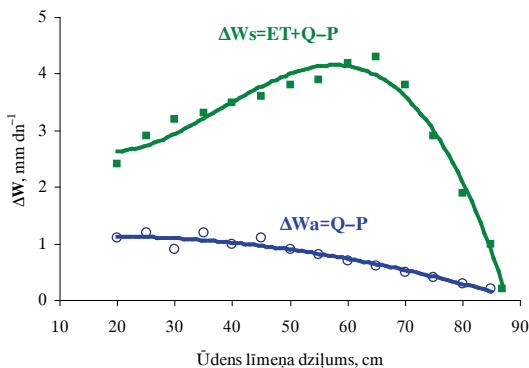
Evapotranspirācija diennaktī kokaudzē

Kaut arī nosusinātā mežā zem kokaudzes tāpat kā izcirtumā (jaunaudzē) gruntsūdens līmeņa pazemināšanās gaitā iezīmējas diennakts ritms, mežā svārstības nav tik spilgti izteiktas, un parasti $P < Q$. Apzinoties, ka ET mežā visai spēcīgi ietekmē arī citi faktori, mēs tomēr izvirzījām uzdevumu noskaidrot sakarību $ET = f(\bar{H})$. Tieši šī funkcija raksturo mežaudzes iespējas pašai veidot sev labvēlīgu augsnes hidroloģisko režīmu, deformējoties nosusināšanas grāvjiem.

Funkcijas vērtības aprēķinātas kā starpības starp $\Delta W = f(\bar{H})$ vasarā (jūlijs–septembris) un rudenī (novembris–decembris). Mūsu iepriekšējie pētījumi par ET samazināšanos sausās vasarās ļāva prognozēt, ka,

gruntsūdens līmenim pazeminoties zem 60 cm, samazināsies **ET** un līdz ar to arī ΔW mm dn⁻¹, kas pilnā mērā apstiprinājās (48. attēls).

Iepriekš veiktie pētījumi par nosusināto mežu ūdens bilanci pierādīja, ka slapjās vasarās mežs spēj iztvaikot pat vairāk nekā vaļējās ūdenskrātuves. Tāpēc pārsteidza gruntsūdens līmeņa krišanās tempa pakāpeniska pazemināšanās pie **H** < 60 cm.



48. attēls. Ūdens daudzuma izmaiņas diennaktī nosusinātā mežā 1,0 m biezā kūdras slānī vasarā (indekss *s*) un rudenī (indekss *a*).

Augsnes ūdenskrājumu samazināšanās temps rudenī mežā ir aptuveni tāds pats kā jaunaudzē. Abas iepriekšminētās likumsakarības vēl spilgtāk parādās, analizējot $ET = f(H)$. Šī funkcija mežā savu maksimumu sasniedz pie **H** = 65 cm, kad **ET** = 3,6 mm dn⁻¹. Gruntsūdens līmenim vēl vairāk pazeminoties, **ET** strauji krītas, un pie **H** = 90 cm **ET** = 0,1 mm dn⁻¹ šāds „saudzīgs” augšņu ūdens krājumu patēriņš uzskatāmi ilustrē kokaudzes pašregulācijas spējas. Faktu, ka pie **H** = 20 cm **ET** ir tikai 1,5 mm dn⁻¹, skaidrojam ar sakņu sistēmas daļēju nobloķēšanos anaerobos apstākļos, kas traucē ūdens uzsūkšanu.

Evapotranspirācijas samazināšanos, paaugstinoties gruntsūdens līmenim augstajos sūnu purvos, novērojuši arī Somijas zinātnieki. Šādu samazināšanos J. Laine (1984.), mūsdiā, kļūdaini uzskata par nejaušu un izskaidro kā iztvaikošanas stohastiskas svārstības pie neierobežotas ūdens pieplūdes iztvaikojošai virsmai.

Lietderīgi atzīmēt, ka, novērojot $ET = f(H)$, analizēta tikai t.s. tīrā evapotranspirācija, kas ietver augu transpirāciju un iztvaikošanu no augsnes virsmas, neņemot vērā intercepciju. Tieši intercepcija skuju koku audzēs ar egļu piemistrojumu ir visai nozīmīgs ūdens bilances komponents, kas būtiski aizsargā augsni no pārmitrināšanās. Diennakts norišu pētījumos iekļaut intercepciju tomēr nav lietderīgi. Nokrišņu infiltrēšanās augsnē lietus laikā izraisa veselu virkni savdabīgu blakus parādību [1]. Intercepcijas loma lietderīgāk novērtējama ilgākā laika periodā – mēnesī vai pat veģetācijas periodā, nevis vienā diennaktī.

Novērtējot kokaudzes spējas izveidot sev labvēlīgu augsnes mitruma režīmu, nozīmīgs rādītājs ir ātrums, ar kādu no ūdens atbrīvojas lielākās poras kūdrā, tādējādi radot priekšnoteikumus augsnes aerācijai. Mūsu aprēķini rāda, ka apstākļos, kad grāvju sistēma darbojas vāji ($P = Q$ un $\Delta W = ET$), ūdens līmeņa pazemināšanās temps ir samērā konstants ($\approx 1 \text{ cm dn}^{-1}$) līdz pat 75 cm dziļumam (45. tabula).

45. tabula

Diennakts evapotranspirācija ET un tās izraisītais gruntsūdens līmeņa pazemināšanās temps ΔH skuju koku mežā un šaurā izcirtumā (jaunaudzē)

Gruntsūdens līmenis H , cm	Mežā		Jaunaudzē	$ET - ET^0$, mm dn^{-1}
	ET , mm dn^{-1}	ΔH , cm dn^{-1}	ET^0 , mm dn^{-1}	
20	1,5	0,9	1,2	0,3
25	1,7	1,0	1,8	-0,1
30	1,8	1,0	2,1	-0,3
35	2,1	1,0	2,4	-0,3
40	2,4	1,1	2,5	-0,1
45	2,7	1,2	2,7	0
50	3,0	1,2	2,7	0,3
55	3,2	1,2	2,7	0,5
60	3,5	1,2	2,7	0,8
65	3,6	1,2	2,7	0,9
70	3,3	1,1	2,4	0,9
75	2,5	0,8	1,9	0,6
80	1,6	0,5	1,1	0,5
85	0,6	0,2		
90	0,1	0,1		



*Pārmitrajos mežos bērzs ir nosacījums meža ekosistēmas izdzīvošanai (A);
uzlabojoties aerācijai augsnē meliorētās platībās egle pakāpeniski
kļūst par meža galveno sugu (B).*

Noraidoši jāatbild uz jautājumu, vai kokaudzes nociršana šaurā kailcirtē (50 m platā joslā) būtiski izmaina evapotranspirāciju. Pie $H < 50$ cm atšķirības ir aprēķinu kļūdas ietvaros (45. tabula), vislielākā atšķirība (0,8–0,9 mm dn⁻¹) ir pie $60 < H < 70$ cm.

10.2. Evapotranspirācijas aprēķini mežā

Jautājums par to, kā izmainās ūdensregulējošās īpašības pārmitrajos mežos pēc to meliorācijas, saistās ar evapotranspirācijas izmaiņām. No evapotranspirācijas diviem komponentiem labāk izpētīta ir transpirācija. Veikto eksperimentu rezultāti atsedz atšķirīgu koku sugu transpirācijas savdabības un rosina salīdzināt transpirācijas intensitāti ar koksnes ražošanas tempu. Pētījumi ir ļoti sarežģīti un dārgi, un tos veic galvenokārt uz atsevišķiem kokiem. Kokaudzes struktūra parasti aprakstīta kā pētījumu fons. Tas sarežģī novērtēt mežsaimniecisko pasākumu ietekmi uz kokaudzes hidroloģiskajiem parametriem, kas nenoliedzami mainās, mainoties meža struktūrai.

Šo sakarību analīzei nepieciešami stacionāri transpirācijas un evaporācijas mērījumi atšķirīgas struktūras mežaudzēs, veidojot atbilstošus matemātiskos modeļus. Svarīgs priekšnoteikums, lai izstrādājamajos modeļos ietilptu tikai samērā viegli izmērāmi mežaudzes un ūdens sistēmas parametri. Šāds ierobežojums nenoliedzami samazinās funkcijas vērtību ticamību, taču tānī pat laikā nodrošinās iespēju lietot modeļus meža atgriezenisko saišu praktiskiem aprēķiniem.

Evapotranspirācijas mērījumos priekšrocība ir radiācijas-siltuma bilances metodikai. Lielākajos un bagātākajos institūtos, veicot meža ūdens režīma pētījumus, iegūti nozīmīgi rezultāti. Sīkāk pie tā nepakavējoties, atzīmēsim dažas no tiem gūtās atziņas: 1) ir panākta vienprātība par evapotranspirāciju limitējošiem faktoriem; 2) izstrādātie matemātiskie modeļi dod ticamus rezultātus iepriekš fiksētās ekosistēmās; 3) izstrādāto modeļu praktisko izmantošanu meža ekosistēmās apgrūtinā liels skaits iepriekš nezināmo empīrisko koeficientu, kas paredzēti matemātiskajos modeļos; 4) Latvijas mežos evapotranspirācija ir visai maz pētīta.

Meži, kuros savus pētījumus veica Baltkrievijas meža zinātnieki, pēc savas struktūras ir samērā līdzīgi Latvijas mežiem. Pēc mūsu lūguma ar saviem vēl nublicētajiem datiem par iztvaikošanu atšķirīgas struktūras mežaudzēs mūs iepazīstināja meža hidrologs M. Andreičiks.

Tālākie aprēķini balstās uz divām likumsakarībām:

1. Samērā ilgā laikā (5–10 gadi) līdzīgas struktūras mežaudzēs saglabājas vienādas attiecības starp evaporāciju un evapotranspirāciju, kā arī starp transpirāciju un evapotranspirāciju. Īslaicīgām svārstībām meteoroloģisko apstākļu ietekmē nav būtiskas nozīmes;
2. Līdzīgos augšanas apstākļos ikvienai koku sugai transpirācijas apjoms ir tieši proporcionāls lapu (skuju) masai.

Šo likumsakarību noformulēšanai izmantoti dati vairākās monogrāfijās [129, 146, 167, 210, 246], kā arī rakstos [100, 191, 200, 201, 219].

Atšķirīgu koku sugu transpirācijas savdabības raksturo transpirācijas koeficients $K = T \cdot LM^{-1}$, kur T – ūdens apjoms (m^3), transpirēts veģetācijas periodā; LM – svaigu lapu (skuju) svars (kg).

Latvijas mežiem līdzīgās audzēs laika posmā maijs–oktobris K vidējās vērtības ir: priedei – 0,20, eglei – 0,08 un bērzam – 0,40. Tas nozīmē, ka 1 kg priežu skuju veģetācijas periodā iztvaiko 200 l, egļu skuju – 80 l un 1 kg bērza lapu – 400 l ūdens; viens kilograms bērza lapu transpirē ūdeni piecas reizes vairāk nekā viens kilograms egļu skuju.

Lapu (skuju) svara aprēķināšanai aproksimējām divās monogrāfijās iekļautos datus [169, 232]. Rezultātā iegūti šādi otrās kārtas parabolas vienādojumi:

priedei	$LM = 0,023D^2 + 0,07D$	pie $6 < D < 40$ cm;
eglei	$LM = 0,104D^2 - 0,33D$	pie $4 < D < 30$ cm;
bērzam	$LM = 0,035D^2 - 0,16D$	pie $8 < D < 28$ cm,

kur D – audzes vidējais stumbru caurmērs.

Aprēķināto vienādojumu ticamība pārbaudīta, salīdzinot mūsu mežos veiktos mērījumus ar rezultātiem, kas aprēķināti ar regresijas vienādojumu palīdzību: faktiskie mērījumi pilnīgi iekļāvās regresijas vienādojumu 90 % ticamības intervālā.

Izmantojot determinētās sakarības starp koku skaitu audzē n , to vidējo caurmēru D un stumbru šķērslaukumu G , t.i.,

$$n = 40000G (3,14D^2)^{-1},$$

lapu (skuju) svaru un transpirācijas koeficientu K , aprēķināti regresijas vienādojumi veģetācijas periodā ($V-X$) transpirētā ūdens daudzuma noteikšanai.

Tādējādi transpirācijas apjoms veģetācijas periodā no 1 ha meža ūdens slāņa milimetros aprēķināms kā triju faktoru funkcija $T = f(D, G, K)$, un transpirācija

$$\text{priežu mežos} \quad T_P = 6G (D + 3) D^{-1},$$

$$\text{egļu mežos} \quad T_E = 11G (D - 3) D^{-1},$$

$$\text{bērzu mežos} \quad T_B = 18G (D - 5) D^{-1}; \text{ ierobežojumi kā pie lapu}$$

(skuju) svara aprēķiniem.

Varam pieņemt, ka mistraudžu transpirācija summējas no atsevišķu sugu transpirācijas rādītājiem. Piemēram, 5P3E2B sastāva mistraudzē, kuras kopējais šķērslaukums $G = 31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ un aprēķinu vienkāršošanai visām sugām $D = 20 \text{ cm}$, mistraudzes transpirācija

$$T = T_P + T_E + T_B = 107 + 87 + 84 = 278 \text{ mm}.$$



Evaporācijas (iztvaikošanas) rādītāju E analīze liecina, ka attiecības starp evaporāciju un evapotranspirāciju svārstās atkarībā gan no kokaudzes struktūras, gan no enerģijas pieplūdes apjoma veģetācijas periodā. Lielākā laika periodā ikvienā mežaudzē attiecība starp evaporāciju un evapotranspirāciju saglabājas pastāvīga. Šī attiecība atšķirīgās vienas sugas kokaudzēs izmainās līdz ar audzes vainagu slēgumu. Par cik vainagu slēgums visai cieši korelē ar stumbru šķērslaukumu uz 1,0 ha ($r = 0,91 \dots 0,96$), tad $E \cdot ET^{-1}$ attiecību varam arī saistīt ar šķērslaukumu G , kā meža hidroloģijā pielietoto integrālo parametru.

Izmainoties G no 0 līdz 35 m^2 priežu mežos, $E \cdot ET^{-1}$ izmainās no 1,0 līdz 0,3. Tas nozīmē, ka priežu mežos ar $G = 35 \text{ m}^2$ evaporācija no zemvainagu klāja sastāda 30 % no summārās iztvaikošanas, transpirācija – 70 %. Funkcijas $E \cdot ET^{-1} = f(G)$ grafiskais attēls ir S-veida līkne. Līknes augšgalā pie $G = 0$ E ir 1,0, apakšējais gals asimptotiski tuvojas abscisu asij. Mums nav pieejami dati par $E \cdot ET^{-1}$ attiecībām audzēs kā ar nelieliem, tā arī ar lieliem šķērslaukumiem, un mēs nevaram pilnīgi aproksimēt funkciju $E \cdot ET^{-1} = f(G)$. Analītiski šī funkcija aproksimēta kā lineārās regresijas vienādojums :

priežu mežā	$E \cdot ET^{-1} = 1,00 - 0,020G$	pie $15 < G < 35$;
egļu mežā	$E \cdot ET^{-1} = 1,22 - 0,037G$	pie $15 < G < 30$;
bērzu mežā	$E \cdot ET^{-1} = 1,06 - 0,029G$	pie $15 < G < 33$.

Iztvaikošana no zemvainagu telpas

$$\text{priežu mežā } E_p = \frac{6(D+3)(50-G)}{D} \quad \text{pie } 15 < G < 35 \text{ un } 6 < D < 40;$$

$$\text{egļu mežā } E_E = \frac{11G(D-3)(33-G)}{D(G-6)} \quad \text{pie } 15 < G < 30 \text{ un } 4 < D < 30;$$

$$\text{bērzu mežā } E_B = \frac{18G(D-5)(37-G)}{D(G-2)} \quad \text{pie } 15 < G < 33 \text{ un } 8 < D < 38.$$

Attiecība $E \cdot ET^{-1}$ ir atkarīga arī no citiem faktoriem, kas raksturo analizētos audžu tipus, piemēram, dzīvās zemsedzes un pameža īpatsvara. Tāpēc E empīriskie vienādojumi dod atšķirīgus rezultātus arī pie vienādiem kokaudzes rādītājiem, piemēram, $D = 20 \text{ cm}$, $G = 20 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, $E_p = 207 \text{ mm}$, $E_E = 174 \text{ mm}$ un $E_B = 255 \text{ mm}$.

Summējot T un E regresijas vienādojumus, iegūstam pašu svarīgāko meža hidroloģisko parametru – evapotranspirāciju, kas atspoguļo kokaudžu struktūras īpatnības:

$$\text{priežu mežos } ET_p = \frac{300(D+3)}{D} \quad \text{pie } 15 < G < 35 \text{ un } 6 < D < 40;$$

$$\text{egļu mežā } ET_E = \frac{279G(D-3)}{D(G-6)} \quad \text{pie } 15 < G < 30 \text{ un } 4 < D < 30;$$

$$\text{bērzu mežā } ET_B = \frac{630G(D-5)}{D(G-2)} \quad \text{pie } 15 < G < 33 \text{ un } 8 < D < 38.$$

Salīdzināsim **T**, **E** un **ET** rādītājus dažādu sugu tīraudzēs pie vienādiem kokaudzes parametriem **D** = 20 cm, **G** = 20 m² ha⁻¹:

	T , mm	E , mm	ET , mm
priežu mežos	138	207	345
egļu mežos	187	174	361
bērzu mežos	270	255	525

Ja priežu un egļu mežos hidroloģiskie parametri ir samērā līdzīgi, tad bērzu mežos gan iztvaikošana, gan transpirācija un vēl jo vairāk evapotranspirācija būtiski atšķiras no skuju koku mežiem.

Evapotranspirācijas rādītāju noteikšanai mežaudzēs, iegūto datu ticamības novērtēšanai ir vairākas īpatnības:

1. evapotranspirāciju un tās sastāvdaļas – transpirāciju, arī evaporāciju no zemesdaļas – nevar tieši izmērīt. Šos rādītājus var aprēķināt no ūdens bilances, siltuma bilances, turbulentās difūzijas vai kompleksās metodes vienādojumiem kā nezināmos locekļus;
2. minēto rādītāju noskaidrošanai nav nevienas pilnīgi drošas metodes;
3. mērījumus nav iespējams atkārtot laikā vienā un tanī pašā audzē vienādos meteoroloģiskos apstākļos;
4. evapotranspirācijas skaitlisko rādītāju atšķirības ietekmē ļoti daudzi faktori, kas mainās gan laikā, gan teritoriāli;
5. mērījumi ir sarežģīti un dārgi; tie tiek organizēti nedaudz objektos, kuru savstarpējās atšķirības un šo atšķirību ietekmi uz evapotranspirācijas rādītājiem grūti novērtēt skaitliski;
6. palielinot objektu skaitu, pieaug arī objektu raksturojošo rādītāju daudzveidība un evapotranspirācijas vidējo vērtību precizitāte pieaug tikai nedaudz.

Saistībā ar kokaudzes struktūru aprēķinātie, meža ūdenssaimniecības modeļi izmantojami, lai novērtētu mūsu iecerētās kokaudzes struktūras atbilstību faktiskajiem augšanas apstākļiem. Piemēram, dots: meža tips – dumbrājs, nokrišņu vidējais daudzums veģetācijas periodā – 450 mm; lai mežs saglabātos, evapotranspirācijai **ET**_{min} jābūt vismaz 350 mm. Īscirtmeta plantācijai mēs plānojam izveidot biezu 4000 gab. ha⁻¹ egļu jaunaudzi, prognozējot, ka 10 m augstā kokaudzē pie vidējā caurmēra **D** = 10 cm audzes šķērslaukums **G** būs 30 m² ha⁻¹ un krāja aptuveni 200 m³ ha⁻¹.

Jāatbild: vai prognoze pareiza un iecere var piepildīties?

Šādā audzē transpirācija $T_E = 11 \cdot 30 \cdot 7 / 10 = 231$ (mm);

evaporācija $E_E = 11 \cdot 30 \cdot 7 \cdot 3 / (10 \cdot 24) = 29$ (mm) un

$ET_E = 297 \cdot 30 \cdot 7 / (10 \cdot 24) = 260$ (mm).

Kā redzams, tik biežā egļu audzē iztvaikošana no zemvainagu klāja E_E ir visai niecīga un summārā iztvaikošana $ET_E < 350$ mm.

Kas notiks ar mūsu egļu kultūru, lai meža ekosistēma varētu saglabāties? Atbildi uzzinām, atrisinot vienādojumu $ET = f(G, D) = 350$ mm.

$$350 = \frac{279G \cdot 7}{10(G - 6)} \rightarrow 1421G = 2100 \text{ un } G = 14,8 \approx 15 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}.$$

Aprēķini liecina, ka puse koku (2000 gab. ha⁻¹) no 4000 gab. ha⁻¹ no-beigsies, pirms kokaudze sasniegs 10 m augstumu. Audzes izretināšanās rezultātā ievērojami pieaugs iztvaikošana no zemvainagu telpas, sasniedzot 232 mm, un ET sasniegs nepieciešamos 350 mm, kaut arī transpirācija T samazināsies uz pusi.

Tāpat šie modeļi sniedz atbildi uz citiem jautājumiem. Piemēram – kāds ir maksimālais bērzu audzes šķērslaukums G un koku skaits gab. ha⁻¹ dumbrājā, ja $D = 10$ cm?

$$350 = \frac{630G \cdot 7}{10(G - 2)} \rightarrow 350G = 7000 \text{ un } G = 20 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1};$$

pie šādiem rādītājiem $N_{\max} = 2500$ gab. ha⁻¹.

Meliorētajos nogabalos, kur aerācija ir pietiekoša, un kokaudzes struktūras izmaiņas nav meža ekosistēmas izdzīvošanas līdzeklis, iespējama arī iecerētās egļu kokaudzes ($D = 10$ cm; $G = 30 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) saglabāšanās, jo pie 450 mm ūdens pieplūde pa nosusināšanas grāvjiem kūdreņos aiztek ap-tuveni 200 mm ūdens veģetācijas periodā.

Šie aprēķini parāda, ka pārmitros un nemeliorētos mežos nav iespējams izaudzēt pilnas biežības egļu tīraudzēs. Koku atmiršana turpināsies arī pēc 10 m augstuma sasniegšanas, un egļu dumbrāja audzē cērtamā vecumā visticamāk būs $D = 25$ cm, $G = 24 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ar koku skaitu $N = 500$ gab. ha⁻¹ un krāju $V = 230 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Turpretī nosusinātā dumbrājā, tātad platlapju kūdrenī K_p koksnes mērķa krāja ir $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Tādējādi atkārtoti pierādās, ka meža hidrotehniskā meliorācija ir svarīgākais priekšnoteikums augšņu potenciālās auglības mērķtiecīgai izmantošanai un augstražīgu mežu izaudzēšanai.

Pārmērīgi liels ūdens pieplūdums un pārlietu augstais augsnes samitrinājums nav pārmitro mežu zemas produktivitātes faktiskais

cēlonis. Tāpat kokaudzes paaugstināta ražība nav noteces palielināšanās tiešas sekas un otrādi – noteces samazināšanās grāvjos neizraisa ražības pazemināšanos. Hidrotehniskās meliorācijas pamatu pamats ir augsnes aerācijas uzlabošana un tai sekojoša augsnes aktivizēšanās. Šis process sākas vienlaicīgi ar grāvju ierīkošanu.

Pāris desmit gados pēc nosusināšanas, kamēr mežos saglabājas grāvju aktivizētā augsnes gruntsūdeņu plūsma, izveidojas cits labi aerēts augsnes virsslānis. Augsnes aerācijas pētījumi un agroķīmisko īpašību salīdzinoša novērtēšana meliorētajos un nemeliorētajos mežos ir viena no nozīmīgākajām problēmām, kuras izpēte var būtiski palielināt zināšanas par meža hidrotehniskās meliorācijas ekoloģisko lomu un augsnes drenētību kā vienu no izšķirošiem priekšnoteikumiem augstražīgu mežu izveidošanā un saglabāšanā.

Mūsu rīcībā ir divi modeļi hidroloģisko parametru aprēķināšanai mežos. Viens modelis paredzēts evapotranspirācijas aprēķināšanai saistībā ar meža masīva ūdens bilanci: $ET_{\text{ū.b.}} = N + P - Q$, kur N – nokrišņi, P – pieplūde no pieguļošajām platībām un pazemes ūdeņu izplūde, Q – notece pa grāvjiem. Otrajā evapotranspirācijas modelī kā neatkarīgie mainīgie izmantoti kokaudzes parametri: $ET_{\text{str}} = T + E + I$, kur T – transpirācija, E – evaporācija, I – intercepcija.

Ilgstošie pastāvīgie novērojumi Vesetnieku meža ekoloģijas stacionārā nodrošina iespēju no ūdens bilances vienādojumiem izskaitļot ikgadējas $ET_{\text{ū.b.}}$ vērtības 5 noteces baseiniem laika posmā no 1968. gada līdz 1994. gadam. Šīs ET vērtības ir piemērotas, lai pārbaudītu to modeļu ticamību, kas izstrādāti saistībā ar kokaudzes parametriem.

Modeļu pārbaudei izmantoti ūdens bilances $ET_{\text{ū.b.}}$ veģētācijas periodā – no 1. maija līdz 31. oktobrim – vidējie rādītāji pēdējos 10 gados. Laika periods izvēlēts, balstoties uz šādiem priekšnosacījumiem:

1. kokaudzes struktūra veidojas atbilstoši ilglaicīgiem vidējiem mitruma apstākļiem augsnē;
2. kokaudzes struktūra nemainās – to neiespaido meteoroloģisko apstākļu izraisītas ikgadējās augsnes mitruma svārstības.

1995. gada vasarā ikvienā no baseiniem izmērīti T , E , ET modeļiem nepieciešamie kokaudzes parametri nejauši izvēlētos stāvpunktos, kuru skaits svārstījās robežās no 19 līdz 31, atbilstoši baseina kopplatībai. Katram stāvpunktam izskaitļoti T , E un ET rādītāji, no kuriem aprēķināti baseina vidējie rādītāji (46.–48. tabula).

46. tabula

Transpirācijas **T** vērtību (mm) statistiskie rādītāji baseinos
saistībā ar kokaudžu struktūru

Statistiskie rādītāji	Baseini				
	1.	2.	3.	4.	5.
Vidējais aritmētiskais	189	168	244	210	255
Standartnovirze	41	40	61	61	64
Mīnīmālā vērtība	117	120	159	112	143
Maksimālā vērtība	275	299	345	334	367

47. tabula

Evaporācijas **E** vērtību (mm) statistiskie rādītāji baseinos saistībā ar
kokaudžu struktūru

Statistiskie rādītāji	Baseini				
	1.	2.	3.	4.	5.
Vidējais aritmētiskais	225	228	148	164	149
Standartnovirze	51	48	58	67	68
Mīnīmālā vērtība	132	119	53	70	53
Maksimālā vērtība	292	300	247	354	318

48. tabula

Evapotranspirācijas **ET** vērtību (mm) statistiskie rādītāji baseinos
saistībā ar kokaudžu struktūru

Statistiskie rādītāji	Baseini				
	1.	2.	3.	4.	5.
Vidējais aritmētiskais	414	396	392	374	404
Standartnovirze	59	56	60	43	58
Mīnīmālā vērtība	301	321	251	314	291
Maksimālā vērtība	505	524	496	529	512

Iegūtie dati liecina par visai lielām vērtību svārstībām ikvienā baseinā. Ja **T** minimālās vērtības ir apmēram 2,5 reizes mazākas nekā maksimālās vērtības (variāciju koeficients $V = 25 \%$), tad **E** minimālās vērtības ir 3,5 reizes mazākas nekā maksimālās ($V = 34 \%$). Vismazākās **E** vērtības ir pilnas biežības egļu audzēs, kā arī kokaudzēs ar blīvu egļu otro stāvu vai spēcīgu paaugu. Baseinu sastāvu ietekmē tas, ka vislielākā transpirācija un evaporācija ir bērzu tīraudzēs. Attiecība starp **ET** minimālajam un maksimālajām vērtībām nepārsniedz 2 reizes ($V = 14 \%$).

Svarīgi atzīmēt, ka transpirācija **T** šajos modeļos iekļauta kā fizioloģisks process atbilstoši noformulētajām transpirācijas konstantēm. Taču līdztekus transpirācijai mežā norisinās arī fizikāla iztvaikošana no lapu virsmas lietus un pēclietus laikā. Bieži vien visas lapas (skujas) nav pilnīgi samitrinātas, un daļa lapu transpirē ūdeni arī tad, kad samitrinātās lapas uz laiku nepiedalās transpirācijā. Tāpēc viens no modeļu un aprēķināto lielumu ticamības rādītājiem ir nosacījuma realizācija: $ET_{ū.b.} > ET_{str.}$.

Salīdzinot savā starpā **ET** rādītājus, kas izskaitļoti no ūdens bilances vienādojuma un aprēķināti saistībā ar kokaudžu struktūru, apstiprinās minētais nosacījums:

Baseini	1.	2.	3.	4.	5.
$ET_{ū.bil.}$ (mm)	508	481	464	455	476
$ET_{str.}$ (mm)	414	396	392	374	404

Modeļu ticamības tālākā pārbaudē jāiekļauj intercepcijas (**I**) rādītāji. Intercepcija, kā koku vainagos aizturētais lietus ūdens daudzums, pilnīgi iekļaujas **ET**, daļēji ierobežojot **T**.

Analizētajā periodā 10 gados Vesetnieku stacionārā vienā vasarā vidēji bijušas 56 lietus dienas, un vienas dienas laikā vidēji nolijuši 8,5 mm nokrišņu. Tas ir apmēram 70 % no nokrišņu daudzuma, kas samitrina visas lapas (skujas) un uz laiku pārtrauc transpirāciju. Tāpēc **ET** modelis saistībā ar kokaudzes struktūru izsakāms šādi:

$$ET_{str} = T_1 + T_2 + E + I,$$

kur T_1 – transpirācija lietus dienās (mūsu gadījumā – 56 dienas); T_2 – transpirācija bezlietus dienās (mūsu gadījumā – 128 dienas). Atbilstoši datiem transpirāciju **T** saistībā ar kokaudzes struktūru un lietus dienu skaitu raksturo šādi lielumi (mm):

Baseini	1.	2.	3.	4.	5.
$T_{\text{vienā dienā}}$	1,03	0,91	1,33	1,14	1,39
T_1	18	15	23	19	24
T_2	132	116	170	146	178
$T_{184 \text{ dienās}}$	150	131	193	165	202

Intercepcijas (**I**) lielumi iegūti tiešu mērījumu rezultātā un baseinos svārstās samērā nelielās robežās (122–132 mm).

Pēc izmērītajiem un aprēķinātajiem lielumiem varam izskaitļot ET_{str} un salīdzināt to ar $ET_{\text{ū.d.bil.}}$

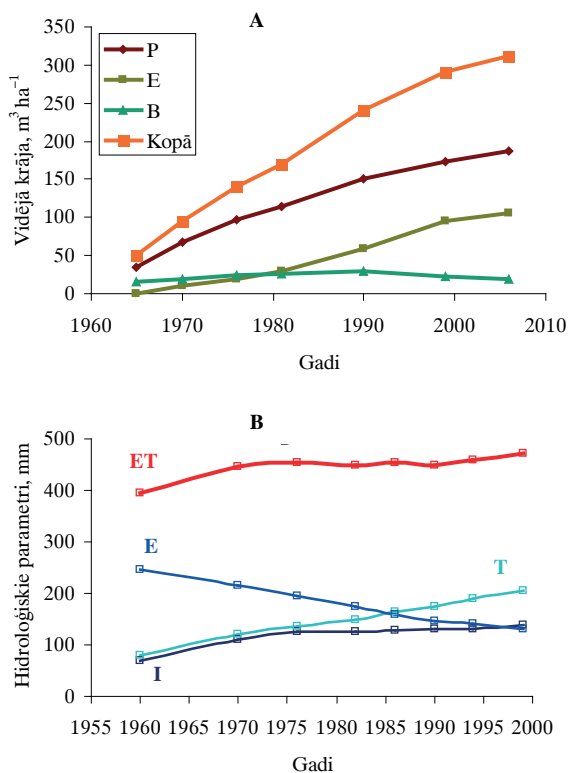
Baseini	1.	2.	3.	4.	5.
$T_{184 \text{ dienās}}$	150	131	193	165	202
E	225	228	148	164	149
I	125	122	128	124	132
ET_{str}	500	481	469	453	483
$ET_{\text{ū.d.bil.}}$	508	481	464	455	476

Gandrīz pilnīga summārās iztvaikošanas (**ET**) vērtību sakrišana liecina par abu modeļu ticamību. Tas ļauj aprēķināt atsevišķu kokaudzju hidroloģiskos parametrus atbilstoši ikvienas kokaudzes pašreizējai struktūrai, kā arī prognozēt šo īpašību izmaiņas, mainoties kokaudzju struktūrai.

Viens no nosusināto mežu fenomeniem ir augstražīgu kokaudzju saglabāšanās neatkarīgi no grāvju darbīgā dziļuma pakāpeniskas samazināšanās laika gaitā. Šinī sakarā loģiska šķiet hipotēze, ka augstražīgi meži vairāk iztvaiko, un tādējādi tiek kompensēta noteces samazināšanās deformētajos grāvjos.

Hipotēzes pārbaudei izmantoti mūsu hidroloģisko parametru modeļi un Vesetnieku stacionārā ierīkoto 30 pastāvīgo parauglaukumu atkārtotas uzmērīšanas dati. Daļa parauglaukumu priežu audzēs ierīkoti 1963. gadā, daļa – 1970. gadā. Vidēji visos parauglaukumos kokaudzes krāja pēc nosusināšanas izmainījusies no 40 līdz 312 m³ ha⁻¹ (49. attēls).

Hidroloģisko norišu modeļi paredz, ka **T**, **E** un **ET** mainās līdz ar kokaudzes parametru izmaiņām. Modeļu struktūra nosaka, ka evapotranspirācija kokaudzē palielinās saistībā ar priedes stumbra caurmēra



49. attēls. Koksnes krājas (A) un hidroloģisko parametru (B) izmaiņas priežu parauglaukumos.

palielināšanos, kā arī bērza piemistrojuma pieaugumu, bet samazinās – līdz ar egles piemistrojuma palielināšanos.

Evapotranspirācijā pilnībā iekļaujas arī intercepcija, kas lietainās dienās daļēji ierobežo transpirāciju. Par lietainu dienu uzskatīta tāda diena, kad nolijis vismaz 1 mm nokrišņu. Vasarās, pēdējo 28 gadu laikā, Vesetnieku stacionārā lietus dienu skaits svārstījies no 30 (1975.) līdz 79 (1974.). Summējot vidējās svērtās E un T vērtības visos 30 parauglaukumos, pie kam T reducēts atbilstoši modeļa noteikumiem par lietus dienām, iegūtas šādas hidroloģisko parametru vērtības (mm) pa gadiem:

	1960.g.	1970.g.	1976.g.	1981.g.	1986.g.	1990.g.	1994.g.	1999.g.	2006.g.
T	80	120	135	150	165	175	190	205	215
E	245	215	195	175	160	145	140	130	120
I	70	110	125	125	128	130	130	138	143
ET	395	445	455	450	453	450	460	473	478

Par 1960. gada (nosusināšanas gads) hidroloģiskajiem parametriem uzrādītas **T**, **E**, **I** skaitliskās vērtības, kas iegūtas nosusinātā pārejas purvā Vesetnieku stacionāra tuvumā, kur kokaudzes struktūra visu laiku saglabājusies līdzīga tai, kāda tā bijusi 1960. gadā.

Priežu krāja turpina pakāpeniski pieaugt, neraugoties uz to, ka 7 no 30 parauglaukumiem tā nedaudz samazinās, atmirstot ar sakņu piepi bojātiem kokiem. Audžu kopkrājas pieaugums saistās ar egļu pastiprinātu ieviešanos un to augsto ražību. Bērzu krāja 35 gadu laikā nav būtiski mainījusies, un laika gaitā tā svārstījusies 19–30 m³ ha⁻¹ robežās.

Visi parauglaukumi nosacīti sagrupēti 3 daļās atbilstoši priedes īpatsvaram kokaudzes sastāvā 1970. gadā. 1. grupā – priedes sākotnējā līdzdalība audzes sastāvā mazāka vai vienāda ar 50 % (6 parauglaukumi); 2. grupā – priedes līdzdalība 60–80 % (18 parauglaukumi); 3. grupa – priedes sākotnējā līdzdalība audzes sastāvā vairāk par 80 % – priežu tīraudzes (6 parauglaukumi).

Pirmajā grupā 36 gadu laikā priedes īpatsvars kokaudzes sastāvā samazinājies nedaudz (no 49 % līdz 44 %), toties egles īpatsvars pieaudzis par 32 % (no 15 % līdz 47 %); bērza īpatsvars samazinājies par 26 % (no 35 % līdz 9 %), vienlaikus samazinoties arī bērza krājai – no 36 m³ ha⁻¹ līdz 27 m³ ha⁻¹.

49. tabula

Sugu sastāva un krājas izmaiņas parauglaukumos

Grupa	1970.	1981	1990.	1999.	2006.
1.	49P15E35B 103 m ³	48P30E22B 173 m ³	47P35E18B 233 m ³	44P44E12B 283 m ³	44P47E9B 295 m ³
2.	72P8E20B 95 m ³	65P18E17B 176 m ³	59P27E14B 244 m ³	57P35E8B 298 m ³	57P36E7B 323 m ³
3.	95P5B 82 m ³	92P4E4B 149 m ³	89P7E4B 233 m ³	82P16E2B 277 m ³	81P17E2B 297 m ³

Otrajā grupā priedes īpatsvars samazinājies par 15 % (no 72 % līdz 57 %), krājai pieaugot no 68 m³ ha⁻¹ līdz 186 m³ ha⁻¹. Egles krājas īpatsvars pieaudzis par 28 %, tās krājai palielinoties no 8 m³ ha⁻¹ līdz 116 m³ ha⁻¹. Bērza īpatsvars sarucis no 20 % līdz 7 %, tā krājai mainoties nedaudz – no 19 m³ ha⁻¹ līdz 22 m³ ha⁻¹.

Trešajā (priežu tīraudžu) grupā priedes īpatsvars samazinājies par 14 %, krājai pieaugot no 78 m³ ha⁻¹ līdz 242 m³ ha⁻¹. Šajā grupā egle parādījās tikai 1981. gada mērījumos, un arī patlaban tās krāja ir samērā neliela – 48 m³ ha⁻¹. Bērza nelielā krāja saglabājusies aptuveni nemainīga visus gadus – 7 m³ ha⁻¹.

Pirmās grupas kokaudžu krāja pēdējo 36 gadu laikā pieaugusi par 286 %, otrās grupas – par 340 % un trešās grupas kokaudžu krāja – par 362 %. Kaut arī 2006. gadā visu grupu vidējās krājas ir aptuveni līdzīgas, meliorācijas vislielākais efekts izpaužas tieši priežu tīraudzēs. Mežsaimnieciskajā aspektā tas norāda, ka vienlaikus ar grāvju rakšanu lietderīgi izcirst visus bērzus – bērzs uz nosusināšanu reaģē ļoti vāji, taču viņa klātbūtne kavē priedes un, galvenokārt, egles augšanu atbilstoši uzlabotajiem augšanas apstākļiem.

Iezīmējas šāda likumsakarība - priežu audzes fizioloģiskās transpirācijas un fizikālās iztvaikošanas summa saglabājusies nemainīga, jo **E** samazinās līdzīgi, kā palielinās **T** (48. attēls). Pirmajos 16 gados pēc nosusināšanas palielinājusies intercepcija par apmēram 60 mm (no 70 mm līdz 130 mm), kas izraisījusi **ET** pieaugumu no 395 mm (1960. g.) līdz 455 mm (pēdējos 25 gados).

Svarīga ir atziņa, ka priežu audžu vidējās krājas izmaiņas no 100 m³ ha⁻¹ (1970. g.) līdz 293 m³ ha⁻¹ (1999. g.), t.i., palielināšanās gandrīz trīskārt, tikpat kā nav izraisījusi **ET** palielināšanos. Arī samērā mazražīga kokaudze spēj adaptēties nelabvēlīgiem, t.i., atšķirīgiem no daudzgadu vidējiem meteoroloģiskajiem apstākļiem, neizmainot savu struktūru. Un otrādi, kokaudzes struktūras izmaiņas ne vienmēr korelē ar **ET** izmaiņām.

11. MEŽAUDŽU HIDROLOĢISKIE PARAMETRI KĀ METEOAPSTĀKĻU FUNKCIJAS

Kokaudzes struktūrā (audzes sastāvs, biežība, bonitāte) atspoguļojas augšanas apstākļu un klimatisko faktoru īpatnības. Taču kokaudzes struktūra neveidojas un nevar veidoties (mainīties) saistībā ar meteoroloģiskajiem apstākļiem, kas krasi svārstās pa gadiem. Transpirācijas analīzes sakarā tika pieņemts, ka kokaudzes struktūrā atspoguļojas 10-gadīgi vidējie meteoapstākļu rādītāji.

Tādējādi mūsu rīcībā ir:

1. No ūdens bilances vienādojuma 35 gadus aprēķinātie ikgadējie **ET** lielumi 5 meža masīvos: $ET_{\text{ūd.bil.}} = N + P_p + P + \Delta W - Q$.
2. Saistībā ar mežaudzes struktūru 1994. gadā aprēķinātie evaporācijas (**E**), transpirācijas (**T**) un evapotranspirācijas (**ET_{str.}**) lielumi tajos pašos 5 meža masīvos.
3. 35 gadus mērītie intercepcijas (**I**), kā arī augsnē nonākušo nokrišņu (**N_a**), daudzumi atšķirīgas struktūras 10 mežaudzēs un vidēji ikvienā no 5 meža masīviem.
4. Saistībā ar meteoroloģiskajiem datiem aprēķinātie iztvaikošanas apjomi no vaļējas ūdens krātuves (**E₀**).

35 gadus veikti nepārtraukti ūdens bilances elementu mērījumi; šajā laikā kokaudžu krāja objektos palielinājusies trīskārt no $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ līdz $312 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Novērojumu gaitā $ET_{\text{ūd.bil.}}$ vērtības svārstījušās ļoti plašās robežās – no 320 mm (1975.) līdz 620 mm (1980.). Pārbaudot hipotēzi, ka līdz ar krājas izmaiņām signifikanti palielinājusies arī mežaudzes **ET**, aprēķināti korelācijas koeficienti starp kokaudzes krāju **V** un **ET**, kā arī starp **V** un $m = ET : N$. Aprēķinu rezultāti apliecinājuši izvirzītās hipotēzes

aplamību: krājas radītāji (**V**) nekorelē ne ar **ET**, ne ar **m**; $r_{V,ET} = +0,01$ un $r_{V,m} = -0,14$ pie $r_{0,05} = 0,40$.

Evapotranspirācijas un nokrišņu attiecība, ko parasti izmanto mežu pārpurvošanas pamatojumam, krasi atšķiras pat divos blakus gados: 1974. g. **m** = 0,81 un 1975. g. **m** = 1,89. Tas liecina, ka pie vienas un tās pašas kokaudzes struktūras 1975. gada sausajā vasarā (**N** = 169 mm) mežs iztvaikojis krietni vairāk (**ET** = 320 mm) ūdens nekā šajā pašā laikā no gaisa nolijis ar nokrišņiem. Tā rezultātā izsīka ūdens krājumi augsnē un grunts augšējā slānī. Taču lietainajā 1974. gada vasarā (**N** = 574 mm) **ET** = 464 mm, un abi šie gadi norāda, ka evapotranspirācija mežā lielā mērā ir nokrišņu funkcija. To apliecina visai ciešais korelācijas koeficients starp **N** un **ET** laikā 01.05.–31.10.: $r = +0,91$. Šī sakarība atbilst arī loģiskajam kritērijam: mežs kā pašregulējoša (kibernētiska) sistēma spēj adaptēties meteoroloģisko apstākļu svārstībām. Uz to norāda arī signifikanta negatīva korelācija ($r = -0,49$) starp **ET** mežā un **E₀** – iztvaikošanu no klajas ūdens virsmas. Karstās, sausās un vējainās vasarās, kad potenciālā iztvaikošana (**E₀**) ir visaugstākā, mežs ierobežo iztvaikošanu, krasi samazinot ūdens transpirāciju.

Lai novērtētu transpirācijas kā negatīvas atgriezeniskas saites lomu kokaudzei labvēlīga augsnes mitruma režīma (aerācijas) nodrošināšanā, izmantoti abi iepriekš minētie evapotranspirācijas modeļi.



Transpirācijas un evaporācijas aprēķiniem nepieciešamie kokaudzū parametri Vesetnieku stacionārā sateces baseinos ievākti 1975. un 1995. gados 107 nejauši izvēlētos punktos. Ikvienā punktā aprēķināti **T**, **E**, **ET** rādītāji, no kuriem izskaitļotas mežaudžu vidējās vērtības.

Novērojumu rezultāti mežā, kā arī no meteorodatiem aprēķinātie rādītāji sagrupēti pa gadiem 8 grupās atbilstoši nokrišņu daudzumam (**N**) veģetācijas periodā; 1. grupa: **N** = 150–300 mm (vid. 210 mm); 2. grupa: **N** = 301–350 mm (vid. 328 mm) ... (50. tabula). Ikvienā grupā ietilpst dati par vairākiem gadiem, pie kam nereti vienā grupā nonāk dati, kuriem ir vairāk nekā 20 gadu atstarpe.

50. tabula

Hidroloģiskie parametri saistībā ar nokrišņu daudzumu veģetācijas periodā

Nr. p. k.	Nokrišņi vasarā, (N), mm	Gadi	Faktiskie nokrišņi (vidējie), mm	Lietus dienu skaits (LD)	Iztvai-košana no ūdens (E ₀), mm		Intercepcija, (I), mm	Evapotranspirācija no ūd. bilances (ET _{ū.b.})	Augsnē nonāk. nokr. (N _e), mm	Evaporācija mežā (E _{ak}), mm	Transpirācija (T _{str}), mm	T _{fakt} = ET _{ū.b.} - I - E _{fakt} , mm	x = T _{fakt} • T _{str} ⁻¹	T _{fakt} - T _{str}
					fakt.	relat. (y)								
1.	150–300	1975. 1976.	210	35	464	1,11	73	350	137	203	185	74	0,40	-111
2.	301–350	1982. 1992.	328	44	415	0,99	101	393	227	181	177	111	0,63	-66
3.	351–400	1970. 1971. 1979. 1983.	390	51	452	1,08	118	430	272	198	172	114	0,66	-58
4.	401–450	1969. 1989. 1991.	416	53	433	1,03	115	446	301	188	171	143	0,84	-28
5.	451–500	1972. 1973. 1981. 1986. 1993.	481	58	418	1,00	124	470	357	183	166	163	0,98	-3
6.	501–550	1968. 1977. 1978. 1987. 1988. 1990.	526	60	382	0,91	135	537	391	166	165	236	1,43	+71
7.	551–600	1984. 1985.	562	75	397	0,95	187	534	375	174	152	173	1,14	+21
8.	600+	1974. 1980	633	71	394	0,94	183	541	450	172	156	186	1,19	+30

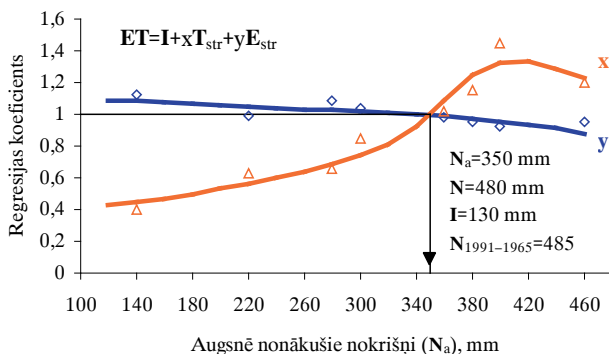
Analīzes pamatā ir evapotraspirācijas vienādojums:

$ET_{\dot{u}.b.} = I + xT_{str} + yE_{str}$, kur $ET_{\dot{u}.b.}$ – no ūdens bilances vienādojuma izskaitļotās ET vērtības, I – intercepcija (izmērīta), T_{str} – transpirācija, kas izskaitļota no vienādojumiem, kuros par argumentiem izmantoti kokaudzes struktūru raksturojošie elementi. Iegūtie T_{str} lielumi koriģēti ar lietus dienu skaitu veģetācijas periodā ikvienā no 8 grupām: $T_{str} = T_1 + T_2$, kur T_1 – transpirācija bezlietus dienās un T_2 – transpirācija lietus dienās: $T_2 = 0,3T_1 \cdot LD$, pie kam LD – lietus dienu skaits. Mūsu gadījumā $35 < LD < 75$ un $152 < T_{str} < 185$ (mm). Kā redzams, saistībā ar audzes struktūru aprēķinātie un ar lietus dienu skaitu koriģētie transpirācijas lielumi svārstās samērā šaurās robežās, kaut arī nokrišņu apjoma svārstību robežas ir plašas $210 < N < 635$ mm. Kā jau noformulēts iepriekš, kokaudzes struktūra atbilst visbiežāk sastopamajiem augsnes mitruma apstākļiem un saglabājas nemainīga arī tad, ja divās blakus esošu gadu vasarās nokrišņu starpība pārsniedz 400 mm: 1974. g. – 574 mm, 1975. g. – 169 mm un 1980. g. – 692 mm. Izšķiroša ir hipotētiskā un līdz šim skaitliski nezināmā koeficienta x loma, kas raksturo attiecību $x = T_{fakt} : T_{str}$ un ilustrē mežaudzes pašregulēšanās spējas.

Nākošais ūdens bilances elements E – evaporācija no zemvainagu telpas – izskaitļots no vienādojumiem, kuros par argumentiem izmantoti kokaudžu taksācijas elementi. Iegūtie dati koriģēti ar normēto E_0 lielumu y (50. tabula). Pieņemts, ka E katrā no izveidotajām 8 grupām svārstās proporcionāli E_0 svārstībām un $E_{fakt} = E_{str} \cdot y$, t.i., $y = 1,0$ pie $451 < N < 500$ mm, kad $E_0 = 418$ mm. Koeficienta y vērtības lielākas ir sausās, bet mazākas lietainās vasarās. Tātad lietainās vasarās, kad mazāk ūdens iztvaiko no vaļējas ūdenskrātuves, mazāka iztvaikošana vērojama arī no zemvainagu telpas.

Ikvienā no 8 grupām izskaitļots $T_{fakt} = ET_{\dot{u}.b.} - I - E_{fakt}$ un 27 gadu laikā $74 < T_{fakt} < 236$ (mm); kokaudžu transpirācijas pašregulācijas koeficients x svārstās plašās robežās no 0,40 līdz 1,43.

Koeficienta x vērtības raksturo, cik reizes faktiskā transpirācija ikvienā no 8 grupām atšķiras no transpirācijas, kas izskaitļota no T_{str} vienādojuma. Ekstrēmi sausajās vasarās (1975., 1976.) kokaudžu transpirācija ir vismaz divas reizes mazāka nekā normāli mitrās vasarās ar 480 mm nokrišņu, kad augsnē nonāk 350 mm un $x, y \approx 1,0$. Nokrišņu daudzumam palielinoties, transpirācija pieaug ļoti strauji un sasniedz savu maksimālo lielumu ($x \approx 1,3$) pie $N = 530$ mm, kad augsnē nokrišņu veidā nonāk 400 mm ūdens (50. attēls).



50. attēls. Transpirācijas (*T*) un evaporācijas (*E*) regresijas koeficientu *x*, *y* vērtības atkarībā no augsnē nonākušo nokrišņu daudzuma laikā 01.05.–31.10.

Pie vēl lielāka augsnes samitrinājuma transpirācijas intensitāte sāk samazināties, tomēr arī ekstrēmi lietainās 1974. g. un 1980. g. vasarās koeficients $x > 1,0$.

Atziņa par transpirācijas nosacīto samazināšanos pārmitros apstākļos sakrīt ar to pētījumu rezultātiem, kas iegūti, izsekojot *ET* diennakts svārstībām. Gruntsūdens līmenim tuvojoties augsnes virskārtai tuvāk par 40 cm, daļa sakņu applūst un *ET* samazinās. Visintensīvākā *ET* ir pie gruntsūdens līmeņa $H \approx 60$ cm.

Aprēķinu rezultāti vēlreiz apliecina mežaudžu izcilās spējas adaptēties ļoti atšķirīgiem augsnes mitruma apstākļiem, kas mainās gadu no gada, vai arī vienas sezonas ietvaros. Nokrišņu izraisīto augsnes pārmitrinājumu, ko vēl papildina pieplūstošie ūdeņi, kokaudze, pastiprinot transpirāciju, noregulē sev labvēlīgā līmenī. Nozīmīgākais priekšnoteikums ir augsnes aerācija, kas uzlabojas vienlaicīgi ar grāvju izrakšanu un ir saglabājama, palielinot augsnes porozitāti, ka arī nepieļaujot stāvošu ūdeņu uzkrāšanos.

Kaut arī lietainās vasarās transpirācija ir trīskārt lielāka nekā sausās vasaras, un transpirācijas apjoms cieši korelē ($r = +0,93$) ar evapotranspirācijas apjomu, nepastāv signifikanta sakarība starp evapotranspirācijas un koksnes ikgadējā pieauguma rādītājiem ($r = +0,08$). Koksnes pieaugums ir daudzkārt stabilāks nekā transpirācijas rādītāji un visticamāk, ka tie abi meža ekosistēmas izdzīvošanas procesos vērtējami kā atšķirīgi un savstarpēji nesaistīti rādītāji.

12. PRIEDES UN EGLES FENOLOĢIJA KŪDREŅOS

Pagājušā gadsimta pirmajā pusē meža speciālistu vidū bija pazīstama gadskārtu pārsteidzoša paplašināšanās grāvju tuvumā, taču par pašu procesu valdīja pavisam pieņemams – grāvju tuvumā pavasarī ātrāk pazeminās gruntsūdens līmenis un rudenī tas vēlāk paaugstinās. Tāpat skaidrojums bija – ilgāks augšanas periods meliorētajās platībās. Tikai ap gadsimta vidu parādījās pirmie pētījumi par pieauguma veidošanos veģetācijas periodā pārmitrajos un meliorētajos mežos [147, 168, 205]. Iegūtos rezultātus varēja salīdzināt ar citu autoru datiem, kuri veica eksperimentus sausieņu mežos. Autoru iegūtās atziņas bija pretrunīgas.

Vairums autoru uzskatīja, ka priedes un egles pieauguma sākums pavasarī ir atkarīgs no gaisa temperatūras. Gaisa temperatūras nenoliedzamā ietekme ir pamudinājusi pētniekus meklēt funkcionālas sakarības starp gaisa pozitīvo temperatūru summā un koka sezonas attīstības gaitu [4, 169, 230, 241]. Secinājumi nebija veiksmīgi, jo netika ievērota saules radiācija, kas var ierosināt sulu kustību arī pie negatīvas gaisa temperatūras. Arī vējš, kas pat spēcīgas radiācijas gadījumā neļauj siko zaru un pumpuru temperatūrai pacelties augstāk par gaisa temperatūru. Atšķirības starp koku un gaisa temperatūru bieži vien pārsniedz 10 grādus.

Dažādu koka daļu sezonas pieaugums kulminē atšķirīgos laikos. Vispirms atdzīvojas skujujas, tad kulminē augstuma pieaugums. Kad augstuma veidošanās gaita tuvojas beigām, caurmēra pieaugums kļūst intensīvāks un savu kulmināciju sasniedz apmēram mēnesi pēc augstuma pieauguma kulminācijas. Sakņu pieaugums parasti kulminē pēc caurmēra pieauguma kulminācijas. Pieaugumu secība šķiet loģiska, jo pēc aukstām ziemām, kad pavasaros atkūst kūdras augsnēs, augstuma pieaugums jau ir beidzies.

Veicot eksperimentālos pētījumus dabiskos meža apstākļos, iegūtie rezultāti nereti izraisa nepieciešamību koriģēt jau par klasiku pieņemtos uzskatus. Mežsaimnieciskajā literatūrā attiecībā uz koksnes pieaugumu augsnes sasalums tiek vērtēts negatīvi. Spilgts piemērs [27] tam ir Somijā O. Huikari (1961) veiktie pētījumi par augsnes sasaluma ietekmi uz koksnes pieaugumu. Autors analizē priedes, egles un bērza caurmēra pieauguma veidošanās gaitu kūdreņu meža tipos. Pārsedzot noteiktā parauglaukuma daļā sniega kārtu ar meža pakaišiem, augsnes atkušana pavasarī aizkavējas vidēji par trīs nedēļām, salīdzinot ar nepiesegto parauglaukuma daļu. Koku stumbra caurmēra palielināšanās sākās vienlaicīgi kā piesegtajā, tā nepiesegtajā daļā. Negaidīti, ka caurmēra pieaugums piesegtajā daļā, kur augsne atkusa vēlāk, ir ievērojami lielāks kā kontroles koku pieaugums.

Ļoti pretrunīgas ir atziņas par pieauguma veidošanās ilgumu un augšanas perioda ietekmi uz ikgadējā pieauguma apjomu. Pastāv uzskats [60], ka ikvienai koku sugai ir viens raksturīgs augšanas ilgums. Augšanas sākums un beigas ir atkarīgas no klimatiskajiem apstākļiem. Meža hidromeliorators G. Pjateckis [206] atzīmē, ka pārmitrajās minerālaugsnēs ar atšķirīgu pārpurvošanās pakāpi egļu augstuma pieaugums palielinās par 30–40 dienām. Ja augšanas ilgums pieaug divkārt, piemēram, no 40 dienām līdz 80 dienām [33], tad egles krājas pieaugums palielinās četrkārtīgi. Lietderīgi atzīmēt, ka meliorācijas ietekme uz pieauguma veidošanos dienakts režīmā pirms mums nebija pētīta, diemžēl pētījumi neturpinās arī pēdējo piecdesmit gadu laikā.

Koku pieauguma sezonas dinamikas sistemātiska analīze ir visai darbietilpīgs process. Lai iegūtais materiāls būtu maksimāli izmantojams un salīdzināms, pētījumu objekti izraudzīti pēc stingras sistēmas. Pētījumu raksturs nosaka, ka objektiem jābūt koncentrētiem relatīvi nelielā teritorijā. Tas līdz minimumam samazina ģeogrāfiski- klimatiskā faktora ietekmi, un, datus salīdzinot, ar šo faktoru var nerēķināties.

Priedes un egles pieauguma sezonas dinamikas un nosusināšanas intensitātes sakarību analīzei nepieciešamais pētījumu materiāls ievākts toreizējā Jēkabpils MRS Oškalna un Spārnu mežniecībās laikā no 1962. līdz 1965. gadam.

Pētījumu vietas izvēle pamatojas uz sekojošiem apsvērumiem:

1. Oškalna un Spārnu mežniecībās kūdreņi ir plaši pārstāvēti un aizņem lielas vielaidus platības;

2. nogabali nosusināti pirms 25–35 gadiem, un mežos jau tagad krasi izpaužas nosusināšanas efekts;
3. objektos iespējams atrast homogēnus nogabalus, kas nosusināti ar regulāru, bet retu grāvju tīklu. Šādos nogabalos grāvja tuvumā un vidū starp grāvjiem ir krasi atšķirīga nosusināšanas pakāpe.

Pavisam ierīkotas 11 parauglaukumu sērijas ar 50 parauglaukumiem, no tiem 23 – pieaugušās audzēs, bet 27 – jaunaudzēs.

Atsevišķa grāvja iedarbības rezultāti var būt visai nenoteikti, tādēļ pētījumi veikti nogabalos, kas nosusināti ar regulāru, pēc noteikta projekta ierīkotu nosusināšanas sistēmu. Darba mērķiem vislabāk atbilst objektu grupējums sērijās. Tas rada iespēju analizēt pieauguma dinamiku un nosusināšanas intensitātes sakarības apstākļos, kad pārējo klimatisko un edafisko faktoru iedarbība ir līdzīga. Nosusināšanas intensitātes ietekme uz priedes un egles augstuma un caurmēra sezonas pieaugumu salīdzināta pa parauglaukumiem. Parasti viena parauglaukumu sērija izvietota iespējami homogēnā audzē, t.i., tādā audzē, kur pirms nosusināšanas bijis iespējami vienāds sastāvs, vecums, vidējais augstums.

Vienas sērijas parauglaukumi izvietoti starp diviem nosusinātājiem tā, lai viena daļa parauglaukuma raksturotu grāvjiem pieguļošo, otra – vidū starp grāvjiem atrodošos, mazāk intensīvi nosusināto audzes joslu. Lai koku augšanas dinamiku un nosusināšanas intensitātes sakarības izpausos uzskatāmāk, nepieciešams, lai vienas sērijas robežās nosusināšanas intensitātes amplitūda būtu iespējami plašāka.

Jaunaudzēs koku dzīvīguma nozīmīgākais rādītājs ir augstuma pieaugums. Parauglaukumu izvietošana jaunaudzēs nodrošina arī iespēju tieši izmērīt koku galotnes dzinuma garumu. Pieaugušās audzēs koku dzinuma garumu tieši nevar izmērīt, un tāpēc augstuma pieauguma dinamika nav precīzi apzināta.

Caurmēra pieauguma sezonas dinamiku noteikšana saistās ar koksnes paraugu ņemšanu, tāpēc šim nolūkam izmantoti resnāki koki, un attiecīgās parauglaukumu sērijas izvietotas pieaugušās (90–130 gadus vecās) audzēs. Nosusināšanas laikā audžu vidējais vecums ir bijis 60–90 gadi. Šādā vecumā koki vēl samērā labi reaģē uz augsnes hidroloģisko apstākļu uzlabošanu. Jāpiezīmē, ka pieauguma sezonas dinamika pētīta parauglaukumos, kur valdošā suga ir priede vai egle.

Katrā parauglaukumā ierīkota gruntsūdens novērošanas aka, kurā analizēta gruntsūdens sezonas dinamika. Katrā parauglaukumā vismaz



10 vietās nivelēta zemes virsa un aprēķināts zemes virsas vidējais augstums. Iegūtais rezultāts izmantots gruntsūdens dziļuma koriģēšanai. Tādējādi var pieņemt, ka ar gruntsūdens līmeņa dziļumu novērošanas akā iespējams raksturot visa parauglaukuma vidējo gruntsūdens dziļumu.

Pieauguma sezonas dinamikas analīzei un fenoloģiskajiem novērojumiem katrā parauglaukumā izraudzīti 15 paraugkoki: pieaugušās audzēs pa 5 katrā no trim augstākajām augšanas (Krafta) klasēm, jaunaudzēs – visi 15 pēc augstuma iespējami tuvu audzes vidējam augstumam.

Fenoloģiskie novērojumi veikti laikā, kad norit priedes un egles jauno dzinumu un skuju veidošanās. Ik pēc 5–7 dienām atzīmēta katra paraugkoka fenoloģiskā fāze.

Fenoloģisko fāžu izdalīšanai pamatā izmantota [111] izstrādāta metodika. Izdalītas sekojošas fāzes:

1. ziemas miers **@**;
2. pumpuru uzbriešana **Θ** ar trim etapiem **Θ₁**, **Θ₂** un **Θ₃**;
3. pumpuru plaukšana **W** ar etapiem **W₁** un **W₂**;
4. skuju veidošanās **↑**;
5. vasaras veģetācija **X**.

Ziemas miera fāze @ raksturojas ar koka daļu ārējo nemainīgumu.

Abām sugām pumpuru uzbriešanas fāzes pirmajā etapā Θ_1 parādās pašas pirmās pumpurzvīņu pārbīdīšanās pazīmes. Sākas sveķainā apvalka sairšana. Jāpiezīmē, ka priedei šis etaps iestājas samērā agri (marta beigās jeb aprīļa sākumā), pirms sistemātisku fenoloģisko novērojumu sākšanas.

Otrajā šīs fāzes etapā Θ_2 novērojama pumpuru izmēru palielināšanās. Sevišķi spilgti tas izpaužas priedei. Ar šīs fāzes iestāšanos saistās priedes augstuma pieauguma sākums. Egles pumpuriem šinī etapā raksturīga samērā intensīva pumpurzvīņu pārbīdīšanās, kā rezultātā pumpuri kļūst ievērojami gaišāki. Eglei pumpuru izmērs izmainās nedaudz.

Trešajā etapā – Θ_3 priedes pumpuri sasnieguši ievērojamu garumu. Nepārtrauktais pumpurzvīņu klāsts sairst un nolobās. Kļūst redzamas jaunajam dzinumam cieši piekļāvušās jauno skujuņu makstis. Eglei šinī etapā pumpuru apvalks kļuvis tik plāns, ka apakšā vietām spīd cauri jauno skuju zaļums. Pumpura apvalks tomēr vēl pilnīgi nosedz apaļo, stipri uzbriedušo egles pumpuru.

Priedei pumpuru plaukšanas fāze W_1 sākas tad, kad cauri plēvainajai makstij izspraucas jauno skuju galiņi. Skuju galiņi vispirms parādās jaunā dzinuma apakšējā daļā. Eglei plaukšana sākas ar pumpura apvalka pārplīšanu. Apvalks pārplīst apakšējā daļā, un šeit parādās jaunās skujas. Otrajā šīs fāzes etapā W_2 egles pumpuri ir pilnīgi atbrīvojušies no pumpuru apvalka, un katra jauna dzinuma vietā saskatāms blīvs gaiši zaļu skuju kūlis.

Skuju veidošanās fāzē \uparrow norit enerģiska priedes dzinumu un skuju augšana garumā. Priedes jaunās skujas atliecas no dzinuma, un jaunais dzinums kļūst spurains. Ievērojama skuju daļa šinī fāzē tomēr vēl ir pārklāta ar skuju maksts plēvi. Eglei šinī laikā sākas intensīvs dzinumu pieaugums garumā, kā rezultātā jaunās skujas attālinās viena no otras un dzinums kļūst irdens. Skuju garuma palielināšanās nav izteikta tik krasi kā priedei. Egles vainags šinī laikā ir spilgti raibs: uz veco skuju fona izceļas jaunie dzinumi ar gaiši zaļām, vēl nenobriedušajām skujām.

Par vasaras veģetācijas fāzes X sākumu uzskatīts brīdis, kad priedes jaunās skujas vismaz par $\frac{3}{4}$ no sava garuma atbrīvojušās no plēvainā apvalka. Līdz šīs fāzes sākumam egles skujas ir nobriedušas, kļuvušas tumšākas un egles vainags kļuvis vienkrāsains.

Augstuma pieauguma sezonas dinamikas analīzei materiāls ievākts, regulāri ik pēc 5–6 dienām izmērot galotnes dzinuma garumu visiem jaun-

audzes paraugkociem. Mērījumu precizitāte – 0,1 cm. Koku dzinumu vidējais garums parauglaukumā aprēķināts kā vidējais aritmētiskais no 15 paraugkoku galotnes dzinumu mērījumiem.

Stumbra caurmēra pieauguma gaita raksturota, atkārtoti ņemot koksnes paraugus, kuros mikroskopiski analizēta pēdējā gadskārta. Šādu metodi lietojuši daudzi autori, un tā atzīta par precīzāko.

51. tabula

Analizēto koksnes paraugu daudzums

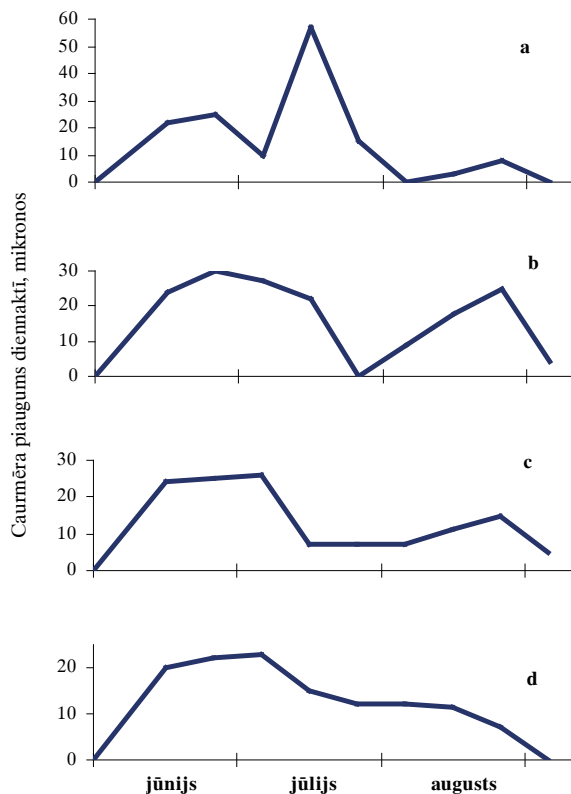
Meža tips	Parauglaukumu sērija	Analizēto paraugu skaits pa gadiem				
		1962.	1963.	1964.	1965.	Kopā
P – Km, Ks	I	1890	1680	1680	1120	6370
	VII	540	480	480		1500
	VIII	810	720	720		2250
	IX	540	480	480		1500
	Kopā	3780	3360	3360	1120	11620
E – Ks	III	810	720	720		2250
	IV	810	720	720		2250
	Kopā	1620	1440	1440		4500
P – Kv	II	810	720	720		2250
Pavisam kopā		9210	5520	5520	1120	18370

Ar pieauguma urbi no paraugkociem aptuveni krūšaugstumā iegūti apmēram 1,5 cm gari koksnes paraudziņi. Koksnes paraudziņi fiksēti spirta-glicerīna maisījumā (3:1), iepriekš uz tiem atzīmējot, no kura koka attiecīgais paraudziņš iegūts. Lai novērstu infekciju, urbuma vieta kokā nekavējoties aizziesta ar potvasku. No vieniem un tiem pašiem paraugkociem koksnes paraugi ņemti 3–4 gadus. Paraugi sākti ievākt apmēram maija vidū. Pirmais urbums katru gadu izdarīts koka dienvidu pusē. Nākošie paraugi ievākti ik pēc 10 dienām, virzoties stumbrā pa labi un nedaudz uz augšu. Paraudziņu vākšana turpināta līdz oktobra sākumam. Lai novērstu iepriekšējo gadu urbumu ietekmi, starp divu gadu urbumiem ieturēta 15–20 cm atstarpe.

No ievāktajiem paraugiem ar mikrotomu gatavoti mikropreparāti, kas iekrāsoti ar saframīnu. Novērtēts, vai kambijs atrodas aktīvā vai pasīvā

stāvoklī; trīs radiālās rindās uzskaitītas traheīdas, sadalot tās agrīnajās un vēlīnajās; ar okulārmikrometru noteikts jaunās gadskārtas platums mikronos.

Raksturojot caurmēra sezonas pieaugumu, iegūto rezultātu ticamību lielā mērā nosaka koku skaits, no kura aprēķināts gadskārtas platuma un



51. attēls. Izmaiņas priedes gadskārtas veidošanās atkarībā no paraugkoku skaita (I–II augšanas klases koki intensīvi nosusinātajā P-Kv nogabalā):

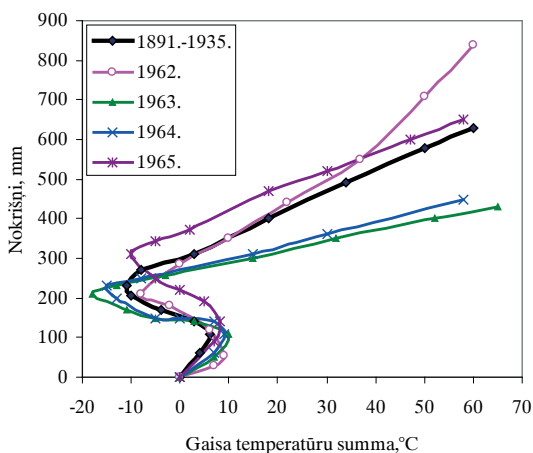
- a – 1 paraugkoka augšanas intensitāte;
- b – 5 paraugkoku vidējās augšanas intensitāte;
- c – 10 paraugkoku vidējās augšanas intensitāte;
- d – 40 paraugkoku vidējās augšanas intensitāte.

traheīdu rindu skaits gadskārtā. Izmantojotniecīgu paraugkoku skaitu (1–3), iespējamas rupjas kļūdas gadskārtas platuma svārstību dēļ. Jo lielāks koku skaits, jo izlīdzinātāks kļūst pieauguma sezonas dinamikas grafiskais attēls (51. attēls). Relatīvi izlīdzinātā pieauguma likne norāda, ka pie mazāka koku skaita līknes lūzumiem ir gadījuma raksturs, un pieļaujama līkņu grafiska izlīdzināšana, protams, tikai tad, kad nepārprotami parādās līknes vispārējais raksturs.

Darba gaitā noskaidrojās, ka starp I un II augšanas klases koku gadskārtas platumu nav būtiskas atšķirības. Tādēļ, analizējot caurmēra sezonas pieauguma gaitas un nosusināšanas intensitātes sakarības, koku gadskārtas platums parauglaukumā aprēķināts kā vidējais aritmētiskais no 10 I–II augšanas klases kokiem. Gadskārtas vidējā platuma reprezentācijas kļūda parasti nepārsniedz 5–7 %, kas nodrošina iegūto datu pietiekamu ticamību.

III augšanas klases koku gadskārtas platums ir relatīvi necīgs, un dienakts vidējais caurmēra pieaugums praktiski svārstās mērijumu precizitātes robežās. Šis apstākļis ierobežo III augšanas klases koku caurmēra pieauguma gaitas analīzes iespējas.

52. attēlā parādītās līknes atspoguļo sakarības starp diviem nozīmīgiem meteoroloģiskajiem faktoriem – gaisa temperatūru, kuru summējot var zināmā mērā raksturot siltuma resursus, kā arī nokrišņu daudzumu.



52. attēls. Meteoroloģisko apstākļu raksturojums Jēkabpils rajonā.

Meteoroloģiskajiem apstākļiem 1962.–1965. gados raksturīgas sevišķi lielas svārstības. 1962. un 1965. hidroloģiskajā gadā nokrišņu daudzums ievērojami pārsniedza ilggadīgo vidējo daudzumu. Piemēram, 1962. hidroloģiskajā gadā nokrišņi pārsniedza normu par 200 mm, sasniedzot 850 mm. Turpretī 1963.–1964. gadi uzskatāmi par ekstrēmi sausiem. 1963. gadā pie augstas gaisa temperatūras nokrišņu bija par apmēram 400 mm mazāk nekā 1962. gadā.

12.1. Priedes un egles jauno dzinumu attīstības gaita nosusinātās audzēs

Fotosintēzes aktivitāte priedes un egles jaunajās skujiņās ir ievērojami augstāka kā iepriekšējo gadu skujiņās. Atkarībā no skuju plaukšanas laika izmainās jauno skuju darbības ilgums pirmajā veģetācijas sezonā. Tāpēc mežsaimnieciski un bioloģiski svarīgi ir zināt, kādi faktori stimulē un kādi aizkavē jauno asimilācijas orgānu stāšanos darbā.

Mūsu pētījumā analizēta nosusināšanas ietekme uz priedes un egles skuju un jauno dzinumu attīstības gaitu. Apstrādājot fenoloģisko novērojumu datus, noskaidrots, kā izmainās jauno dzinumu un skuju attīstības gaita, mainoties nosusināšanas intensitātei.

52.–54. tabulās apkopoti aprēķinu rezultāti par fenofāžu iestāšanās laiku priežu audzēs 1962.–1965. gados. Ar \bar{x} apzīmēts attiecīgās fenofāzes iestāšanās vidējais laiks ar $s_{\bar{x}}$ – fenofāzes iestāšanās vidējā laika reprezentācijas kļūda. Nosusināšanas ietekme uz jauno dzinumu attīstību analizēta, salīdzinot fenofāzes iestāšanās vidējos laikus audzēs ar atšķirīgu nosusināšanas intensitāti.

Jāatzīmē necīgā variantu izkliede, ko apliecina nelielās rezultātu vidējās kļūdas: $s_{\bar{x}}$ tikai retu reizi pārsniedz ± 1 dienu. Tas liecina, ka novērojumu apjoms apliecina rezultātu pietiekamu ticamību.

Konstatēts, ka priedes jauno dzinumu attīstība norit praktiski vienlaicīgi: 1–2 dienu atšķirība starp fenofāžu iestāšanās laikiem grāvju tuvumā un no grāvjiem attālākajā audzes daļā nav uzskatāma par būtisku. Šāda likumsakarība novērota visus četrus gadus, tādēļ secināms, ka, mainoties nosusināšanas intensitātei, nemainās priedes jauno dzinumu un skuju attīstības gaita.

III augšanas klases kokiem fenofāzes iestājas vienlaicīgi ar I–II augšanas klases kokiem. Tātad III augšanas klases priežu nomāktība neaizkavē ne to pumpuru uzbriešanu, ne skuju plaukšanu.

52. tabula

Fenofāžu iestāšanās P-Ks (pieaugušās audzēs): A – intensīvi nosusinātajā audzes daļā; B – nepietiekami nosusinātajā audzes daļā (I, VII–IX sērijās)

Feno- fāze	Aug- šanas klase	1962.				1963.			
		A		B		A		B	
		\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_2	I–II	10.V	0,3	11.V	0,4	12.V	0,2	10.V	0,4
	III	11.V	0,5	13.V	0,7	11.V	0,5	11.V	0,5
Θ_3	I–II	1.VI	0,5	1.VI	0,5	20.V	0,4	20.V	0,4
	III	31.V	0,5	3.VI	0,9	19.V	0,6	20.V	0,6
W	I–II	14.VI	0,5	15.VI	0,5	30.V	0,1	30.V	0,2
	III	15.VI	0,8	17.VI	0,9	30.V	0,2	30.V	0,3
↑	I–II	22.VI	0,7	25.VI	0,5	9.VI	0,4	9.VI	0,5
	III	26.VI	0,9	27.VI	1,1	9.VI	0,6	10.VI	0,9
X	I–II	11.VII	0,9	13.VII	0,7	21.VI	0,7	22.VI	0,9
	III	12.VII	1,3	15.VII	1,0	22.VI	1,2	23.VI	1,3
Feno- fāze	Aug- šanas klase	1964.				1965.			
		A		B		A		B	
		\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_2	I–II	18.V	0,5	20.V	0,6	26.V	0,9	27.V	1,0
	III	20.V	0,5	21.V	0,5	27.V	1,2	25.V	1,5
Θ_3	I–II	29.V	0,1	30.V	0,2	11.VI	0,1	11.VI	0,2
	III	30.V	0,2	30.V	0,6	11.VI	0,2	11.VI	0,2
W	I–II	8.VI	0,1	8.VI	0,3	19.VI	0,2	19.VI	0,2
	III	8.VI	0,4	8.VI	0,4	19.VI	0,2	19.VI	0,63
↑	I–II	13.VI	0,2	13.VI	0,3	24.VI	0,3	25.VI	0,2
	III	13.VI	0,4	13.VI	0,5	25.VI	0,4	25.VI	0,2
X	I–II	28.VI	0,7	28.VI	0,8	11.VII	0,3	10.VII	0,3
	III	28.VI	1,0	28.VI	1,2	11.VII	0,3	11.VII	0,4

53. tabula

Fenofāžu iestāšanās P-Km (jaunaudzē): A – intensīvi nosusinātajā
audzes daļā; B – nepietiekami nosusinātajā audzes daļā

Feno- fāze	1962.				1963.			
	A		B		A		B	
	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_2	11.V	0,5	12.V	0,8	8.V	0,1	8.V	0,1
Θ_3	1.VI	0,5	30.V	0,4	22.V	0,3	22.V	0,4
W	16.VI	0,3	13.VI	0,8	28.V	0,2	30.V	0,4
↑	27.VI	0,7	25.VI	0,8	6.VI	0,4	7.VI	0,6
X	8.VII	0,2	8.VII	0,3	21.VI	0,4	21.VI	0,7
Feno- fāze	1964.				1965.			
	A		B		A		B	
	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_2	15.V	0,2	14.V	0,4	18.V	0,7	21.V	0,9
Θ_3	1.VI	0,2	1.VI	0,4	11.VI	0,3	11.VI	0,3
W	7.VI	0,1	7.VI	0,2	19.VI	0,3	19.VI	0,2
↑	13.VI	0,2	13.VI	0,4	25.VI	0,3	26.VI	0,4
X	20.VI	0,2	20.VI	0,5	11.VII	0,3	11.VII	0,4

54. tabula

Fenofāžu iestāšanās P-Kv: A – intensīvi nosusinātajā
audzes daļā; B – nepietiekami nosusinātajā audzes daļā
(parauglaukumu II sērija)

Feno- fāze	Aug- šanas klase	1962.				1963.			
		A		B		A		B	
		\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_2	I–II	11.V	0,6	12.V	0,6	12.V	0,7	12.V	0,8
	III	15.V	1,1	14.V	0,4	14.V	0,8	14.V	0,9

Feno- fāze	Aug- šanas klase	1962.				1963.			
		A		B		A		B	
		\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_3	I-II	2.VI	0,8	3.VI	0,9	24.V	0,7	22.V	0,9
	III	6.VI	1,1	6.VI	0,9	26.V	1,2	22.V	1,0
W	I-II	13.VI	0,8	18.VI	1,0	3.VI	0,9	3.VI	0,9
	III	22.VI	1,0	21.VI	0,7	7.VI	1,2	2.VI	1,1
↑	I-II	3.VII	0,9	2.VII	0,4	14.VI	1,3	13.VI	0,6
	III	7.VII	1,0	2.VII	0,4	16.VI	0,7	12.VI	0,5
X	I-II	17.VII	1,0	19.VII	0,7	25.VI	0,8	23.VI	0,8
	III	21.VII	0,8	19.VII	1,1	28.VI	0,9	21.VI	0,6
Feno- fāze	Aug- šanas klase	1964.				1965.			
		A		B		A		B	
		\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_2	I-II	20.V	0,7	19.V	0,6	29.V	1,0	30.V	1,2
	III	26.V	1,3	21.V	0,8	1.VI	0,8	30.V	0,7
Θ_3	I-II	31.V	0,9	31.V	0,5	11.VI	0,9	11.VI	0,8
	III	3.VI	0,7	3.VI	0,8	14.VI	0,9	11.VI	1,0
W	I-II	11.VI	0,8	11.VI	0,5	19.VI	1,0	20.VI	0,9
	III	13.VI	0,6	13.VI	0,9	23.VI	0,8	20.VI	0,8
↑	I-II	23.VI	1,2	23.VI	0,6	29.VI	0,6	29.VI	0,7
	III	23.VI	0,4	23.VI	0,4	30.VI	0,8	30.VI	0,8
X	I-II	2.VII	0,7	2.VII	0,9	17.VII	0,9	15.VII	1,0
	III	2.VII	1,2	2.VII	0,8	19.VII	1,0	15.VII	0,8

Salīdzinot fenofāzes iestāšanās laiku atšķirīgos meža tipos, novērojama zināma aizkavēšanās, pazeminoties augsnes potenciālajai auglībai. Nosusinātā priežu kūdreņa auglīgākajā (Ks) variantā (Spārnu mežniecībā) fenofāzes iestājas vidēji 4 dienas agrāk nekā šī meža tipa nabadzīgākajā (Km) variantā. Nosusinātā priežu purvājā (Kv) tās pat fenofāzes iestājas vidēji 4 dienas vēlāk kā P-Km variantā (53. attēls). Šī parādība tomēr

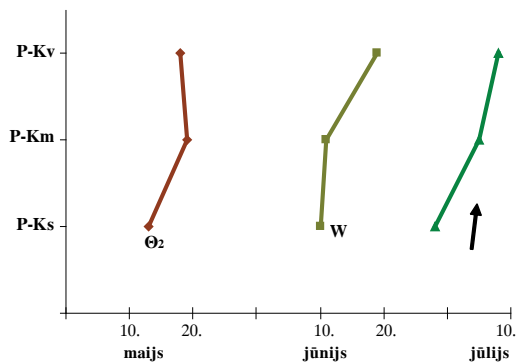
kvalificējama kā tendence, jo pētījumu apjoma dēļ nevar konstatēt stingras, matemātiski pamatotas likumsakarības.

Pētījumu rezultāti par fenofāžu iestāšanās laikiem priežu jaunaudzē Km meža tipā (53. tabula) liecina, ka priedes jauno dzinumu un skuju attīstības gaita grāvju tuvumā būtiski neatšķiras no starpgrāvju vidus. Rādītāji līdzīgi, ja arī audžu vecumu starpība sasniedz 80–100 gadus.

1962.–1965. gadu veģetācijas sezonas krasi atšķirās hidrometeoroloģiskajā ziņā. Šīs atšķirības ietekmējušas priedes dzinumu un skuju attīstības gaitu. Relatīvi augstā gaisa temperatūra 1963. un 1964. gadu vasarās krasi stimulējusi šo fenoloģiju (54. attēls). Piemēram, pumpuru plaukšanas (fāze **W**) priedei Km 1963. gadā sākusies 15 dienas agrāk kā 1962. gadā un 19 dienas agrāk kā 1965. gadā. Šādas atšķirības kvalificējas kā būtiskas.

Mežsaimnieciskajā literatūrā bieži tiek atzīmēta divu egles fenoloģisko formu – agri un vēlu plaukstošās – esamība. Tāpēc pirms fenoloģisko datu analīzes noskaidrojām, vai pētījumu materiāls ir viendabīgs. Citiem vārdiem – jānoskaidro, vai novērojumiem pakļautās egles ir izlases no viena vai divām paraugkopām. Egles fenoloģisko formu izdalīšanai par pamatu tiek ņemts pumpuru uzplaukšanas laiks. Tāpēc pārbaude izdarīta tieši uz šo brīdi (fenofāzes **W** iestāšanās).



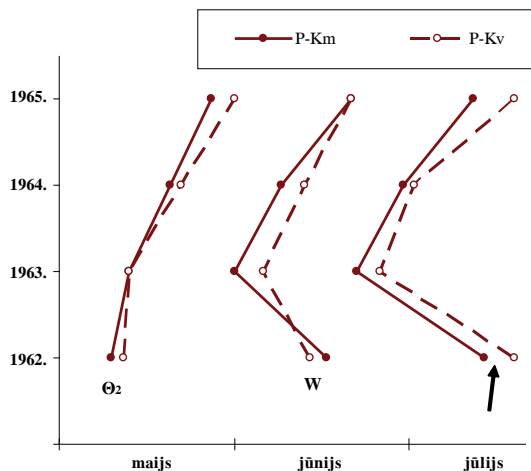


53. attēls. Dažu fenofāžu iestāšanās laiks pieaugušās priežu audzēs:

Θ₂ – pumpuru uzbriešana fāzes otrais etaps;

W – pumpuru plaukšana;

↑ – skuju veidošanās.



54. attēls. Fenofāžu iestāšanās laiku salīdzinājums pa gadiem:

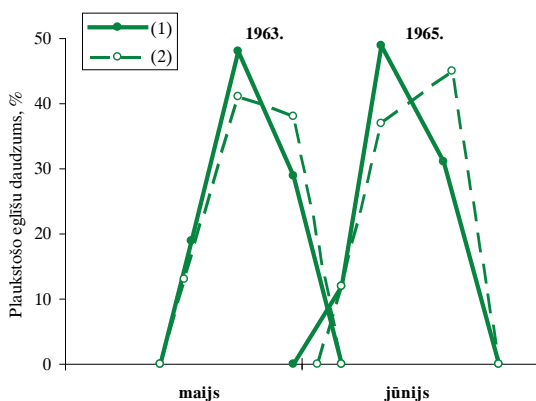
Θ₂ – pumpuru uzbriešana fāzes otrais etaps;

W – pumpuru plaukšana;

↑ – skuju veidošanās.

54. attēlā atspoguļots egļu skaita sadalījums pa plaukšanas laikiem V–VI parauglaukumu sērijās (jaunaudzē) divos hidrometeoroloģiski krasi atšķirīgos gados – 1963. gadā un 1965. gadā. Kā intensīvi, tā nepietiekami nosusinātajā jaunaudzes daļā eglīšu plaukšanas gaita ir stipri līdzīga. 110 m attālumā no grāvja un tiešā grāvja tuvumā pirmās eglītes uzplaukst praktiski vienlaicīgi. Tāpat apmēram vienā un tanī pat laikā plaukšanas gaitā iestājas kulminācija, un apmēram mēnesi pēc pirmās eglītes uzplaukšanas pumpuri ir izplaukuši pilnīgi visām eglītēm. Plaukšanas gaitas grafiskais attēls norāda, ka materiāls ir viendabīgs un divu atšķirīgu agrīno un vēlīno fenoloģisku formu izdalīšana ir subjektīva. Analītiska plaukstošo egļu skaita salīdzināšana ar varbūtību normālo sadalījumu to apstiprina. Nevienā gadījumā nav atrasta būtiska atšķirība starp plaukstošo eglīšu empīrisko un varbūtību normālo sadalījumu. Līdz ar to egļu fenodatus iespējams apstrādāt ar parastajām, t.i., varbūtību normālā sadalījuma gadījumā pielietojamām metodēm.

Egļu fenoloģisko datu apstrādes rezultāti (55.–56. tabulas) liecina, ka atšķirībā no priežu audzēm pieaugušās egļu audzēs vidējā fenofāžu iestāšanās laika vidējā kļūda $s_{\bar{x}}$ ir nedaudz lielāka. Tam ir divi cēloņi. Pirmkārt – egļu audzēs plaukšanas amplitūda ir ievērojami lielāka nekā priežu audzēs. Piemēram, egļu plaukšana turpinās trīs reizes ilgāk kā



55. attēls. Plaukstošo eglīšu skaita sadalījums intensīvi nosusinātajā (1) un nepietiekami nosusinātajā (2) nogabala daļā.

priežu plaukšana. Otrkārt – novērojumos iekļauto priežu skaits ir vairāk kā divas reizes lielāks par egļu skaitu (210 priedes un 90 egles). Tomēr arī egļu audzē fenofāžu iestāšanās vidējā kļūda $s_{\bar{x}}$ nesasniedz ± 2 dienas, kas ir pilnīgi apmierinoši.

55. tabula

Fenofāžu iestāšanās egļu šaurlapju kūdrēnī (pieaugušās audzēs):
 A – intensīvi nosusinātajā audzes daļā; B – nepietiekami nosusinātajā
 audzes daļā (parauglaukumu III–IV sērijās)

Feno- fāze	Aug- šanas klase	1962.				1963.			
		A		B		A		B	
		\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_1	I–II	7.V	0,3	9.V	1,0	2.V	0,5	2.V	0,5
	III	10.V	1,0	9.V	1,2	2.V	0,5	3.V	0,4
Θ_2	III	15.V	0,7	18.V	0,9	12.V	0,3	13.V	0,3
	III	17.V	1,0	18.V	1,3	12.V	0,4	12.V	0,4
Θ_3	I–II	25.V	0,8	27.V	1,1	15.V	0,3	17.V	0,5
	III	24.V	1,3	23.V	1,6	15.V	0,5	16.V	0,4
W_1	I–II	30.V	0,69	31.V	1,2	18.V	0,4	20.V	0,5
	III	29.V	1,6	29.V	1,8	19.V	0,6	19.V	0,5
W_2	I–II	4.VI	0,7	7.VI	1,3	20.V	0,4	22.V	0,4
	III	3.VI	1,4	4.VI	1,4	22.V	0,8	23.V	0,6
\uparrow	I–II	10.VI	0,7	12.VI	1,1	25.V	0,5	27.V	0,9
	III	9.VI	1,5	12.VI	1,8	30.V	0,5	30.V	0,6
X	I–II	3.VII	1,1	6.VII	0,9	30.VI	0,9	3.VII	1,4
	III	3.VII	1,4	7.VII	0,9	1.VII	1,1	30.VI	0,9
Feno- fāze	Aug- šanas klase	1964.				1965.			
		A		B		A		B	
		\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_1	I–II	3.V	0,6	3.V	0,9	14.V	0,5	15.V	1,1
	III	7.V	0,8	6.V	1,5	14.V	0,8	15.V	1,4

Fenofāze	Augšanas klase	1964.				1965.			
		A		B		A		B	
		\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_2	III	20.V	0,4	20.V	0,1	26.V	0,6	27.VI	0,9
	III	19.V	0,5	19.V	0,3	25.V	1,0	27.VI	1,1
Θ_3	I–II	26.V	0,4	26.V	0,2	1.VI	0,4	2.VI	0,7
	III	25.V	0,7	24.V	1,0	1.VI	0,8	1.VI	0,8
W_1	I–II	29.V	0,4	30.V	0,4	6.VI	0,6	8.VI	0,7
	III	28.V	0,7	28.V	0,8	6.VI	1,0	6.VI	0,8
W_2	I–II	1.VI	0,4	2.VI	0,5	10.VI	0,7	13.VI	0,9
	III	1.VI	0,7	1.VI	0,8	13.VI	0,9	12.VI	1,0
\uparrow	I–II	6.VI	0,6	8.VI	0,9	17.VI	0,7	18.VI	1,0
	III	7.VI	0,9	7.VI	1,2	17.VI	1,0	17.VI	1,3
X	I–II	3.VII	0,7	5.VII	1,1	10.VII	0,6	11.VII	0,9
	III	5.VII	1,1	6.VII	1,6	9.VII	0,8	13.VII	1,2

Eglēm, analogi priedēm, fenofāzes iestājas vienlaicīgi nogabalos ar atšķirīgu nosusināšanas intensitāti. Vienlaicīgi ar I–II Krafta klases kokiem attiecīgās fenofāzes iziet arī III klases koki. Priedei fenofāzes iestājas vienlaicīgi gan pieaugušās audzēs, gan jaunaudzēs, egļu jaunaudzē fenofāzes iestājas dažas (3–12) dienas vēlāk nekā pieaugušā egļu audzē. Minētā parādība likumsakarīgi novērota visus četrus gadus un novērtēta kā būtiska.

Fenofāžu iestāšanās laiki egļu audzēs svārstās tāpat kā priežu audzēs. Vēsajos 1962. un 1965. gadu pavasaros dažādu fenofāžu iestāšanās eglei aizkavējās par 6–15 dienām, salīdzinot ar siltajiem 1963.–1964. gadu pavasarjiem.

Novērtējot nosusināšanas ietekmi uz jauno dzinumumu attīstības gaitu, pielietots samērā stingrs kritērijs – vai nogabala daļās ar dažādu nosusināšanas pakāpi fenofāžu iestāšanās laiki atšķiras būtiski. Dabā tomēr nav iespējams noteikti norobežot nogabala intensīvi un nepietiekami nosusinātās daļas, un katrā no šīm daļām ietilpst arī pārejas josla. Šie apstākļi var zināmā mērā apslēpt koku dzinumumu attīstības gaitas un nosusināšanas intensitātes patiesās attiecības.

56. tabula

Fenofāžu iestāšanās egļu jaunaudzē (E-Ks, parauglaukumu V–VI sērijas):

A – intensīvi nosusinātajā audzes daļā;

B – nepietiekami nosusinātajā audzes daļā

Feno- fāze	1962.				1963.			
	A		B		A		B	
	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_1	9.V	0,7	9.V	0,5	9.V	0,5	7.V	0,4
Θ_2	22.V	0,7	24.V	0,6	14.V	0,5	12.V	0,3
Θ_3	30.V	0,7	2.VI	0,5	17.V	0,6	18.V	1,5
W_1	4.VI	0,6	6.V	0,4	21.V	0,5	22.V	0,4
W_2	8.VI	0,6	11.VI	0,5	25.V	0,5	26.V	0,4
↑	15.VI	0,8	18.VI	0,7	30.V	0,6	31.V	0,4
X	11.VII	0,8	11.VII	0,6	2.VII	0,5	30.VI	0,4

Feno- fāze	1964.				1965.			
	A		B		A		B	
	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Θ_1	9.V	0,4	7.V	0,4	20.V	0,8	17.V	0,6
Θ_2	22.V	0,4	22.V	0,3	1.VI	0,6	31.V	0,4
Θ_3	29.V	0,3	29.V	0,3	7.VI	0,4	8.VI	0,4
W_1	2.VI	0,3	3.VI	0,3	12.VI	0,4	12.VI	0,3
W_2	5.VI	0,4	6.VI	0,3	16.VI	0,4	17.VI	0,3
↑	9.VI	0,5	9.VI	0,4	21.VI	0,4	22.VI	0,3
X	10.VII	0,3	10.VII	0,3	23.VII	0,4	25.VII	0,4

Apkopojot fenoloģisko novērojumu datus, ikvienā parauglaukumā 4 gadu laikā iegūtais sadalījums ir tuvs varbūtību normālajam sadalījumam. Tas padara iespējamu fenofāzes iestāšanās laika novērtējumu un ļauj arī spriest, ar kādu varbūtību sagaidāma, piemēram, egļu plaukšana noteiktā laikā.

Jāatzīmē samērā lielā mērījumu izkliede (57.–62. tabulas) – fenofāžu iestāšanās vidējo laiku standartnovirzes parasti pārsniedz vienu nedēļu. Krasās meteoroloģisko apstākļu svārstības pa atsevišķiem gadiem paplašina plaukšanas laika intervālu. Spriežot ar 96 % ticamību, šis fenofāzes intervāls bieži vien pārsniedz vienu mēnesi, sasniedzot 40 dienas. Divām trešdaļām (68 %) no kokiem jebkuras fenofāzes iestāšanās laika svārstības parasti nepārsniedz divas nedēļas, t.i., novirze no atrastajiem vidējiem aritmētiskajiem fenofāžu iestāšanās laikiem nav lielāka par vienu nedēļu.

57. tabula

Fenofāžu iestāšanās vidējie (4 gadu) laiki I sērijā (P-Km)

Pa- raug- lauk. Nr.	Θ_2			W			X		
	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$
1.	20.V	9,3	1,4	11.VI	6,5	1,0	4.VII	9,1	1,4
2.	19.V	8,8	1,4	11.VI	7,9	1,2	5.VII	8,2	1,3
3.	19.V	8,2	1,3	11.VI	7,8	1,2	6.VII	9,8	1,4
4.	19.V	9,6	1,5	12.VI	8,5	1,3	6.VII	9,4	1,5
5.	18.V	9,1	1,4	11.VI	8,2	1,3	5.VII	9,8	1,5
6.	19.V	8,4	1,3	11.VI	8,2	1,3	8.VII	10,5	1,6
7.	17.V	7,4	1,2	11.VI	7,8	1,2	6.VII	9,8	1,5

58. tabula

Fenofāžu iestāšanās vidējie (4 gadu) laiki II sērijā (P-Kv)

Pa- raug- lauk. Nr.	Θ_2			W			X		
	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$
1.	20.V	7,2	1,1	19.VI	6,4	1,0	8.VII	9,2	1,4
2.	19.V	7,7	1,2	19.VI	7,8	1,2	7.VII	10	1,6
3.	19.V	7,9	1,2	19.VI	8,0	1,3	8.VII	10,8	1,7

59. tabula

Fenofāžu iestāšanās vidējie (4 gadu) laiki VII–IX sērijās (P-Ks)

Pa- raug- lauk. Nr.	Θ_2			W			X		
	\bar{x}	s	$S_{\bar{x}}$	\bar{x}	s	$S_{\bar{x}}$	\bar{x}	s	$S_{\bar{x}}$
1.	12.V	5,2	0,8	9.VI	7,2	1,1	27.VI	9,8	1,5
2.	15.V	6,6	1,0	10.VI	8,0	1,3	30.VI	10,5	1,7
3.	15.V	5,5	0,9	10.VI	7,4	1,2	29.VI	10,7	1,7
4.	15.V	6,0	0,9	10.VI	7,4	1,2	30.VI	10,5	1,7
5.	13.V	5,0	0,8	10.VI	7,4	1,2	29.VI	10,5	1,7
6.	12.V	5,6	0,9	9.VI	7,9	1,2	29.VI	10,7	1,7
7.	14.V	5,4	0,9	9.VI	7,2	1,1	29.VI	10,7	1,7

60. tabula

Fenofāžu iestāšanās vidējie (3 gadu) laiki X–XI sērijās (P-Km)

Pa- raug- lauk. Nr.	Θ_2			W			X		
	\bar{x}	s	$S_{\bar{x}}$	\bar{x}	s	$S_{\bar{x}}$	\bar{x}	s	$S_{\bar{x}}$
1.	13.V	4,7	0,7	7.VI	8,2	1,2	25.VI	8,8	1,3
2.	15.V	5,9	1,0	10.VI	8,6	1,3	28.VI	10,0	1,5
3.	13.V	5,2	0,8	7.VI	9,7	1,4	26.VI	11,2	1,7
4.	13.V	5,2	0,8	7.VI	9,7	1,4	26.VI	12,6	1,9
5.	13.V	7,1	1,1	8.VI	9,3	1,4	28.VI	9,8	1,5
6.	15.V	7,6	1,1	10.VI	9,4	1,4	29.VI	9,4	1,4
7.	13.V	7,0	1,1	10.VI	8,3	1,3	29.VI	9,1	1,4
8.	15.V	7,4	1,1	9.VI	9,4	1,4	29.VI	10,2	1,5
9.	14.V	5,0	0,7	8.VI	9,3	1,4	28.VI	9,4	1,4
10.	14.V	5,4	0,9	9.VI	7,2	1,1	29.VI	10,7	1,7

61. tabula

Fenofāžu iestāšanās vidējie (4 gadu) laiki V–VI sērijās
(E-Ks, jaunaudzēs)

Pa- raug- lauk. Nr.	Θ_2			W			X		
	\bar{X}	s	$S_{\bar{x}}$	\bar{X}	s	$S_{\bar{x}}$	\bar{X}	s	$S_{\bar{x}}$
1.	22.V	8,9	1,1	2.VI	8,8	1,1	11.VII	8,1	1,0
2.	22.V	8,0	1,0	3.VI	9,0	1,2	12.VII	9,2	1,2
3.	24.V	8,2	1,1	5.VI	8,2	1,1	12.VII	10,1	1,3
4.	20.V	7,9	1,0	2.VI	8,8	1,1	11.VII	9,2	1,2
5.	22.V	8,2	1,1	3.VI	8,9	1,2	13.VII	10,4	1,3
6.	21.V	8,0	1,0	3.VI	9,2	1,2	11.VII	8,5	1,1
7.	24.V	8,4	1,1	4.VI	8,6	1,1	13.VII	8,4	1,1
8.	23.V	8,6	1,1	2.VI	9,0	1,2	11.VII	9,0	1,2
9.	24.V	8,6	1,1	4.VI	8,4	1,1	11.VII	7,2	0,9
10.	14.V	5,4	0,9	9.VI	7,2	1,1	29.VI	10,7	1,7
11.	20.V	9,1	1,2	31.V	9,6	1,2	12.VII	7,8	1,0
12.	22.V	8,2	1,1	1.VI	9,2	1,2	13.VII	9,8	1,3
13.	23.V	7,8	1,0	3.VI	7,9	1,0	13.VII	10,1	1,3
14.	23.V	8,0	1,0	3.VI	8,8	1,1	12.VII	8,7	1,1
15.	25.V	8,2	1,0	5.VI	8,4	1,1	11.VII	9,2	1,2
16.	22.V	8,5	1,1	3.VI	9,0	1,2	11.VII	8,6	1,1
17.	22.V	9,0	1,2	3.VI	8,6	1,1	11.VII	10,4	1,3
18.	22.V	9,2	1,2	1.VI	9,6	1,2	11.VII	9,0	1,2
19.	25.V	7,5	1,0	4.VI	7,8	1,0	12.VII	8,7	1,1

Neskatoties uz to, ka vienā gadā egļu plaukšana turpinās trīs reizes ilgāk kā priežu plaukšana, apkopojot vairāku gadu novērojumu datus, egļu un priežu plaukšanas vidējo laiku standartnovirzes ir stipri līdzīgas. Tam par cēloni ir egļu plaukšanas laiku ievērojamā pārsegšanās. Līdz ar to, spriežot pēc vairāku gadu novērojumu datiem, laika posms starp pirmās un pēdējās eglītes uzplaukšanu ir samērā tuvs priedītes uzplaukšanas laikam.

Fenofāžu iestāšanās vidējie (4 gadu) laiki III–IV sērijās
(E-Ks, pieaugušās audzēs)

Pa- raug- lauk. Nr.	Θ_2			W			X		
	\bar{X}	s	$S_{\bar{x}}$	\bar{X}	s	$S_{\bar{x}}$	\bar{X}	s	$S_{\bar{x}}$
1.	17.V	6,0	0,9	28.V	7,2	1,1	3.VII	3,2	0,5
2.	19.V	5,2	0,8	30.V	7,6	1,2	5.VII	5,4	0,8
3.	19.V	6,8	1,1	30.V	7,7	1,2	6.VII	5,2	0,8
4.	19.V	6,4	1,0	27.V	7,5	1,2	6.VII	5,0	0,8
5.	19.V	6,4	1,0	30.V	7,6	1,2	6.VII	5,2	0,8
6.	17.V	5,0	0,8	27.V	6,6	1,0	1.VII	7,8	1,2

Dažādos vienas sērijas parauglaukumos diferences starp fenofāžu iestāšanās laiku vidējiem aritmētiskajiem svārstās 1–4 dienu robežās, kamēr standartklūdas $S_{\bar{x}}$ vairumā gadījumu ir tuvas ± 1 dienai (57.–62. tabulas). Necīgās atšķirības starp vidējiem fenofāžu iestāšanās laikiem liecina, ka nav kaut cik noteiktas korelatīvas sakarības starp fenofāzes iestāšanās laiku un augsnes gruntsūdens līmeni. Piemēram, eglu jaunaudzē atrasti sekojoši lineārās korelācijas koeficienti starp dažu fenofāžu iestāšanās vairākgažu vidējo laiku un 4 gadu vidējo gruntsūdens dziļumu:

starp Θ_2 iestāšanās laiku un gruntsūdens dziļumu $r = +0,06 \pm 0,24$;

starp W_1 iestāšanās laiku un gruntsūdens dziļumu $r = -0,31 \pm 0,21$;

starp X iestāšanās laiku un gruntsūdens dziļumu $r = -0,22 \pm 0,22$.

Necīgie korelācijas koeficienti noliedz sakarību pastāvēšanu starp minētajiem rādītājiem.

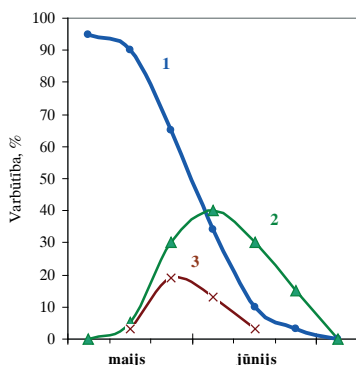
Viens no nozīmīgākajiem momentiem koku sezonas dzīvē ir pumpuru atvēršanās. Eglei tas novērojams vidēji maija beidzamajās vai jūnija pirmajās dienās, bet priedei apmēram nedēļu vēlāk.

Novērtējot eglīšu sala bojājumu varbūtību noteiktā veģetācijas sezonas posmā, jāievēro divi apstākļi: cik eglīšu šīnī laika posmā ir sala jūtīgas un ar kādu varbūtību šīnī laikā sagaidāma salnu iestāšanās.

Jaunie eglīšu dzinumi ir jūtīgi pret zemām temperatūrām 7–12 dienas pēc plaukšanas. Analizējot četru gadu novērojumu rezultātus, konstatēts, ka visvairāk sala jūtīgu eglīšu ir jūnija pirmajā dekādē (56. attēls). Vidēji četras no desmit eglītēm šīnī laikā ir ar izplaukušiem, bet vēl nenobriedušiem dzinumiem. Maijā un pārējās divās jūnija dekādēs sala jūtīgo eglīšu skaits ir mazāks. Sākot ar jūliju, eglīšu jaunie dzinumi jau ir nobrieduši. Šādas plaukšanas gaitas liknes ir pilnīgi vienādas intensīvi un nepietiekami nosusinātajās audzes daļās.

Salnu iestāšanās varbūtība, sākot ar maiju, pakāpeniski samazinās. Maija sākumā zemu temperatūru iestāšanās varbūtība ir tuva 100 %, turpretī jūnija pēdējā dekādē salnas novērotas vidēji tikai 3 gados no 100.

Eglītēm nosalšanas teorētiskā varbūtība ir sala jūtīgo eglīšu relatīvā daudzuma un salnu iestāšanās varbūtību reizinājums. Datu biometriskā analīze liecina, ka nosusinātajos nogabalos uz kūdras augsnēm par sala visbīstamāko periodu uzskatāmas maija beigas. Salnas šīnī laikā novērotas vidēji divos no trim gadiem. Vidēji 19 no 100 nejauši izvēlētām eglītēm jaunie dzinumi apsalst maija beigās. Maija otrajā dekādē nosalšanas varbūtība ir niecīga, jo šīnī laikā ir uzplaukušas tikai dažas eglītes. Jūnijā uzplaukušo eglīšu ir relatīvi daudz, taču šīnī laikā ir neliela salnu iestāšanās varbūtība.



56. attēls. Eglīšu nosalšanas varbūtība E-Ks:
 1 – salnu iestāšanās varbūtība;
 2 – sala jūtīgo eglīšu relatīvais daudzums;
 3 – eglīšu nosalšanas varbūtība.



Nosusinātos kūdreņos ierīkotās egļu kultūras ieaug labi un bērzu piemistrojums ir nevajadzīgs.

Maija beigās zemsedzes augi izcirtumos parasti vēl nav sakuplojuši un nevar kalpot par aizsegu pret salnām. Pieņemts, ka liela loma ir lapu koku piemistrojumam, jo tie bīstamajā periodā ir daļēji salapojuši un zināmā mērā ietekmē gaisa temperatūras vertikālo sadalījumu.

13. PRIEDES UN EGLES SEZONAS PIEAUGUMS KŪDRENĪ

Nosusināto nogabalu apmežojumos aizvien plašāk ievieš egli. Auglīgākajā nosusinātā Ks sevišķi produktīvas ir audzes, kurās egle izvirzīta par valdošo sugu. Egles apmežojumi Ks meža tipā mazāk cieš arī no izcirtumu aizzelšanas ar zemsedzi.

Patlaban sevišķi aktuāls ir jautājums par galvenās koku sugas izvēli nosusinātā kūdreņa nabadzīgākā meža tipa Km apmežojumos. Tāpēc, analizējot priedes un egles augstuma pieauguma veidošanās gaitu, uzmanība pievērsta to īpašību noskaidrošanai, kas nosaka šo augu piemērotību minētajos apmežojumos.

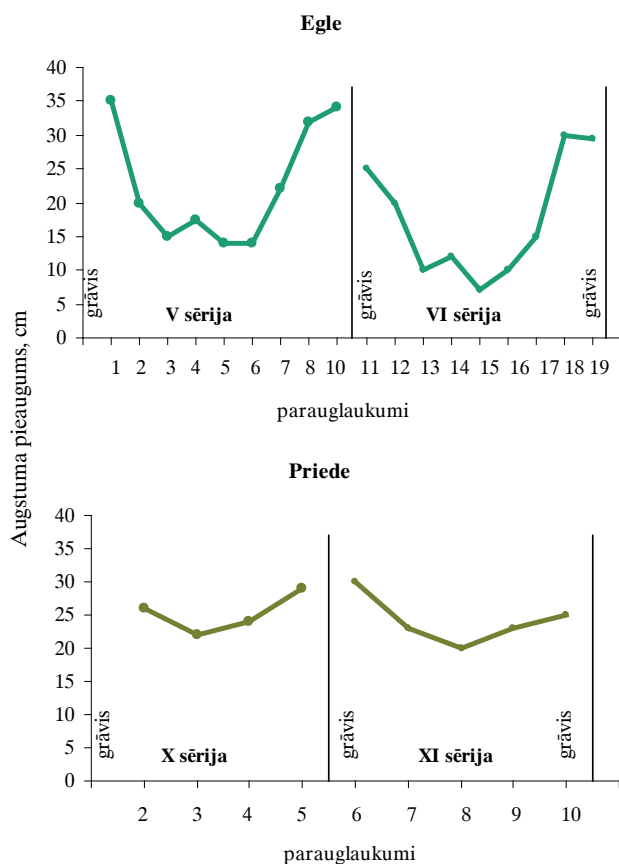
Augstuma pieauguma sezonas dinamika raksturota ar šādiem rādītājiem:

1. koku augstuma ikgadējais pieaugums;
2. augšanas sākums;
3. augšanas ilgums līdz sezonas pieauguma kulminācijai;
4. augstuma pieaugums diennaktī visintensīvākās augšanas laikā;
5. augšanas izbeigšanās;
6. pieauguma veidošanās ilgums;
7. pieauguma veidošanās vidējais temps augšanas laikā.

Pēc nosusināšanas, uzlabojoties augsnes aerācijai sakņu darbības zonā, intensificējas visas koka dzīvības procesa norises. Tā rezultātā krasi palielinās koku augstuma pieaugums. Grāvju tuvumā (15 m attālumā) eglītēm augstuma pieaugums ir 2–3 reizes lielāks nekā vidū starp nosusinātajiem grāvjiem (57. attēls). Tādā pat attālumā no grāvja priedes augstuma pieaugums samazinās tikai par apmēram 20–30 %.

Jāatzīmē, ka pētītajos objektos koku augstuma pieaugumu sadalījums

pēc garumiem ir tuvs varbūtību normālajam sadalījumam. Intensīvāk nosusinātajā nogabala daļā atšķirība starp empīrisko un varbūtību normālo sadalījumu ir pavisam niecīga. Pavājinoties nosusināšanas intensitātei, galotnes dzinumu sadalījumā pastiprinās kreisā asimetrija. Tas liecina, ka nepietiekami nosusinātajā nogabala daļā pārsvarā ir koki ar relatīvi niecīgu augstuma pieaugumu. Tomēr arī nepietiekami nosusinātajā nogabala daļā galotnes dzinumu garumu sadalījuma atšķirības no normālā sadalījuma nav būtiskas, t.i., konkrētās variāciju rindas asimetrija un ekscess nav būtiski lielumi.



57. attēls. Koku augstuma pieaugums jaunaudzēs (vidējais 1961.–1965. g.).

Sezonas, kurās analizēta augstuma pieauguma veidošanās gaita (1962.–1965. g.), krasi atšķiras nokrišņu daudzuma ziņā. Šis apstāklis ietekmējis arī gruntsūdens dziļumu. Piemēram, V sērijas 1. parauglaukumā sezonas (maijs–septembris) vidējais gruntsūdens dziļums ir: 1962. g. – 28 cm, 1963. g. – 64 cm, 1964. g. – 64 cm, 1965. g. – 46 cm; 5. parauglaukumā: 1962. g. – 11 cm, 1963. g. – 37 cm, 1964. g. – 32 cm, 1965. g. – 17 cm.

Augstuma pieauguma veidošanai lielā mērā tiek izmantoti iepriekšējos gados uzkrātie asimilāti. Tāpēc slapjajā 1962. gadā eglīšu pieaugums bija relatīvi liels (63. tabula), kaut arī no grāvjiem attālākajā nogabala daļā gruntsūdens bieži sasniedz augsnes virskārtu. 1962. gada nelabvēlīgā ietekme augsnē iezīmējās 1963. gada pieaugumā: 1963. gada pieaugums, salīdzinot ar 1962. gada pieaugumu, samazinājies apmēram par vienu trešo daļu. Tā kā 1963. gadā gruntsūdens līmenis pat no grāvjiem attālākajā nogabala daļā vidēji atradās dziļāk kā 1962. gadā grāvju tuvumā, varēja sagaidīt, ka 1964. gada pieaugums būs augsts. Tas tomēr neapstiprinājās, un 1964. gada pieaugums maz atšķīrās no 1963. gada pieauguma. Neliela pieauguma palielināšanās novērota 1965. gadā, bet 1961.–1962. gadu augstuma pieauguma līmeni tomēr nesasniedz. Daļēji šo parādību var izskaidrot ar koku sakņu sistēmas izvietojuma īpatnībām.

63. tabula

Augstuma vidējā pieauguma (i_h) salīdzinājums egļu jaunaudzē

Gads	Intensīvi nosusinātā daļā				Nepietiekami nosusinātā daļā				$i_h(B) / i_h(A) \cdot 100\%$
	$i_h(A)$, cm	s	V%	$s_{\bar{x}}$	$i_h(B)$, cm	s	V%	$s_{\bar{x}}$	
1961.	29,2	13,1	45	1,2	18,2	8,7	48	0,7	62 %
1962.	34,1	14,0	41	1,3	18,9	8,2	43	0,7	55 %
1963.	24,7	13,3	54	1,2	12,8	6,6	52	0,6	52 %
1964.	24,9	11,9	48	1,1	13,0	8,8	68	0,7	52 %
1965.	27,5	13,0	47	1,2	14,0	8,3	59	0,7	51 %

Ir konstatēts, ka fizioloģiski aktīvo sakņu aizņemtais augsnes slānis ir ļoti plāns, Piemēram, V sērijas eglīšu 5. parauglaukumā (110 m no grāvja) saknes ar caurmēru 0,2–0,5 mm nesniedzas dziļāk par 10 cm. Galvenā sīko sakņu masa izvietojas augšējā maz sadalītajā sfagnu segšņu slānī vai

pat dzīvajos sfagnos. Sakarā ar kūdras virskārtas un sfagnu izkalšanu 1963.–1964. gadu vasaras nebija labvēlīgas eglīšu augšanai Ks meža tipā, kaut arī gruntsūdens šīnīs vasarās atradās dziļi un sakņu sistēmu tieši neietekmēja. Iespējams arī, ka 1962. gada krasi nelabvēlīgais augsnes hidroloģiskais režīms ietekmējis koku pieaugumu vēl dažus gadus uz priekšu.

Priede salīdzinājumā ar egli visus gadus uzrādījusi stabilāku augstuma pieaugumu (64. tabula). Nepietiekami nosusinātajā audzes daļā pieaugums ir tikai 15–20 % mazāks kā intensīvi nosusinātajā audzes daļā. Starpību testējot, atrasts, ka tā tomēr kvalificējama kā būtiska. Tas nozīmē, ka nosusinātā kūdreņa Km variantā 210–230 m atstatums starp grāvjiem ir par lielu, lai grāvju tuvumā un vidū starp grāvjiem veidojošās audzes varētu pieskaitīt vienam meža tipam.

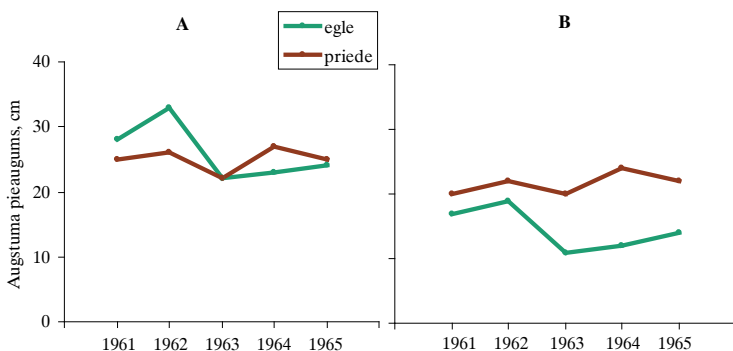
Krasās gruntsūdens režīma atšķirības 1962.–1963. gadu sezonās egles augstuma pieaugumu ietekmējušas daudz nelabvēlīgāk nekā priedes pieaugumu. Ja intensīvi nosusinātajā nogabala daļā egles pieaugums pirms 1963. gada pārsniedza priedes pieaugumu (58. attēls, A), tad pēc 1963. gada otrādi – priedei pieaugums ir lielāks kā eglei. Priedes pieaugums visus piecus gadus šeit svārstījies samērā šaurās robežās – 25...30 cm.

64. tabula

Augstuma vidējā pieauguma salīdzinājums priežu jaunaudzē

Gads	Intensīvi nosusinātā daļā				Nepietiekami nosusinātā daļā				$\frac{i_h(B)}{i_h(A)} \cdot 100\%$
	$i_h(A)$, cm	s	V%	$s_{\bar{x}}$	$i_h(B)$, cm	s	V%	$s_{\bar{x}}$	
1961.	26,6	5,1	19	0,5	21,3	4,5	21	0,8	80 %
1962.	27,8	5,3	19	0,5	22,8	5,0	22	0,9	82 %
1963.	24,4	5,7	23	0,5	20,8	5,7	27	0,6	85 %
1964.	29,5	6,5	22	0,6	26,2	6,0	23	0,8	85 %
1965.	23,4	7,1	25	0,6	23,9	6,5	27	0,8	84 %

Nepietiekami nosusinātajā nogabala daļā priede visus gadus uzrādījusi augstāku ražību nekā egle (58. attēls. B). Arī šīnī nogabala daļā novērojama egles pieauguma samazināšanās pēc 1962. gada.



58. attēls. Egles un priedes augstuma pieauguma salīdzinājums intensīvi (A) un nepietiekami nosusinātajā (B) nogabala daļā.

13.1. Augstuma pieaugums egļu jaunaudzēs

Pieauguma palielināšanos nosusināšanas rezultātā bieži saista ar augšanas laika pagarināšanos. Populārs bija uzskats, ka pēc nosusināšanas koku augšana pavasarī sākas agrāk, kas radies, salīdzinot pieauguma gaitu atšķirīgās meža tipu grupās. Sausajos minerālaugšņu meža tipos koku augšana pavasarī tiešām sākas 5–7 dienas agrāk kā pārpuvotos meža tipos. Viena meža tipa robežās nosusināšanas pakāpes izmaiņa turpretī neizraisa agrāku pieauguma sākšanos. Nosusinātā Ks egļu augšanas sākums intensīvi un nepietiekami nosusinātajās nogabala daļās vidēji neatšķiras vairāk par divām dienām. Šāda atšķirība nav būtiska.

Koku augšanas sākumu galvenokārt nosaka saņemtais siltuma daudzums. Siltajā 1963. gada pavasarī augšana sākusies apmēram 3 nedēļas agrāk nekā vēsajā 1965. gada pavasarī. Koku uzņemto siltuma daudzumu raksturo gaisa temperatūra. Maija vidējā gaisa temperatūra parasti svārstās +8 līdz +16 grādu robežās. Šinī intervālā pastāv cieša negatīva lineāra sakarība starp gaisa temperatūru un eglīšu augšanas sākumu ($r = -0,913 \pm 0,102$). Ja maija vidējā gaisa temperatūra pazeminās par diviem grādiem, augšanas sākums aizkavējas par 5 dienām.

Pieauguma veidošanās saistās ar ievērojamu enerģijas patēriņu. Lai segtu enerģijas deficītu, augšanas laikā krasi – vairāk kā piekārt –

palielinās elpošanas intensitāte. Tas savukārt saistās ar fotosintēzes produktu noārdīšanos. Elpošanu pastiprina arī augsta gaisa temperatūra. Lai organiskās vielas zudumi nesasniegtu kritisku lielumu, karstās vasarās augšana turpinās īsāku laiku. Mūsu darbā konstatēta cieša lineāra sakarība starp egles augstuma pieauguma veidošanās ilgumu un vidējo gaisa temperatūru jūnijā ($r = -0,905 \pm 0,103$). Parasti augšana izbeidzas jūlija otrajā pusē. Augšanas izbeigšanās atšķirības pa gadiem sasniedz divas nedēļas.

Paaugstinoties nosusināšanas intensitātei, būtiski pagarinās eglu augšanas ilgums. Intensīvi nosusinātajā nogabala daļā augšana izbeidzas vidēji 9–11 dienas vēlāk kā nepietiekami nosusinātajā nogabala daļā (65. tabula). Vidējā gruntsūdens dziļuma un augšanas ilguma sakarības raksturo lineārās korelācijas koeficients $r = +0,740 \pm 0,110$. Visā visumā koku augstuma sezonas pieauguma veidošanās ilgums kūdreņos parasti nepārsniedz divus mēnešus.

Korelācijas koeficienti, kas raksturo pieauguma lieluma un augšanas ilguma sakarības svārstās no $+0,832$ līdz $+0,901$ (vidēji $r = +0,845 \pm 0,086$). Šo lielumu gandrīz funkcionālā atkarība it kā liecina, ka augšanas ilguma pagarināšanās pēc nosusināšanas nosaka pieauguma palielināšanos. Tomēr dziļāka pieauguma veidošanās procesa analīze to neapstiprina. Piemēram, eglu jaunaudzē īsākais augšanas laiks konstatēts 5. un 15. parauglaukumā (66. tabula). Šajos parauglaukumos vismazākais ir arī vidējais augstuma pieaugums. Abi šie parauglaukumi atrodas apmēram vidū starp grāvjiem. Tuvojoties grāvjiem, pakāpeniski palielinās augstuma pieaugums un pagarinās augšanas ilgums. Tā 11. parauglaukumā (pie grāvja) augšanas ilgums par 26–32 % pārsniedz augšanas ilgumu 15. parauglaukumā. Kā minēts, augšanas ilguma pagarināšanās notiek galvenokārt uz vēlākas pieauguma izbeigšanās rēķina. Augšanas perioda beigu posmā augšanas intensitāte tomēr jau ir stipri niecīga, un augšanas kopējā laika pagarināšanās par 26–32 % paaugstina sezonas pieauguma lielumu tikai par 4–12 %. Ja 11. parauglaukumā augšana izbeigtos vienlaicīgi ar augšanu 15. parauglaukumā (vidū starp grāvjiem), t.i., par 16–18 dienām agrāk, arī tad eglīšu augstuma pieaugums 11. parauglaukumā 2–3 reizes pārsniegtu eglīšu augstuma pieaugumu 15. parauglaukumā. Jāsecina, ka pieauguma lielumu nosaka koka fizioloģiskie procesi, t.sk. arī augšanas intensitāte, nevis augšanas ilgums. Ilgāks augšanas periods izpaužas kā intensīvākas augšanas pazīme.

Augstuma pieauguma intensitāte ir nozīmīgs jaunaudzes dzīvīguma rādītājs. Grafiski attēlojot augšanas intensitātes izmaiņas sezonā, izveidojas līkne, parasti ar vienu kulmināciju. Tikai krasas vides apstākļu, galvenokārt – gaisa temperatūras, izmaiņas izraisa lūzumu pieauguma gaitā. Piemēram, krasa gaisa temperatūras pazemināšanās 1965. gada jūlija sākumā izraisīja augšanas palēnināšanos šajā laika posmā. Daudz vairāk augšanas gaitas raksturu izmaina nosusināšanas intensitāte (59. attēls).



Ne pietiekami nosusinātajā nogabala daļā (110 m no grāvja) koku pieaugums kulminē drīz pēc sākšanās, kamēr intensīvi nosusinātajā daļā sezonas pieaugums kulminē apmēram mēnesi pēc augšanas sākuma. Kulminācija intensīvi nosusinātajā nogabala daļā bieži vien notiek laikā, kad nepietiekami nosusinātajā daļā augšana jau tuvojas nobeigumam. Starp vidējo gruntsūdens dziļumu un perioda ilgumu, kurā pieaug darbības aktivitāte, t.i., laiku no augšanas sākuma līdz sezonas pieauguma kulminācijai, konstatēta labi nodrošināta sakarība. Lineārās korelācijas koeficients $r = 0,830$ pie $r_{0,05} = 0,080$.

65. tabula

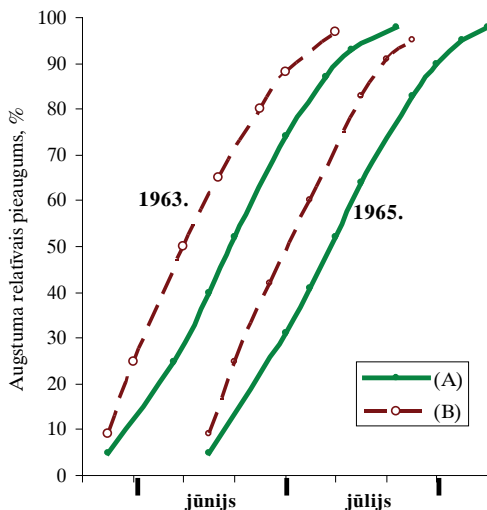
Augstuma pieauguma gaita egļu jaunaudzēs intensīvi nosusinātājā (A) un nepietiekami nosusinātājā (B) audzēs daļā

Pieauguma gaitu raksturojošie rādītāji	1962.		1963.		1964.		1965.		
	A	B	A	B	A	B	A	B	
Pieauguma sākums	4.VI	6.VI	20.V	22.V	1.VI	3.VI	12.VI	12.VI	–
Augšanas ilgums līdz kulminācijai	34 dn	28 dn	21 dn	15 dn	18 dn	13 dn	5 dn	31 dn	15 dn
Pieauguma izbeigšanās	9.VII	29.VII	17.VII	7.VII	22.VII	11.VII	11 dn	4.VIII	26.VII
Augšanas ilgums	66 dn	53 dn	53 dn	46 dn	51 dn	38 dn	13 dn	53 dn	44 dn
Vidējais pieauguma temps, mm dn ⁻¹	5,2	3,5	1,7	4,5	2,5	2,0	5,1	3,4	1,7
Pieaugums kulminācijas laikā, mm dn ⁻¹	8,3	5,0	3,3	5,8	3,5	2,3	8,6	5,6	3,0
								8,1	4,8
								3,3	1,8
								4,8	3,3

Koku augšanas ilgums un gadējais pieaugums egļu jaunuzdē

Nr.	Augšanas ilgums, dienas			Galotnes dzi- numu garums, mm			Augšanas laika pagarināšanās intensīvākas nosusināšanas rezultātā			Pieaugums, kas izveidojies pēc augšanas izbeigšanās 5. un 15. parauglaukumā			Galotnes dzi- numa relatīvais garums, %								
	1962	1963	1964	1962	1963	1964	1962	1963	1964	1962	1963	1964	1962	1963	1964						
	dienas			%			mm			%											
1.	66	60	52	400	350	285	14	15	15	21	25	29	10	40	50	2	11	18	211	292	172
2.	64	54	47	240	170	205	12	9	10	19	17	21	5	5	17	2	3	8	126	142	124
3.	48	45	36	210	150	160	4	0	-1	-8	0	-3	0	0	3	0	0	2	110	125	97
4.	53	47	38	210	160	170	1	2	1	2	4	3	0	10	3	0	6	2	110	133	103
5.	52	45	37	190	120	165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100
6.	52	55	47	190	170	160	0	10	10	0	18	21	0	10	10	0	6	6	100	142	97
7.	56	52	47	265	220	220	4	7	10	7	14	21	5	15	30	2	7	14	140	183	133
8.	67	55	51	405	320	300	15	10	14	22	18	28	15	50	50	4	16	17	213	267	182
10.	69	59	56	395	345	350	17	14	19	25	24	34	25	65	95	6	19	27	208	288	212
11.	70	57	50	350	240	225	18	16	16	26	28	32	15	30	10	4	12	4	233	320	264
12.	55	55	44	230	160	180	3	14	10	6	28	23	0	10	5	0	6	3	153	214	212
13.	54	39	36	140	85	95	2	-2	2	4	-5	6	0	0	0	0	0	0	93	113	112
14.	60	44	35	160	95	100	8	3	1	13	7	3	5	0	3	3	0	3	107	126	118
15.	52	41	34	150	75	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100
16.	53	45	38	155	85	75	1	4	4	2	9	10	0	0	2	0	0	3	103	113	88
17.	60	51	39	200	125	100	8	10	5	13	20	13	5	0	2	2	0	2	133	167	118
18.	70	61	56	325	280	280	18	20	22	26	33	39	5	50	35	2	18	12	216	373	330
19.	67	59	51	330	265	230	15	18	17	22	30	33	20	30	35	5	11	15	254	353	270

kociņi (60. attēls). Piemēram, 1963. gadā uz 18. jūniju intensīvi nosusinātajā nogabala daļā kociem ir izveidojies 50 % no pieauguma, bet nepietiekami nosusinātajā daļā uz to pašu laiku pieaugums jau sasniedz 75 % no sezonas galīgā pieauguma.



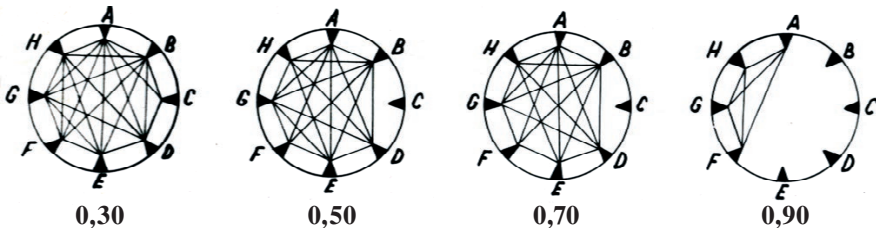
60. attēls. Egles augstuma pieauguma summārās līknes intensīvi (A) un nepietiekami nosusinātajā (B) nogabala daļā.

Nepietiekamas nosusināšanas nelabvēlīgo ietekmi uz egles fizioloģisko stāvokli raksturo arī skuju garums. Līdz ar nosusināšanas pavājināšanos skuju garums ievērojami samazinās (67. tabula). Intensīvi nosusinātajā audzes daļā skujas ir vidēji par 15 % garākas nekā nepietiekami nosusinātajā daļā. Starp vidējo skuju garumu un koka augstuma pieaugumu konstatēta cieša lineāra sakarība ($r = 0,940$, $r_{0,05} = 0,030$). Tikpat cieša sakarība atrasta arī starp skuju garumu un galotnes dzinuma augšanas vidējo tempu ($r = 0,93$, $r_{0,05} = 0,030$).

Egles skujuas vidējais garums (1961.–1964.)

Paraug- lau- kums	Attā- lums no grāvja, mm	Skujuas garums \bar{X} , mm	Vidējā klūda $S_{\bar{x}}$, mm	Paraug- lau- kums	Attā- lums no grāvja, mm	Skujuas garums \bar{X} , mm	Vidējā klūda $S_{\bar{x}}$, mm
1.	11	11,1	0,1	11.	13	11,0	0,2
2.	33	9,7	0,2	12.	38	9,3	0,2
3.	55	9,0	0,1	13.	63	8,5	0,2
4.	77	10,1	0,1	14.	88	8,5	0,2
5.	99	9,6	0,2	15.	117	7,8	0,2
6.	100	9,2	0,2	16.	88	8,2	0,1
7.	78	10,0	0,2	17.	63	9,0	0,1
8.	56	11,0	0,1	18.	38	10,9	0,2
10.	12	11,3	0,2	19.	13	10,4	0,1

Augšanas gaitu raksturojošo lielumu daudzveidīgās sakarības var pārskatāmi analizēt ar „korelāciju cilindra” metodi. Attēlojot cilindra griezumus līmeņos ar dažādu ticamību, viegli izsekot sakarību raksturam un noteiktībai (61. attēls). Eglīšu vidējā augstuma pieauguma (A) lielumu pētījumu objektā lielā mērā nosaka nosusināšanas pakāpes nodrošinājums (B). Pārējie lielumi, izņemot H – skujuas garumu, raksturo pašu augšanas procesu.



61. attēls. Egļu augšanas dinamiku raksturojošo lielumu sakarības.
A – gadējā pieauguma lielums; **B** – nosusināšanas pakāpes nodrošinājums;
C – augšanas sākuma laiks; **D** – augšanas ilgums līdz kulminācijai;
E – augšanas ilgums sezonā; **F** – augšanas vidējā intensitāte ($mm\ dn^{-1}$) sezonā;
G – augšanas intensitāte ($mm\ dn^{-1}$) sezonas pieauguma kulminācijas laikā;
H – skujuas vidējais garums.

Pirmajā, zemākajā griezumā (pie 0,3) konstatētas sakarības gandrīz starp visiem attēlotajiem lielumiem. Par cik šo sakarību noteiktība ir maza, nav pamata tās visas uzskatīt par līdzvērtīgām. Paaugstinot noteiktību, redzam, ka sakarību raksturojošās saites viena pēc otras pārtrūkst. Vispirms pārtrūkst saites ar C, t.i., augšanas sākuma laiku. Tas liecina, ka šim lielumam ir niecīga ietekme uz pārējiem. Piemēram, augšanas sākums nav atkarīgs no nosusināšanas pakāpes nodrošinājuma (B), augšanas sākuma laiks neietekmē pieauguma lielumu (A), no sākšanās laika nav atkarīgs augšanas ilgums (E), utt. Sakarības esamība līmenī 0,70 norāda uz samērā ciešu saistību starp daudziem egles sezonas augšanas gaitas rādītājiem. Pēc statistiskās analīzes datiem par būtiskām uzskatāmas visas sakarības, kas sasniedz 0,70 līmeni. Vairums saišu izirst posmā starp 0,70 un 0,90. Visciešākās sakarības pastāv starp pieauguma lielumu, augšanas intensitāti un skuju garumu, kas liecina par šo lielumu savstarpējo nosacītību.



13.2. Augstuma pieaugums priežu jaunaudzēs

Augstuma pieauguma veidošanās raksturs priedei nepietiekami nosusinātajā nogabala daļā maz atšķiras no augšanas gaitas rakstura intensīvi nosusinātajā nogabala daļā (68. tabula).

68. tabula

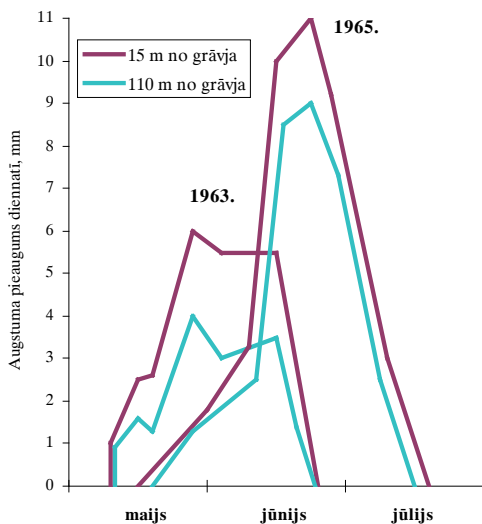
Augstuma pieauguma gaita priežu jaunaudzēs intensīvi nosusinātajā (A) un nepietiekami nosusinātajā (B) audzes daļā

Pieauguma gaitu raksturojoši rādītāji	1963.			1964.			1965.		
	A	B	star-pība	A	B	star-pība	A	B	star-pība
Pieauguma sākums	8.V	8.V	-	15.V	14.V	1 dn	17.V	20.V	3 dn
Augšanas ilgums līdz kulminācijai	20 dn	19 dn	1 dn	24 dn	24 dn	-	31 dn	28 dn	3 dn
Pieauguma izbeigšanās	23.VI	23.VI	-	29.VI	28.VI	1 dn	14.VII	11.VII	3 dn
Augšanas ilgums	46 dn	46 dn	-	45 dn	45 dn	-	53 dn	52 dn	6 dn
Vidējais pieauguma temps, mm dn ⁻¹	5,3	4,5	0,8	6,6	5,8	0,7	4,9	4,6	0,3
Pieaugums kulminācijas laikā, mm dn ⁻¹	7,9	6,6	1,3	12,3	11,3	1,0	11,0	9,5	1,5

Nosusināšanas intensitāte neietekmē priežu augšanas sākumu, un praktiski vienlaicīgi augšana arī izbeidzas visā nogabalā. Tādējādi sakarības starp augšanas ilgumu un pieauguma lielumu priežu jaunaudzē ir mazāk ciešas kā egļu jaunaudzē $r = 0,520$, $r_{0,05} = 0,180$.

Augstuma sezonas pieauguma kulminācija visos parauglaukumos notiek praktiski vienlaicīgi (62. attēls). Tāpēc gandrīz vienāds visos parauglaukumos ir arī augstuma pieauguma veidošanās kāpjošas aktivitātes periods.

Pieauguma palielināšanos pēc nosusināšanas nosaka galvenokārt pieauguma intensitātes paaugstināšanās. Priedes augstuma pieaugums grāvju tuvumā vidēji vienā dienā ir par 6–18 % augstāks nekā no

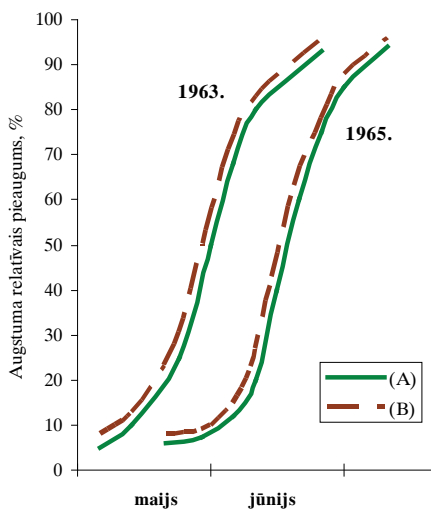


62. attēls. Priežu augšanas intensitāte.

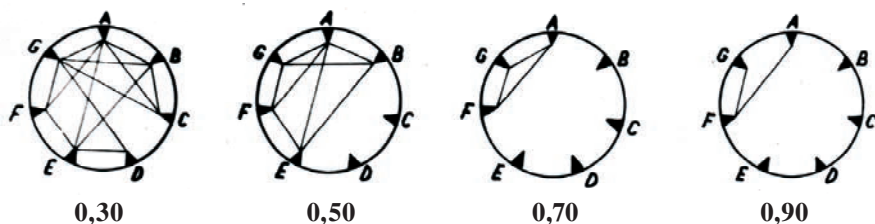
grāvjiem attālākajā audzes daļā. Augstuma pieaugums grāvju tuvumā diennaktī visintensīvākās augšanas laikā ir par 13–30 % lielāks kā nepietiekami nosusinātajā nogabala daļā.

Priežu audzē augstuma pieauguma veidošanās gaita intensīvi un nepietiekami nosusinātajās daļās ir stipri līdzīga. Ja egles jebkurā augšanas perioda brīdī nepietiekami nosusinātajā nogabala daļa ir iztērējusi ievērojami vairāk pieaugumam izmantojamo rezerves vielu nekā intensīvi nosusinātajā daļā, tad priedei šī starpība ir neliela (63. attēls).

Analizējot ar „korelācijas cilindra” metodi priede augšanas gaitu raksturojošo rādītāju sakarības (64. attēls), novērojama saišu pārtrūkšana relatīvi zemā ticamības līmenī. Tas norāda, ka priedes augstuma pieauguma veidošanās gaita ir stabilāka nekā egles augstuma pieauguma veidošanās gaita. Viena rādītāja izmaiņa neizraisa dziļu reakciju pārējos. Sakarības raksturojošie korelācijas koeficienti parasti nesasniedz 0,70 līmeni. Līdzīgi eglei arī priedes sezonas augšanas gaitā vērojama visciešākā sakarība starp pieauguma lielumu un augšanas intensitāti.



63. attēls. Priedes augstuma relatīvā pieauguma summārās līknes intensīvi (A) un nepietiekami nosusinātajā (B) nogabala daļā.



64. attēls. Priedes augšanas dinamiku raksturojošo lielumu sakarības.

A – gadējā pieauguma lielums; B – nosusināšanas pakāpes nodrošinājums;
 C – augšanas sākuma laiks; D – augšanas ilgums līdz kulminācijai;
 E – augšanas ilgums sezonā; F – augšanas vidējā intensitāte (mm dn^{-1}) sezonā;
 G – augšanas intensitāte (mm dn^{-1}) sezonas pieauguma kulminācijas laikā.

Priedes relatīvi stabilā sezonas augšanas gaita liecina, ka tā daudz labāk nekā egļu spēj pielāgoties nelabvēlīgiem vides apstākļiem. Šī īpašība lielā mērā arī nosaka priedes priekšrocības Km variantā apmežojumos. Salīdzinot priedes un egļu augstuma pieaugumu atšķirīgos gruntsūdens režīma apstākļos, konstatēts, ka vienīgi nosusinātāja tuvumā (līdz 15 m attālumam) šo sugu augstuma pieaugums ir apmēram vienāds (69. tabula). Attālinoties no grāvja, egļu augstuma pieaugums samazinās ievērojami straujāk. Jau 45 m attālumā no grāvja priedes pieaugums pārsniedz egļu pieaugumu. 105 m attālumā no nosusinātājiem grāvjiem egļu augstuma pieaugums sasniedz vairs tikai 62 % no priedes augstuma pieauguma. Tas liecina, ka nosusinātā Km variantā nav lietderīgi izvirzīt egļu par galveno sugu. Ja vien to neizslēdz speciāli apsvērumi, šādos apstākļos galvenokārt jāsaimeņo ar priedi, egļu pieļaujot audzes piemistojumā.

69. tabula

Priedes un egļu augstuma salīdzinājums kūdreņos dažādos attālumos no grāvja

Attālums no grāvja, mm	Koku suga	n	\bar{x} , cm	s, cm	V%	$S_{\bar{x}}$, cm	t	Atšķirības novērtējums	Relatīvais pieaugums
15	P	225	30	6,4	21	0,43	2,25	nav būtiska	100%
	E	235	32	13,4	42	0,78			100%
45	P	373	27	6,7	25	0,34	4,18	ir būtiska	90%
	E	367	24	12,0	50	0,62			75%
105	P	255	24	6,6	28	0,41	14,3	ir būtiska	80%
	E	221	15	7,8	52	0,52			47%

n – gadījumu skaits, \bar{x} – vidējais augstuma pieaugums; s – standartnovirze; V% – variācijas koeficients; $S_{\bar{x}}$ – vidējā kļūda; t – Stjudenta sadalījuma arguments.

13.3. Priedes un egles stumbra caurmēra pieaugums veģetācijas periodā

Veidojot caurmēra sezonas pieaugumu, t.i., jaunu gadskārtu, tiek nodrošināts fizioloģiskais kontakts starp koka vainagu un saknēm un ir stabils balsts koka vainagam. Ja barības vielu un ūdens aprītē iesaistās galvenokārt agrīnās koksnes traheīdas, tad vēlinā koksne veido stiegrojumu, kas palielina stumbra mehānisko izturību. Ir zināms, ka pastāv cieša pozitīva sakarība starp vēlinās koksnes relatīvo daudzumu gadskārtā un stumbra izturību pret lieci un spiedi.

Koku stumbra pieauguma palielināšanās pēc pārmitro nogabalu nosusināšanas saistās ar izmaiņām gadējā pieauguma veidošanās gaitā. Pirms šo izmaiņu analīzes nepieciešams nedaudz raksturot koku gadējā pieauguma apjoma un nosusināšanas intensitātes sakarības pētījumu objektos.

Ekstrēmi slapjā 1962. gada vasara un ļoti sausās 1963.–1964. gadu vasaras raksturīgas ar ļoti krasām gruntsūdens līmeņa svārstībām. Piemēram, I parauglaukumu sērijā 20 m attālumā no grāvja 1964. gadā gruntsūdens līmenis atradies vidēji apmēram trīskārt dziļāk nekā 1962. gadā. Tānī pašā sērijā 140–200 m attālumā no grāvja gruntsūdens vidējais dziļums 1964. gadā 5–6 reizes pārsniedz gruntsūdens dziļumu 1962. gadā. Līdzīgas likumsakarības konstatētas visos parauglaukumos, kuros analizēta koku caurmēra pieauguma veidošanās gaita.

Kā jau iepriekš minēts, nosusinātā niedrāja Km un Ks tipos nosusināšanas norma ir sasniegta, ja gruntsūdens līmenis laikā no jūnija līdz oktobrim nepaceļas augstāk par 30–40 cm. Parauglaukumos, kuros analizēta caurmēra pieauguma veidošanās, ir ļoti dažāds nosusināšanas normas nodrošinājums. Grāvju tuvumā ierīkotajos parauglaukumos nosusināšanas norma ir nodrošināta par 80–90 %. Vidū starp grāvjiem nodrošinājums samazinās apmēram divkārt. Tas nozīmē, ka šeit apmēram pusi no augšanas laika sakņu sistēmas augsnes slānī ir nelabvēlīgs mitruma režīms.

Līdz ar attālināšanos no grāvja novērojama arī gadskārtas platuma samazināšanās (70. tabula). Tāpat samazinās arī traheīdu rindu skaits gadskārtā. Tomēr vairumā gadījumu koku gadskārtas platums līdz ar attālināšanos no grāvja samazinās samērā nenožīmīgi. Piemēram, I pa-

rauglaukumu sērijā, kur līdz ar attālināšanos no grāvja strauji samazinās nosusināšanas normas nodrošinājums, 140–200 m attālumā no nosusinātāja grāvja gadskārta ir tikai par 20 % šaurāka nekā 20 m attālumā no grāvja. Nosusināšanas normas nodrošinājuma un gadskārtas vidējā platuma sakarības ir samērā vājas ($r = 0,33...0,45$) un nav uzskatāmas par būtiskām.

Gadskārtas veidošanos nepieciešams saistīt ar stumbra koksnes pieaugumu tikai vienādu dimensiju kokiem. Tā kā audzes jau ilgāku laiku (25–35 gadus) atradušās nosusināšanas ietekmē, intensīvāk nosusinātajās platībās koku caurmērs ir ievērojami lielāks kā vājāk nosusinātajās nogabala daļās. Piemēram, I parauglaukumu sērijā grāvju tuvumā stumbra caurmērs priedei ir aptuveni divas reizes lielāks nekā 140 m attālumā no grāvja. Līdz ar to koku sezonas pieauguma apjoma raksturošanai daudz lietderīgāk ir izmantot nevis gadskārtas platumu, bet gadskārtas šķērslaukumu krūšaugstumā.



Gadskārtas vidējais platums un traheīdu rindu skaits gadskārtā
(I–II Krafta klases koki)

Sērija	Pa- raug- lau- kums	Gadskārtas platums mikronos			Traheīdu rindu skaits		
		vidējais platums	s	$s_{\bar{x}}$	vidējais rindu skaits	s	$s_{\bar{x}}$
I	1	1020	470	66	32	12,6	1,8
	2	1200	320	45	38	9,6	1,4
	3	1030	430	60	32	12,4	1,8
	4	990	440	51	31	11,5	1,6
	5	1100	400	56	33	11,3	1,6
	6	1300	400	57	41	13,3	1,9
	7	1700	530	82	51	18,0	2,5
II	1	905	270	38	26	6,4	0,9
	2	730	150	29	22	5,7	0,8
	3	900	230	33	28	7,8	1,1
III	1	2000	730	109	65	23,0	3,2
	2	1430	470	66	43	16,2	2,2
	3	2060	560	93	62	25,1	3,5
IV	4	1850	670	94	58	22,3	3,1
	5	1690	505	71	50	16,2	2,3
	6	1410	500	70	51	17,4	2,4
VII	1	1580	670	94	47	16,5	2,3
	2	1300	560	79	39	13,8	1,9
VIII	3	1350	530	75	41	13,9	2,0
	4	1250	420	59	38	11,5	1,6
	5	1710	660	93	51	17,2	2,4
IX	6	1360	810	114	43	22,6	3,2
	7	1400	750	106	45	14,4	2,0

Dati par gadskārtas vidējo šķērslaukumu norāda, ka grāvja tuvumā koksnes pieaugums ir ievērojami lielāks nekā no grāvjiem attālākajā audzes daļā (71. tabula). Noteikta pozitīva korelācija konstatēta arī starp gadskārtas vidējo šķērslaukumu un nosusināšanas normas nodrošinājumu: lineārās korelācijas koeficienti svārstās no +0,74 līdz +0,86. I–II Krafta klases koku gadskārtas laukums ievērojami pārsniedz III augšanas klases koku gadskārtas laukumu. Priežu audzē III Krafta klases koku gadskārtas laukums ir vidēji 2,4 reizes mazāks nekā I–II Krafta klases kokiem. Egļu audzē atšķirība sasniedz 4,3 reizes.

Daudz neskaidrību un pretrunu ir jautājumā par koksnes elementu izmēru atkarību no meža tipa. Analizējot samērā plašu datu materiālu (ap 10000 mikropreparātu), noskaidrojās, ka skuju koku koksnes galvenā elementa – traheīdu caurmērs radiālajā virzienā tieši nav atkarīgs no augšnes hidroloģiskā režīma (72. tabula). Vienas Krafta klases koku traheīdu caurmērs ir apmēram vienāds gan intensīvi, gan nepietiekami nosusinātajās audzes daļās. Toties samērā skaidri izpaužas likumsakarība, ka traheīdu caurmērs samazinās, palielinoties koku nomāktībai: II un sevišķi III Krafta klases kokiem traheīdu caurmērs ir ievērojami mazāks kā I Krafta klases kokiem.

Traheīdu caurmērs cieši saistās ar gadskārtas platumu. Platākās gadskārtas veido lielākas traheīdas. Starp traheīdu caurmēru un gadskārtas platumu konstatēta cieša pozitīva sakarība: lineārās korelācijas koeficients $r = +0,883$, $r_{0,05} = 0,090$.

71. tabula

Priedes un egles gadskārtas vidējais laukums krūšaugstumā

Sērija	Paraug- laukums	Meža tips	Attālums no grāvja	Gadskārtas vidējais laukums, mm ²	
				I–II Krafta kl.	III Krafta kl.
I	1	P-Km	20	785	355
	2		80	720	199
	3		140	556	217
	4		200	520	220
	5		140	435	141
	6		80	592	263
	7		20	965	353
II	1	P-Kv	15	556	166
	2		103	376	170
	3		15	435	230
III	1	E-Ks	15	1360	303
	2		111	830	264
	3		20	1280	251
IV	4		15	1070	550
	5		115	1030	204
	6		15	1100	183
VII	1	P-Ks	15	1220	560
	2		105	800	473
VIII	3		15	990	398
	4		177	775	394
	5		15	1170	250
IX	6	P-Km	15	935	374
	7		75	817	366

Priežu un egļu traheīdu caurmēra salīdzinājums intensīvi (A)
un nepietiekami nosusinātā (B) audzes daļā

Pa- raug- lauk. sērija	Meža tips	Nosu- sinā- šanas inten- sitāte	Kraf- ta klase	Traheīdu caurmērs mikronos					
				Agrīnajā koksne			Vēlīnajā koksne		
				1962.	1963.	1964.	1962.	1963.	1964.
I	P-Km	A	I	41 ± 0,35	37 ± 0,51	41 ± 0,44	25 ± 0,33	24 ± 0,50	27 ± 0,48
			II	40 ± 0,43	35 ± 0,45	39 ± 0,44	25 ± 0,47	23 ± 0,59	25 ± 0,46
			III	37 ± 0,42	35 ± 0,60	36 ± 0,50	21 ± 0,44	21 ± 0,48	21 ± 0,51
		B	I	40 ± 0,41	34 ± 0,61	40 ± 0,49	24 ± 0,64	22 ± 0,45	23 ± 0,54
			II	38 ± 0,48	33 ± 0,57	39 ± 0,52	22 ± 0,48	22 ± 0,39	24 ± 0,54
			III	36 ± 0,57	31 ± 0,66	35 ± 0,62	20 ± 0,46	21 ± 0,53	20 ± 0,52
VII- IX	P-Ks	A	I	41 ± 0,41	44 ± 0,52	41 ± 0,38	26 ± 0,44	23 ± 0,32	26 ± 0,42
			II	39 ± 0,44	41 ± 0,53	39 ± 0,45	25 ± 0,45	22 ± 0,32	25 ± 0,47
			III	37 ± 0,43	38 ± 0,58	35 ± 0,57	21 ± 0,51	19 ± 0,34	22 ± 0,47
		B	I	42 ± 0,52	40 ± 0,67	40 ± 0,50	27 ± 0,36	23 ± 0,36	23 ± 0,30
			II	40 ± 0,62	39 ± 0,58	40 ± 0,47	26 ± 0,51	22 ± 0,42	24 ± 0,38
			III	38 ± 0,62	38 ± 0,51	37 ± 0,54	24 ± 0,50	22 ± 0,36	22 ± 0,50
II	P-Kv	A	I	41 ± 0,49	37 ± 0,59	40 ± 0,37	22 ± 0,62	23 ± 0,53	23 ± 0,38
			II	35 ± 0,50	35 ± 0,52	36 ± 0,45	20 ± 0,44	20 ± 0,41	22 ± 0,35
			III	33 ± 0,44	33 ± 0,78	32 ± 0,45	17 ± 0,39	20 ± 0,39	21 ± 0,36
		B	I	39 ± 0,73	35 ± 0,76	37 ± 0,60	21 ± 0,70	24 ± 0,42	24 ± 0,52
			II	38 ± 0,9	37 ± 0,82	37 ± 0,67	20 ± 0,57	22 ± 0,40	21 ± 0,54
			III	32 ± 0,54	34 ± 0,74	32 ± 0,46	18 ± 0,64	17 ± 0,30	20 ± 0,48

III- IV	E-Ks	A	I	40 ± 0,40	34 ± 0,46	36 ± 0,43	27 ± 0,44	20 ± 0,32	21 ± 0,48
			II	38 ± 0,46	31 ± 0,49	35 ± 0,43	25 ± 0,50	19 ± 0,27	21 ± 0,44
			III	35 ± 0,54	28 ± 0,41	31 ± 0,67	21 ± 0,55	17 ± 0,25	19 ± 0,40
	B	I	41 ± 0,66	34 ± 0,53	38 ± 0,61	28 ± 0,74	20 ± 0,34	20 ± 0,43	
		II	36 ± 0,53	30 ± 0,58	35 ± 0,68	24 ± 0,67	18 ± 0,36	20 ± 0,47	
		III	33 ± 0,65	26 ± 0,53	31 ± 0,58	23 ± 0,71	17 ± 0,25	20 ± 0,48	

13.4. Koksnes augšanas ilguma un nosusināšanas intensitātes sakarības

Nosusināšanas intensitāte praktiski neietekmē caurmēra pieauguma veidošanās sākumu. Kā grāvju tuvumā, tā no grāvjiem attālākajā daļā stumbra kambija aktivizēšanās sākas apmēram vienlaicīgi (73. tabula): 1–4 dienu lielā atšķirība atrodas novērojumu precizitātes robežās un nav uzskatāma kā būtiska.

73. tabula

Stumbra kambija aktivizēšanās sākums (1962.–1964.)

Sērija	Pa- raug- lau- kums	Koku suga	I–II Krafta klase				III Krafta klase	
			mērīto stumburu skaits	akti- vizē- šanās sākums	stan- dard- novirze	stan- dard- klūda	mērīto stumburu skaits	akti- vizē- šanās sākums
					dienas			
I *)	1	P	40	25.V	9,0	1,4	15	31.V
	2	P	40	23.V	8,4	1,3	15	30.V
	3	P	40	25.V	8,2	1,3	15	24.V
	4	P	40	24.V	8,8	1,4	15	23.V
	5	P	40	23.V	7,8	1,2	15	27.V
	6	P	40	21.V	7,6	1,2	15	24.V
	7	P	40	21.V	8,2	1,3	15	26.V

Sērija	Paauglums	Koku suga	I–II Krafta klase				III Krafta klase	
			mērīto stumbru skaits	aktivizēšanās sākums	standartnovirze	standartkļūda	mērīto stumbru skaits	aktivizēšanās sākums
					dianas			
II	1	P	30	23.V	8,0	1,5	15	30.V
	2	P	30	20.V	7,4	1,3	15	28.V
	3	P	30	23.V	7,2	1,3	15	27.V
III	1	E	30	28.V	8,0	1,5	15	1.VI
	2	E	30	29.V	10,4	1,9	15	2.VI
	3	E	30	26.V	8,8	1,6	15	30.V
IV	4	E	30	26.V	7,7	1,4	15	27.V
	5	E	30	29.V	6,4	1,2	15	2.VI
	6	E	30	28.V	6,8	1,2	15	7.VI
VII	1	P	30	19.V	7,4	1,4	15	22.V
	2	P	30	21.V	7,6	1,4	15	24.V
VIII	3	P	30	21.V	8,0	1,5	15	24.V
	4	P	30	21.V	6,7	1,2	15	23.V
	5	P	30	19.V	7,0	1,3	15	22.V
IX	6	P	30	21.V	7,2	1,3	15	24.V
	7	P	30	20.V	7,4	1,4	15	23.V

*) I sērijas kambija aktivizēšanās sākums aprēķināts kā vidējais no 1962.–1965. gadu novērojumiem.

Spriežot pēc 3–4 gadu novērojumu datiem ar 96 % ticamību, I–II Krafta klases priežu stumbra kambija aktivizēšanās nekad nesākas agrāk par 6. maiju. Ap 7. jūniju caurmēra pieaugums ir sācis veidoties visām priedēm. Mētru kūdrenī visbiežāk stumbra kambija darbība sākas maija otrajā pusē. Novērojama tendence, ka III augšanas klases kokiem stumbra kambijs aktivizējas nedaudz vēlāk nekā I–II augšanas klases kokiem. Atšķirību tomēr nevar vērtēt kā būtisku. Eglei stumbra kambija darbība sākas vidēji apmēram nedēļu vēlāk kā priedei.

Tāpat kā galotnes dzinuma augšanas sākumu, arī caurmēra pieauguma veidošanās sākumu stipri ietekmē gaisa temperatūra. Siltajā 1963. gada pavasarī caurmēra pieaugums sācies ievērojami agrāk nekā pārējos gados : salīdzinot ar 1965. gadu, starpība sasniedz 17 dienas (74. tabula). Ir konstatēta cieša negatīva sakarība starp vidējo gaisa temperatūru maijā un stumbra kambija aktivizēšanās sākumu. Augstais korelācijas koeficients ($r = -0,965$) liecina, ka šie lielumi ir apgriezti proporcionāli. Maija vidējai gaisa temperatūrai paaugstinoties par 5 grādiem, stumbra kambijs sāk darboties par 10–12 dienām agrāk. Šinī ziņā novērojama paralelitate arī ar koku jauno dzinumu un skuju attīstības gaitu. 1965. gadā skuju priecī plaukušas 20 dienas vēlāk nekā 1963. gadā.

74. tabula

Stumbra kambija aktivizēšanās

Meža tips	Paraug-laukuma sērija	Kambija aktivizēšanās vidējie laiki							
		1962.		1963.		1964.		1965.	
		\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
P-Km	I	25.V	0,8	16.V	0,8	23.V	0,7	2.VI	0,5
P-Ks	VII–IX	23.V	0,9	14.V	0,8	24.V	0,8		
P-Kv	II	28.V	1,1	15.V	1,0	23.V	1,0		
E-Ks	III–IV	4.VI	0,8	20.V	0,8	28.V	0,8		

Salīdzinot priedes stumbra kambija aktivizēšanās un pumpuru plaukšanas vidējos laikus, starp šiem lielumiem konstatēta cieša lineāra sakarība: $r = +0,956$, $r_{0,05} = 0,040$. Stumbra kambija aktivizēšanās sākas vidēji 15–19 dienas pirms skuju plaukšanas. Tomēr atsevišķos gados kokiem novērojamas prāvas novirzes uz vienu vai otru pusi, un pēc koka fenoloģiskā stāvokļa vien nevar droši spriest par stumbra kambija aktivitātes pakāpi. Neparādās, ka agrāk uzplaukušajam kokam stumbra kambijs vienmēr ir aktivizējies agrāk. Ir konstatēti pat gadījumi, ka stumbra kambijs savu darbību uzsācis pēc skuju plaukšanas. Ar šīm novirzēm arī izskaidrojamas pretrunas literatūrā sastopamajās atziņās par stumbra kambija aktivizēšanās sakarībām ar pumpuru plaukšanu.

Priedes un egles koksnes sezonas pieaugums dalās divās morfoloģiski un pēc savām funkcijām krasi atšķirīgās daļās – agrīnajā un vēlinajā. Pārslēgšanās no viena koksnes veida uz otru notiek bez lūzuma caurmēra sezonas augšanas gaitā. Pirmās vēlino traheīdu rindas pēc saviem izmēriem relatīvi maz atšķiras agrīnajām traheīdām. Tā kā sienīņu uzbiezināšanās turpinās vēl zināmu laiku pēc traheīdu rašanās, paiet noteikts laika posms, pirms iespējams droši noteikt agrīnās un vēlinās koksnes robežu un agrīnās koksnes galīgo daudzumu gadskārtā. Agrīnās koksnes veidošanās izbeigšanos un vēlinās koksnes rašanās sākumu var konstatēt tikai vēlāk, grafiski nosakot, no kāda brīža agrīnās koksnes daudzums gadskārtā vairs nepalielinās.

Vēlinā koksne sāk veidoties intensīvas augšanas laikā, aptuveni jūlija pirmajā pusē. Vēlinās koksnes veidošanās sākums atkarīgs no koku augšanas apstākļiem, kā arī no gada hidrometeoroloģiskajiem apstākļiem (75. tabula). Vēsajās 1962. un 1965. gadu vasarās vēlinā koksne sākusi veidoties nedaudz vēlāk kā 1963. un, sevišķi 1964. gadu vasarās. No mūsu rīcībā esošajiem pētījumu datiem nevar konstatēt būtisku atšķirību starp I–II augšanas klašu un III augšanas klases koku vēlinās koksnes veidošanās sākumu. Tāpat aptuveni vienlaicīgi ar priedi vēlinā koksne sāk veidoties eglei.

Agrīnās koksnes veidošanās ilgumu nosaka stumbra kambija aktivizēšanās pavasarī un vēlinās koksnes rašanās sākums. Tā kā abi šie lielumi ir samērā neatkarīgi no nosusināšanas intensitātes, arī agrīnās koksnes veidošanās ilgums ir aptuveni vienāds gan grāvju tuvumā, gan 100–200 m attālumā no grāvjiem (76. tabula). Arī aprēķinātie korelācijas koeficienti (vidēji $r = +0,48$, $r_{0,05} = 0,21$) norāda, ka neapstāv noteikta sakarība starp nosusināšanas normas nodrošinājumu un agrīnās koksnes veidošanās ilgumu. III augšanas klases kokiem agrīnā koksne veidojas par 5–10 dienām īsākā laikā nekā I–II augšanas klašu kokiem.

Vēlinās koksnes rašanās sākums

Sērija	Pa- raug- lau- kums	Koku suga	Vēlinās koksnes rašanās sākums					
			I–II klase					III klase
			1962.	1963.	1964.	1965.	Vid.	Vid.
I	1	P	15.VII	13.VII	26.VI	20.VII	11.VII	14.VII
	2	P	22.VII	7.VII	27.VI	19.VII	11.VII	7.VII
	3	P	15.VII	4.VII	27.VI	19.VII	9.VII	29.VI
	4	P	10.VII	3.VII	22.VI	22.VII	6.VII	3.VII
	5	P	6.VII	29.VI	1.VII	1.VIII	10.VII	26.VI
	6	P	9.VII	1.VII	23.VI	22.VII	7.VII	28.VI
	7	P	15.VII	7.VII	27.VI	25.VII	11.VII	4.VII
II	1	P	13.VII	27.VI	1.VII		4.VII	3.VII
	2	P	7.VII	5.VII	27.VI		3.VII	1.VII
	3	P	17.VII	6.VII	29.VI		7.VII	9.VII
III	1	E	24.VII	7.VII	2.VII		11.VII	11.VII
	2	E	16.VII	5.VII	26.VI		6.VII	10.VII
	3	E	24.VII	19.VII	2.VII		15.VII	20.VII
IV	4	E	11.VII	17.VII	6.VII		12.VII	9.VII
	5	E	13.VII	19.VII	30.VI		11.VII	4.VII
	6	E	13.VII	13.VII	25.VII		17.VII	7.VII
VII	1	P	13.VII	3.VII	3.VII		6.VII	9.VII
	2	P	13.VII	27.VI	27.VI		3.VII	23.VI
VIII	3	P	11.VII	5.VII	26.VI		4.VII	3.VII
	4	P	9.VII	1.VII	21.VI		30.VI	28.VI
	5	P	12.VII	3.VII	28.VI		4.VII	1.VII
IX	6	P	6.VII	3.VII	7.VII		5.VII	26.VI
	7	P	11.VII	30.VI	26.VI		2.VII	30.VI

76. tabula

Agrinās koksnes veidošanās ilgums intensīvi (A) un
nepietiekami nosusinātā (B) audzes daļā

Agrinās koksnes veidošanās ilgums, dienas

Meža tips	Nosusi- nāša- nas inten- sitāte	Agrinās koksnes veidošanās ilgums, dienas							
		I–II augšanas klase				III augšanas klase			
		1962.	1963.	1964.	1965.	Vidēji			\bar{x}
				\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$			
P-Km	A	52	55	37	50	48	7,5	1,9	39
	B	47	46	34	54	45	8,9	2,5	36
P-Ks	A	50	51	36		46	7,5	2,1	40
	B	48	47	34		43	7,4	2,5	36
P-Kv	A	48	47	37		44	5,3	2,2	38
	B	45	48	37		44	4,7	2,7	34
E-Ks	A	45	55	42		48	8,0	2,3	41
	B	39	53	29		40	10,4	4,2	35

Līdzīgi iepriekšminētajam arī vēlinās koksnes veidošanās ilgums ir maz atkarīgs no nosusināšanas intensitātes (77. tabula). Starp vēlinās koksnes veidošanās ilgumu un nosusināšanas normas nodrošinājumu esošo sakarību raksturo lineārās korelācijas koeficienti, kas svārstās no +0,32 līdz +0,47. Šāda korelācija nav vērtējama kā būtiska. Līdzīgi agrīnajai koksnei arī vēlinā koksne III Krafta klases kokiem, atšķirībā no I–II Krafta klases kokiem, veidojas par 4–6 dienām īsākā laikā.

Vēlinās koksnes veidošanās ilgums intensīvi (A) un nepietiekami nosusinātā (B) audzes daļā

Vēlinās koksnes veidošanās ilgums, dienas

Meža tips	Nosusināšanas intensitāte	Vēlinās koksnes veidošanās ilgums, dienas							
		I–II augšanas klase				III augšanas klase			
		1962.	1963.	1964.	1965.	Vidēji			\bar{x}
				\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$			
P-Km	A	43	38	45	43	42	5,6	1,4	34
	B	35	35	40	39	37	6,1	1,7	35
P-Ks	A	54	41	43		46	7,5	2,1	41
	B	46	41	42		43	4,9	1,6	36
P-Kv	A	36	30	38		35	3,8	1,6	30
	B	28	28	34		30	3,0	1,8	31
E-Ks	A	40	37	25		34	9,0	2,6	33
	B	42	26	26		31	8,0	3,3	32

Novērtējot agrinās un vēlinās koksnes veidošanās ilgumu, jāatzīmē, ka tas ir samērā stabils. Iespējams, ka koksnes veidošanās ilgumu regulē galvenokārt sugas iedzimtības komplekss. Paaugstinot nosusināšanas intensitāti, nevar rēķināties ar krasu augšanas laika pagarināšanos.

Par pieauguma izbeigšanās momentu uzskatīts brīdis, kad apstājas jaunu traheīdu veidošanās. Pēc tam vēl gadskārtā norisinās kvalitatīvas pārmaiņas, starp citu arī vēlino traheīdu sienīņu uzbiezināšanās. Ārējo vēlino traheīdu sienīņu uzbiezināšanās turpinās līdz septembra beigām vai oktobra sākumam. Nosusinātajā niedrājā traheīdu skaits priedes gadskārtā palielinās apmēram līdz 20. augustam (78. tabula). Novērotas svārstības pa gadiem. Tā 1963. gadā I sērijā dažos parauglaukumos augšana izbeigusies jau jūlija pēdējās dienās, kamēr 1965. gadā tajos pat parauglaukumos jaunu traheīdu veidošanās turpinājusies līdz septembra sākumam.

Caurmēra pieauguma izbeigšanās

Sērija	Pa- raug- lau- kums	Koku suga	Pieauguma izbeigšanās pa gadiem					
			I–II klase				III klase	
			1962.	1963.	1964.	1965.	Vid.	Vid.
I	1	P	30.VIII	12.VIII	7.VIII	30.VIII	22.VIII	19.VIII
	2	P	6.IX	10.VIII	8.VIII	1.IX	24.VIII	5.VIII
	3	P	24.VIII	17.VIII	4.VIII	1.IX	20.VIII	4.VIII
	4	P	14.VIII	3.VIII	10.VIII	1.IX	14.VIII	31.VII
	5	P	12.VIII	31.VII	12.VIII	4.IX	10.VIII	7.VIII
	6	P	22.VIII	30.VII	8.VIII	1.IX	13.VIII	30.VII
	7	P	22.VIII	26.VIII	14.VIII	8.IX	27.VIII	12.VIII
II	1	P	22.VIII	27.VII	8.VIII		9.VIII	31.VII
	2	P	4.VIII	2.VIII	1.VIII		2.VIII	1.VIII
	3	P	18.VIII	6.VIII	6.VIII		10.VIII	9.VIII
III	1	E	6.IX	24.VIII	2.VIII		21.VIII	15.VIII
	2	E	1.IX	29.VII	25.VII		9.VIII	12.VIII
	3	E	1.IX	18.VIII	31.VII		17.VIII	19.VIII
IV	4	E	15.VIII	16.VIII	4.VIII		12.VIII	14.VIII
	5	E	20.VIII	14.VIII	24.VII		9.VIII	9.VIII
	6	E	24.VIII	22.VIII	8.VIII		18.VIII	7.VIII
VII	1	P	27.VIII	18.VIII	12.VIII		19.VIII	19.VIII
	2	P	27.VIII	14.VIII	17.VIII		20.VIII	7.VIII
VIII	3	P	11.IX	18.VIII	10.VIII		23.VIII	7.VIII
	4	P	22.VIII	6.VIII	29.VII		9.VIII	31.VII
	5	P	6.IX	12.VIII	14.VIII		22.VIII	14.VIII
IX	6	P	30.VIII	6.VIII	14.VIII		17.VIII	9.VIII
	7	P	30.VIII	9.VIII	2.VIII		13.VIII	3.VIII

Salīdzinot ar intensīvi nosusināto nogabala daļu, nepietiekami nosusinātajā daļā caurmēra pieauguma veidošanās izbeidzas nedēļu agrāk.

Apmēram vienlaicīgi ar priedēm nosusinātā Km caurmēra pieauguma veidošanās izbeidzas arī nosusinātā Kv augošām priedēm. Vidēji uz 14.–15. augustu stumbra caurmēra pieaugums ir izveidojies arī eglei. III Krafta klases koki pieauguma veidošanu izbeidz pirms I–II Krafta klases kokiem. Starpība sasniedz 10–14 dienas.

Var uzskatīt, ka, sākot ar septembri, koku gadskārtas platums kūdreņos vairs nemainās. Ar šo laiku jaunā gadskārta izmantojama arī koksnes tekošā pieauguma mērījumos līdzvērtīgi iepriekšējo gadu gadskārtām.

Caurmēra pieauguma veidošanās kopējais ilgums I–II augšanas klases kokiem sasniedz trīs mēnešus (79. tabula). Relatīvi vairāk nomāktajiem III augšanas klases kokiem caurmēra pieaugums veidojas apmēram divas nedēļas īsāku laiku.

79. tabula

Caurmēra pieauguma veidošanās ilgums intensīvi (A) un nepietiekami nosusinātā (B) audzes daļā

Caurmēra pieauguma veidošanās ilgums, dienas

Meža tips	Nosusināšanas intensitāte	Caurmēra pieauguma veidošanās ilgums, dienas							
		I–II augšanas klase				III augšanas klase			
		1962.	1963.	1964.	1965.	Vidēji			\bar{x}
				\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$			
P-Km	A	95	92	82	93	90	8,7	2,2	73
	B	83	82	75	92	82	9,7	2,8	71
P-Ks	A	104	92	80		92	9,9	2,8	81
	B	94	88	76		86	9,3	3,1	72
P-Kv	A	84	78	75		79	5,0	2,0	68
	B	73	76	71		74	2,6	1,5	65
E-Ks	A	86	92	67		82	11,8	3,4	74
	B	81	80	55		71	12,3	5,0	67

Intensīvi nosusinātajā audzes daļā, kur labvēlīgāki augsnes fizikālie apstākļi un ir vairāk kokiem izmantojamo barības vielu, zināma daļa koksnēs pieauguma veidojas pēc tam, kad nepietiekami nosusinātajā audzes daļā augšana jau ir izbeigusies. Augšanas ilguma un caurmēra sezonas pieauguma, resp., gadskārtas vidējā laukuma 1,3 m augstumā, sakarību noskaidrošanai aprēķināti korelācijas koeficienti. Puse no aprēķinātajiem koeficientiem (80. tabula) neliecina par caurmēra pieauguma būtisku atkarību no augšanas ilguma. Taču arī tajos gadījumos, kad starp augšanas ilgumu un pieauguma apjomu konstatēta relatīvi cieša sakarība (1965. gadā I sērija), pieauguma ieguvums uz pagarināta augšanas laika rēķina ir visai niecīgs. Piemēram, 7. parauglaukumā (pie grāvja) augšana sākusies par 5 dienām agrāk un beigusies par 7 dienām vēlāk nekā 4. parauglaukumā (200 m no grāvja). Tādējādi 7. parauglaukumā augšana turpinājās 12 dienas ilgāk, un kopējais augšanas ilgums pagarinājies par 12 %, salīdzinot ar 4. parauglaukumu. Pavasarī, laikā, kamēr 4. parauglaukumā augšana vēl nebija sākusies, 7. parauglaukumā augošiem kokiem izveidojās 2,3 mm² koksnēs gadskārtas šķērslaukums. Pēc pieauguma izbeigšanās 4. parauglaukumā priedes gadskārta 7. parauglaukumā 7 dienu laikā palielinājās par 3,0 mm². Uz ilgākas augšanas rēķina tādējādi gadskārtas šķērslaukums ir 5,3 mm² jeb 2,4 % no kopējā sezonas pieauguma 7. parauglaukumā. Tomēr 7. parauglaukumā galīgais gadskārtas šķērslaukums ir par vienu trešo daļu (78 mm²) lielāks nekā 4. parauglaukumā. Tas liecina, ka augšanas ilgums maz ietekmē pieauguma apjomu.

80. tabula

Korelācijas starp gadskārtas veidošanās ilgumu un pieauguma lielumu

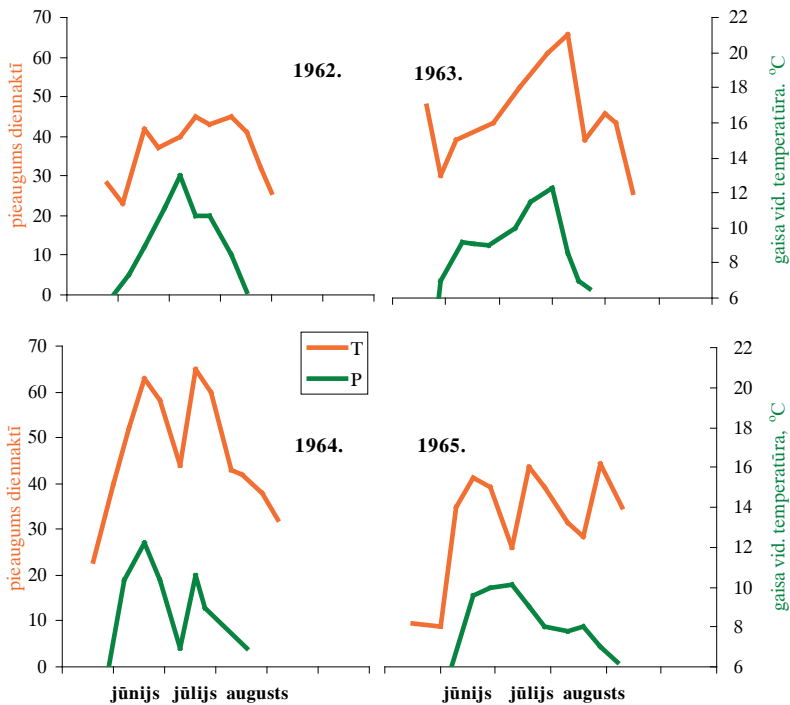
Parauglaukumu sērijas	1962.	1963.	1964.	1965.
I	<u>+0,764</u> ± 0,158	<u>+0,630</u> ± 0,228	<u>+0,715</u> ± 0,185	<u>+0,823</u> ± 0,121
VII-IX	+0,359 ± 0,324	<u>+0,545</u> ± 0,264	+0,284 ± 0,350	
III-IV	<u>+0,727</u> ± 0,191	+0,470 ± 0,319	<u>+0,771</u> ± 0,165	

Pasvītotie korelācijas koeficienti atzīstami par būtiskiem.

13.5. Koksnes augšanas intensitāte nosusinātos nogabalos

Koksnes ikgadējais pieaugums akumulē sevī daļu no kokaudzes darba. Visi meža biocenozes vielu un enerģijas transformācijas procesi, tanī skaitā arī koksnes veidošanās norises, cieši saistās ar vides temperatūru, kuru nosaka absorbētās saules radiācijas daudzums.

65. attēlā parādīta vienu un to pašu 40 I–II augšanas klases priežu caurmēra pieauguma veidošanās intensīvi nosusinātajos I sērijas parauglaukumos. Pietiekami liela novērojumu skaita gadījumā augšanas izmaiņu grafiskajam attēlam ir samērā izlīdzināta līkne. Koksnes pieauguma sezonas gaitā var būt viena, kā arī vairāk vai mazāk izteiktas divas (1964. gadā) kulminācijas. Ja augšanas sākumu nosaka temperatūra maijā, tad sezonas



65. attēls. Gaisa temperatūras un augšanas intensitātes izmaiņas P-Km: T – dekādes vidējā gaisa temperatūra, P – koksnes vidējais pieaugums dekādē.

augšanas gaitas vispārējais raksturs ir atkarīgs no gaisa temperatūras jūnijā un jūlijā, dažreiz arī augusta pirmajā dekādē, t.i., intensīvas augšanas laikā. Ārpus šī laika koku augšanas intensitāte ir ļoti zema un vairs neatspoguļo dekādes vidējās gaisa temperatūras izmaiņas. Piemēram, 1963. gadā līdz jūlija beigām caurmēra pieauguma veidošanās intensitāte (caurmēra pieaugums 1 diennaktī) kāpj paralēli gaisa temperatūrai, bet augusta sākumā, kaut arī gaisa temperatūra vēl ceļas, priekšu augšanas intensitāte strauju samazinās.

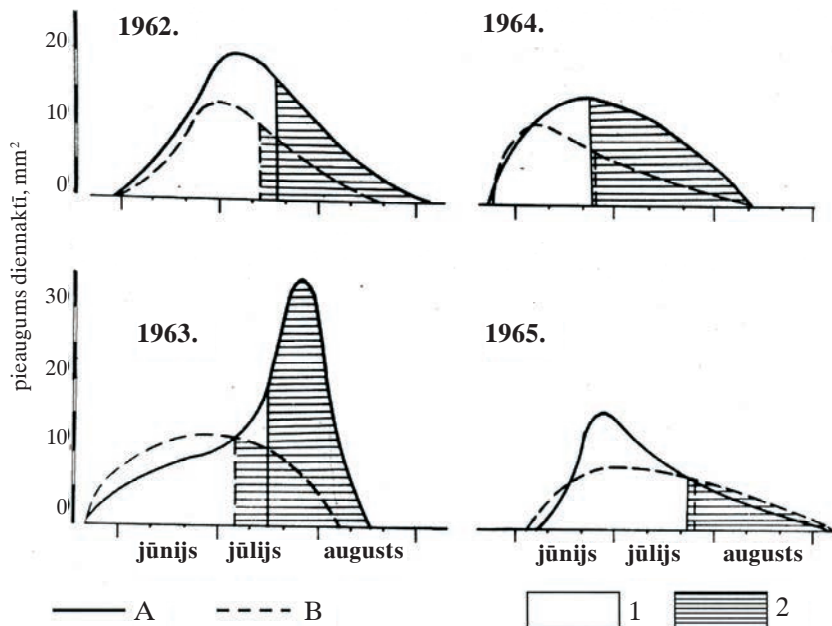
Tomēr arī intensīvas augšanas laikā koksnes augšanas gaita kopē gaisa temperatūru tikai noteiktā intervālā. Relatīvi vēsās vasarās (1965.), kad gaisa temperatūra ir samērā zema (pat jūnijā un jūlijā parasti nepārsniedz $+15\dots+16^\circ$), koku augšanas intensitāte ir zemāka un tanī pat laikā mazāk atkarīga no gaisa temperatūras svārstībām. Tā 1963. gada jūnijā gaisa vidējā temperatūra nepacēlās virs $+16^\circ$. Caurmēra pieauguma veidošanās intensitāte šinī laikā nemainījās. Tiklīdz jūlija sākumā gaisa temperatūra pārsniedza $+16^\circ$, arī caurmēra pieauguma līkne sāk kopēt temperatūras līkni. Līdzīga aina novērojama, salīdzinot gaisa temperatūras un sezonas augšanas gaitas sakarības 1964. un 1965. gadā. Šajos abos gados novērota krasas temperatūras pazemināšanās jūlija sākumā: dekādes vidējā temperatūra pazeminās par apmēram 4 grādiem. 1964. gadā, temperatūrai pazeminoties no $+19^\circ$ līdz $+15^\circ$, krasi samazinājusies arī augšanas intensitāte. Turpretī 1965. gadā temperatūras pazemināšanās no $+15^\circ$ līdz $+12^\circ$ ar sekojošu paaugstināšanos līdz $+16^\circ$ neizraisīja nekādu lūzumu pieauguma veidošanās gaitā.

Tādējādi nosusinātājā mētru kūdrēnī samērā skaidri izpaužas priedes stumbra augšanas intensitātes atkarība no gaisa temperatūras. Ja jūnijā–jūlijā gaisa temperatūra pārsniedz $+16^\circ$, paaugstinās arī augšanas intensitāte. Periodos, kad gaisa temperatūra ir zemāka par $+16^\circ$, augšanas intensitātes un gaisa temperatūras sakarības kļūst nenoteiktas. Tātad, ja gaisa temperatūras izmaiņas neizraisa lūzumu priedes sezonas augšanas gaitā, augšanas intensitātes grafiskais attēls veido līkni ar vienu kulmināciju. Tā kā pētījumi veikti samērā neilgu laiku (3–4 gadus), neizdevās konstatēt sakarību starp koksnes ikgadējā pieauguma apjomu un gaisa vidējo temperatūru augšanas laikā.

Līdz ar attālināšanos no nosusinātāja likumsakarīga ir koku sezonas pieauguma agrāka kulminācija (66. attēls). Piemēram, I parauglaukumu

sērijā intensīvi nosusinātajā daļā caurmēra sezonas pieaugums kulminē vidēji 38 dienas pēc stumbra kambija aktivizēšanās sākuma. Pieauguma kulminācija audzes nepietiekami nosusinātajā daļā iestājas pēc 28 dienu ilgas kambija darbības.

Starp augšanas ilgumu līdz kulminācijai un nosusināšanas normas nodrošinājumu pastāv būtiska pozitīva sakarība, ko raksturo sekojoši korelācijas koeficienti: I sērijā $+0,850 \pm 0,200$; VII–IX $+0,765 \pm 0,240$; III–IV $+0,785 \pm 0,250$. Ja intensīvi nosusinātajā audzes daļā priedes stumbra kambija kāpjošā aktivitāte palielinās par $40,0 \pm 0,66 \%$ no visa augšanas laika, tad nepietiekami nosusinātajā daļā kāpjošās aktivitātes ilgums sastāda $35,0 \pm 0,90 \%$ no augšanas laika.



66. attēls. Koksnes veidošanās intensitāte P-Km:
A – 20 m, B – 200 m attālumā no grāvja; 1 – agrīnā, 2 – vēlinā koksne.

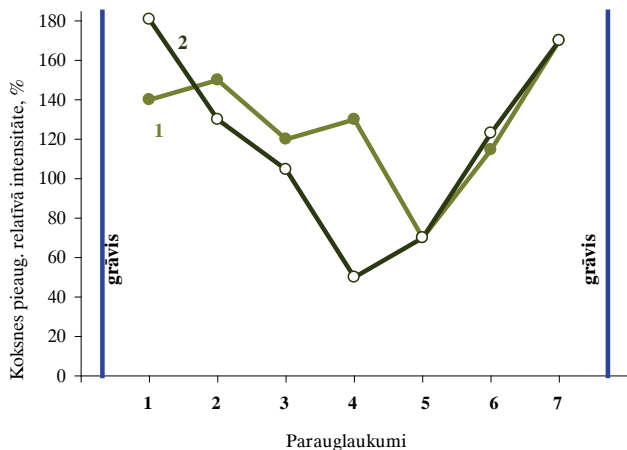
Priedei nosusinātajā mētru kūdrenī caurmēra sezonas pieaugums kulminē vidēji jūnija pēdējā dekādē. Tomēr atsevišķos gadījumos kambija darbības maksimālā intensitāte ir novērota pat jūlija otrajā pusē (1963. gadā I sērijas 1. un 7. parauglaukumā). Apmēram vienlaicīgi ar priedes pieaugumu kulminē arī egles sezonas pieaugums. Kambija produktivitāte šinī laikā var sasniegt prāvus apmērus. Labvēlīgos apstākļos priedes stumbra šķērslaukums krūšaugstumā paplašinās par vairāk kā 30 mm² diennaktī. Līdzīga apjoma produktivitāte nosusinātā šaurlapju kūdrenī novērota arī eglei. Eglei augšanas kulminācija ir atšķirīga no priedes, t.i., intensīvs pieaugums, tuvs maksimālajam, saglabājas ilgāku laika posmu.

13.6. Agrinās un vēlinās koksnes veidošanās temps

Kā jau iepriekš minējām, caurmēra pieauguma veidošanās ilgums praktiski nemainās, mainoties nosusināšanas intensitātei. Ar nelielām augšanas ilguma izmaiņām nevar izskaidrot koku pieauguma palielināšanos pēc nosusināšanas. Priedes un egles koksnes pieauguma lielumu nosaka augšanas intensitāte (pieaugums noteiktā laika sprīdī, parasti vienā diennaktī).

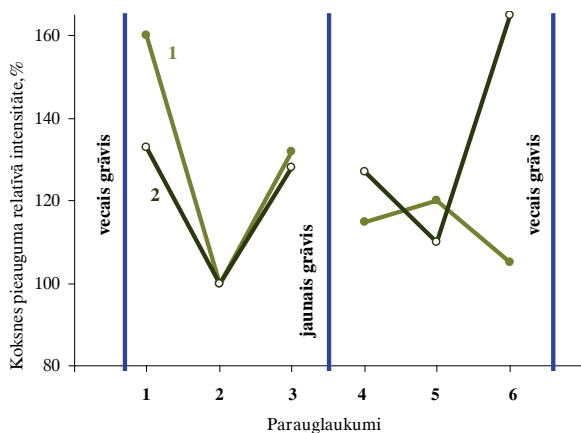
Agrinās un vēlinās koksnes veidošanās gaitas sakarības ar nosusināšanas intensitāti atsedzas, salīdzinot augšanas intensitāti dažādos attālumos no grāvjiem. Grāvju tuvumā augšanas temps ir 1,4–1,9 reizes augstāks nekā nogabala nepietiekami nosusinātajā daļā. Sezonas augšanas gaitas izmaiņu raksturs pēc nosusināšanas spilgti izpaužas, analizējot agrinās un vēlinās koksnes veidošanās intensitāti (mm dn⁻¹) I parauglaukumu sērijā (P-Km). Lielais atstatums starp grāvjiem ļauj analizēt koku augšanas intensitāti pie ļoti atšķirīgas nosusināšanas pakāpes. Apstākļi, ka pirms nosusināšanas audze bijusi samērā homogēna, nodrošina labu datu salīdzināšanu.

Vidējie dati par 4 gadu periodu liecina, ka pēc nosusināšanas vēlinās koksnes veidošanās intensitāte (temps – mm dn⁻¹) izmainās daudz krasāk nekā agrinās koksnes veidošanās intensitāte. Grafiski attēlojot priedes vēlinās koksnes veidošanās intensitāti dažādās vietās starp diviem grāvjiem (67. attēls), iegūstam parabolai tuvu līkni. Agrinās koksnes veidošanās intensitātes līkne ir daudz nenoteiktāka. Nosusināšanas normas nodrošinājuma sakarību ar vēlinās koksnes veidošanās tempu raksturo korelācijas koeficients $r = +0,950 \pm 0,038$. Sakarība ar agrinās koksnes veidošanās intensitāti ir ievērojami vājāka un statistiski nav būtiska: $r = +0,580 \pm 0,308$.



67. attēls. Koksnes veidošanās intensitāte dažādā attālumā no grāvja P-Km I parauglaukumu sērijā: 1 – agrīnā koksne, 2 – vēlīnā koksne.

Augšanas intensitātes kāpums pēc nosusināšanas konstatēts arī egļu šaurlapju kūdrenī. Tā kā jaunais nosusinātais grāvis (68. attēls) ierīkots tikai pirms dažiem gadiem un audze ir samērā veca, sagaidāms, ka jaunā grāvja tuvumā koku augšanas intensitāte vēl pieaug.



68. attēls. Koksnes veidošanās intensitāte E-Ks III-IV parauglaukumu sērijā: 1 – agrīnā, 2 – vēlīnā koksne.

Egļu augšana 6. parauglaukumā spilgti raksturo, kā cilvēka darbības rezultātā koku augšanu limitējošie faktori bieži izmainās pavisam nevēlamā virzienā. Pēc grāvja izrakšanas 1939. gadā egļu augšana krasi uzlabojās, un īsā laikā izveidojās augstražīga audze. 1958. gadā līdz ar kailcirtes izstrādāšanu blakus kvartālā, audze tika pakļauta pastiprinātai vēja iedarbībai. Kokus izšūpojot, regulāri tiek apraustītas to sīkās, fizioloģiski aktīvās saknes. Tā rezultātā pilnīgi izzudis nosusināšanas efekts, un grāvja tuvumā augošajām eglēm veidojas ievērojami šaurākas gadskārtas nekā kokiem 115 m attālumā no grāvja. Savdabīga ir arī šo egļu augšanas gaita. Lai nostiprinātu savu stumbru pret vēja iedarbību, pieaug egles vēlīnās koksnes veidošanās intensitāte (67. attēls). Taču sakņu sistēmas bojājumu dēļ koku vielu un enerģijas maiņas iespējas ir ierobežotas, un koku augšana samērā ātri izbeidzas. Piemēram, 1964. gadā 6. parauglaukumā eglēm vēlīnā koksne veidojusies tikai divas nedēļas ilgi.

Tā rezultātā, ka pēc nosusināšanas priedei un eglei paaugstinās vēlīnās koksnes veidošanās intensitāte, gadskārtā palielinās vēlīnās koksnes procents, un līdz ar to uzlabojas stumbra mehāniskās īpašības. Intensīvi nosusinātājā nogabala daļā vēlīnā koksne sastāda gandrīz pusi no priedes gadskārtas, kamēr nepietiekami nosusinātājā daļā vēlīnās koksnes daudzums tikai nedaudz pārsniedz trešo daļu no gadskārtas (81. tabula). Būtiska vēlīnās koksnes procenta palielināšanās pēc nosusināšanas konstatēta, piemēram, I parauglaukumu sērijā. 20 m attālumā no nosusinātāja $45,0 \pm 3,0 \%$ no gadskārtas aizņem vēlīnā koksne, bet 200 m attālumā no grāvja vēlīnā koksne sastāda tikai $32,0 \pm 2,8 \%$ no gadskārtas platuma. Augot potenciāli nabadzīgākos apstākļos (P-Kv), koku stumbru vēlīnās koksnes procents ir mazāks. Egles gadskārtā, atšķirībā no priedes gadskārtas, vēlīnās koksnes ir relatīvi mazāk.

Vēlinās koksnes relatīvais daudzums gadskārtā intensīvi (A) un nepietiekami (B) nosusinātā audzes daļā

Meža tips	Nosusināšanas intensitāte	Vēlinās koksnes daudzums, %							
		I–II augšanas klase				III augšanas klase			
		1962.	1963.	1964.	1965.	Vidēji			\bar{x}
				\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$			
P-Km	A	38	51	41	35	41	8,7	2,2	42
	B	34	43	37	34	37	5,8	1,6	40
P-Ks	A	40	44	42		42	2,9	0,8	39
	B	36	43	38		39	4,0	1,3	33
P-Kv	A	28	39	35		35	5,8	2,4	32
	B	30	35	32		32	2,5	1,5	30
E-Ks	A	37	30	28		32	7,9	2,2	36
	B	40	29	36		35	8,2	3,4	46

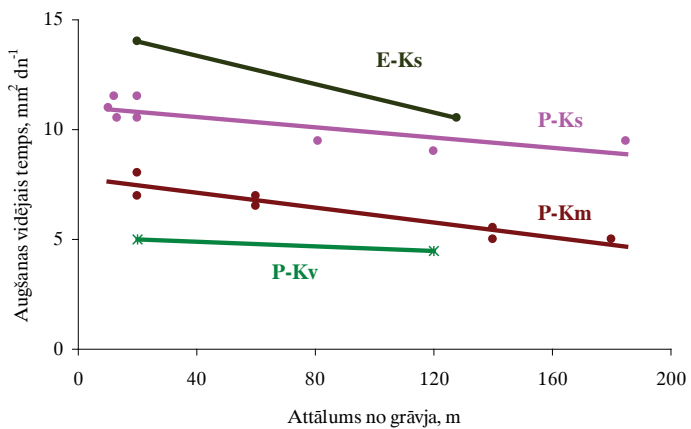
Analizējot vēlinās koksnes procenta un nosusināšanas intensitātes sakarības, jāsecina, ka augsnes hidroloģiskā režīma uzlabošanās tieši neizraisa vēlinās koksnes relatīvā daudzuma palielināšanos. Piemēram, egļu audzēs (III–IV parauglaukumu sērija) nav konstatēta sakarība starp nosusināšanas normas nodrošinājumu un vēlinās koksnes procentu. Toties noteikta pozitīva sakarība konstatēta starp vēlinās koksnes procentu un koku augstumu: $r = +0,720 \pm 0,190$. Tātad augstāko koku gadskārtās vēlinās koksnes ir relatīvi vairāk. Pēc nosusināšanas koku augstuma pieaugums izraisa vēlinās koksnes procenta palielināšanos. Pēc jaunā grāvja izrakšanas egļu kūdrenī koku augstums grāvja tuvumā vēl nav jūtami izmainīties, tādēļ šeit arī nav palielinājies vēlinās koksnes procents.

Noteikta pozitīva korelācija starp koku augstumu un vēlinās koksnes procentu konstatēta arī priežu audzēs: $r = +0,793 \pm 0,145$. Sakarā ar to, ka audzes jau ilgāku laiku atradušās nosusināšanas ietekmē, un koku augstums grāvju tuvumā ir ievērojami lielāks nekā no grāvjiem attālākajā audzes daļā, grāvju tuvumā augošo priežu gadskārtā vēlinās koksnes ir relatīvi vairāk. Tādēļ šeit konstatējama arī samērā cieša sakarība ($r = +0,775 \pm 0,150$) starp vēlinās koksnes procentu un nosusināšanas normas nodrošinājumu.

Atšķirībā no vēlinās koksnes, agrīnās koksnes veidošanās gaita ir relatīvi neatkarīgāka no ārējiem apstākļiem, un to mazāk ietekmē augšnes hidroloģiskā režīma izmaiņas. Agrīnās koksnes daudzuma gadskārtā, kā arī tās veidošanās intensitāte maz svārstās arī pa gadiem. Piemēram, priežu mētru kūdrenī intensīvi nosusinātajā nogabala daļā traheīdu skaita svārstības agrīnajā koksne raksturovariācijas koeficients $V = 15,2 \%$, vēlinajā koksne $V = 26,6 \%$; nepietiekami nosusinātajā nogabala daļā agrīnajā koksne $V = 18,8 \%$, vēlinajā koksne – $24,4 \%$. Veidošanās intensitātes variāciju koeficients V agrīnajai koksnei ir $14,8 \%$, vēlinājai $21,4 \%$. Šīs sakarības apstiprina atziņu, ka agrīnās koksnes veidošanā relatīvi vairāk tiek izmantoti iepriekšējo gadu asimilāti.

Novērtējot koksnes daudzumu, ko noteiktos apstākļos priede un egle veido vienā augšanas laika dienā, var iegūt priekšstatu par šo sugu piemērotību konkrētajos augšanas apstākļos. Nosusinātā šaurlapju kūdrenī eglei raksturīga visai augsta ražība. Agrīnās koksnes veidošanās laikā egles gadskārta krūšaugstumā vienā dienā paplašinās vidēji par 19 mm^2 . Līdzīgos apstākļos priedes augšanas intensitāte ir par 6 mm^2 zemāka. Pazeminoties kūdras auglībai, samazinās arī koksnes veidošanās temps. Piemēram, priedei K_v 20 m attālumā no grāvja vienā dienā agrīnā koksne paplašinās tikai par 8 mm^2 . Vēlinās koksnes veidošanās intensitāte nevienai sugai pētītajos apstākļos vidēji nepārsniedz 10 mm^2 diennaktī.

Salīdzinot priedes un egles koksnes veidošanās vidējo intensitāti dažādos meža tipos (69. attēls), konstatēts, ka vienā augšanas laika dienā šaurlapju kūdrenī egle saražo vismaz trīskārt vairāk koksnes nekā priede nosusinātā purvājā (P- K_v). Vidējs stāvoklis pēc ražības ir priedei nosusinātā K_s un K_m meža tipos.



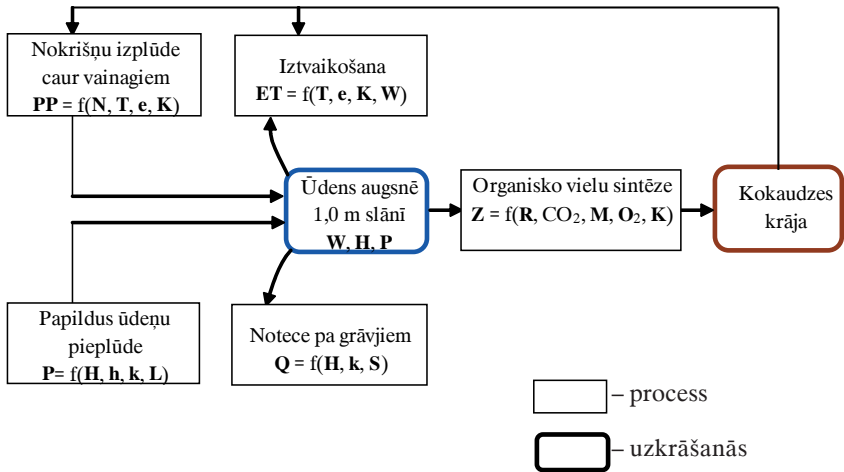
69. attēls. Koksnes veidošanās vidējais temps.

14. ŪDENS REŽĪMA MODELĒŠANA NOSUSINĀTAJOS MEŽOS

Sistēmu metodes pielietošana paver iespējas gan izstrādāt matemātiskos modeļus atsevišķu procesu aprakstam, gan arī izveidot sarežģītākus, meža hidroloģisko režīmu raksturojošus modeļus. Atsevišķus procesus aprakstošie modeļi ir analizēti iepriekšējās nodaļās. Tā rezultātā izzināti galvenie faktori, noskaidrota to ietekme uz funkciju izmaiņām. Kļūst iespējams mērķtiecīgi saāķēt atsevišķus modeļus un izveidot vienu vispārīgu nosusināto mežu ūdens režīma modeli. Tas balstās uz divu sistēmu – meža ekosistēmas un ūdens sistēmas mijiedarbību (1. attēls ievadā) un spēj atbildēt uz vairākiem mūs interesējošiem jautājumiem.

Augsnes samitrinājums uzskatāms par galveno elementu, kas saista visas analizētās ūdens režīma norises. Ūdens daudzums augsnē vērtējams arī kā ūdens sistēmas izejas elements un ieejas elements meža ekosistēmā (70. attēls). Shēmā uzrādīto faktoru vērtības, ievietojot tās mūsu izstrādātajos regresijas vienādojumos, ļauj izpētīt arī citus procesus, piemēram, papildus ūdeņu pieplūdes intensitāti, ūdens noteces dinamiku pa grāvjiem utt.

Kā piemēru apskatīsim augsnes mitruma (gruntsūdens līmeņa) dienakts dinamiku Vesetnieku stacionāra 2. baseinā. Izmērītā un izrēķinātā gruntsūdens līmeņa salīdzinājumam ir arī vēl papildus nozīme. Kā jau minēts, atsevišķu procesu matemātiskie modeļi izveidoti uz iepriekšējos gados veikto mērījumu pamata, un šis salīdzinājums ar jaunākiem datiem ir arī izstrādāto modeļu ticamības rādītājs.



70. attēls. Nosusināto mežu ūdens režīma formēšanās shēma.

N – nokrišņi, T – gaisa temperatūra, e – gaisa mitrums,
 K – kokaudzes struktūra, H – augsnes gruntsūdens līmenis,
 h – pazemes ūdens pjezometriskais līmenis, k – filtrācijas koeficients,
 S – nosusināšanas sistēmas parametri, M – biogēno elementu pieplūde,
 R – saules radiācija, W – ūdens krājumi augsnē,
 P – optimālā mitruma nodrošinājums, L – filtrācijas ceļa garums.

Dialogam ar izstrādāto imitācijas modeli nepieciešami šādi ieejas dati: 1) ūdens krājumi augsnē analizējamā perioda sākumā; 2) diennakts nokrišņu apjoms; 3) pazemes spiedes ūdeņu pjezometriskais līmenis novērošanas akās; 4) diennakts vidējā gaisa temperatūra un mitrums. Nepieciešami dažī papildus skaidrojumi par izmantotajiem datiem.

1. Analizētajā gadā caur koku vainagiem augsnē nonākušie nokrišņi N_a diennakts režīmā netika analizēti, un tie izskaitļoti kā visticamākais rādītājs $N_a = 0,8N$.

2. Tā kā augsnes parametri k un L vienā parauglaukumā uzskatāmi kā konstanti rādītāji, papildus ūdeņu pieplūde P aprēķināta kā divu neatkarīgo lielumu funkcija: $P = P(h, H)$.

3. Notece Q pa meliorācijas grāvjiem izskaitļota kā viena argumenta funkcija $Q = Q(H)$.

4. Vissarežģītāk ir novērtēt evapotranspirāciju. Mūsu rīcībā nav tiešo mērījumu. Nav apstrīdams secinājums, ka evapotranspirācijas deter-

minācija diennakts režīmā nav iespējama. Tāpēc mēs aprēķinājām nedaudz nosaītus iztvaikošanas rādītājus, izmantojot [137] metodi dekādes vidējās iztvaikošanas aprēķiniem no nemeža platībām ET_n . Balstoties uz mūsu atklāto likumsakarību, ka periodos ar nelielu nokrišņu daudzumu (tātad ar nelielu intercepciju) evapotranspirācija mežā un laukā būtiski neatšķiras, mēs lietojam vienādojumu $ET = ET_n + I$, kur ET – diennakts evapotranspirācija mežā, I – diennakts intercepcija.

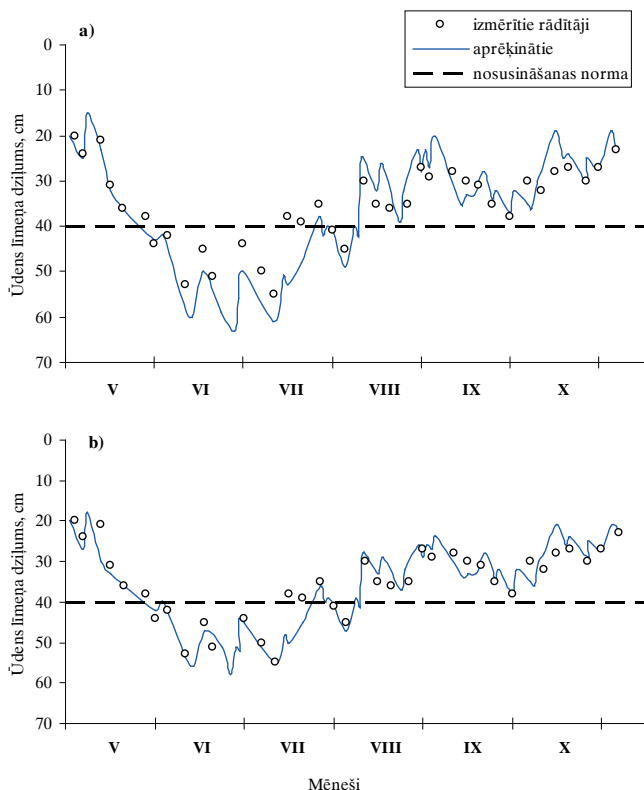
5. Ūdens daudzums W 1,0 m biežā augsnes slānī ir funkcionāli saistīts ar augsnes gruntsūdens līmeni H . Meža kūdreņos $W = 930 - 0,016H^2 - 0,893H \rightarrow H = 7,89(\sqrt{942 - W} - 3,53)$.

Modelējot norises mežā, izpētīta augsnes gruntsūdens līmeņa dinamika veģetācijas periodā. Vizuāli salīdzinot izskaitļotos (H_i) un izmērītos (H) augsnes gruntsūdens līmeņa rādītājus (71. attēls), to sakarība ir samērā laba: 18 gadījumos no 38 starpība nepārsniedz ± 2 cm; 36 gadījumos – ± 7 cm. Tomēr veicot statistisko ticamības analīzi 95 % ticamības līmenī, lai pārbaudītu nulles hipotēzi $H_i = H$, jāatzīst, ka šī hipotēze ir jānoraida: $t_{\text{fakt}} = 2,17 > t_{0,05;37} = 1,96$, kā rezultātā $H_i \neq H$ modelis jāvērtē kā neadekvāts.

Kā jau varējām paredzēt, ka neadekvātuma cēlonis ir mežaudzes transpirācijas paaugstināta pašregulācija. Veģetācijas perioda sākumā (maijs–jūnijs) nokrišņu bija maz, un augsnes gruntsūdens līmenis pakāpeniski pazeminājās. Gruntsūdens līmeņa pazemināšanās zem nosusināšanas normas (40 cm) rezultātā kokaudze sāka transpirēt mazāk nekā tas aprēķināts no nemeža platībām domātā vienādojuma. Toties augustā, kad spēcīgi lieti izraisīja strauju gruntsūdens līmeņa kāpumu, mežs uzsāka spēcīgi transpirēt, un H_i un H atšķirības jūtami samazinājās.

Šādas atziņas rosina ieviest modelī noteiktas korekcijas, un ūdens līmeņa aprēķinātais augstums $H_2 = 0,77H_1 + 8$. Iegūtie rezultāti parādīti 70., b attēlā. Vizuālais salīdzinājums starp aprēķināto H_2 un izmērīto H līmeņu dziļumiem liecina parniecīgām atšķirībām. Atkārtota statistiskās ticamības pārbaude arī uzrāda, ka $t_{\text{fakt}} = 1,04$, un mums nav pamata noraidīt nulles hipotēzi $H_2 = H$. Līdz ar to modelis uzskatāms par adekvātu.

Ja mūsu rīcībā ir iespēja izmantot gruntsūdens līmeņa dinamikas aprēķinus un informāciju par fizioloģiski aktīvo koka sakņu izvietojumu augsnē, mēs varam noskaidrot arī optimālā mitruma nodrošinājumu sakņu aizņemtājā augsnes slānī. To lietderīgi veikt, novērtējot papildus ūdeņu pieplūdes lomu meža hidroloģiskajās norisēs.



71. attēls. Meliorēto mežu ūdens dinamikas pārbaude.

1975. gada vasarā nolija tikai 173 mm (35 % no normas). Dialogā ar modeli varējām novērtēt, ka papildus ūdeņu pieplūde nenoliedzami uzlaboja optimālā mitruma nodrošinājumu sakņu aizņemtajā augsnes slānī (72., a attēls). Veģetācijas perioda otrajā pusē bez papildus ūdeņu pieplūdes ($P = 0$) optimālā mitruma nodrošinājums vidēji būtu 0,77, bet faktiski tas līdzinājās 0,87.

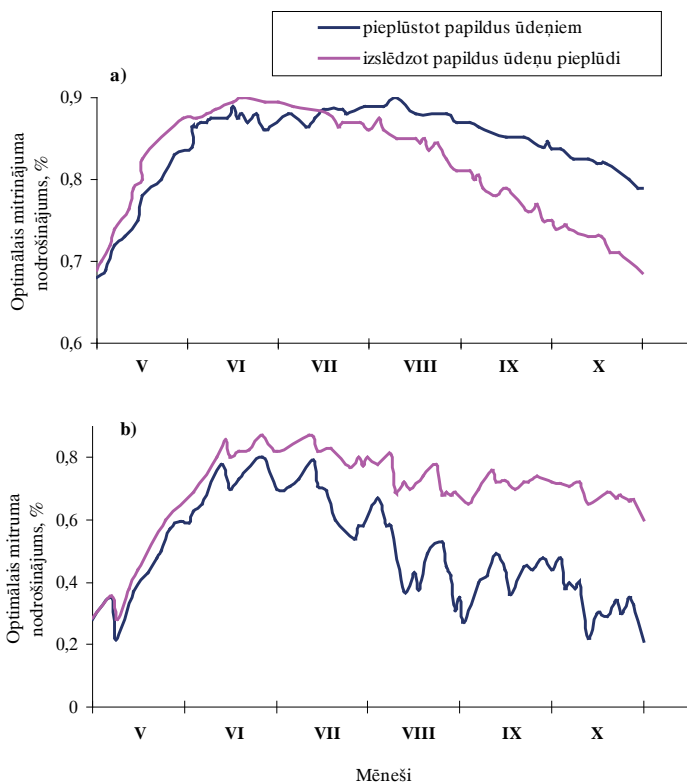
Papildus ūdeņu pieplūdes lomas skaidrošanai mēs veicām dialogu ar modeli divos veģetācijas periodos, kas krasi atšķiras ar nokrišņu daudzumu: 1980. un 1975. gadi. 1980. gads raksturojas ar spēcīgiem lietiem veģetācijas periodā – 653 mm jeb 131 % no normas. Tāpēc arī optimālā mitruma nodrošinājums augsnē tovarar bija zems – 0,50. Modelējot



Augstražīgas egļu kokaudzes kūdreņos veidojas tikai blakus meliorācijas grāvjiem (A un C); ja atstatums starp grāvjiem pārsniedz 120 m, tad vidū kokaudzes ražība sarūk (B).

gruntsūdens līmeņa dinamiku tanī pat objektā pie nosacījuma, ka papildus ūdeņi nepieplūst un $P = 0$, atklājas, ka gruntsūdens līmeņa režīms ir daudz labvēlīgāks nekā pie $P > 0$ (72., b attēls). Ja papildus ūdeņi nepieplūst, tad optimālā mitruma nodrošinājums sasniedz 0,75. Saprotais, ka papildus ūdeņu pieplūde nav tikai negatīva. Sausās vasarās pieplūde izlīdzina augsnes mitruma režīmu.

Šie dati liecina, ka saistībā ar augsnes samitrinājumu papildus pieplūdei biežāk ir negatīva loma, kas izraisa augsnes pārmitrinājumu pēc spēcīgiem lieti. Pozitīva loma izpaužas retāk visai sausās vasarās. Tomēr pat sausās vasarās kūdreņos vērojams samērā labvēlīgs augsnes samitrinājums.



72. attēls. Sakņu sistēmas optimālā mitruma modelēšana 2. parauglaukumā 1975. gada sausā (a) un 1980. gada lietainā (b) vasarā.

Intensīvas mežsaimniecības apstākļos nosusinātajās platībās lietderīgi veidot plantāciju tipa mežus. Tas nozīmē mērķtiecīgi transformēt kūdras krājumus augstražīgās kokaudzēs, pie tam – ar vēlamu kokaudzes sortimentu struktūru. Veiksmīga plantāciju izveidošana būs atkarīga no tā, cik prasmīgi izvēlēsimies apsaimniekošanas platību. Objektu atlase prasa pielietot sistēmu metodiku. Kā galvenais rādītājs ir kokaudzes ražība, un tās nodrošināšana uzskatāma par izvēlēta mērķa prioritāti.

Kokaudzes krājas audzēšana uzskatāmi parādās iepriekš ievietotajā shēmā (70. attēls). Pirmie divi ieejas elementi organiskās vielas sintēzes procesā (radiācija un ogļskābā gāze) tikpat kā nav regulējami, un tos vēlams uzskatīt par pastāvīgiem lielumiem. Biogēno elementu daudzums **M** un to pieplūde meža ekosistēmai izpaužas kā meža tips. Bez tam minerālvielu deficītu var novērst, ienesot atbilstošus minerālmēslus. Paši svarīgākie faktori paliek tie, kas reglamentē augsnes mitrumu un aerāciju. Latvijas apstākļos meža ekosistēmas vitālai darbībai ūdeni piegādā atmosfēras nokrišņi, un viena meža tipa ietvaros kokaudzes ražība saistās ar aerāciju. Aerācija savukārt atkarīga no nosusināšanas normas nodrošinājuma **P** un augsnes gruntsūdens plūsmas ātruma, kuru var raksturot arī ar ūdens virsas slīpumu **i**. Tādējādi viena meža tipa ietvaros meža ražība $Z = Z(P, i)$.

Funkcionālā sakarība aprēķināta trīs meža tipos, kas piemēroti ražīgu egļu audžu izaudzēšanai: 1) platlapju ārenis, 2) platlapju kūdrenis un 3) šaurlapju kūdrenis.

- 1) Platlapju ārenī $Z = 8 - 96P + 31i - 0,43i^2$, kur $0,64 < P < 0,86$; $4 < i < 14$, **Z** – kokaudzes krāja ($m^3 ha^{-1}$) 30 gadu vecumā. Pie šādiem **P** un **i** ierobežojumiem regresijas standartnovirze ar 90 % ticamību nepārsniedz $17 m^3 ha^{-1}$. Visi trīs neatkarīgie mainīgie regresijas vienādojumā būtiski ietekmē **Z**; to parciālā ietekme ir $\eta_p = 0,05$, $\eta_i = 0,75$, $\eta_{i^2} = 0,18$.
- 2) Platlapju kūdrenī $Z = 367P + 24i - 1,16i^2 - 127$, kur $0,40 < P < 0,85$; $4 < i < 15$. Ar 90 % ticamību nepārsniedz $18 m^3 ha^{-1}$; argumentu parciālā ietekme ir $\eta_p = 0,20$, $\eta_i = 0,42$, $\eta_{i^2} = 0,36$.
- 3) Šaurlapju kūdrenī $Z = 188P + 6,5i + 0,38i^2 - 28$, kur $0,48 < P < 0,74$; $1 < i < 15$. Ar 90 % ticamību nepārsniedz $12 m^3 ha^{-1}$; argumentu parciālā ietekme ir $\eta_p = 0,30$, $\eta_i = 0,63$, $\eta_{i^2} = 0,06$.

Neiedziļinoties plantāciju saimniecības visos ierobežojumos, par galveno uzskatām tādu egļu audžu izveidošanu, kas 30 gadu vecumā dotu $200 m^3 ha^{-1}$. Kādam jābūt augsnes ūdens režīmam, un kā to sasniegt?

Ikvienam no izvēlētajiem meža tipiēm aprēķinātas sakarības $\mathbf{P} = \varphi(\mathbf{l})$ un $\mathbf{i} = \psi(\mathbf{l})$, kur \mathbf{l} – attālums no 1,0 m dziļa grāvja. Tā kā $\mathbf{Z} = \mathbf{Z}(\mathbf{P}, \mathbf{i}) \rightarrow \mathbf{Z} = f[\varphi(\mathbf{l}), \psi(\mathbf{l})] = \mathbf{Z}(\mathbf{l})$.

Koksnes vidējā krāja visā starpgrāvju platībā

$\bar{\mathbf{Z}} = \mathbf{a} \int_0^{\mathbf{l}} \mathbf{Z}(\mathbf{l}) d\mathbf{l}$, kur \mathbf{a} – kokaudzes krājas gradients starpgrāvju platībā, \mathbf{L} – attālums starp grāvjiem. Pieļaujot, ka $\mathbf{Z} = \mathbf{Z}(\mathbf{l})$ ir simetriska, varam rakstīt $\bar{\mathbf{Z}} = 2\mathbf{a} \int_{0,5\mathbf{L}}^{\mathbf{l}} \mathbf{Z}(\mathbf{l}) d\mathbf{l} = 2\mathbf{a}\Phi(\mathbf{l}) \Big|_{\mathbf{l}=0,5\mathbf{L}}^{\mathbf{l}}$.

Atrisinot vienādojumu $\bar{\mathbf{Z}} = 2\mathbf{a}[\Phi(0) - \Phi(0,5\mathbf{L})]$ attiecībā pret \mathbf{L} pie $\bar{\mathbf{Z}} = 200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, iegūstam: platlapju ārenī $\mathbf{L} = 90 \text{ m}$, platlapju kūdrenī $\mathbf{L} = 110 \text{ m}$ un šaurlapju kūdrenī $\mathbf{L} = 55 \text{ m}$. Tas nozīmē, ka veiksmīga egļu plantāciju audzēšana prasa intensīvu nosusināšanu. Iepriekš atzīmētie regresijas vienādojumi $\mathbf{Z} = \mathbf{Z}(\mathbf{P}, \mathbf{i})$ pieļauj izmeklēt optimālo attālumu starp grāvjiem saistībā ar zemes virsas slīpumu. Atbilstoši mūsu datiem atstātums starp grāvjiem \mathbf{L} var variēt pa meža tipiēm šādās robežās: platlapju ārenī $80 < \mathbf{L} < 105 \text{ (m)}$, platlapju kūdrenī $90 < \mathbf{L} < 120 \text{ (m)}$ un šaurlapju kūdrenī $50 < \mathbf{L} < 65 \text{ (m)}$.

Salīdzinot šos mūsu izskaitļotos rādītājus ar meža meliorācijas sistēmu projektēšanas normatīviem, izpaužas tas, ka plantāciju ierīkošanai nepieciešami 2–3 reizes mazāki atstatumi starp grāvjiem. Ierīkojot egļu plantācijas šaurlapju kūdrenī, iespējams, ka atstatumus starp grāvjiem var palielināt, izsējot nepieciešamos minerālmēslus. Šo pieņēmumu nepieciešams eksperimentāli pārbaudīt.

KOPSAVILKUMS

Meža hidromeliorācija ir zinātnes un tautsaimniecības nozare, kurā visciešāk savijas mežsaimniecības un ūdens saimniecības problēmas. Nepārtraukti pieaugošais ūdens patēriņš jau izraisījis noteces samazināšanos pa upēm vasarā. Tanī pat laika daudzos rajonos ar ūdens deficītu atrodas pārmitro mežu lieli masīvi, kuru nosusināšanas rezultātā mežu ražība pieaugs 2–4 reizes.

Analizējot pārmitro mežu ražības problēmas saistībā ar teritorijas ūdens resursu aizsardzību un racionālu izmantošanu, pielietota sistēmu analīzes metodoloģija. Meža un ūdens savstarpējās attiecības pētītas kā attiecības starp meža ekosistēmas un ūdens resursu (ūdens sistēmas) komponentiem. Meža ekosistēmā izdalīti 2 komponenti: mežaudze un augsne; ūdens sistēmā – 4 komponenti: atmosfēras nokrišņi, augsnes gruntsūdeņi, pazemes spiedes ūdeņi, promtekas. Savstarpējās attiecības starp šiem komponentiem realizējas kā konkrēti procesi, kuru analīzei izveidoti matemātiskie modeļi.

Meža ekosistēmā ūdens nonāk galvenokārt kā atmosfēras nokrišņi. Nokrišņu intercepcijas mērījumi atsevišķa lietus laikā, kā arī sniega segas parametri vērtējami kā stohastiski lielumi. Kokaudzes ar līdzīgiem varbūtību sadalījumiem apvienotas 3 grupās: jaunaudzes (izcirtumi), priežu-lapu koku un egļu meži.

Noskaidrots, ka intercepcijas, kā arī augsnē nonākošo nokrišņu daudzumu pa mežaudžu grupām viena mēneša vai ilgākā laikā var pietiekoši precīzi aprēķināt, izmantojot vienādojumus, kuros kā neatkarīgie mainīgie ir nokrišņu daudzums klajumā (meteostaciju dati) un lietus dienu skaits. Ūdens krājumi sniega segā un sniega segas rādītāji aprēķināmi ar vienādojumiem, kuros kā neatkarīgie mainīgie izmantoti sniega segas parametri klajumā.

Atmosfēras nokrišņi tikai retumis izraisa meža pārpurvošanos. Nozīmīgākā ir pazemes ūdeņu loma: 86 % no mežiem uz kūdras augsnēm un 60 % no mežiem uz pārmitrām minerālaugsnēm atrodas vietās, kur iespējama pazemes ūdeņu izplūde. Pazemes ūdeņu izplūdes dinamika analizēta divos aspektos: 1) pazemes ūdeņu notecē pa nosusināšanas tīklu; 2) pazemes ūdeņu pieplūde meža ekosistēmā. Šo procesu raksturošanai izveidoti regresijas vienādojumi, kuros kā neatkarīgie mainīgie ir pazemes ūdeņu piezometriskais līmenis un augsnes gruntsūdens līmenis.



Augsnes gruntsūdeņu ciešā hidrauliskā saistība ar pazemes ūdeņiem lielā mērā nosaka hidromelioratīvo pasākumu ietekmi uz ūdens resursiem. Dabisko strautu un upīšu iztaisnošana vai padziļināšana pieļaujama tikai argumentēta izņēmuma kārtā. Latvijas teritorijā izdalīti rajoni, kur pazemes ūdeņi ir īpaši jutīgi arī pret nosusināšanu ar seklu grāvju sistēmām.

Pretēji plaši izplatītajām atziņām Latvijas apstākļos uz kūdras augsnēm augošo mežu ražība nav atkarīga no kūdras slāņa biezuma. Tas tāpēc, ka pazemes spiedes ūdeņi ir gan pārpurvošanās cēlonis, gan arī minerālo barības vielu piegādātāji. Uz kūdras augsnēm augošo mežu tipu ražība pozitīvi korelē ar pazemes ūdeņu izplūdes intensitāti. Āreņu mežos šāda korelācija nepastāv.

Pa meža grāvjiem veģetācijas periodā notek tikai 20–40 mm nokrišņu. Galveno noteces daļu (līdz 300 mm) sastāda pazemes vai no blakus piekalnēm pieplūstošie ūdeņi.

Maksimālā notece no nosusinātajiem mežiem pavasaros ir mazāka nekā notece no daļēji apmežotiem upju baseiniem. Pazemes ūdeņu izplūdes palielināšanās pēc kūdraino mežu nosusināšanas izraisa upju noteces pieaugumu vasarā. Nosusināšanas rezultātā mežu ūdensregulējošās īpašības uzlabojas.

Potenciālā iztvaikošana mežā ir ievērojami lielāka nekā nemeža platībās. Lietainās vasarās evapotranspirācija mežā par 250 mm pārsniedz evapotranspirāciju nemežā un par 100 mm iztvaikošanu no atklātas ūdens virsmas. Uz augsnes izžūšanu mežs jutīgi reaģē, samazinot transpirāciju. Izteikti sausās vasarās, kad nokrišņu apjoms nepārsniedz 300 mm, mežs un nemeža lauks iztvaiko aptuveni vienādi. Mežainuma procents signifikanti neietekmē ūdens bilanci noteces baseinā.

Ūdenskrājumus nosusināto mežu augsnēs var aprēķināt, zinot augsnes gruntsūdens līmeni. Aprēķinu precizitāte atkarīga no 20 novēroto aku skaita, un augsnes ūdens režīma raksturošanai mežā nepieciešami vismaz 5–10 gadus ilgi sistemātiski novērojumi. Koku pieauguma un gruntsūdens līmeņa dinamikas salīdzinājumi vienā veģetācijas periodā nav izmantojami nosusināšanas intensitātes noteikšanai.

Augsnes samitrinājuma raksturošanai nevar lietot vienu vidējo ūdens daudzuma rādītāju grunts slānī; augsnes samitrinājums ir mainīgs lielums. Svārstību amplitūdu lietderīgi sadalīt 3 daļās: pārlieku liels, optimāls un nepietiekošs augsnes mitrums. Mežos uz kūdras augsnēm nav iespējams panākt optimālā mitruma 100 % nodrošinājumu visā veģetācijas periodā. Pārlieks augsnes mitrums maijā un jūnija pirmajā pusē nesamazina meža ražību. Ražību negatīvi ietekmē koka sakņu applūšana laikā no jūlija līdz septembrim.

Skuju koku pumpuru plaukšanas, kā arī pieauguma veidošanās sākums nav būtiski atkarīgs no nosusināšanas intensitātes. Eglišu jauno dzinumu apsalšanas varbūtība ir vienāda intensīvi un vāji nosusinātos nogabalos. Bīstamākais pavasara salnu periods ir maija pēdējā dekāde. Ikgadējais augstuma un caurmēra pieaugums ir atkarīgs no pieauguma veidošanās intensitātes, un nelielajam augšanas perioda pagarinājumam meliorācijas ietekmē ir sekundārs raksturs.

Nosusināšanas intensitātes palielināšana samērā maz kāpina stumbra agrīnās koksnes veidošanās gaitu, bet intensīvākas nosusināšanas ietekmē straujāk veidojas vēlīnā koksne, un augstākos kokos gadskārtā palielinās vēlīnās koksnes procents. Starp nosusināšanas normas nodrošinājumu

un koku augstuma, kā arī stumbra caurmēra pieaugumu konstatēta cieša lineāra sakarība.

Pārmitro meža ekosistēmu transformācija parasti sākas, uzlabojoties augsnes aerācijai, ko izraisa gruntsūdeņu plūsmas paātrināšanās. Gruntsūdeņu līmeņa pazeminājums sausās vasarās nav ekoloģiski adekvāts līmeņa pazeminājumam meliorācijas rezultātā. Izmantojot matemātiskos modeļus, pierādīta grāvju slūžošanas nelietderība Latvijā.

Funkcionālo sistēmu būtiska sastāvdaļa ir atgriezeniskā saite. Īsos laika periodos nosusinātos mežos pārsvarā ir negatīvā atgriezeniskā saite, kas regulē transpirācijas intensitāti atkarībā no augsnes mitruma. Nosusināto ekosistēmu transformācija saistās ar pozitīvo atgriezenisko saiti – augstražīgs mežs spēj iztvaikot vairāk nekā nīkulīga audze. Ir izstrādāti evapotranspirācijas modeļi, kas rāda, ka paaugstināta evapotranspirācija mežos tomēr nespēj pilnībā kompensēt noteces samazināšanos grāvjos pēc to deformēšanās.

Sistēmu analīzes metodoloģija ir sarežģītāku modeļu izveidošanas pamats. Mūsu izstrādātais modelis ļauj novērtēt pazemes ūdeņu pieplūdes pozitīvo un negatīvo ietekmi uz mežaudzes ražību. Modelējot aprēķināti arī augsnes mitruma un grāvju sistēmas parametri egļu papīrmalkas plantācijās, noformulēti racionālākie paņēmieni to nodrošināšanai.

Tādējādi meža hidromeliorācija vērtējama kā drošs priekšnoteikums mežsaimniecības intensifikācijai. Ievērojot aizsardzības pasākumus attiecībā uz pazemes ūdeņiem, mežu nosusināšanu var veikt, nekaitējot ekoloģiskām prasībām un valsts ūdenssaimniecībai.

FOREST AND WATER, WATER AND FOREST

Summary

The hydro-technical drainage is a branch of the science and of the economic sector, in which the problems of the forestry and the water management connect most powerful. The continuously increasing consumption of water has already caused the decrease of the water discharge in rivers during the summer. In the same time in many regions with a water deficiency there are large areas of waterlogged woodlands located, where, as a result of the drainage, the forest productivity will increase about 2 or 4 times.

Analyzing the problems of the increase of forest productivity in connection with the protection and rational use of water resources of the territory, there was the method of the system analyse applied. The interaction between the forest and water were analysed as relation between the components of forest ecosystem and water resources (water system). In the forest ecosystem there were 2 components pointed out: forest stand and soil; in the water system 4 components: atmospheric precipitation, soil groundwater, confined aquifer water, surface runoff in watercourses. The interactions between these components are realising as concrete processes, for analyse of which the mathematical models were elaborated.

In the forest ecosystem there is the water mostly as precipitation incoming. The measurements of the interception of the precipitation in forest stand during the separate rain event or the measurements of the snow cover parameters can be considered as stochastic values. The forest stands with similar distribution of probability are united in to 3 groups: young growths (clearcuts), pine-deciduous trees forests and spruce forests.

It was clarified, that there is a possibility for the sufficiently precise cal-

culations of the interception and the amount of precipitation reaching the soil in different groups of forest stands for the time of one month or longer using the equations where as independent variables are the amount of precipitation in an open place (the data of meteorological station) and the number of rainy days included. The amount of water in the snow and the characteristics of the snow cover can be calculated by equations where as independent values are used the snow cover parameters in an open place.

The atmospheric precipitation only rarely causes the forest paludification. The most important role has the confined aquifer water: 86 % of the forests on peat soils and 60 % of the forests on wet mineral soils are located in areas with possible discharge of the confined aquifer water. The dynamics of the discharge of the confined aquifer water has been analysed in two aspects: 1) the runoff of the confined aquifer water via the drainage ditch network; 2) the inflow of the confined aquifer water into the forest ecosystem. For the characterisation of these processes are the regression equations elaborated, where as independent variables are the piezometric level of the confined aquifer water and the level of the soil groundwater used.

The close hydraulic relationship between the soil groundwater and confined aquifer water largely determines the impact of the drainage activities on the water resources. The straightening and deepening of the natural rivulets and streams is permissible only in case of argued exception. In the territory of Latvia there are the districts identified, where the level of confined aquifer water is especially vulnerable to the drainage with the systems of deep ditches.

In the opposite of the widespread opinion, the forest productivity on the peat soils do not depends on the thickness of the peat layer. It is because that the discharge of the confined aquifer water is the cause of the paludification process and the supplier of mineral nutrients as well. The productivity of forest site types growing on the peat soils correlates positively with the intensity of the discharge of the confined aquifer water. Such correlation do not exists in forests on hydro-morph mineral soils.

Through the forest ditches there flows out only 20–40 mm of the precipitation's water during the growing season. The main part of the runoff (up to 300 mm) is formed by the water discharging from the confined aquifer and the water inflowing from surrounding dry slopes.

The maximal water runoff from the drained forests in spring season is less than from partly forested catchments. The increase of the discharge

of confined aquifer water after the drainage of peatland forests causes the increase of the runoff of rivers in summer. After the drainage, the water regulatory properties of forests improve.

The potential evaporation in forest is considerably higher as in non-forest areas. During the rainy summers, the evapotranspiration in forest exceeds the evapotranspiration in nonforest opening and from open water table for about 250 mm and 100 mm, accordingly. The trees sensitive react on the soil desiccation, reducing the transpiration. During the strongly dry summers, when the amount of precipitation do not exceeds 300 mm, the forest and nonforested field evaporate approximately equally. The percentage of the land coverage by forest do not impacts significantly the water balance in a catchment.

The water resources in the soil of drained forests can be calculated if the level of the soil groundwater in known. The precision of the calculations depends from the number of 20 monitored groundwater wells. For the characterisation of the soil groundwater regime in forest, there are needed, at least, 5–10 years long systematically observations. The comparison between the tree's increment and groundwater level dynamics during a separate



growing season cannot be used for the estimation of drainage intensity.

For the characterisation of the soil moisture there cannot be used one average indices of the water amount in soil layer. The soil moisture is a variable value. It is preferable to divide the range of the fluctuations into 3 parts: overdosed, optimal and insufficient soil moisture. In the forests on peat soils there is not possible to achieve the provision of the optimal soil moisture to an extent of 100 % during the all growing season. Overdosed soil moisture in May and in the first decade of June do not decreases the forest productivity. The productivity is negatively impacted by the over flooding of the roots of trees during the time between July and September.

The beginning of the buds bursting and timber increment formation for the conifers do not depends significantly on the drainage intensity. The probability of the frost damages on the young shoots of spruce is identical both in intensively and insufficient drained forest stands. The most dangerous period of the late frosts is the last decade of May. The annual height and diameter increment of trees depends from the increment forming intensity. Thus, the little prolongation of the growing season, influenced by the drainage, has a secondary character.

The raising of the drainage intensity increases the formation process of the early stem wood relatively little. As a result of the more intensive drainage there can be more rapid formation of the late wood observed. In the year rings of higher trees there increases the percentage of the late wood. There is a close linear connection found between the provision of the drainage norm and the increment of the tree height and stem diameter.

The transformation of the waterlogged ecosystems usually begins as a result of the raised soil aeration, which is caused by accelerated moving of the groundwater flow. The drop of the groundwater level in dry summers is not an ecological equivalent to the drop of groundwater level in the result of drainage. Using of mathematical models there is the uselessness of the locking of ditches in Latvia verified.

A significant compartment of the functional systems is the feedback. During a short time spans in the drained forests there is mostly a negative feedback, which regulates the intensity of the transpiration in dependence on the soil moisture. The transformation of the drained ecosystems is characterising by the positive feedback – a high productive forest can evaporate more than a low productive. There are the models of evapotranspiration elaborated which show, that the heightened evapotranspiration in forests,

however, cannot completely compensate the decrease of runoff after the deformation of ditches.

The methodology of the system analysis is the basic for the forming of more complex models. Our model allows to evaluate the positive and negative impact of the confined aquifer water discharge on the forest stand productivity. Using the model, the parameters of soil moisture and ditch system were estimated in the spruce pulpwood plantations and the more rational measures formulated for the insurance of those parameters.

Thus, the hydro-technical drainage of the forest can be evaluated as a secure precondition for the intensification of the forestry. Taking into account the protective measures concerning the confined aquifer water, the forest drainage can be performed making no harm to the ecological requirements and to the water management of the country.

LITERATŪRA

1. Ahti E. Water balance of drained peatlands on the basis of water table simulation during the snowless period. – *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 1987, 141, 64 p.
2. Anders S., Thomasius H. Ober Relation zwischen Grundflächenhaltung und Oberbodenfeuchtigkeit in Fichtenbeständen des Osterzgebirges. – *Arch. Forst-wesen*, 1971, Bd 20, H. 1, S. 29–37.
3. Benecke P., Mayer R. Aspects of soil water behavior as related to beech and spruce stands. – *Ecol. Studies*, 1971, vol. 2, p. 153–163.
4. Bertalanfy von L. Problems of life. N. Y., 1960. 217 p.
5. Blankenburgs V. Purvaugšņu tipi un mežu meliorācija. – *Mežsaimn. Rakstu Krāj.*, R., 1938., 16. sēj., 123.–134. lpp.
6. Brumermanis J. Pieredze nosusināto kūdras augšņu apmežošanā. – *Mežsaimn. un Mežrūpn.*, 1967., Nr. 2., 21.–22. lpp.
7. Bultot F., Dupriez G., Bodeux A. Interception de la pluie par la vegetation foretiere, estimation de l'interception journaliere a l'aide d'un modelē mathematique. – *J. Hydrol.*, 1972, vol. 17, N 3, p. 193–223.
8. Bušs K. Meža nosusināšanas ietekmes ilgums niedrāja tipā. – *Mežsaimn. problēmu un koksnes ķīm. inst. Raksti*, 1960, 20. sēj., 253.–266. lpp.
9. Eggelsmann R. Zur Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Bodenfeuchte und oberflächennahem Grundwasser. – *Wasserwirtschaft*, 1957, H. 11, S. 283–287.
10. Eiche V. Latvijas mežu ģeogrāfisks iedalījums. – *Mežkopja darbs un zinātne*. Rīga, 1940, 471.–565. lpp.
11. Eiche V. Latvijas meži. – *Latvijas zeme, daba, tauta*. R., 1936. 153.–258. lpp.
12. Ērglis D. 1967. un 1969. gadu vētru sekas Latvijas PSR valsts mežos. –

- Mežsaimniecība un mežrūpniecība, Nr. 4, 1977, 23.–35. lpp.
13. Ferda I. Vliv vyše hladiny podzemni vody na vzrust a vyvoj lesnich drevin. – *Lesnický čas.*, 1966, sv. 10, s. 943–956.
 14. Fitzgerald P. The estimation of soil moisture deficits by Penman's and Thornthwaite's method in Canterbury. – *J. Hydrol.*, 1974, vol. 13, N 1, 32–40.
 15. Gathy P. L'eau et la foret. — *Buli. Soc. Roy. forestiere Belg.*, 1972, N 4, 230–236.
 16. Günther K. Auswirkung einer Grundwasserabsenkung auf die Schwarzerle (*Alnus glutinosa*). – *Forschungen und Beratungen*, 1970, N 17, S. 83–117.
 17. Hainla V. Siirdesoomännikute kuivendamise tulemustest Eestis. – *Metsan-duslikud uurimused*. Tartu, 1957, k. 1, lk. 49–64.
 18. Haveraan O. Orienterende unders økelse over sammen hengen mellom skog-produksjon pa myr og murjordas innhold av ulike naeringsemner. – *Tidsskr. skogbruk*, 1964, bd 72, N 1, s. 71–85.
 19. Heikurainen L. Hakuun vaikutus ojitettujen soiden vesitalouteen. – *Acta forestalia fenn.*, 1968, vol. 82, 39–45.
 20. Heikurainen L. Comparison between runoff conditions on a virgin peatland and a forest drainage area. – In: *Proc. 5th Intern. Peat Congr.*, Poznan. Warszawa, 1976, vol. 1, 76–86.
 21. Heikurainen L. Effect of cutting on the ground water level on drained peatlands. – In: *Intern. Svmp. Forestry Hydrol. Oxford*; New York, 1966, p. 8–20.
 22. Heikurainen L. Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefer-bestände auf Moorböden im Laufe des Jahres. – *Acta forestalia fenn.*, 1955, vol. 65, p. 13–26.
 23. Heinze M., Fiedler H. Der Einfluss von Strahlung, Wasser- und Nährstoffangebot auf Wachstum, Ernährung und Transpiration von Fichtensämlingen. – *Flora*, 1978, Bd 167, N 1, S. 65–79.
 24. Hesselmann H. Über die Sauerstoffgehalt des Bodenwassers und dessen Einwirkung auf die Versumpfung des Bodens und das Wachstum des Waldes. – *Mitt. forstlichen Versuchsanstalt. Schweiz*, 1910, H. 7, S. 63–81.
 25. Heuvel dop J. Untersuchungen über die Interzeptionsverdunstung in Nadelbaumkronen. – *Forstarchiv*, 1973, Bd 44, N 6, S. 129–150.
 26. Hinrich H. Zur Frage einer Umstellung der gewässerkundlichen

- Statistik in Deutschland vom «Abflussjahr» auf das Kalenderjahr. – *Dt. gewässerkundliche Mitt.*, 1979, N 2, S. 39–49.
27. Huikari O., Paavilainen E. Metsänparannustvöt ja luonnon nroni-naiskäyttö. – *Folia forest*, 1971, N 113, p. 17.
 28. Indriksons A., Zālītis P. The impact of hydrotechnical drainage on cycle of some biogenous elements in forest. – *Baltic Forestry*, 2000, Vol.6, No 1, p. 18–24.
 29. Item H. A model for the water regime of coniferous forest and grass-land. – *J. Hydrol.*, 1978, vol. 37, N3/4, p. 323–332.
 30. Item H. Ein Modell für den Wasserhaushalt eines Laubwaldes. – *Mitt. Eidgenöss. Anstalt f. forstliches Versuchswesen*, 1974, Bd 50, H. 3, S. 137–331.
 31. Jackson I. Relationships between rainfall parameters and interception by tropical forest. – *J. Hydrol.*, 1975, vol. 24, N 3/4, p. 215–238.
 32. Jellyman A. Water as a forest product. – *N. Z. J. Forestry*, 1973, N 2, p. 211–216.
 33. Kairiukštis L. Medžiū augumas vegetacijos metu. – *Lietuvos mišku ūkio mokslinio tyrimo inst. darbai*, VII tomas, Kaunas, 1963.
 34. Keller H. Der Einfluss des Waldes auf den Kreislauf des Wassers. – *Schweiz. Ztschr. Forstwesen*, 1971, Bd 122, N 10, S. 453–466.
 35. King D., Loucks O. The theory of tree bole and branch form. – *Radiation Environmental Biophys.*, 1978, vol. 15, N 2, p. 141–165.
 36. Kirstein K. Lettlands Waldtypen. – *Ada Forestalia Fenn.*, 1929, Vol. 34, p. 17–32.
 37. Lipmaa T. Eesti geobotaanica põhijooni. – *Acta comment. Univ. Tartuensis*, 1935, p. 147–181.
 38. Loze I. Lubānas klanu apdzīvotība akmens laikmetā. Plūdu problēma un tās risinājums. – Rīga, 1974, 12.–19. lpp.
 39. Lukala O. Metsäojituksen oppikirja. – Helsinki, 1931, 238 S.
 40. Lundberg G. Drainage of swamp land for forestry. – *J. Forestry*, 1926, p. 24–36.
 41. Markus R. Nosusināšanas ietekme priedes un egles pieaugumā purvaugsnēs Latvijā. – *Latv. mežu pētn. st. Raksti*, 1936, 5. sēj., 204. lpp.
 42. Melderis K. Mācība par mežu. – R., 1939., 341 lpp.
 43. Mustonen S. Ilmästo ja maastotekijöiden vaikutuksesta limen vesiarvoon ja roudan syvyteen. – *Acta forestalia fenn.*, 1966, vol. 79, p. 1–40.

44. Nemeč J., Pašāk V., Zelenij V. Forest hydrology research in Czechoslovakia. – Oxford; New York, 1966. 278 p.
45. Nomals P. Daži purvu ezeru ūdeņi Latvijas piejūras apgabalos. – *LU Raksti*. Lauksaimn. fak. sēr. 2, 1932, 5. nr., 161.–196. lpp.
46. Nomals P. Daži purvu ezeru ūdeņi Rīgas un Jelgavas iedobuma un Kurzemes ziemeļaustrumu daļā. – *LU Raksti*. Lauksaimn. fak. sēr. 2, 1935, 16. nr., 487.–522. lpp.
47. Nomals P. Latvijas purvi. – *Latvijas zeme, daba un tauta*, Rīgā, 1936, 259.–320. lpp.
48. Nomals P. Purvu ezeru ūdeņi Latvijas austrumdaļā. – *LU Raksti*. Lauksaimn. fak. sēr. 1, 1931, 16. nr., 409.–507. lpp.
49. Odiņš J. Meža zemju hidrotehniskā meliorācija. – R., 1971. 387 lpp.
50. Odiņš J., Bušs K., Kļaviņš J., Maike P. Mežu nosusināšana. – R., 1960., 218 lpp.
51. Ostwald E. Ober den Einfluss der Entwässerungen versumpfter Orte auf den Baumwuchs. – *Baltische Woch.-Schr.*, 1878, N 13, S. 16–22.
52. Paavilainen E. Männyn Juuriston suhteesta Turpeen Ilmatilaen. – *Metsän-tutkimuslaitoksen julk.*, 1967, n. 63, N 6, s. 11–23.
53. Paavilainen E. Relationships between the root system of Scots pine and the air content of peat. – In: *14. IUFRO Kongress*, Section 22. München, 1967, p. 134–137.
54. Päivänen J. Harvennuksen vaikutus lumija routasuhteisiin nuoressa turve-maan männikössä. – *Silva fenn.*, 1973, vol. 7, N 2, p. 114–128.
55. Paula L. Interceptacao du chuva em provoamentos de eucalipto e de pin-heiro. – *Rev. divulgacao el. IPEF*, 1976, N 13, p. 75–90.
56. Pelkonen E. Valunnan säännöstelvn tarpeelisundesta metsaojitusal-ueella. – *Suo*, 1976, n. 27, N 1, s. 25–32.
57. Premysl B., Bfezina P. Lesni společenstva Trebonskych. blat a ztraty vznil le jejich vytežnim. – *Lesnický čas.*, 1964, sv. 4, s. 401–420.
58. Raid L. Sademete möötmisest ning jaotimusest pohla- ja mustikatüul- bi männi-puistutes. – *Eesti põllumaj. Akad. Tead. tööde kogumik*, 1960, N 60, lk. 8–18.
59. Ramans G. Latvijas teritorijas ģeogrāfiskie reģioni. – Rīga, 1935. 64 lpp.
60. Rubner K. Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaues. – Radebeul und Berlin, 1960.

61. Sarma P. Mežu nosusināšanas nozīme Padomju Latvijā. – R., 1951., 80 lpp.
62. Schekorr E. Untersuchungen über den Wasserhaushalt von drei kleinen Niederschlaggebieten in Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Gebietsverdunstung. – Kiel, 1971. 185 S. G_399.
63. Schomaker C. Seasonal variation in the interception of precipitation by a spruce and a beech stand. – *Maine Farmacol. Researches*, 1967, vol. 15, N 2, p. 17–21.
64. Schuster Ch. Wasserspiegelabsenkung zwischen zwei Drainagegräben in natürlich gelagerten Boden am Hang. – *Mitt. Eidgenöss. Anstalt f. forstliches-Versuchswesen*, 1974, Bd 50, H. 1, S. 3–83.
65. Sivers M. V. Die forstlichen Verhältnisse der baltischen Provinzen, dargestellt auf Grundlage der baltischen Forstenquete vom Jahre 1901. – Riga, 1903, 48 S.
66. Smith M. Throughfall, stemflow and interception in pine and eucalypt forest. – *Austral. Forest*, 1974, vol. 36, N 3, p. 190–197.
67. Stålfelt M. On the distribution of the precipitation in a spruce stand. – In: *The water relations of plants*. Londori, 1963, p. 115–126.
68. Strods H. Īss meliorācijas attīstības apskats Latvijā. – *Meliorācija un zinātniski tehniskais progress*, R., 1978., 9.–35. lpp.
69. Tamm C. Vilken roll kan kalken spela i framtidens svenska skogsbruk? – *Kgl. skogs-och lantbruksakad. tidskr.*, 1979, Bd 118, N 13, s. 62–63.
70. Tschermak L. Waldbau. – Wien, 1950. 437 S.
71. Vogelmann H. Rain-making forests. – *Natural Hist*, 1976, vol. 85, N 3, p. 22–24.
72. Zalitis P. Forest hydrological parameters as a function of stand structure and meteorological conditions. – *Baltic Forestry*, 2000, Vol 2, No 2, p. 2–8.
73. Zālītis P., Ziediņš J., Bambe L. Briežu dzimtas dzīvnieku ziemas ganību novērtējums Latvijas republikā. – *Mežsaimn. un Mežrūpn.*, 1975, Nr. 4., 66.–69. lpp.
74. Андрейчик М. Ф. Тепловой режим и непродуктивное испарение влаги в основных типах леса Белорусского Полесья. – *Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук*. Тарту, 1978, 19 с.

75. Аносова Л. С. Средний многолетний сток в Латвийской ССР. – В кн.: *Вопросы осушения и освоения осушенных земель*. Рига, 1958, т. 1, с. 117–132.
76. Бабилов Б. В. Воздушный режим почв осушенных переходных болот. – В кн.: *Природа болот и методы их исследований*. Л., 1967, с. 145–149.
77. Бабилов Б. В. Водный режим почв осушенных лесных болот. – *Почвоведение*, 1980, № 2, с. 80–86.
78. Ботман К. С. Перехват дождевых осадков пологом горных лесов Средней Азии. – *Лесоведение*, 1974, № 5, с. 74–76.
79. Бочков А. П. Влияние леса и агролесомелиоративных мероприятий на водность рек лесостепной зоны европейской части СССР. Л., 1954. 136 с.
80. Будаговский А. И., Лозинская Е. А. Теория суммарного испарения и ее приложения. – *Вод. ресурсы*, 1976, № 2, с. 34–55.
81. Будыко М. И. Климатические условия увлажнения. – В кн.: *Воейков А. И. и современные проблемы климатологии*. Л., 1956, с. 29–43.
82. Будыко М. И., Гандин Л. С. Влияние климатических факторов на растительный покров. – *Изв. АН СССР. Сер. геогр.*, 1966, № 1, с. 3–10.
83. Буш К. К. Типологический анализ осушенных лесов Латвийской ССР. *Автореф. дис. на соиск. учен. степ, д-ра биол. наук*. Тарту, 1972. 40 с.
84. Буш К. К. Эффект осушения в различных типах леса. – В кн.: *Биологическая наука – сельскому и лесному хозяйству*. Рига, 1960, т. 4, с. 117–119.
85. Буш К. К., Аболинь А. А. Взаимосвязь между растительным покровом и производительностью древостоев важнейших осушенных типов леса. – *Растительность Латвийской ССР*, Р., 1964, Т. 4, с. 87–114.
86. Буш К. К., Аболинь А. А. Строение и изменение растительного покрова важнейших типов леса под влиянием осушения. – *Вопросы гидролесомелиорации*, Р., 1968, с. 71–126.
87. Буш К. К., Залитис П. П. Леса на торфяных почвах. – В кн.: *Торф в лесном хозяйстве*. Рига, 1977, с. 5–26.
88. Буш К. К., Залитис П. П. О режиме грунтовых вод осушенных лесов. – В кн.: *Вопросы гидролесомелиорации*. Рига, 1968, с. 51–69.

89. Буш К. К., Клявинь Я. Я., Майке П. М., Сабо Е. Д. Осушение лесных земель. М.-Л., 1960. 160 с.
90. Буш Х. К. Классификация биологических объектов с помощью метода главных компонент. Автореф. дис. на канд. техн. наук. Л., 1977. 24 с.
91. Васильев И. С. Наблюдения над задержанием осадков кронами деревьев. – *Вопр. географии*, 1948, вып. 7, с. 162–170.
92. Веретенников А. В. Влияние временного избыточного увлажнения на физиологические процессы древесных растений. М., 1964. 88 с.
93. Веретенников А. В. Физиологические основы устойчивости древесных растений к временному избытку влаги в почве. М., 1968. 215 с.
94. Вомперский С. Э. Биологические основы эффективности лесоосушения. М., 1968. 312 с.
95. Вомперский С. Э. Микрорельеф поверхности заболоченных и болотных почв и его лесоводственное значение. – В кн.: *Влияние избыточного увлажнения почв на продуктивность лесов*. М., 1966, с. 96–111.
96. Вомперский С. Э. Научное обоснование оптимального лесоосушения. – *Лесн. хоз-во*, 1972, № 6, с. 28–33.
97. Вомперский С. Э., Бусарова Е. И. Физико-химические условия осушаемых земель и их значение для роста леса. – В кн.: *Влияние избыточного увлажнения почв на продуктивность лесов*. М., 1966, с. 57–75.
98. Вомперский С. Э., Сабо Е. Д., Формин А. С. Лесоосушительная мелiorация. М., 1975, 295 с.
99. Воронков Н. А., Кожевникова С. А., Шомполова В. А. Формирование снежного покрова в лесу и поле в Подмосковье. – *Лесоведение*, 1972, № 3, с. 30–37.
100. Воронков Н. А., Невзоров В. М. Транспирационный расход влаги и рост культур сосны при остром дефиците увлажнения. – *Лесоведение*, 1979, № 3, с. 31–40.
101. Высоцкий Г. Н. О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. М., 1938. 67 с.
102. Высоцкий Г. Н. О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. М.-Л., 1956. 112 с.

103. Глазачева Л. И., Оганова Т. С. Средний многолетний сток рек и условия его формирования в Латвийской ССР. – *Сб. работ Риж. гидрометеорол. обсерватории*, 1966, вып. 9, с. 28–70.
104. Глобус А. М. Экспериментальная гидрофизика почв. М., 1969. 355 с.
105. Грибов А. И. Задержание жидких осадков березовыми древостоями Западного Саяна. – В кн.: *Водный обмен в основных типах растительности СССР как элемент круговорота вещества и энергии*. Новосибирск, 1975, с. 279–283.
106. Дажо Р. Основы экологии. М., 1975. 416 с.
107. Джамалов Р. Г., Зекцер И. С., Семендяев Л. И. Выделение областей разгрузки подземных вод в морях. – *Вод. ресурсы*, 1976, № 2, с. 101–109.
108. Дзилна И. Л. Ресурсы, состав и динамика подземных вод Средней Прибалтики. Рига, 1970. 186 с.
109. Дубах А. Д. Лес как гидрологический фактор. М., 1951, 260 с.
110. Дубах А. Д. Осушение лесных земель с основами гидротехники. Л., 1934, 360 с.
111. Елагин И. И. Методика определения фенологических фаз у хвойных. – *Бот. журн.*, 46, 1961, 7: 35–48.
112. Зайдельман Ф. Р. Режим и условия мелиорации заболоченных почв. М., 1975. 320 с.
113. Залитис П. П. Основы рационального лесосошения. Зинатне, Рига, 1983, 230 стр.
114. Залитис П. П. Динамика почвенной влажности в осушенных лесах. – *Лесоведение*, 1972, № 6, с. 47–54.
115. Залитис П. П. Динамика среднесуточного прироста сосны и ели в осушенном осоково-тростниковом типе лесорастительных условий. – В кн.: *Вопросы гидролесомелиорации*. Рига, 1968, с. 127–167.
116. Залитис П. П. Экологическое значение разгрузки подземных напорных вод. – *Лесоведение*, 1978, № 5, с. 10–16.
117. Захаровская Н. Н. К определению испарения с осушенных и неосушенных болот по данным лизимитрических наблюдений. – В кн.: *Материалы межвед. совещ. по пробл. изуч. и обоснования методов расчета испарения с вод. поверхности и суши*. Валдай, 1966, с. 37–42.

118. Згуровская Л. Н. Анатомо-физиологические особенности активной части корневых систем ели и березы в зависимости от почвенных условий и возраста корней. – Тр. *Ин-та леса и древесины СО АН СССР*, 1962, т. 53, с. 136–163.
119. Згуровская Л. Н. К физиологии древесных растений на болотах. – В кн.: *Особенности болотообразования в некоторых лесных и пригорных районах Сибири и Дальнего Востока*. М., 1965, с. 114–140.
120. Зернов В. И., Децик Т. А., Мироненко В. И., Котова А. Ф. О влиянии осушения на водный режим прилегающих суходолов. – *Лесн. хоз-во*, 1977, № 7, с. 24–28.
121. Зонн С. В. Почва как компонент лесного биогеоценоза. – В кн.: *Основы лесной биогеоценологии*. М., 1964, с. 372–457.
122. Зубенко Л. И. Испарение на континентах. Л., 1976. 264 с.
123. Иванов К. Е. Гидрологические расчеты при осушении болот и заболоченных земель. Л., 1963. 447 с.
124. Иванов К. Е. Гидрология болот. Л., 1953. 300 с.
125. Исполинов А. А. К вопросу влияния глубины осушения на изменение водно-физических свойств торфяной почвы и урожай трав. – *Науч. работы Ин-та мелиорации, вод. и болот, хоз-ва АН БССР*, 1953, т. 2, с. 43–54.
126. Капост В. Я. Изменение в режиме питания деревьев на торфяных почвах под влиянием осушения. – В кн.: *Лес и почва*. Красноярск, 1968, с. 366–370.
127. Керенский С. О задержании дождевой воды кронами деревьев и лесной подстилкой в древостое сосны черной. – *Горскостоп. наука*, 1970, год. 7, № 5, с. 51–61.
128. Киселев П. А. Исследования баланса грунтовых вод по колебаниям их уровня. Минск, 1961. 202 с.
129. Китредж Дж. Влияние леса на климат, почвы и водный режим. М., 1951. 456 с.
130. Климатический атлас Латвийской ССР. Рига, 1972. 148 с.
131. Клинецов А. П. О точности определения величины жидких осадков под пологом темнохвойных древостоев Сахалина. – *Тр. Дальневост. НИИ лесн. хоз-ва*, 1975, вып. 17, с. 179–182.
132. Клявинь Я. Я. Проведение изысканий в целях лесосушения. – В кн.: Буш К. К., Клявинь Я. Я., Одынь Я. Я., Сабо Е. Д. *Осушение лесных земель*. М–Л., 1960, гл. 3, с. 41–51.

133. Кожевникова С. А. О метеорологическом режиме в лесу по наблюдениям на Истринском опорном пункте ВНИИЛМ. – *Сб. работ по лесн. хоз-ву ВНИИЛМ*, 1965, т. 50, с. 201–213.
134. Козлов М. П. Суточный ход суммарного испарения и его связь с суточным ходом метеорологических элементов. – В кн.: *Тр. Всесоюз. гидрол. съезда*. Л., 1959, т. 3, с. 166–173.
135. Козлов М. П. Суточный ход суммарного испарения с луга и его связь с метеорологическими факторами. – *Тр. Гос. гидрол. ин-та*, 1957, вып. 59, с. 134–171.
136. Константинов А. Р. Испарение в природе. Л., 1968. 532 с.
137. Константинов А. Р. Методы расчета испарения и водного режима корнеобитаемого слоя почвы. – В кн.: *Тр. IV Всесоюз. гидрол. съезда*. Л., 1976, т. 6, с. 40–53.
138. Константинов А. Р. Оценка влияния полезащитных лесонасаждений на атмосферные осадки. – *Тр. Гос. гидрол. ин-та*, 1953, вып. 34, с. 93–111.
139. Константинов А. Р. Расчет испарения с сельскохозяйственных полей с учетом влияния лесных полос. – *Тр. Гос. гидрол. ин-та*, 1953, вып. 34, с. 15–65.
140. Константинов А. Р. Сравнительный уровень развития гидрологии и смежных наук. – В кн.: *Методологические вопросы современной гидрологии*. Л., 1978, с. 27–34.
141. Константинов В. К. К определению запасов влаги в почве по глубине стояния почвенно-грунтовых вод. – *Почвоведение*, 1966, № 2, с. 58–64.
142. Константинов В. К. К определению запасов влаги в торфянисто-подзолистых почвах. – *Лесн. журн.*, 1967, № 4, с. 45–47.
143. Коссович П. С. Водные свойства почвы. — *Журн. опыт. агрономии*, 1904, № 2/3, с. 329–365.
144. Костяков А. Н. Основы мелиорации. М., 1951. 751 с.
145. Кошельков С. П., Орлов А. Я., Алексеева Т. Г. Влияние искусственного изменения увлажнения почвы на рост культур сосны в южной тайге. – *Лесоведение*, 1972, № 2, с. 3–16.
146. Кошечев А. Л. Заболачивание вырубков и меры борьбы с ним. М., 1955. 167 с.
147. Крамер П., Козловский Т. Физиология древесных растений. М., 1963, 627 с.

148. Куклин В. В. Задержание дождевых осадков сосновыми и березовыми древостоями в Красноярской лесостепи. – *Лесоведение*, 1974, № 5, с. 10–15.
149. Лавринович М. Г. К вопросу о динамике подземных вод зоны интенсивного водообмена на территории Прибалтики. – В кн.: *Вопросы геологии среднего и верхнего палеозоя Прибалтики*. Рига, 1967, с. 266–283.
150. Лархер В. Экология растений. М., 1978. 384 с.
151. Леонова Н. Е. О точности определения запасов почвенной влаги в точке термостатно-весовым способом. – *Тр. Гос. гидрол. ин-та*, 1974, вып. 214, с. 172–183.
152. Лернер А. Я. Начала кибернетики. М., 1967. 400 с.
153. Лиена И. Я. Единая программа оценки реакции древостоя на влияние факторов воздействия. – В кн.: *Моделирование и прогнозирование в экологии*. Рига, 1980, с. 44–67.
154. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г. Физиология древесных растений. М., 1974, 421 с.
155. Лопатин В. Д., Пятецкий Г. Е. Уравнения зависимости между объемным весом и степенью разложения торфа и значение пересчета агрохимических данных на единицу объема. – В кн.: *Стационарное изучение болот и заболоченных лесов в связи с мелиорацией*. Петрозаводск, 1977, с. 148–149.
156. Ляэнелайд А. Болотные формы сосны обыкновенной как индикаторы динамики верховых болот. *Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук*, Тарту, 1979, 21 с.
157. Макаренко Г. П. Снегонакопление и весенний сток в сосновых молодняках различного состава. – В кн.: *Леса Урала и хозяйство в них*. Свердловск, 1972, с. 116–119.
158. Маринов Н. А. Некоторые вопросы учения о грунтовых водах. – *Вод. ресурсы*, 1979, № 2, с. 83–94.
159. Маслов Б. С. Водный режим торфяных почв в летний период в условиях Мещерской низменности. – *Почвоведение*, 1961, № 3, с. 48–59.
160. Маслов Б. С. О некоторых последствиях осушительных мелиораций. – *Гидротехника и мелиорация*, 1971, № 4, с. 36–51.
161. Маслов Б. С. Режим грунтовых вод переувлажненных земель и его регулирование. М., 1970, 232 с.

162. Маслов Б. С., Станкевич В. С., Черненко В. Я.осушительно-увлажнительные системы. М., 1973. 175 с.
163. Матвеев П. Н. Формирование снежного покрова в еловых лесах Тянь-шаня. – *Лесоведение*, 1968, № 1, с. 79–83.
164. Матвеев П. Н. Задержание жидких осадков пологом елового леса в Тянь-шане. – *Тр. Кирг. леей. опыт. ст.*, 1965, вып. 4, с. 300–303.
165. Месарович М. Основания общей теории систем. – В кн.: *Общая теория систем*, М., 1966, с. 15–48.
166. Милторп Ф. Л. Поступление и расход воды в сухих и засушливых зонах. – В кн.: *Растение и вода*. Л., 1967, с. 5–63.
167. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. М., 1960. 485 с.
168. Молчанов А. А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. М., 1952, 488 с.
169. Молчанов А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М., 1971, 275 с.
170. Муромцев Н. А. Об использовании термодинамического потенциала почвенной влаги в исследованиях по гидрофизике почв и растений. – *Почвоведение*, 1976, № 3, с. 42–52.
171. Мустонен С. Е. Преобразование водного баланса мелиорируемых областей. – В кн.: *XXIII Международная гидрологическая программа*. Л., 1976, с. 81–90.
172. Найденова Ц. *Populus regenerata* и почвенная влажность. – *Горско стопанство*, 1975, год. 31, № 3, с. 51–53.
173. Нежиховский Р. А. Методология гидрологической науки и философия. – В кн.: *Методологические вопросы современной гидрологии*. Л., 1978, с. 61–71.
174. Нежиховский Р. А. Эмпирическая стадия познания в гидрологии. – В кн.: *Методологические вопросы современной гидрологии*. Л., 1978, с. 72–98.
175. Нестеренко И. М. О влажности почвы и нормах осушения. – *Изв. Кар. и Кол. филиалов АН СССР*, 1959, № 2, с. 104–107.
176. Нестеренко И. М., Вейнберг Л. Н. Определение водно-физических характеристик почвогрунтов по насыщению образцов под вакуумом. – В кн.: *Пути изучения и освоения болот Северо-Запада европейской части СССР*. Л., 1974, с. 121–125.
177. Нестеренко И. М., Дубровский Ю. П., Симанов Ю. Г. Изменение водного и теплового режима осушаемых болот. – В кн.: *Пути изучения*

и освоения болот Северо-Запада европейской части СССР. Л., 1974, с. 36–46.

178. Нийне Х. А. Об агрохимических свойствах торфяных почв Эстонской ССР. *Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук.* Таллин, 1965. 35 с.
179. Новиков М. А. Влияние разных способов и интенсивности осушения на воздушный режим торфяно-болотных почв. *Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук.* Минск, 1962. 24 с.
180. Новиков С. М., Ключева К. А., Бавина Л. Г. и др. Влияние осушения на водный режим и составляющие водного баланса мелиорируемых земель. – В кн.: *Тр. IV Всесоюз. гидрол. съезда.* Л., 1976, т. 4, с. 433–443.
181. Олейник В. С. Особенности накопления и таяния снега в еловых лесах Карпат. – *Лесоведение*, 1979, № 4, с. 85–88.
182. Орлов А. Я. Влияние избытка влаги и других почвенных факторов на корневые системы и продуктивность еловых лесов южной тайги. – В кн.: *Влияние избыточного увлажнения почв на продуктивность лесов.* М., 1966, с. 5–56.
183. Орлов А. Я. Почвенная экология сосны. М., Наука, 1971. 323 с.
184. Орлов А. Я. Распределение сосущих корней в толще переувлажненных почв еловых лесов в связи с условиями аэрации. – *Бюл. Моск. о-ва испытателей природы*, 1959, т. 64, с. 79–89.
185. Орлов А. Я. Режим кислорода в почвенно-грунтовых водах некоторых типов лесных почв Вологодской области. – *Почвоведение*, 1958, № 12, с. 36–47.
186. Орлов А. Я. Устойчивость корней деревьев к избытку влаги в почве. – *Лесн. хоз-во*, 1965, № 2, с. 9–12.
187. Орлов А. Я., Кошельков С. П., Внудзаев Н. А. Водный режим сосняков южной тайги. – *Лесоведение*, 1970, № 2, с. 46–58.
188. Орлов А. Я., Кошельков С. П., Осипов В. В., Соколов А. А. Типы лесных биогеоценозов южной тайги. М., 1974, 231 с.
189. Орлов А. Я., Матвеева Л. Я., Мина В. Н. Влияние искусственного изменения режима влажности почвы на рост культур сосны в зоне хвойно-широколиственных лесов. – *Лесоведение*, 1972, № 3, с. 3–16.
190. Осипов В. В. Гидрологическая роль леса в условиях суглинистых почв моренной равнины южной тайги. *Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук.* Красноярск, 1970, 25 с.

191. Осипов В. В. Расход воды на прирост органического вещества в некоторых биогеоценозах южной тайги. – *Лесоведение*, 1971, № 2, с. 96–98.
192. Осокин И. М. Распространение и режим снежного покрова в лесах Забайкалья. – *Зап. Забайкал. фил. геогр. о-ва СССР*, 1972, № 71, с. 14–15.
193. Отоцкий П. В. Грунтовые воды, их происхождение, жизнь и распределение. – *Тр. опыт, лесничеств*, 1906, вып. 4, с. 3–300.
194. Пасторс А. А. Водный баланс Латвийской ССР. Рига, 1972, 49 с.
195. Пасторс А. А. О ресурсах поверхностных вод Латвийской ССР. – *Сб. работ Риж. гидрометеорол. обсерватории*, 1966, вып. 9, с. 17–28.
196. Пасторс А. А. Особенности колебания годового стока рек Прибалтики. – *Сб. работ Риж. гидрометеорол. обсерватории*, 1966, вып. 9, с. 7–16.
197. Пахучий В. В. Особенности водного режима в хвойных древостоях на осушенном торфянике. – *Лесн. журн.*, 1978, № 5, с. 13–15.
198. Пенмэн Х. Круговорот воды. – В кн.: *Биосфера*. М., 1972, с. 60–72.
199. Писарьков Х. А., Давидов П. И. Влияние осушения на рост березовых насаждений. – *Лесн. хоз-во*, 1964, № 10, с. 22–24.
200. Погодаева Н. Н. Расход воды на транспирацию лесными сообществами Читинского Забайкалья. – *Зап. Забайкал. фил. геогр. о-ва СССР*, 1972, вып. 71, с. 13–14.
201. Погодаева Н. Н., Касьянова Л. Н. Гидрологическое значение расхода воды на транспирацию. – В кн.: *Всесоюз. совещ. по водоохр.-защит. роли гор. лесов*, Красноярск, 1975, ч. 1, с. 62–64.
202. Пьявченко Н. И. Азотно-минеральное питание лесной растительности на болотах и осушительная мелиорация. – В кн.: *Болота Карелии и пути их освоения*. Петрозаводск, 1971, с. 159–164.
203. Пьявченко Н. И. Состояние и перспективы изучения болотных биогеоценозов. — В кн.: *Современное состояние и перспективы развития биогеоценологических исследований*. Петрозаводск, 1976, с. 32–45.
204. Пьявченко Н. И., Козловская Л. С. Почва как компонент биогеоценоза (экосистемы). – В кн.: *Почвенные исследования в Карелии*. Петрозаводск, 1974, с. 6–11.
205. Пятецкий Г. Е. Влажность осушенных почв и ее связь с уровнем грунтовых вод. – В кн.: *Почвенные исследования в Карелии*.

- Петрозаводск, 1974, с. 50–66.
206. Пятецкий Г. Е. Водный режим почв сплошных коцентрированных вырубок в южной части К АССР и методы его регулирования. – *Автореф. канд. дисс.*, Л., 1960.
207. Рапопорт А. Математические аспекты абстрактного анализа систем. – В кн.: *Исследования по общей теории систем*. М., 1969, с. 83–105.
208. Расиньш А. Некоторые связи климатических факторов с биогеографией в условиях Латвийской ССР. – В кн.: *Краткие итоги научных исследований, по защите растений в Прибалтийской зоне СССР*. Рига, 1960, с. 299–300.
209. Раунер Ю. Л. Суммарное испарение лесной растительности. – *Изв. АН СССР. Сер. геогр.*, 1966, № 3, с. 17–30.
210. Раунер Ю. Л. Тепловой баланс растительного покрова. Л., 1972. 210 с.
211. Рахманов В. В. Водоохранная роль лесов. М., 1962. 235 с.
212. Рахманов В. В. Водорегулирующая роль лесов. – *Тр. Гидрометеорол. н.-и. центра СССР*, 1975, вып. 153, с. 3–192.
213. Ринькис Г. Я., Раманс Х. К., Паэгле Г. В. Основы оптимизации минерального питания растений. – В кн.: *Макро- и микроэлементы в минеральном питании растений*. Рига, 1979, с. 29–83.
214. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. Л., 1965, т. 1. 663 с.
215. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. Л., 1969, т. 2. 280 с.
216. Романов В. В. Гидрофизика болот. Л., 1961. 359 с.
217. Романов В. В. Испарение с болот европейской территории СССР. Л., 1966, 227 с.
218. Романов В. В. Исследования испарения со сфагновых болот. – *Тр. Гос. гидрол. ин-та*, 1953, вып. 39, с. 116–135.
219. Рудаков В. Е. Можно ли судить о транспирации леса по величине его продуктивности? – *Изв. Всесоюз. геогр. о-ва*, 1977, т. 109, вып. 2, с. 169–173.
220. Рутковский В. И. Влияние леса на накопление и таяние снега. – В кн.: *Снег и талые воды. Их изучение и использование*. М., 1956, с. 184–205.
221. Рутковский В. И. Обоснование лесохозяйственных мероприятий по усилению защитных и водоохраных свойств леса. М.–Л., 1948, 44 с.
222. Сабо Е. Д. Интенсивность осушения заболоченных лесов. Новые лесоводственные исследования. М., 1960. 43 с.

223. Сабо Е. Д. Некоторые результаты исследований формирования снежнопокрова в лесу. – В кн.: *Снежный покров, его распространение и роль в народном хозяйстве*. М., 1962, с. 98–103.
224. Сабо Е. Д. Регулирование водного режима заболоченных лесных площадей. – В кн.: Пьявченко Н. И., Сабо Е. Д. *Основы гидроресомелиорации*. М., 1962, гл. 2, с. 152–294.
225. Сабо Е. Д. Степень осушения различных типов леса. – В кн.: *Проблемы-повышения продуктивности лесов*. М.–Л., 1959, т. 2, с. 49–64.
226. Саввинов Д. Д. Задержание осадков кронами деревьев и влияние на него рубок разной интенсивности в лесах Юго-Западной Якутии. – В кн.: *Вопросы науки в трудах молодых ученых Якутии*. Якутск, 1971, с. 235–238.
227. Савицкая Л. О. Организация наблюдательной сети на мелиорированных объектах Эстонской ССР. – В кн.: *Материалы межвед. совещ. по мелиор. гидрогеол. и инж. геологии*. Минск, 1969, с. 27–33.
228. Сафиуллин Р. А. Водоохранная и стокообразующая роль лесов Среднего Поволжья. – В кн.: *Человек и окружающая среда. Тез. докл. конф.* Л., 1975, с. 54–55.
229. Сафиуллин Р. А. Гидрологическая роль лесов Среднего Поволжья. *Авто-реф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук*. Казань, 1966, 20 с.
230. Светлицев Н. М. Водный и температурный режим почвогрунта сосновой лесосеки. – *Тр. Новочеркас. инж.-мелиор. ин-та*, 1971, т. 13, вып. 9, с. 48–59.
231. Слейчер Р. Водный режим растений. М., 1970, 365 с.
232. Смирнов В. В. Органическая масса в некоторых фитоценозах европейской части СССР. М., 1971, 361 с.
233. Смоляк Л. П. Биологические основы мелиорации болотных лесов Белоруссии. *Автореф. дис. на соиск. учен. степ, д-ра с.-х. наук*. Минск, 1967, 53 с.
234. Смоляк Л. П. Состояние и перспективы развития лесосушительных работ в Белорусской ССР. – В кн.: *Повышение продуктивности и сохранности лесов*. М., 1964, с. 7–21.
235. Смоляк Л. П., Петров Е. Г. Водное питание и продуктивность основных фитоценозов. Минск, 1978, 184 с.
236. Смоляк Л. П., Поджарое В. К. Динамика грунтовых вод на осушенных

- лесных болотах и продуктивность леса. – *Лес – большой химии*, 1965, вып. 17, с. 151–158.
237. Соловьев С. А., Вомперский С. Э. Устойчивость древесного подроста и почвенного покрова к дефициту увлажнения на торфяных почвах. – В кн.: *Современные вопросы лесоведения и лесной биогеоценологии*. М., 1974, с. 119–136.
238. Справочник по климату СССР. Л., 1968, вып. 5, ч. 4, 210 с.
239. Срибный М. Ф. Влияние лесистости бассейна на формирование паводков. – В кн.: *Лес и воды (лесная гидрология)*. М., 1963, с. 39–54.
240. Субботин А. И. Сток талых и дождевых вод, М., 1966, 375 с.
241. Судницын И. И. Новые методы оценки водно-физических свойств почв и влагообеспеченности леса. М., 1966, 94 с.
242. Тараканов В. И. Влияние сплошной вырубki леса на водный режим. – В кн.: *Комплексные стационарные исследования лесов Приморья*. М., 1967, с. 103–114.
243. Томберг У. Х. Основы осушения болот. *Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук*. Таллин, 1975, 48 с.
244. Уваров Л. А. Влияние полога еловых лесов Украинских Карпат на задержание осадков. – *Лесоводство и агролесомелиорация*, 1974, вып. 36, с. 51–58.
245. Уваров Л. А. Количественная характеристика водного режима буково-пихово-еловых лесов Горчан. – В кн.: *Наука – лесовому виробництву Карпат*. Ужгород, 1973, с. 74–82.
246. Федоров С. Ф. Исследования элементов водного баланса в лесной зоне европейской территории СССР. Л., 1977, 264 с.
247. Харвей Д. Научное объяснение в географии. М., 1974, 502 с.
248. Харитонов Л. П. Модель для расчетов проникновения осадков под полог смешанных древостоев. – *Лесоведение*, 1977, № 1, с. 74–83.
249. Хильми Г. Ф. Задержание лесом дождевых осадков. – В кн.: *Теоретическая биофизика леса*. М., 1957, с. 60–78.
250. Чайлдс Э. Физические основы гидрологии почв. Л., 1973, 427 с.
251. Чеботарев А. И. Гидрологический словарь. Л., 1970, 306 с.
252. Чешев Л. С., Черных З. И. Изменение условий среды на сплошных узкополосных рубках в еловых лесах Тяньшаня. – *Лесоведение*, 1977, № 1, с. 19–26.
253. Шебеко В. Ф. Гидрологический режим и его прогноз в водосборах

- мелиоративных систем. – В кн.: *Междунар. симпоз. по гидрологии заболоч. территорий*. Минск, 1973, т. 2, с. 47–57.
254. Шебеко В. Ф. Изменение грунтового питания болот в связи с их осушением. – В кн.: *Материалы межвед. совещ. по мелиор. гидрогеологии и инж. геологии*. Минск, 1969, с. 33–51.
255. Шебеко В. Ф. Испарение с болот и баланс почвенной влаги. Минск, 1965, 394 с.
256. Шевелев Н. Н. Перехват вертикальных и горизонтальных осадков в лесах Среднего Урала. – *Лесоведение*, 1977, № 6, с. 38–46.
257. Шпак И. С. Влияние леса на водный баланс водосборов. Киев, 1968, 283 с.
258. Эркин Г. Д. Влияние осушения на производительность лесов. М., 1934, 200 с.
259. Янголь А. М. Нормы осушения в зависимости от заданной влажности почвы и климатических факторов. – В кн.: *Режим осушения и методика полевых научных исследований*. М., 1971, с. 26–35.