

PĀRSKATS

PAR AS “LATVIJAS VALSTS MEŽI” PĒTĪJUMA

DARBU IZPILDI

Pārskata
nosaukums

MEŽA MĒSLOŠANAS IETEKME UZ KOKAUDŽU VĒRTĪBAS PIEAUGUMU

Līguma Nr.

5.5-5.1-001j-101-13-28

Pārskata Nr.

2014/01

Pārskata versija

2.2

Izpildes laiks

27.05.2013. - 31.03.2014.

Izpildītājs

Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"

Projekta vadītājs

A. Lazdiņš

Kopsavilkums

Meža sektoram ir būtiska loma ietekmes uz klimata izmaiņām samazināšanā. Nozīmīgākie mežsaimniecības pasākumi ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanai ir atmežošanas ierobežošana un kompensējošā apmežošana, CO₂ piesaistes veicināšana meža zemēs un koksnes produktu izmantošana fosilā kurināmā un energoietilpīgu materiālu aizstāšanai. Meža apsaimniekošanas intensifikācija var palielināt mežu lomu ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanā, ja saimnieciskā darbība vērsta uz augošo koku krājas palielināšanu un fosilā kurināmā un materiālu aizstāšanas apjoma palielināšanu (Sathre *et al.*, 2010).

Pāreja no tradicionālas, ekstensīvas mežsaimniecības uz intensīvu meža apsaimniekošanu ir līdzīga lauksaimniecības pārejai no vākšanas un medību saimniecības un mērķtiecīgu pārtikas ražošanu. Šādas pārejas rezultāts ir pieaugošas biomasas piegādes un plašākas iespējas aizstāt fosilo kurināmo un energoietilpīgos būvmateriālus ar atjaunojamiem koksnes materiāliem. Lielāks biomasas pieaugums intensīvi apsaimniekotos mežos ļauj izmantot pārējās meža zemes citiem mērķiem – medību saimniecībai, bioloģiskās daudzveidības un vides resursu aizsardzībai, kā arī rekreācijai. Saskaņā ar Zviedrijā veiktiem pētījumiem meža apsaimniekošanas intensifikācija līdz 2050. gadam ļauj palielināt krājas pieaugumu Zviedrijas mežos par 20 %, tajā pašā laikā nenodarot kaitējumu aizsargājamām dabas teritorijām un neradot negatīvu ietekmi uz citu meža ekosistēmu pakalpojumu īstenošanu (Nohrstedt, 2001).

Meža mēslošana ir viens no mežsaimniecības intensifikācijas paņēmieniem, kas var nodrošināt īpaši lielu krājas pieauguma palielinājumu boreālās klimatiskās joslas mežos (Saarsalmi & Mälkönen, 2001). Meža augšanu boreālajos mežos nereti ierobežo slāpekļa trūkums augsnē, un pagājušā gadsimta divdesmitajos gados uzsāktie meža mēslošanas darbi liecina, ka mēslojums var pat dubultot apaļo kokmateriālu iznākumu, neradot būtisku negatīvu ietekmi uz ūdeņu kvalitāti. Zviedrijā veiktos izmēģinājumos, kur eglēm ļāva augt pietiekoša mitruma un praktiski neierobežotas barības vielu pieejamības apstākļos 10 gadus pēc izmēģinājumu uzsākšanas Zviedrijas centrālajā daļā ierīkotajos izmēģinājumos mēslojums palielināja ikgadējo krājas pieaugumu no 3 m³ ha⁻¹ gadā kontroles parauglaukumos līdz 14 m³ ha⁻¹ gadā mēslotajos parauglaukumos; bet Zviedrijas dienvidos ierīkotajos izmēģinājumos ikgadējo krājas pieaugums pieauga no 12 m³ ha⁻¹ gadā kontroles parauglaukumos līdz 29 m³ ha⁻¹ gadā mēslotajos parauglaukumos. Mēslojuma deva tika koriģēta katru gadu atbilstoši prognozējamam barības vielu patēriņam, tāpēc meža mēslošana neradīja negatīvu ietekmi uz gruntsūdeņu kvalitāti (Bergh *et al.*, 1999).

Pētījuma mērķis ir apkopot pieredzi meža mēslošanā, izmantojot koksnes pelnus un ķīmiski nepārveidotus minerālus, sagatavot tehnoloģijas aprakstu un teorētisko modeli meža mēslošanas procesam, respektējot Latvijas normatīvajos aktos definētās prasības, kā arī noskaidrojot meža mēslošanas teorētisko pienesumu meža vērtības izmaiņām.

Kopsavilkums

Pētījumā noskaidrots, ka, izmantojot minerālmēslojumu (150 kg N ha^{-1}) AS „Latvijas valsts meži” 2010.-2014. gada kopšanas ciršu fondā 44 tūkst. ha platībā, kopējais prognozētais papildus pieaugums turpmāko 60-70 gadu laikā ir 770 tūkst. m^3 , un vislielākais papildus pieaugums sagaidāms skujkoku audzēs, kopā 728 tūkst. m^3 . Kopējie diskontētie ieņēmumi no kokmateriālu realizācijas šajā laika periodā atbilst 5,1 milj. EUR. Atbilstoši pētījumā izmantotajiem atlases kritērijiem, papildus ieņēmumi 2014. gada kopšanas ciršu fondā sasniedz 15 EUR ha^{-1} gadā, ja audzes vērtējums ir vismaz 7 balles. Iepriekšējo gadu (2010.-2013. gads) kopšanas ciršu fondā prognozējamo papildus ieņēmumu rādītāji ir optimistiskāki sakarā ar lielāku mēslošanai piemērotu vecāku mežaudžu īpatsvaru.

Papildus pieauguma un ieņēmumu prognoze balstīta uz pagaidām praksē nepārbaudītiem pieņēmumiem par meža mēslošanas izmaksām, kas var būtiski palielināties, vismaz pirmajos gados pēc meža mēslošanas atsākšanas rūpnieciskā mērogā, ja netiks nodrošināta pietiekoši liela pakalpojumu sniedzēju konkurence. Papildus pieauguma prognoze skujkoku audzēs var būt pārspīlēta, ņemot vērā, ka izmēģinājumu dati 80. gados tā arī netika pārbaudīti ražošanas apstākļos. Iegūtie rezultāti norāda uz nepieciešamību veikt kopšanas un galvenās cirtes plānošanu tā, lai mēslošanās audzes būtu pieejamas izstrādei galvenajā cirtē pēc 10 gadiem, kad pilnībā realizējies mēslojuma efekts un būtiska papildus pieauguma daļa nav transformējusies atmirumā.

Lielākā daļa mēslošanai piemēroto audžu ar lielu vērtējumu izvietotas Ziemeļkurzemē un Austrumvidzemē. Perspektīvākais reģions meža mēslošanas rūpnieciskai uzsākšanai ir Ziemeļkurzeme, kur ir salīdzinoši vislielākā kopšanas ciršu koncentrācija. Izmantojot Valsts meža reģistra vai citus datus, jāatlasa audzes, kas būs pieejamas galvenajai cirtē pēc 7-15 gadiem un kurās meža mēslošana var izraisīt vislielāko ietekmi uz krājas pieaugumu.

Aprēķinu rezultātu kopsavilkums iekļauts atskaites tekstā, bet aprēķinu rezultāti katrai kopšanas ciršu fonda audzei pievienoti atskaitē elektroniskā veidā izklājlapu formātā.

Pētījums norāda uz nepieciešamību iegūt empīriskus datus mēslošanas efekta prognozēšanai, kā arī uz nepieciešamību izstrādāt attālās izpētes vai netiešas atlases metodi bioloģiskai mēslošanas nepieciešamības novērtēšanai, izvēloties tās audzes, kurās barības vielu deficīts ierobežo pieauguma veidošanos.

Projekta laiks 27.05.2013. - 31.03.2014. Darba izpildītāji Andis Lazdiņš, Dagnija Lazdiņa, Zigurds Kariņš, Gatis Rozītis, Āris Jansons, Andis Bārdulis. Pētījums īstenots Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā “Silava”.

Saturs

Kopsavilkums.....	2
Saturs.....	4
Ievads.....	9
Latvijas un ārvalstu pieredze meža mēslošanā	20
Mēslošanai piemērotās mežaudzes	20
Mēslojuma ietekme uz mežaudžu augšanas gaitu	23
Metodes mēslošanas līdzekļa un devas noteikšanai	25
Pielietotie mēslošanas līdzekļi.....	26
Latvijā veikto meža mēslošanas izmēģinājumu rezultāti	35
Meža mēslošanas pieredze Ziemeļvalstīs	36
Likumdošanas analīze	40
Meža mēslošanas ietekme uz vidi.....	42
Mēslošanas ietekme uz augsnes īpašībām	42
Koksnes pelni.....	42
Koksnes pelnu sārmainība un pielietojamās mēslojuma devas	44
Koksnes pelnu ietekmes uz vidi pētījumu kopsavilkums	44
pH izmaiņas mēslojuma ietekmē	45
Augsnes ūdeņos izšķīdušo barības vielu izmaiņas un to novērtēšana	46
Mēslošanas ietekme uz veģetāciju un augsnes organismiem	48
Kūdrāji un organiskās augsnes.....	49
Podzoli	49
Smilšmāls un pārējās augsnes	50
Vaskulārie augi, sūnas un ķērpji	50
Augsnes organismi un sēnes	51
Meža mēslošanas ietekme uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti.....	51
Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem	58
Potenciāli mēslojamo mežaudžu atlase AS “Latvijas valsts meži” kopšanas ciršu fondā.....	60
Darba metodika.....	64
Mēslošanas iespēju analīze	67
2010.-2013. gada kopšanas ciršu fonds.....	67
2014. gada kopšanas ciršu fonds	81
Kopšanas ciršu fonda analīzes kopsavilkums	93
Secinājumi un ieteikumi.....	98
Izmantotā literatūra	100
Anotācija	104
Ierobežojumi dažādās valsts daļās	105
Pirmais reģions	105
Otrs reģions	105
Trešais reģions.....	106
Ceturtais reģions.....	106

Saturs

Vispārīgie ierobežojumi	106
Platības, kurās slāpekļa mēslojuma izmantošana pieļaujama.....	106
Teritorijas un to aizsargjoslas, kurās slāpekļa mēslojuma izmantošana nav ieteicama.....	106
Uzstādījumi darbam heterogēnās teritorijās	107
Mēslojuma izkliešanas laiks	107

Pielikumi:

1.Pielikums: Zviedrijas Meža aģentūras rekomendāciju meža mēslošanai kopsavilkums

2.Pielikums: Meža mēslošana Somijas FSC standartā

Tabulas

- Tab. 1: Barības vielu nodrošinājuma procentuālā sadalījuma aplēses atbilstoši barības vielu asimilēšanai no vecajām lapām pirms to nokrišanas dažādu koku sugu audzēs (Miller, 2004)
- Tab. 2: Slāpekļa un kālija avoti (kg ha-1 gadā-1) jaunās (2 m augsti kociņi) un pieaugušās (11 m augsti koki) Pinus nigra audzēs (Miller, 2004)
- Tab. 3: Vizuāli nosakāmās barības vielu trūkuma pazīmes (Bušs et al., 1974; Binns et al., 1980)
- Tab. 4: Optimālā barības vielu koncentrācija lapās un skujās 0,5-4 m gariem kokiem
- Tab. 5: Barības vielu saturs priežu skujās (%) atkarībā no meža tipa un bonitātes
- Tab. 6: Lapotnes biomasas pieaugums dažāda vecuma priedes un egles audzēs (Miller, 2004)
- Tab. 7: 1967.-1973. gadā mēsloto priežu, egļu un bērzu audžu papildpieaugumu uzskaites rezultāti 1979. gadā (Kāposts, 1981)
- Tab. 8: Barības vielu krājumi meža augsnē (0-80 cm dziļumā) un zemsegā Latvijā atbilstoši BioSoil projekta rezultātiem
- Tab. 9: Dabiskie kaļķošanas materiāli (Ministru Kabinets, 2006)
- Tab. 10: Vidējais barības vielu saturs dažādu koku sugu pelnos (%) pēc Bušs et al., 1974
- Tab. 11: Kompleksie mēslojuma veidi un to izmaksas
- Tab. 12: Smago metālu masas koncentrācijas limits augsnes mēslošanai un rekultivācijai vai apglabāšanai sadzīves atkritumu poligonos un izgāztuvēs paredzētajās notekūdeņu dūņās un to kompostā
- Tab. 13: Smago metālu, slāpekļa un fosfora gada emisijas robežvērtības lauksaimniecībā izmantojamās augsnēs
- Tab. 14: Vidējais notekūdeņu dūņu un koksnes pelnu sastāvs.
- Tab. 15: Organiskie un organominerālie mēslošanas līdzekļi
- Tab. 16: Dažādu kūdras veidu ķīmiskais sastāvs, %, pēc Bušs et al., 1974
- Tab. 17: Smago metālu koncentrāciju limitējošās vērtības augsnē
- Tab. 18: Smago metālu koncentrācija meža augsnes virskārtā (0-10 cm dziļumā) atbilstoši projekta BioSoil rezultātiem
- Tab. 19: Nevēlamo piemaisījumu maksimāli pieļaujamā koncentrācija mēslošanas līdzeklī (Ministru Kabinets, 2006)
- Tab. 20: Elementu koncentrācija pelnos % no sausnes atkarībā no pelnu avota
- Tab. 21: Koksnes pelnu sastāvs dažādām koku sugām (mg kg-1)
- Tab. 22: Elementu koncentrācijas stabilizētos, smalcinātos un granulētos koksnes pelnos % no sausnas (Kellner and Weibull, 1998, Nilsson & Lundin, 1996).
- Tab. 23: Biežāk sastopamās smago metālu koncentrācijas koksnes pelnos (mg kg-1)
- Tab. 24: Koksnes pelnu mēslojuma ietekme uz augsnes ūdens kvalitāti
- Tab. 25: Meža mēslošanas ikgadējās ietekmes uz enerģijas patēriņu (PJ gadā) kopsavilkums (Sathre et al., 2010)
- Tab. 26: Meža mēslošanas ikgadējās ietekmes uz SEG emisijām (tūkst. tonnas CO2 ekv. gadā) kopsavilkums (Sathre et al., 2010)
- Tab. 27: Aktīvo barības vielu krājumi augsnē dažādos mežaudžu augšanas apstākļos g m-3.
- Tab. 28: Mēslojamo audžu secība (Bušs et al., 1974, Kāposts, 1981)
- Tab. 29: Aktīvo barības vielu nodrošinājums augsnē (g m-3) un mēslojuma nepieciešamība (kg tīrvielas ha-1)
- Tab. 30: Minerāl mēslojuma devas (kg ha-1) meža tipu griezumā pēc Kāposts, 1981
- Tab. 31: Mežaudžu atlases kritēriji meža mēslošanai Igaunijā
- Tab. 32: Meža tipu un bonitāšu atlases kritēriju kopsavilkums
- Tab. 33: Koriģēta mežaudžu atlases tabula meža mēslošanas prioritāšu noteikšanai
- Tab. 34: Mežaudžu atlase pēc bonitātes un meža tipa
- Tab. 35: Mežaudžu atlase pēc vecuma kategorijas
- Tab. 36: Sadalījums vecuma kategorijās pēc audzes vecuma gados
- Tab. 37: Mežaudžu atlase pēc biežības
- Tab. 38: Mežaudžu atlase pēc valdošās sugas
- Tab. 39: Aprēķinos pieņemtais galvenās cirtes vecums
- Tab. 40: Mēslojuma ietekmes kopsavilkums (Kāposts, 1981)
- Tab. 41: Pieņēmumi par mēslojuma vidējo ietekmi
- Tab. 42: Kokmateriālu struktūra papildus pieaugumā
- Tab. 43: Vidējā kokmateriālu cena, EUR m-3
- Tab. 44: Dažādi aprēķinu koeficienti un pieņēmumi
- Tab. 45: Kopšanas ciršu platības sadalījums pēc meža tipa un valdošās sugas 2010.-2013. gados
- Tab. 46: Kopšanas ciršu platības sadalījums pēc meža tipa un valdošās sugas 2014. gadā
- Tab. 47: Vidējais vērtējums atbilstoši audžu piemērotībai meža mēslošanai

Saturs

Tab. 48	Mežaudžu platības sadalījums pēc piemērotības mēslojuma pielietošanai, ha
Tab. 49	Papildus pieauguma prognoze, m3
Tab. 50	Diskontēto ieņēmumu prognoze
Tab. 51	Vidējo ikgadējo diskontēto ieņēmumu prognoze, EUR ha-1 gadā
Tab. 52	Vidējais aprēķinu perioda ilgums gados
Tab. 53	Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, ha
Tab. 54	Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, papildus pieaugums m3
Tab. 55	Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, diskontētie papildus ieņēmumi EUR
Tab. 56	Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, diskontētie papildus ieņēmumi EUR ha-1 gadā
Tab. 57	Par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušo mežaudžu platības sadalījums pa meža tipi
Tab. 58	Papildus krājas pieaugums par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipi, m3
Tab. 59	Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipi, EUR.
Tab. 60	Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs ar aprēķinu periodu līdz 11 gadiem sadalījumā pa meža tipi, EUR.
Tab. 61	Vidējais vērtējums atbilstoši audžu piemērotībai meža mēslošanai
Tab. 62	Mežaudžu platības sadalījums pēc piemērotības mēslojuma pielietošanai, ha
Tab. 63	Papildus pieauguma prognoze, m3
Tab. 64	Diskontēto ieņēmumu prognoze
Tab. 65	Vidējo ikgadējo diskontēto ieņēmumu prognoze, EUR ha-1 gadā
Tab. 66	Vidējais aprēķinu perioda ilgums gados
Tab. 67	Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, ha
Tab. 68	Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, papildus pieaugums m3
Tab. 69	Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, diskontētie papildus ieņēmumi EUR
Tab. 70	Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, diskontētie papildus ieņēmumi EUR ha-1 gadā
Tab. 71	Par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušo mežaudžu platības sadalījums pa meža tipi
Tab. 72	Papildus krājas pieaugums par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipi, m3
Tab. 73	Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipi, EUR.
Tab. 74	Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs ar aprēķinu periodu līdz 11 gadiem sadalījumā pa meža tipi, EUR.
Tab. 75	Aprēķinātais vidējais papildus krājas pieaugums
Tab. 76:	Mēslošanai piemēroto mežaudžu platība (tūkst. ha) meža tipu un valdošo koku sugu griezumā
Tab. 77:	Papildus krājas pieauguma prognoze (tūkst. m3)
Tab. 78:	Pieņēmumi sortimentu struktūras aprēķinam dažādu koku sugu audzēs
Tab. 79:	Papildus krājas pieauguma sortimentu struktūras aprēķins
Tab. 80:	Teritorijas un to aizsargjoslas, kur meža mēslošana nav atļauta

Attēli

- Att. 1: Aktīvo barības vielu satura dinamika augsnē (Bušs et al., 1974).
- Att. 2: Priedes skuju sausnas masas, kā arī slāpekļa un kalcija koncentrācijas dinamika (Miller, 2004).
- Att. 3: Shematiska sakarība starp barības vielu koncentrāciju lapās un skujās un augšanas gaitu (Havlin et al., 2005).
- Att. 4: Savstarpējās makroelementu attiecības, %, ar barības vielām nodrošinātās augsnes augošu meža koku lapās pēc V. Lavričenko (Bušs et al., 1974).
- Att. 5: Priedes šķērslaukuma pieauguma atbildes reakcija uz slāpekļa mēslojumu, kas ienests 3 gadu laikā (grafikā iezīmēti ar zvaigznītēm), atkarībā no mēslojuma devas (Miller, 1995).
- Att. 6: Priedes, egles un bērza gadskārtu platuma izmaiņas dažādos gados pēc slāpekļa mēslojuma lietošanas (Sathre et al., 2010)
- Att. 7 Optimizētās mēslošanas shēmas un nemēslota kontroles varianta salīdzinājums (Nordin, 2011).
- Att. 8 Maksimāli pieļaujamo mēslojuma devu lielums atbilstoši dažādu elementu koncentrācijai Tab. 14.
- Att. 9: Meža mēslošanas aktivitāte Latvijā 1968-1980.gads pēc Kāposts, 1981.
- Att. 10: Meža mēslošanas tehniskais risinājums Zviedrijā.
- Att. 11: Meža mēslošana Zviedrijā.
- Att. 12: Meža mēslošana Somijā (Ylitalo, 2012).

Saturs

- Att. 13: Mežā izmantojamais N mēslojums.
- Att. 14: Vidējās mēslojuma devas aprēķins Somijā.
- Att. 15: Lapu koku audzēs izvietotos lizimetros ievāktā augsnes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņu dinamika pēc koksnes pelnu mēslojuma pielietošanas, pēc (Kahl et al., 1996) (NO₃ = Nitrāti; SO₄ = Sulfāti; Ca = Kalcijs; Mg = Magnijs; K = Kālijs; pH = vienības).
- Att. 16: Papildus biomasas pieauguma sadalījums (Sathre et al., 2010).
- Att. 17: Oglekļa piesaiste augsnē un nedzīvajā biomasā (Sathre et al., 2010).
- Att. 18: Koksnes produktu radītais aizstāšanas efekts (Sathre et al., 2010).
- Att. 19: Pieņemtais atlases kritēriju ietekmes īpatsvars.
- Att. 20: Meža tipu prioritāte meža mēslošanā.
- Att. 21: Pieņēmumi par papildus pieaugumu atkarībā no mežaudzes vērtējuma.
- Att. 22: Papildus pieauguma sadalījums pēc audžu vērtējuma.
- Att. 23: Diskontēto ieņēmumu prognoze atkarībā no valdošās sugas un audzes vērtējuma.
- Att. 24: Sakarība starp papildus ieņēmumiem un mežaudžu vērtējumu 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fondā.
- Att. 25: Vidējais aprēķinu perioda ilgums.
- Att. 26: Papildus ieņēmumu prognoze audzēs ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem.
- Att. 27: Par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušo platību sadalījums pa meža tipiem.
- Att. 28: Papildus krājas pieaugums par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipiem.
- Att. 29: Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipiem.
- Att. 30: Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs ar aprēķinu periodu līdz 11 gadiem sadalījumā pa meža tipiem.
- Att. 31: Ieņēmumu sadalījums laika griezumā un atbilstoši valdošajai sugai.
- Att. 32: Kumulatīvais ieņēmumu sadalījums laika griezumā.
- Att. 33: Izskopto audžu vērtējums dažādos reģionos.
- Att. 34: Pieņēmumi par papildus pieaugumu atkarībā no mežaudzes vērtējuma.
- Att. 35: Diskontēto ieņēmumu prognoze atkarībā no valdošās sugas un audzes vērtējuma.
- Att. 36: Vidējais aprēķinu perioda ilgums.
- Att. 37: Par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušo platību sadalījums pa meža tipiem.
- Att. 38: Papildus krājas pieaugums par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipiem.
- Att. 39: Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipiem.
- Att. 40: Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs ar aprēķinu periodu līdz 11 gadiem sadalījumā pa meža tipiem.
- Att. 41: Ieņēmumu sadalījums laika griezumā un atbilstoši valdošajai sugai.
- Att. 42: Kumulatīvais ieņēmumu sadalījums laika griezumā.
- Att. 43: 2014. gada kopšanas ciršu fonda vērtējums atbilstoši piemērotībai meža mēslošanai.
- Att. 44: Zviedrijas reģioni, kur noteikti atšķirīgi meža mēslošanas nosacījumi.

Ievads

Kūtsmēslu pozitīvā ietekme uz lauksaimniecības kultūru augšanu zināma jau sen, tomēr tās sasaiste ar augu minerālo barošanos noskaidrota, iespējams, tikai 1727. gadā, kad Stefans Heils, veicot augļu ķīmiskā sastāva analīzes, konstatēja, ka tie sastāv no sēra, šķīstošiem sāļiem, ūdens un “augšnes” (*Stephen Hales*, 2013). Neskatoties uz iegūtajiem pierādījumiem par salpetra (nitrātu), magnija sulfāta un fosfātu sāļu pozitīvo ietekmi uz augu augšanu, priekšstati par minerālās barošanās lomu augu attīstībā vairākus gadu desmitus saglabājās nemainīgi, pieņemot, ka augs saņem visas nepieciešamās barības vielas un oglekli no augšnes humusa. Šo pieņēmumu 1845. gadā apstrīdēja Lībigs, pamatojoties uz oglekļa uzkrājuma aprēķiniem koksne un lauksaimniecības kultūrās, kas audzētas ar kūtsmēsliem neapstrādātās augsnēs, secinot, ka kūtsmēsli var ietekmēt biomasas veidošanos un augu attīstību, taču tie nenodrošina oglekļa uzkrājuma veidošanos, ne arī ietekmē to (*Justus von Liebig*, 2013). Balstoties uz Lībīga darbiem, vairāki ķīmiķi, tajā skaitā francūzis Bossingaults un briti Leivs un Gilberts, svēra un analizēja kūtsmēslu un augu masu, lai izstrādātu pirmās barības vielu aprites tabulas nozīmīgākajām lauksaimniecības kultūrām. Bossingaulta datus 1882. gadā izmantoja Ebermaiers, lai salīdzinātu barības vielu akumulāciju kokos un lauksaimniecības kultūrās (Ebermayer, 1882). Pirms tam Ebermaiers bija pirmais, kas konstatēja slāpekļa deficītu degradētās Bavārijas mežaudzēs, kur meža nobiras ilgstoši vāktas dzīvnieku pakaišiem un citiem lauksaimnieciskiem mērķiem (Miller, 2004). Neskatoties uz šīm zināšanām, 19. gadsimta mežsaimnieki neizrādīja īpašu interesi par meža mēslošanu, balstoties uz Denglera darbos pausto atziņu, ka mežaudzei ar saslēgtiem koku vainagiem nepieciešami aptuveni 8 % no barības vielām, ko patērē lauksaimniecības kultūras (Schlich, 1904). Šlihs savā mežkopības rokasgrāmatā 20. gadsimta sākumā formulēja sava laika mežkopju valdošo uzskatu, ka jebkura meža augsne spēj nodrošināt pietiekoši lielu barības vielu daudzumu koku augšanai, ja no meža neizvāc nobiras (Schlich, 1904). Šo pašu atziņu publicēja Beikers 1934. gadā savā mežkopības teorijas un prakses apskatā, kas uz ilgu laiku kļuva par vienu no galvenajiem Rietumu pasaules mežkopju izziņas avotiem (Baker, 1934).

Neskatoties uz nostabilizējušos uzskatu, ka mežam mēslojuma nav nepieciešams, mežkopji Beļģijā un vēlāk arī Īrijā un Skotijā konstatēja, ka nabadzīgā augsnē iestādīti kociņi aug daudz straujāk, ja augsnē ienes fosforu saturošus nosēdumus, bet Ziemeļvalstīs konstatēja koksnes pelnu (visticamāk, ka tajos esošā kālija un fosfora) pozitīvo ietekmi uz koku augšanu. Arī Austrālijā un Jaunzēlandē konstatēja pozitīvu saistību starp plantācijās audzēto koku attīstību un fosfora mēslojumu (*Nutrition of plantation forests*, 1984). Austrālijas dienvidos konstatēja, ka atsevišķās vietās fosfora mēslojums nepalīdz, tomēr no cinkota pinuma veidota nožogojuma tuvumā koki auga labāk, nekā tālāk no žoga, un tā konstatēja cinka trūkumu augsnē (Miller, 2004).

Turpmākajās desmitgadēs mežkopji no valstīm, kurās īstenoja vērienīgas apmežošanas programmas, konstatēja viena vai vairāku ķīmisko elementu trūkumu augsnē (biežāk minēts slāpekļa, fosfora, kālija, magnija, dzelzs, cinka, vara, molibdēna un bora trūkums jaunaudzēs). Kalcija trūkums konstatēts atsevišķos gadījumos, galvenokārt, kokaudzētavās, taču ticami pierādījumi par šī elementa trūkumu meža augsnē pagaidām nav iegūti. Divdesmitā gadsimta vidū parādījās pētījumu pārskati, kas aprakstīja slāpekļa trūkumu pieaugušās skujkoku audzēs boreālajos mežos Eiropā un Ziemeļamerikā (Miller, 2004).

Augu minerālās barošanās pētījumi 20. gadsimta otrajā pusē ir izskaidrojuši daudzus no agrākajos mežkopības darbos uzdotajiem jautājumiem par mēslošanas ietekmi uz koku augšanu. Barības vielu aprīte veselīgā mežaudzē ir kompakta un ar maziem zudumiem, nodrošinot efektīvu barības vielu izmantošanu, galvenokārt, caur atkārtotu barības vielu iesaistīšanu bioloģiskajā aprītē, asimilējot atmirušajās augu daļās esošās barības vielas. Kokaugiem ir mehānismi barības vielu saistīšanai no vecajām lapām un skujām pirms to nobiršanas. Kokaugu minerālajā barošanā iesaistās saknes, mikorizas sēnes un augsnes mikroorganismi, kas nodrošina nobirās esošo barības vielu pakāpenisku atbrīvošanu un atgriešanu bioloģiskajā aprītē.

Tab. 1 parādīts, cik lielu daļu barības vielu (N, P, K) jaunajiem kociņiem nodrošina vecās lapas, transportējot šos elementus no lapām pirms to nobiršanas uz stumbra un sakņu audiem. Tabulā redzams, ka 25-50 % no koku augšanai nepieciešamā N, P un K nodrošina vecās lapas. Citos pētījumos pierādīts, ka nobiru pienesums koku nodrošinājumā ar barības vielām ilgākā laika posmā (sadaloties zemsegai), nav mazāks par veco lapu devumu. Mežaudzēs ar saslēgtiem koku vainagiem un salīdzinoši nemainīgu nobiru daudzumu un vainaga biomasu, nobiru pakāpeniska sadalīšanās un lapās esošo barības vielu asimilācija nodrošina to, ka papildus barības vielu iznesums no augsnes ir salīdzinoši neliels. Pirms vainagu saslēgšanās, kad pieaugošā sakņu un vainagu biomasas saista arvien lielāku barības vielu daudzumu, nobiru sadalīšanās vairs nespēj nodrošināt pieprasījumu pēc barības vielām un tiek izmantotas augsnē esošās barības vielu rezerves (Tab. 2). Neskatoties uz to, ka jauni koki kopumā patērē mazāk barības vielu, nekā pieauguši koki, to barības vielu nodrošinājumā daudz lielāka nozīme ir augsnē esošajām rezervēm. Tas nozīmē, ka vainaga un sakņu sistēmas veidošanās vai atjaunošanas laikā augsnes barības vielu patēriņš ir vislielākais un vēlāk to kompensē lapās un skujās esošo barības vielu asimilēšana pirms to nobiršanas vai vēlāk – no zemsegas. Ņemot vērā šo kokaugu minerālās barošanās īpatnību, nav brīnums, ka līdz pat 20. gadsimtam, kad Eiropā sākās mežu platības palielināšanas process, apmežojot nabadzīgas augsnes un degradētas teritorijas, barības vielu trūkums meža zemēs netika pierādīts (Nambiar & Fife, 1991).

Novecojot kokiem, mežaudze sāk sabrukt; krājas pieaugums samazinās, bet atmirums pieaug. Zemsegas sadalīšanās rezultātā atbrīvojušos barības vielu saistīšanas kokaugu biomasā intensitāte samazinās un sākas barības vielu izskalošanās no augsnes. Taču vēl pirms šī procesa boreālās klimata joslas skujkoku mežos notiek zemsegas akumulēšanās, ko sekmē lēnā organiskās vielas mineralizācija. Rezultātā arvien lielāka daļa no augsnes slāpekļa rezervēm ir ieslēgta zemsegā un koki sāk izjust slāpekļa trūkumu. Zemsegas barības vielu akumulācija ir viens no izskaidrojumiem tam, kāpēc Zviedrijā, Somijā, Kanādā, ASV ziemeļrietumos un Centrāleiropas kalnainajos apvidos slāpekļa mēslojuma ietekmē strauji palielinās krājas pieaugums skujkoku briestaudzēs un pieaugušās audzēs. Boreālās zonas mežu lielā saimnieciskā nozīme un lielais pētījumu skaits par boreālās zonas mežu minerālās barošanās īpatnībām radījis priekšstatu, ka slāpeklis ir galvenais krājas pieaugumu limitējošais ķīmiskais elements meža augsnēs, taču, ja ņem vērā citās klimatiskajās zonās gūto pieredzi, biežāk vai vismaz tikpat bieži konstatējams fosfora deficīts.

Tab. 1: Barības vielu nodrošinājuma procentuālā sadalījuma aplēses atbilstoši barības vielu asimilēšanai no vecajām lapām pirms to nokrišanas dažādu koku sugu audzēs (Miller, 2004)

Suga	Vecums gados	Procentuālais barības vielu patēriņa sadalījums		
		N	P	K
<i>Pinus taeda</i>	20	39	60	22
<i>Pinus sylvestris</i>	15	30	23	19

Ievads

Suga	Vecums gados	Procentuālais barības vielu patēriņa sadalījums		
		N	P	K
<i>Pinus sylvestris</i>	46	55	64	57
<i>Pinus sylvestris</i>	100	41	34	27
<i>Pinus nigra</i>	40	50	57	58
<i>Abies amabilis</i>	175	54	59	38
Jaukta lapkoku audze	Pieaugusi audze	54	25	15
Jaukta lapkoku audze	Pieaugusi audze	79	74	41
<i>Eucalyptus obliqua</i>	Pāraugusi audze	34	46	28

Tab. 2: Slāpekļa un kālija avoti (kg ha^{-1} gadā⁻¹) jaunās (2 m augsti kociņi) un pieaugušās (11 m augsti koki) *Pinus nigra* audzēs (Miller, 2004)

Kālija un slāpekļa avots	Slāpekļis		Kālijs	
	jauni koki	veci koki	jauni koki	veci koki
Kopējais augšanai nepieciešamais barības vielu daudzums	66	138	29	66
Skujās esošo elementu asimilācija	11	69	7	38
Piesaiste ar saknēm (1. – 2.)	55	69	22	28
Zemsegas mineralizācijā atbrīvotie elementi ¹	7	39	1	16
Elementu piesaiste no augsnes rezervēm (3. – 4.)	48	30	21	12
Neto piesaiste kokaugu biomasā	45	18	18	11

Nemot vērā lapās un skujās esošo barības vielu asimilēšanas lomu augu minerālajā barošanā, jebkādi procesi, kas sekmē būtisku defoliāciju, var izraisīt īslaicīgu barības vielu trūkumu, kas vairāk raksturīgs jaunaudzēm. Tas iespējams kukaiņu, slimību invāzijas vai koku izstrādes laikā kopšanas cirtēs. Jaunaudžu vai krājas kopšanas laikā liela daļa no zaļās kokaugu biomasas nonāk uz augsnes, kurā ieslēgtās barības vielas augiem ir pieejamas tikai pēc ilgāka laika, mineralizējoties zemsegai. Daļa barības vielu, kas atbrīvojas ātrāk, piemēram, kālijs, izskalojas no augsnes un tā rezerves mežaudzē pēc kopšanas samazinās. Tajā pašā laikā kopšanā saglabātajiem kokiem atbrīvojas augšanas telpa, ko tie cenšas aizpildīt ar saviem vainagiem. Lapās un skujās esošās ātri asimilējamās barības vielas vainaga un sakņu masas palielināšanai pēc kopšanas kokiem nav pieejamas, tāpēc tie izmanto augsnes barības vielu rezerves un šajā brīdī var izpausties viena vai vairāku ķīmisko elementu trūkums vai nesabalansēts to sastāvs, kas var traucēt koku attīstību. Tāpēc kopšana, kuras mērķis ir uzlabot augšanas apstākļus, var novest pie pretēja rezultāta – īslaicīgas pieauguma samazināšanās. Šo pieņēmumu apstiprina arī virkne pētījumu, kas pierāda pozitīvo mijiedarbību starp kopšanu un mežaudžu mēslošanu, savukārt audzēs, kur nav veikta kopšana, mēslojuma pozitīvā ietekme nav novērojama.

Barības vielu trūkuma izpausmju biežums un intensitāte atkarīga no mežaudžu vecuma, augsnes tipa, koku sugas un, nereti, arī no mitruma režīma. Mežsaimniekam ir jāspēj identificēt barības vielu trūkuma pazīmes un, iespēju robežās, arī veikt augšanas apstākļu uzlabošanas pasākumus, lai preventīvi novērstu barības vielu deficītu. Pastāv 4 metožu grupas augu barības vielu pieejamības novērtēšanai:

- vizuāls koku vainaga stāvokļa novērtējums (defoliācija, lapu forma un izmērs, lapu plātnes krāsojums, citas sekundāro bojājumu un vitalitātes trūkuma pazīmes);

¹

Zemsegas mineralizācijā uzskaita tikai nobiras no kārtējās aprites kokiem, zemsega, kas veidojusies iepriekšējā aprītē pieskaitīta augsnes resursiem.

- augsnes analīzes (augu barības vielu koncentrācija vai uzkrājums noteiktā augsnes slānī);
- augu audu analīzes (galvenokārt lapu un skuju ķīmiskā sastāva analīzes);
- augšanas apstākļu novērtējums (piemēram, augsts gruntsūdens līmenis).

Minerālvielām ir būtiska loma augu fizioloģiskajos procesos, tāpēc augu barības vielu trūkums ātri izpaužas vizuāli diagnosticējamās pazīmēs. Dažādām koku sugām šīs pazīmes var atšķirties, piemēram, skujkokiem un lapkokiem ir atsevišķu barības vielu trūkums izpaužas atšķirīgi, bet lielākā daļa vizuāli nosakāmo barības vielu trūkuma pazīmes visām koku sugām izpaužas līdzīgi (Tab. 3). Vizuālās pazīmes var radīt maldīgu iespaidu, tāpēc parasti izdarīto secinājumu pārbaudei veic augsnes vai lapu sastāva analīzes.

Tab. 3: Vizuāli nosakāmās barības vielu trūkuma pazīmes (Bušs *et al.*, 1974; Binns *et al.*, 1980)

Elements	Vizuāli nosakāmi trūkuma simptomi pēc Binns <i>et al.</i> , 1980	Barības vielu nepietiekamības ārējās pazīmes pēc Bušs <i>et al.</i> , 1974
Slāpekļis	Skujas un lapas ir gaiši zaļas vai dzeltējošas visā koka vainagā, bet lielākie bojājumi raksturīgi jaunajām lapām	Skujas zaļas vai tumši zaļas, bet īsas un mazs pieaugums. (Slāpekļa trūkums kombinēts ar bagātīgu fosfora daudzumu vai otrādi daudz slāpekļa maz fosfora) Lapu plātnes un skuju mazas, dzeltenīgi zaļas, mazs pieaugums, rudenī lapas ātrāk nobirst. (slāpekļa trūkums kombinēts ar fosfora trūkumu)
Fosfors	Skujām un lapām raksturīga spilgtāka vai tumši zaļa krāsa, samazināts lapu un skuju izmērs, ekstrēmos gadījumos lapas un skuju var iegūt brūnganu nokrāsu, pumpuri virzienā uz koka galotni var atmirt	Uz lapām, galvenokārt to galos, parādās sarkanbrūni plankumi. Priedes viengadīgo sēņu skuju rudens pusē krāsojas violetas (tam var būt arī citi cēloņi)
Kālijs	Vispirms lapu plātnes malas un skuju jauno dzinumu galos iegūst salmu dzeltenu nokrāsu, vēlāk skuju var iekrāsoties rozīgi brūnā krāsā; skujkokiem šāda krāsa īpaši izteikta ziemas laikā	Lapu malas dzeltē, tad nobrūnē, bet vidus paliek zaļš Ja trūkst kālija un magnija, priedēm skuju gali koši dzelteni, bet pamatnes zaļas
Magnijs	Skuju gali vai lapu plātnē iekrāsojas zeltaini dzelteni (uz lapu plātnēm veidojas neregulāri plankumi), šādu parādību biežāk var novērot koka augšējā daļā rudenī	Lapām dzeltē starpdzīslu laukumā. Ap dzīslām zaļā krāsa saglabājas visilgāk
Varš	Nelielas izmaiņas lapu izmērā un krāsā, var veidoties tumši plankumi uz lapu plātnes, zari viegli lūzt, galotnes dzinums ir līkumains vai pat noliecies	Skuju kokiem, sevišķi lapeglei, duglāzījai, veidojas mīksti, nokareni dzinumi
Bors	Atmirst pumpuri un jaunie dzinumi, it īpaši pēc augšanas uzsākšanas vasarā; problēma vairāk raksturīga galotnes dzinumam, dzinumu serdē veidojas brūni nekrozes plankumi	-
Dzelzs	-	Dzelzs uzņemšana tiek traucēta pārāk bāziskās augsnes. Lapām veidojas neregulāri, gaiši dzelteni plankumi, vai arī nodzeltē visa lapa – hloroze

Augsnes analīzes ir labs instruments augu minerālās barošanās problēmu identificēšanai lauksaimniecībā un dārzkopībā. Par augu iespējamo nodrošinājumu ar barības vielām var spriest jau pēc augsnes mehāniskā un mineraloģiskā sastāva noteikšanas. Ja augsne veidojusies sairstot granītiem, paredzams, ka būs nepieciešams izmantot drīzāk fosfora nekā kālija mēslojumu, bet ja cilmiezis ir dolomīts – tad būs jāizmanto kālija mēslojums, jo elementa uzņemšanu traucēs lielais kalcija saturs. No smilšakmens veidojušās augsnēs parasti ir nepietiekams visu galveno barošanās elementu daudzums. Lielāks smalko daļiņu daudzums uzlabo barības elementu pieejamību koku saknēm, palielina mitruma ietilpību un minerālā mēslojuma adsorbciju (Bušs *et al.*, 1974).

Mežsaimniecībā augsnes analīzes ne vienmēr uzrāda sakarību starp barības vielu pieejamību un koku augšanas gaitu. Daļēji tas skaidrojams ar koku un sēņu simbiozi, kas kokaugiem, iespējams, ļauj izmantot vairāk barības vielu, nekā ir pieejams laukaugiem, līdz ar to laukkopības kultūrām adaptētās analīžu metodes un pieņēmumi par barības vielu nodrošinājumu parasti nedarbojas meža zemēs. Vēl svarīgāks iemesls

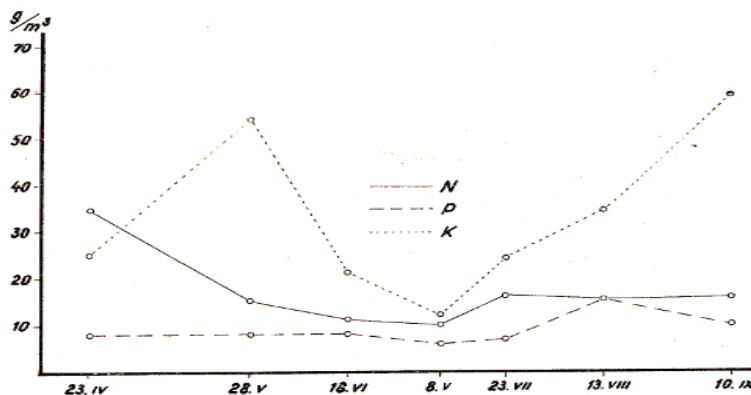
var būt tas, ka dažādās vietās kokaugu saknēm pieejams atšķirīga biezuma augsnes slānis un tajā esošās barības vielas, pie kam augiem pieejamā augsnes slāņa biezums var mainīties laika gaitā (piemēram, pazeminot vai paaugstinot gruntsūdens līmeni), tāpēc barības vielu nodrošinājuma izpētē būtiski ņemt vērā augu sakņu un barības vielu izvietojumu augsnē (Miller, 1995).

Izdarot pilnu augsnes ķīmisko analīzi var noteikt barības elementu kopdaudzumu. Kokaugu saknes nespēj uzņemt barības elementus no visām formām, kādās tie ir ieslēgti augsnē – saknes izdala šķīdumus, kas reaģējot ar augsnē esošajām vielām rada formas, kurās augiem barības elementi ir uzņemami, barības elementu uzņemšanu atvieglo arī uz saknēm esošie mikroorganismi. Tāpēc veicot augsnes analīzes, barības vielu izdalīšanai izmanto tādu vielu šķīdumus, kas pēc savas iedarbības ir līdzīgi koku sakņu un augsnes mijiedarbībai – tuvināti imitē sakņu šķīdinošo darbību. Šādi veiktu analīžu rezultātu sauc par viegli uzņemamo jeb apmaiņas barības vielu daudzumu. Viegli uzņemamo barības vielu daudzums atkarīgs ne tikai no mežaudzes patērētā, bet arī no gadalaika un metroloģiskajiem apstākļiem, augu segas, mitruma režīma (Bušs *et al.*, 1974).

Augsnes analīžu rezultāti dod objektīvu un salīdzināmu priekšstatu par augsnes barības vielu pieejamību līdzīgos augšanas apstākļos vai precīzi raksturojot augiem pieejamo barības vielu rezerves – aerēto augsnes slāni, kurā atrodas dzīvās koku saknes.

Auga daļu, galvenokārt, skuju un lapu analīzes dod iespēju visātrāk iegūt objektīvu priekšstatu par minerālās barošanās režīma traucējumiem. Barības vielu saturs lapotnē variē, atkarībā no lapu izvietojuma koku vainagā un lapas vai skuju vecuma. Fizioloģiski aktīvo barības vielu koncentrācija skujās pieaug, uzlabojoties apgaismojumam, turpretim, kalcijam raksturīga pretēja tendence. Daži pētnieki uzskata, ka mazāka barības vielu koncentrācija lapās vainaga lejasdaļā saistīta ar to, ka stresam pakļautajās lapās (nepietiekošs apgaismojums) esošās barības vielas asimilējas koka audos ātrāk, nekā vainaga augšdaļā esošajās labi eksponētajās lapās. Lai gan šo pieņēmumu pagaidām nav izdevies izteikt matemātiski.

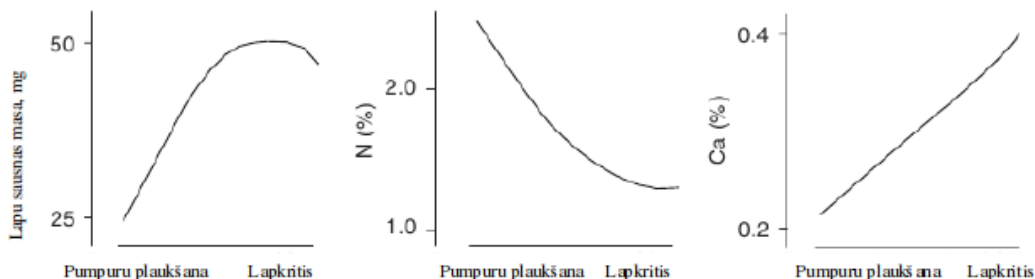
Att. 1 parādīts, ka augu aktīvo barības vielu daudzumam raksturīgas arī sezonālas svārstības, kas saistītas ar augu patēriņu un mikroorganismu aktivitāti.



Att. 1: Aktīvo barības vielu satura dinamika augsnē (Bušs *et al.*, 1974).

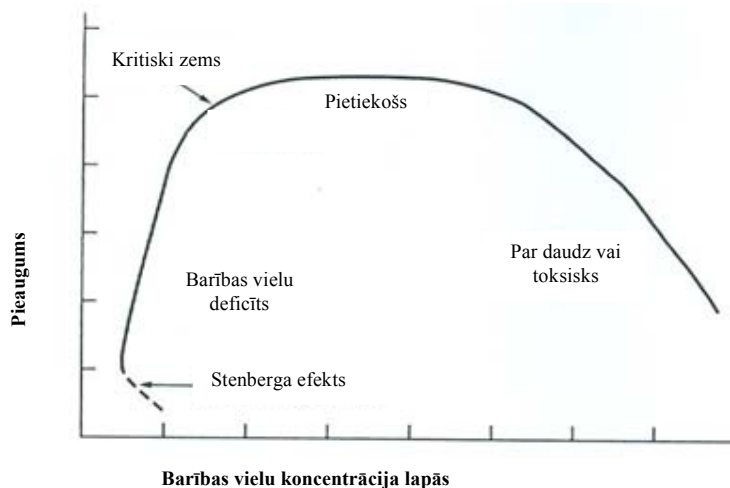
Auga daļu, galvenokārt, skuju un lapu analīzes dod iespēju visātrāk iegūt objektīvu priekšstatu par minerālās barošanās režīma traucējumiem. Barības vielu saturs lapotnē variē, atkarībā no lapu izvietojuma koku vainagā un lapas vai skuju vecuma (Bušs *et al.*, 1974). Sakarība starp priedes skuju izmēriem (vecumu) un slāpekļa un kalcija koncentrāciju skujās parādīta Att. 2. Būtiskā atšķirība elementu koncentrācijā dažāda

vecuma skuļās norāda uz nepieciešamību standartizēt paraugu ņemšanas laiku. Parasti skuju analīzēm ievāc pilnībā nobriedušas kārtējā gada pieauguma skuļas (Ziemeļvalstīs to dara oktobrī) no lielākajiem koku zariem; lapkoku audzēs paraugus ievāc vasaras beigās no vainaga augšējās daļas (ap 30 % no vainaga garuma) labi izgaismotās vietās.



Att. 2: Priedes skuju sausnas masas, kā arī slāpekļa un kalcija koncentrācijas dinamika (Miller, 2004).

Teorētiskā sakarība starp barības vielu koncentrāciju lapās un skuļās un koku augšanu parādīta Att. 3. Pietiekoša nodrošinājuma līmenis šajā grafikā ir pagrieziena punkts, kas, palielinoties barības vielu koncentrācijai augu audos, veido garu pieauguma plato. Šāda pieauguma un barības vielu koncentrācijas sakarība raksturīga slāpeklim, fosforam, kālijam, varam un it īpaši mangānam. Šī plato robežās augs uzņem vairāk barības vielu, neuzrādot būtiskas izmaiņas pieaugumā. Barības vielu piesaiste virs optimālā līmeņa ne vienmēr uzskatāma par “lieku greznību”, jo uzkrātās rezerves var izmantot nākotnē (Miller, 1995).



Att. 3: Shematiska sakarība starp barības vielu koncentrāciju lapās un skuļās un augšanas gaitu² (Havlin *et al.*, 2005).

Vērtējot lapu un skuju analīžu rezultātus, jāņem vērā, ka vismaz slāpeklim, bet, iespējams, arī lielākajai daļai makroelementu, optimālā koncentrācija mainās, atkarībā no koka vecuma. Slāpekļa koncentrācija parasti ir liela jaunos kokos, bet samazinās, kokam novecojot. Optimālā slāpekļa koncentrācija priedes sējeņos ir 3 %, bet, kad koks sasniedzis 2 m augstumu – 1,5 %. Optimālākās barības vielu koncentrācijas parādītas

²

Stenberga efekts – ekstremāla barības vielu deficīta situācijas, kad straujš pieaugums var samazināt barības vielu koncentrāciju.

Tab. 4. Par kritisko barības vielu koncentrāciju parasti uzskata līmeni, kas ir 90 % no optimālās koncentrācijas. Ja mēslošanas līdzekļus izmanto audzēs, kur barības vielu koncentrācija skujās vai lapās ir zem optimālā līmeņa, var konstatēt pozitīvu mēslojuma ietekmi, bet, ja barības vielu saturs skujās vai lapās ir vismaz optimālā līmenī, pozitīvs mēslojuma efekts var neizpausties.

Tab. 4: Optimālā barības vielu koncentrācija lapās un skujās 0,5-4 m gariem kociem

Elements	Mūžzaļie skujkoki	Lapkoki un skujkoki, kas met skujas ³
Slāpeklis	1,50%	2,20%
Fosfors	0,14%	0,20%
Kālijs	0,50%	0,90%
Magnijs	0,10%	0,10%
Varš	8 ppm	ND
Bors	2 ppm	ND

Miervalža Buša vadībā veiktajos pētījumos, konstatēts, ka priežu skujās ir jābūt vismaz 0,12-0,13 % fosfora, 0,42-0,50 % kālija, 1,2-1,3 % slāpekļa, 0,29 % kalcija un 0,05-0,06 % magnija (Bušs *et al.*, 1974).

Latvijas meža zinātnieki A. Rīšperes vadībā veikuši pētījumus par barības vielu daudzumu priežu skujās dažādos augšanas apstākļos – meža tips un dažādu bonitāšu audzes. Saskaņā ar rezultātiem, kas apkopoti Tab. 5, jo labāki koku augšanas rādītāji, jo lielāks arī kopējais minerālvielu saturs skuju pelnos un pelnu daudzums skujās (Bušs *et al.*, 1974).

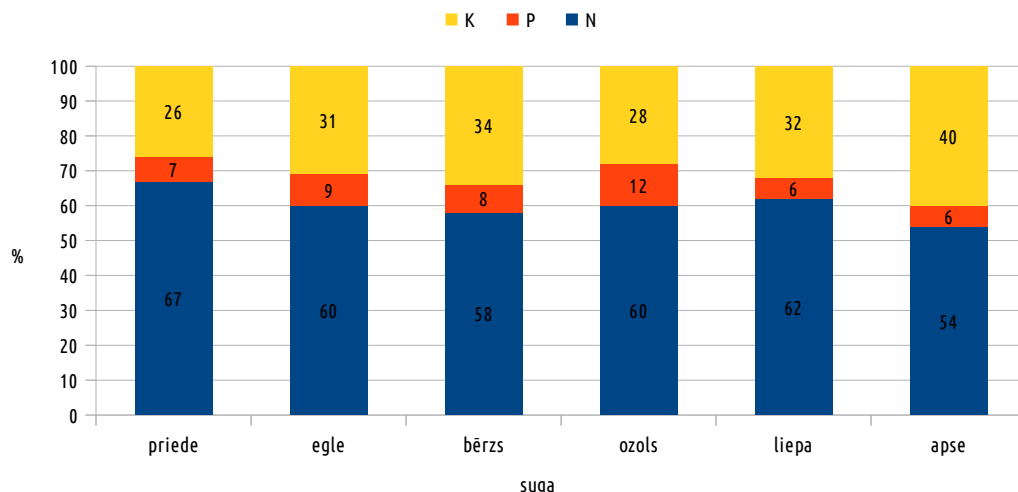
Tab. 5: Barības vielu saturs priežu skujās (%) atkarībā no meža tipa un bonitātes

Meža tips	Bonitāte	N	P	K	Pelnu saturs
Sils	V	1,16	0,16	0,51	1,94
	IV	1,34	0,12	0,45	2,24
Mētrājs	III	1,25	0,13	0,53	2,22
	II	1,57	0,16	0,71	2,45
Vēris, Damaksnis	II	1,49	0,15	0,62	2,38
	I	1,86	0,18	0,69	2,57

Lapās un skujās ieslēgto elementu daudzums pa atsevišķiem gadiem svārstās vairāk nekā to savstarpējā procentuālā attiecība. Savstarpējā procentuālā attiecība ir noteikta katrai koku sugai (Bušs *et al.*, 1974). Savstarpējā procentuālās makroelementu attiecības saimnieciski nozīmīgām koku sugām dotas Att. 4.

³

ND – nav datu.



Att. 4: Savstarpējās makroelementu attiecības, %, ar barības vielām nodrošinātās augsnēs augošu meža koku lapās pēc V. Lavričenko (Bušs *et al.*, 1974).

Jāņem vērā, ka barības vielu koncentrācija lapās var pieaugt nelabvēlīgu apstākļu ietekmē, piemēram, piesārņojums var samazināt fotosintēzes aktivitāti un barības vielu koncentrācija lapotnē var pieaugt sakarā ar organisko vielu sintēzes palēnināšanos. Ja augšanu ierobežo 1 elements, piemēram, fosfors, pārējo elementu koncentrācija var būt optimālā līmenī. Ja augu barības elementu trūkumu kompensē ar atbilstošu mēslojumu, var izpausties cita elementa trūkums, kas samazinātas biomasas veidošanās apstākļos nebija jūtams (Miller, 2004).

Meža mēslošanas nepieciešamības novērtēšanai un efekta prognozēšanai būtisks rādītājs ir augšanas apstākļi, kas ietver augsnes tipu, teritorijas ģeoloģisko raksturojumu, zemsedzes veģētāciju un mitruma režīmu. Zemsedzes augu sastāva izpēte ļauj pietiekoši precīzi prognozēt, vai pastāv barības vielu trūkums. Zemsedzes augu izpēte palīdz pieņemt lēmumu par mēslojuma pielietošanu, piemēram, plantācijās uz bijušajām lauksaimniecības zemēm. Lai gan šāda paņēmiena pielietošanai jābūt izstrādātai klasifikācijas sistēmai (Miller, 2004). Latvijā šī zemsedzes augu klasifikācijas sistēma ir sasaistīta ar meža tipoloģiju, taču lauksaimniecības zemju apmežojumos uz to nevar paļauties, jo dažādiem meža tiptiem raksturīgā veģētācija, kas raksturo augšanas apstākļus, veidosies tikai pēc vairākiem gadu desmitiem. Barības vielu nodrošinājumu raksturojošu zemsedzes augu sabiedrību klasifikācijas izstrādāšana ir būtisks priekšnosacījums izmaksu samazināšanai mežkopībā un efektīvai mēslošanas līdzekļu izmantošanai.

Pēc koku vainagu saslēgšanās augsnē esošo barības vielu patēriņš strauji samazinās. Pēc tam augsnē esošo rezervju patēriņš atbilst attiecīgo ķīmisko elementu akumulācijai koksnē. Augu barības vielu koncentrācija koksnē ir neliela un būtiski neatšķiras dažādām koku sugām. Atšķirības barības vielu patēriņā dažādām koku sugām raksturojas ar atšķirību vidējā ikgadējā krājas pieaugumā. Starp abiem procesiem, piemēram, fosforam un slāpeklim pastāv lineāra sakarība. Pirms vainagu saslēgšanās barības vielu patēriņa dinamika ir atšķirīga dažādām sugām. Vidēji lapkoku audzēs ir 3-6 tonnas ha⁻¹ lapu, priedes audzēs 6-12 tonnas ha⁻¹ skuju, bet egles audzēs – 10-20 tonnas ha⁻¹ skuju. Tas nozīmē, ka dažādām koku sugām nepieciešams atšķirīgs

barības vielu daudzums, lai paplašinātu vainagu un atjaunotu lapotni. Skujkoku lapotnes pieaugums dažāda vecuma skujkoku audzēs parādīts Tab. 6.

Tab. 6: Lapotnes biomasas pieaugums dažāda vecuma priedes un egles audzēs (Miller, 2004)

Vecums (gadi)	Lapotnes masas pieaugums (tonnas ha ⁻¹ gadā)	
	priede	egle
0–10	+ 0,2	+ 0,5
10–15	+ 0,4	+ 1,0
15–20	+ 0,8	+ 1,4
20–25	+ 0,2	+ 0,2
25–30	- 0,1	- 0,3

Tab. 6 piedāvātais modelis liecina, ka egles augšanai nepieciešams lielāks barības vielu daudzums, nekā priedei. Ja šo modeli attiecina uz lapkokiem, piemēram, ozolu, tad teorētiski ozolam vajadzētu mazāk barības vielu, nekā eglei vai priedei, taču dabiskos apstākļos ozols parasti aizņem auglīgākas augsnes. Šī nesaiste bijusi par iemeslu jēdzienu “barības vielu patēriņš” un “prasības pret augšanas apstākļiem” nodalīšanai. Barības vielu patēriņš variē starp sugām, pateicoties atšķirīgai lapotnes biomasai, kas kokiem sākotnēji jāizveido, un krājas pieauguma atšķirībai. Prasības pret augšanas apstākļiem raksturo ne tikai barības vielu patēriņu lapotnes un koksnes veidošanai, bet arī koku sakņu un mikorizas kompleksa spēju iegūt barības vielas no augsnes maz šķīstošajiem sāļiem un kompleksajiem savienojumiem (Miller, 1995). Priede spēj iegūt barības vielas arī nabadzīgās augsnēs, bet ozolam nepieciešamas vieglāk pieejamas barības vielas.

Nemot vērā vispārējo tendenci samazināt augu aizsardzības līdzekļu izmantošanu mežsaimniecībā, mēslojuma pielietošanu nereti uzskata par pēdējo līdzekli augšanas apstākļu uzlabošanai, iesakot vispirms izvēlēties attiecīgajiem apstākļiem piemērotas koku sugas. Taču ir situācijas, kad šāda izvēle nav iespējama, piemēram, ja mežs jau ir iestādīts vai augsne pietrūkst kāda no augu barības vielām. Barības vielu deficīts raksturīgs nemeža augsnēm, piemēram, apmežotām lauksaimniecības zemēm, ogļu un metāla rūdas raktuvju atbērtnēm un rekultivētām kūdras atradnēm. Šāda barības vielu deficīta situācija var veidoties arī laika gaitā sākotnēji pietiekoši auglīgās augsnēs, piemēram, egļu audzēs uz kūdras augsnēm, pieaugot kokaugu biomasai, var tikt izsmeltas augsnes kālija rezerves (Small, 1972; Kaunisto *et al.*, 2002; Lazdiņš *et al.*, 2010, 2011) vai arī, mainoties augšanas apstākļiem (paaugstinoties gruntsūdens līmenim), samazinās augiem pieejamo barības vielu rezerves. Šādās situācijās mēslojums ir efektīvs risinājums, lai ienestu ekosistēmā trūkstošās barības vielas un nodrošinātu kokaugu attīstībai labvēlīgus apstākļus. Meža mēslošana ir efektīvs līdzeklis arī cilvēka saimnieciskās darbības radītās ietekmes mazināšanai, atgriežot mežā ar kokmateriāliem un biokurināmo iznestās barības vielas pēc meža kopšanas vai galvenās cirtes (Lundborg, 1998).

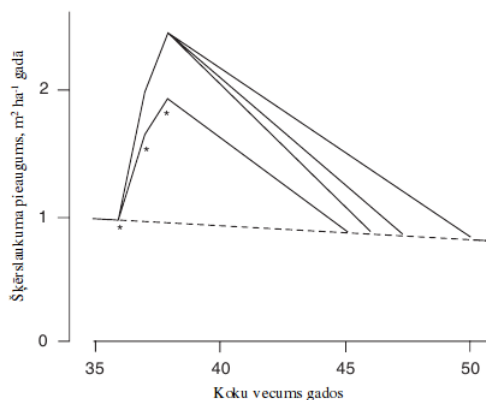
Meža mēslošanā var pielietot tradicionālos lauksaimniecības mēslošanas līdzekļus – minerālmēslus un organiskos mēslošanas līdzekļus. Konkrēta produkta izvēli nosaka izmantošanas vienkāršība un cena. Piemēram, urīnviela ir ekonomiski izdevīgākais slāpekļa mēslojums, jo tajā ir 46 % slāpekļa tīrvielas, salīdzinot ar 21 % amonija sulfātā un 35 % amonija nitrātā. Izkliešanas tehniskais risinājums visiem 3 mēslošanas līdzekļiem ir vienāds, jo lielāka aktīvās vielas koncentrācija, jo mazākas izkliešanas izmaksas. Organiskais mēslojums var nemaksāt neko, piemēram, notekūdeņu dūņas, bet tā izkliešana mežā ir darbietilpīgāka, nekā minerālmēslu ienešana, tāpēc kopējās organiskā mēslojuma izmantošanas izmaksas var izrādīties lielākas, nekā

minerālmēslojumam. Ja ar mēslojumu kompensē mežizstrādes rezultātā iznestās barības vielas, tad lietderīgi izmantot koksnes pelnus vai citāda veida dabisko komplekso mēslojumu, kas ienes augsnē barības vielas kokaugiem piemērotās proporcijās. Izmantojot koksnes pelnus, atsevišķi ir jāienes slāpekļa mēslojums, lai gan slāpekļa papildmēslojuma ienešanas lietderīgums jāvērtē individuāli, jo pētījumu rezultāti bieži neliecina par to, ka slāpekļa papildmēslojums palielina pelnu radīto papildus pieauguma efektu (Vesterinen, 2003). Mēslošanas līdzekļu izvēli nosaka arī tas, kādu mēslojumu izmanto lauksaimnieki, kas ir pieejams tirgū. Mēslošanas līdzekļu izvēli sertificētos mežos ietekmēt ierobežojumi, ko nosaka meža sertifikācijas prasības un normatīvie dokumenti. Zviedrijā meža mēslošanu ar slāpekļa mēslojumu reglamentē Meža aģentūras noteikumi (to kopsavilkums dots 1. pielikumā). Somijas meža sertifikācijas sistēmas FSC prasības meža mēslošanai apkopotas 2. pielikumā. Pētījuma laikā neizdevās atrast oficiālus normatīvus pelnu un fosfora mēslojuma izmantošanai mežaudzēs Ziemeļvalstīs, taču eksistē neoficiālas vadlīnijas par mēslojuma devām, iestrādes termiņiem un sagaidāmo efektu, atkarībā no mežaudzes raksturojuma.

Viena no hipotēzēm, kas sekmējusi meža mēslošanu Ziemeļvalstīs, ir bažas par to, ka skābie lieti paātrina augsnes izskalošanos un mēslojums nepieciešams, lai kompensētu barības zudumus augsnē. Tāpat, meža mēslošanas prakses attīstību sekmējis gaisa piesārņojums ar slāpekli, pieņemot, ka palielināta slāpekļa daudzuma nonākšana augsnē ar nokrišņiem veido nesabalansētas augiem pieejamo barības vielu proporcijas. Pētījumi šajā jomā sekmēja kompleksu, līdz 8 augu barības vielu elementus saturošu mēslošanas līdzekļu (augšanas apstākļu atjaunotāju) izstrādāšanu un izmantošanu mežsaimniecības praksē. Ilgtermiņā šādi mēslošanas līdzekļi var sekmēt labvēlīgākas vides veidošanos, bet īstermiņā tie nerada lielāku efektu, kā 1-2 augu barības vielu elementus saturoši mēslošanas līdzekļi. Rūpnieciskā piesārņojuma radītie skābie lieti ir atjaunojuši arī interesi par augsnes kalpošanu mežā. Vairāki tūkstoši hektāru mežaudžu Ziemeļvalstīs un Rietumeiropā ir kalpoti, sākot no 19. gadsimta beigām, taču būtiska pozitīva ietekme uz mežaudžu attīstību pagaidām nav pierādīta. Atsevišķos gadījumos kalpošanas materiāls izmaina humusa struktūru, kas uzlaboja koku veselības stāvokli, taču pozitīvā ietekme izpaudās daudzus gadus pēc augsnes kalpošanas un nebija sistemātiska (Miller, 1995).

Ja kokaugu augšanu limitējošie elementi noteikti pareizi, atbilstoša mēslojuma pielietošana vispirms izraisa kopējās koku lapotnes virsmas laukuma samazināšanos un fotosintētiskās aktivitātes pieaugumu atlikušajā lapotnes daļā, kam seko jaunu lapu un skuju veidošanās. Rezultātā, otrajā veģetācijas sezonā pēc mēslošanas kopējais fotosintezējošo lapu laukums ir būtiski lielāks, nekā pirms mēslošanas, kam seko arī būtiski lielāks koksnes krājas pieaugums. Koku atbildes reakcijas ilgums ir atkarīgs no barības vielu daudzuma, ko tie spēj akumulēt savā biomasā kā rezervi.

Att. 5 redzams, ka mēslojuma devas palielināšana var neradīt proporcionālu šķērslaukuma pieauguma palielinājumu tūlīt pēc mēslojuma ienešanas, taču jo deva ir lielāka, jo ilgāk izpaužas mēslojuma efekts, jo daļa barības vielu akumulējas biomasā rezervju veidā. Koki izmanto tikai daļu no barības vielām, kas ienestas ar mēslojumu. Lielāko daļu barības vielu izmanto zemsēdzes augi, augsnes mikroorganismi un daļa, it īpaši fosfors, saistās maz šķīstošos kompleksos ķīmiskos savienojumos, kas augiem nav pieejami.



Att. 5: Priedes šķērslaukuma pieauguma atbildes reakcija uz slāpekļa mēslojumu, kas ienests 3 gadu laikā (grafikā iezīmēti ar zvaigznītēm), atkarībā no mēslojuma devas⁴ (Miller, 1995).

Ātrums, ar kādu saistītās barības vielas atbrīvojas vidē un kļūst pieejamas kokiem, ir tik mazs, ka tām nav būtiskas ietekmes uz koku augšanu. Papildus pieaugumu rada tikai tā barības vielu daļa, kas saistās koku biomasā tūlīt pēc mēslojuma ienešanas. Kad šīs rezerves ir izmantotas, papildus pieaugums vairs neveidojas. Faktiski, tas nozīmē, ka mēslojumu ienes nevis augsnē, bet koku biomasā (Miller, 2004). Tas nozīmē arī to, ka atkārtota mēslojuma ienešana (biomasā uzkrāto rezervju atjaunošana) var būtiski palielināt mēslojuma summāro ietekmi (Nordin, 2011). Ekstremālos barības vielu deficīta gadījumos, kad ar mēslojumu ienesto elementu daudzums ir būtisks, salīdzinot ar augsnē esošajām attiecīgo elementu rezervēm, mēslojuma efekts var būt ilgstošs. Šāda ilgstoša iedarbība raksturīga, piemēram, fosforam un atsevišķiem mikroelementiem. Latvijā veikti izmēģinājumi liecina, ka mēslojuma ilgstošu iedarbību var izraisīt arī tā ietekme uz augsni. Piemēram, notekūdeņu dūņu mēslojums kūdras augsnēs palielina mikrobioloģisko aktivitāti, un augsnes barības vielu rezerves pieaug kūdras mineralizācijas rezultātā, tāpēc papildus pieauguma veidošanās var turpināties arī tad, kad koku biomasā saistīts vairāk barības vielu, nekā sākotnēji ienests ar mēslojumu (Lazdiņa, 2009).

⁴ Ar nepārtrauktām svītrām iezīmēts šķērslaukuma pieaugums dažādu slāpekļa mēslojuma devu ietekmē, ar raustītu svītru – šķērslaukuma pieaugums kontroles parauglaukumos.

Latvijas un ārvalstu pieredze meža mēslošanā

Mēslošanai piemērotās mežaudzes

Latvijā viens no apjomīgākajiem pētījumiem, kas ietvēra meža mēslošanas izmēģinājumus, ir pagājušā gadsimta 80. gadu sākumā veiktā parastās egles plantāciju ierīkošanas un apsaimniekošanas jautājumu izpētes programma, kurā izstrādātas rekomendācijas egļu plantāciju mēslošanai.

Pētījumu programmā izstrādātās rekomendācijas lielā mērā balstās uz agrāk un citās valstīs, tajā skaitā Somijā, veikto pētījumu rezultātiem. Šajā darbā uzskaitītas nozīmīgākās atziņas, kas izmantotas mežaudžu mēslošanas rekomendāciju izstrādē.

Pētījumi melnās priedes un citu skujkoku stādījumos apliecina, ka minerālmēsli, it īpaši slāpekli saturošie, sekmē sveķu veidošanos, uzlabojot augu noturību pret kaitēkļiem. Mēslojuma ietekmē egle plaukst agrāk, apgrūtinot *Pristophora abietina* oliņu dēšanu. Saskaņā ar Latvijā veikto pētījumu rezultātiem, mēslojuma ietekmē dažādu meža tipu un koku sugu mežos veidojas papildus pieaugums $1,1-5,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā. III-V vecumklases priežu audzēs papildus pieaugums mēslojuma ietekmē ir $1,1-5,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā, IV-V vecumklases egles audzēs – $1,9-3,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā, VI-VIII vecumklases bērzu audzēs – $1,5-2,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā. Igaunijā veiktos pētījumos konstatēts, ka pieaugums mēslojamajās priedes audzēs lānā ir 127-154 %, mētrājā 127-146 %, damaksnī 151 %, bet augstajos purvos – 123-170 % no nemēslojamās audzes pieauguma. Papildus pieaugums turpinās 5-8 gadus. Kūdreņos mēslojuma efektu būtiski ietekmē teritorijas hidroloģiskais režīms. Ieteicamā mēslojuma deva $100-120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $100-150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ (citās publikācijās minēta līdzīga P tīrvielas deva, attiecīgi gandrīz 3 reizes lielāka mēslojuma deva). Agrāk Latvijā valdīja uzskats, ka kālija mēslojums kūdras augsnēs var būt nepieciešams tikai tad, ja izmantotas lielas fosfora un slāpekļa mēslojuma devas (Kāposts, 1981). Latvijā viršu kūdreņos ienesot $\text{N}_{100}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ un $\text{N}_{85}\text{P}_{60}\text{K}_{80}$ mēslojumu, tā iedarbība novērota 6-8 gadi. Mēslojamajās priežu IV, V vecumklases II bonitātes audzēs konstatēts $0,9 \text{ m}^3$ papildpieaugums gadā. Savukārt, mēslojot II bonitātes IV un V vecumklases priežu mētru kūdreņus ($\text{N}_{70}\text{P}_{60}$ un $\text{N}_{100}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$), 6 gadu laikā ik gadu iegūstams līdz $2,6 \text{ m}^3$ papildus pieaugums (Kāposts, 1981).

Somijā kūdreņos veiktos pētījumos konstatēts, ka lielāko efektu dod NPK mēslojums, ja attālums starp susinātājgrāvjiem ir 10 m (Rone, 1982).

Priedes jaunaudzēs optimālā mēslojuma deva satur visus trīs makroelementus $\text{N}_{50}\text{P}_{100-120}\text{K}_{50-100} \text{ kg ha}^{-1}$ vai $\text{N}_{50}\text{P}_{100-120}\text{K}_{50-100}$ un $\text{P}_{100-200}\text{K}_{100-200}\text{K}_{50-100}$, kas pieaugumu palielina 2,5-5 reizes. Ienesot vidēja vecuma egļu audzēs $\text{N}_{200} \text{ kg ha}^{-1}$, pieaugums turpmāko 5 gadu laikā palielinās vidēji par 18 %. Nelielas mēslojuma devas ($\text{N}_{90} \text{ kg ha}^{-1}$), lielākā daļa no papildus pieauguma (27,3 %) veidojas pirmajā gadā pēc mēslojuma ienešanas. Mēslojuma iedarbības ilgums 6 gadi. Palielinot mēslojuma devu, palielinās tā iedarbības ilgums un attālinās mēslojuma iedarbības kulminācijas brīdis (Rone, 1982).

Saskaņā ar Krievijā veikto pētījumu rezultātiem ekonomiski efektīvākais risinājums ir pieaugušu egles un priedes audžu mēslošana 10-15 gadus pirms galvenās cirtes. Egļu audzēs atkārtota mēslojuma ienešana lietderīga 10 gadus pēc iepriekšējās mēslošanas, attiecīgi, pēdējo mēslošanu ieteicams veikt 10 gadus pirms galvenās cirtes (Паршевников *et al.*, 1979).

Latvijā veikto pētījumu rezultāti liecina, ka slāpekļa mēslojums (N_{80} , N_{120} , N_{150}) 5 gadu laikā nodrošina 12-28 % papildus pieaugumu (vidēji 21 %), fosfora mēslojums palielina papildus pieaugumu līdz 24 % (Kāposts, 1981). ASV veiktie pētījumi liecina, ka veicot mēslošanu, mazu dimensiju koku audzēs (jaunaudzes, vidēja vecuma audzes) papildus pieaugums ir mazāks, tomēr jāņem vērā, ka mēslošanas rezultātā saīsināts cirtmets ļauj samazināt zaudējumus atmiruma veidā.

Saskaņā ar Lietuvā un Latvijā veikto pētījumu rezultātiem, mēslojuma radītajam papildus pieaugumam saīsinātas aprites plantāciju tipa egļu stādījumos jābūt lielākam par 15 % (Rone, 1982).

Būtisks koksnes kvalitātes rādītājs ir vēlinās koksnes īpatsvars. Pētījumi Baltkrievijā pierādīja, ka vēlinās koksnes veidošanos vairāk ietekmē mitruma režīms. Mēslošanas rezultātā vecākās egļu audzēs pieaug agrīnās koksnes īpatsvars, kas pasliktina koksnes kvalitāti. Tas nozīmē, ka plantācijās ar saīsinātu aprites ciklu, var iegūt kvalitatīvāku koksni (Ипатьев & Кирова, 1977).

Saskaņā ar egļu plantāciju ierīkošanas un apsaimniekošanas rekomendācijām meža tipos, kur iespējams barības vielu deficīta risks (K_s un A_s) pēc stādīšanas ieteicams izmantot NPK mēslojumu. Devu nosaka atbilstoši augsnes sastāvam (devas aprēķinu vienādojums gan netika izstrādāts) vai, ja augsnes dati nav pieejami, izmanto vidējo devu (N_{70-100} , P_{70-100} kg ha⁻¹). Kālija mēslojuma deva plantācijām netika izstrādāta, jo uzskatīja, ka kālija mēslojums mežā nav nepieciešams. Mēslojumu ieteica izkliegt 2 m platā joslā ap rindās stādītiem kokiem. Pēc otrās kopšanas vai 10-15 gadus pirms galvenās cirtes egļu plantācijās I-I^a bonitātes audzēs mēslojumu ieteica ienest atkārtoti (Rone, 1982). Jāņem vērā, ka plantāciju ierīkošanas metodikā iekļautie priekšlikumi bija lielā mērā teorētiski un balstās uz tajā laikā pieejamajā zinātniskā literatūrā gūtām atziņām.

Apjomīgākie pētījumi par meža mēslošanu Latvijā veikti pagājušā gadsimta 70. gadu sākumā Visvalža Kāposta un Rūda Sacenieka vadībā, bet meža mēslošanas aizsākums Latvijā ir kāpu un virsāju apmežošanas izmēģinājumi 1950. gadā. Nedaudz vēlāk ierīkoti pirmie meža mēslošanas izmēģinājumi Meža pētīšanas stacijā Jaunkalsnavā. No 1968. gada meža mēslošanu sāka pielietot ražošanas apstākļos vidēja vecuma un pieaugušās skujkoku audzēs. Šajā laikā veikti arī vērienīgākie meža mēslošanas izmēģinājumi, pētot dažādu mēslojuma devu un barības vielu attiecību uz mežaudžu papildus pieaugumu atšķirīgos meža augšanas apstākļos, sākot no kūdras augsnēm un beidzot ar sausieņu mežiem (Капустс & Сацениекс, 1977). Astoņdesmito gadu sākumā entuziasms par meža mēslošanas iespējām Latvijā, atbilstoši tā laika aculiecinieku stāstiem, bija būtiski noplacis, jo iepriekšējo 20 gadu pieredze rādīja, ka praktiski sasniegtais efekts būtiski atpaliek no zinātnieku prognozētajiem rezultātiem, turklāt ar tā laika meža mēslošanas dogmām nevarēja izskaidrot, kāpēc slāpekļa un fosfora mēslojums ne vienmēr veicina papildus pieauguma veidošanos, piemēram, kūdreņos. Pret meža mēslošanu iestājās arī dabas aizsardzības aktivisti. Tāpēc pētījumi par meža mēslošanu 80. gados krasī samazinājās. Fundamentāli pētījumi par mežaudžu barošanās režīmu un mēslojuma iedarbības mehānismiem saistībā ar augu fizioloģiju Latvijā faktiski tā arī netika uzsākti. Nepietiekošā izpratne par mēslojuma iedarbības fizioloģiskajiem mehānismiem un neefektīvā lauka darbu organizācija (mēslojamo audžu atlase un mēslojuma izkliešana) bija galvenie iemesli faktiskai meža mēslošanas pārtraukšanai jau 80. gadu vidū.

Septiņdesmitajos gados veiktajos pētījumos noskaidrots, ka mazāk auglīgajos meža tipos (sils, lāns) priežu audzēs mēslojuma iedarbība turpinās 8 gadus, bet mētrājā – 6 gadus. Mazāk auglīgajos meža tipos lielāko efektu rada N mēslojums

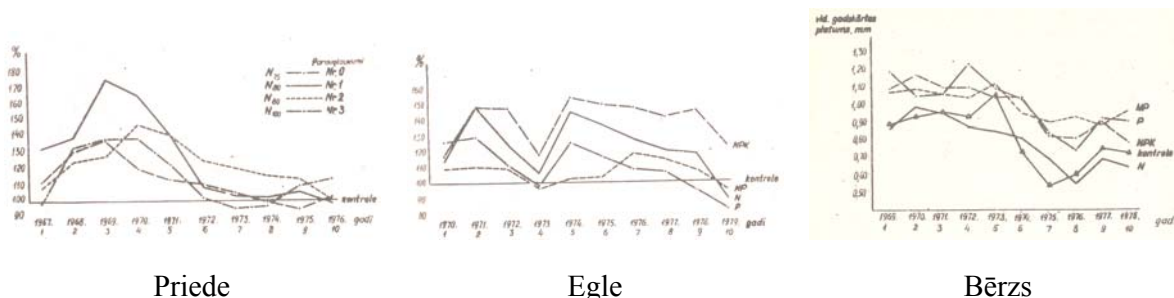
(80-120 kg ha⁻¹), kas palielina gadskārtu pieaugumu līdz 130 %, salīdzinot ar kontroli, un kompleksais N, P, K mēslojums (80, 80 un 120 kg ha⁻¹), kas palielina pieaugumu līdz 150 %, salīdzinot ar kontroli. Ceturtās vecuma klases III bonitātes priedes audzēs mētrājā lielāko efektu rada N mēslojums (80-100 kg ha⁻¹), kas palielina gadskārtu pieaugumu līdz 144 %, salīdzinot ar kontroli, un kompleksais N, P, K mēslojums (80-100, 80 un 120 kg ha⁻¹), kas palielina pieaugumu līdz 141 %, salīdzinot ar kontroli. Mazāko efektu sausieņu meža tipos radīja P un K mēslojums. Atkarībā no mēslojuma veida, papildus pieaugums silā un lānā priedes audzēs, kurās ienests N un N, P, K mēslojums, bija 3,2-4,0 m³ ha⁻¹ gadā vai 25-32 m³ ha⁻¹ 8 gadu laikā, bet mētrājā – 1,4-3,0 m³ ha⁻¹ gadā (11-24 m³ ha⁻¹ 8 gadu laikā) (Капустс & Сацениекс, 1977).

Uz minerālaugsnēm augošu egļu audžu produktivitātes palielināšanai Kāpsta un Sacenieka vadībā veikto pētījumu rezultātā ieteica izmantot kompleksu N, P mēslojumu (attiecīgi, 120 un 80 kg ha⁻¹ tīrvielas), kas palielina gadskārtu pieaugumu līdz 137 %, salīdzinot ar kontroli, un N, P, K mēslojumu (deva, attiecīgi, 120, 80 un 60 kg ha⁻¹), kas palielina gadskārtu pieaugumu līdz 143 %, salīdzinot ar kontroli. Slāpekļa mēslojums (120 kg ha⁻¹) palielināja gadskārtu pieaugumu par 20 %, salīdzinot ar kontroli. Mēslojuma iedarbība turpinās 5 gadus, bet papildus krājas pieaugums IV vecumklases egļu audzēs damaksnī ir 1,2-2,7 m³ ha⁻¹ gadā vai 7,5-13,5 m³ ha⁻¹ 5 gadu laikā (Капустс & Сацениекс, 1977). Mēslojuma iedarbība izpaudās pirmajā gadā pēc mēslojuma ienešanas. Pārreķinot uz ienestā mēslojuma daudzumu, 1 m³ papildus pieauguma iegūšanai nepieciešami 16 kg N, 6 kg P un 4,5 kg K. Pētījumos iegūtie rezultāti attiecībā uz N efektivitāti ir līdzīgi Zviedrijā iegūtajiem datiem (15 kg N m⁻³). Atšķirībā no Zviedrijas Latvijā konstatēts, ka N mēslojums dod būtiski mazāku efektu, nekā kompleksais mēslojums (Nordin, 2011). Iespējams, ka tas saistīts ar atšķirīgu augsnes mineraloģisko sastāvu. Zviedrijā meža augsnes ir jaunākas un mazāk izskalotas, nekā Latvijā, tāpēc tajās var būt lielākas augiem pieejamā P un K rezerves.

Septiņdesmitajos un astoņdesmitajos gados Latvijā veiktajos pētījumos nostiprinājās uzskats, ka mežā, tajā skaitā uz kūdras augsnēm, nav nepieciešams K mēslojums, un atsevišķos gadījumos konstatēta pat negatīva K ienešanas ietekme uz gadskārtu pieaugumu. Kālija mēslojumu ieteica izmantot tikai tad, ja augsnē ienes lielas N un P mēslojuma devas (Kāposts, 1981). Šis secinājums ir pretrunā ar Somijā un Baltkrievijā veikto pētījumu rezultātiem un arī jaunāko Latvijā veikto pētījumu atziņām par K ietekmi uz egļu audžu attīstību uz susinātām augsnēm (Ипатьев & Кирова, 1977; Heljä-Sisko, 1992; Hytönen, 1998; Ērmane *et al.*, 2013). Iespējams, ka tajā laikā Latvijā un arī citās PSRS republikās iegūtos negatīvos rezultātus var saistīt ar K mēslojuma kvalitāti (piemaisījumi, kas negatīvi ietekmē koku augšanu) vai lielu hlora devu negatīvo ietekmi uz kokiem (KCl ir lētākais un meža mēslošanas izmēģinājumos visbiežāk izmantotais kālija mēslojums). Saskaņā ar Baltkrievijā veikto pētījumu rezultātiem limitējošā K mēslojuma (KCl) deva, ko pārsniedzot var izpausties koku augšanas traucējumi, ir 100 kg K tīrvielas. Šajos pašos pētījumos pamatots, ka maksimālā rekomendējamā P deva ir 150 kg tīrvielas (Ипатьев & Кирова, 1977). Igaunijā veiktos pētījumos secināts, ka maksimālā rekomendējamā K mēslojuma deva sausieņu mežos ir 200 kg ha⁻¹ (Тялли, 1977). Saskaņā ar 2011.-2012. gadā Latvijā veiktiem pētījumu datiem egļu bruņuts bojātās 30-40 gadus vecās parastās egles audzēs uz susinātām kūdras un minerālaugsnēm, K mēslojums (61 kg K tīrvielas K₂SO₄ veidā) palielināja gadskārtu pieaugumu nākošajā gadā pēc mēslošanas par 31 %. Līdzīgu efektu radīja pelnu (2,5 tonnas sausnas ha⁻¹) ienešana mežā. Vietās, kur iestrādāts minerālmēslojums (lielāka K deva), vairāk izpaudās koku atveseļošanās efekts (Skranda, 2013).

Mēslojuma ietekme uz mežaudžu augšanas gaitu

Mēsloto priežu, egļu un bērzu audžu veidotos papildpieaugumus V. Kāposts un R. Sacenieks publicējuši 1981. gadā izdotajā apskatā, kur iegūto uzmērījumu datu dinamika parādīta trīs koku sugām (priede, egle, bērzs) dati parādīti Att. 6 un detalizētāka informācija par izmantoto mēslojumu apkopota Tab. 7, no kurām izdarāmi secinājumi par mēslošanas ilgtermiņa iedarbību un tā laika mežaudžu mēslošanas nepieciešamību. Salīdzinoši platākas gadskārtas veidojas pirmajos gados pēc mēslošanas. Eglei, tās salīdzinoši platākas lietojot komplekso mēslojumu, bet bērzam izmantojot slāpekļa un fosfora mēslojumu (Att. 6).



Att. 6: Priedes, egles un bērza gadskārtu platuma izmaiņas dažādos gados pēc slāpekļa mēslojuma lietošanas (Sathre *et al.*, 2010)

Salīdzinoši labāks proporcionālais (%) mēslojuma efekts novērots bērzu audzēs (VIII un VII vecumklase), izmantojot slāpekļa mēslojumu devās, kas lielākas par 100 kg ha^{-1} , kā arī kombinējot to ar fosfora un kālija mēslojumu – papildus gadā iegūti $1,5\text{-}2,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Egļu audzēs ievērojams produktivitātes kāpinājums iegūts, lietojot kombinēto mēslojumu ($\text{N}_{80} \text{ P}_{80} \text{ K}_{120}$) un slāpekļa mēslojumu 120 un 150 kg ha^{-1} - IV un V vecumklasē papildus iegūti $2,2\text{-}3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā. Mēslojot V vecumklases priedes audzes ar slāpekļa mēslojumu (150 un 200 kg ha^{-1}), papildus iegūti $3,5$ un 5 kubikmetri koksnes gadā (Tab. 7).

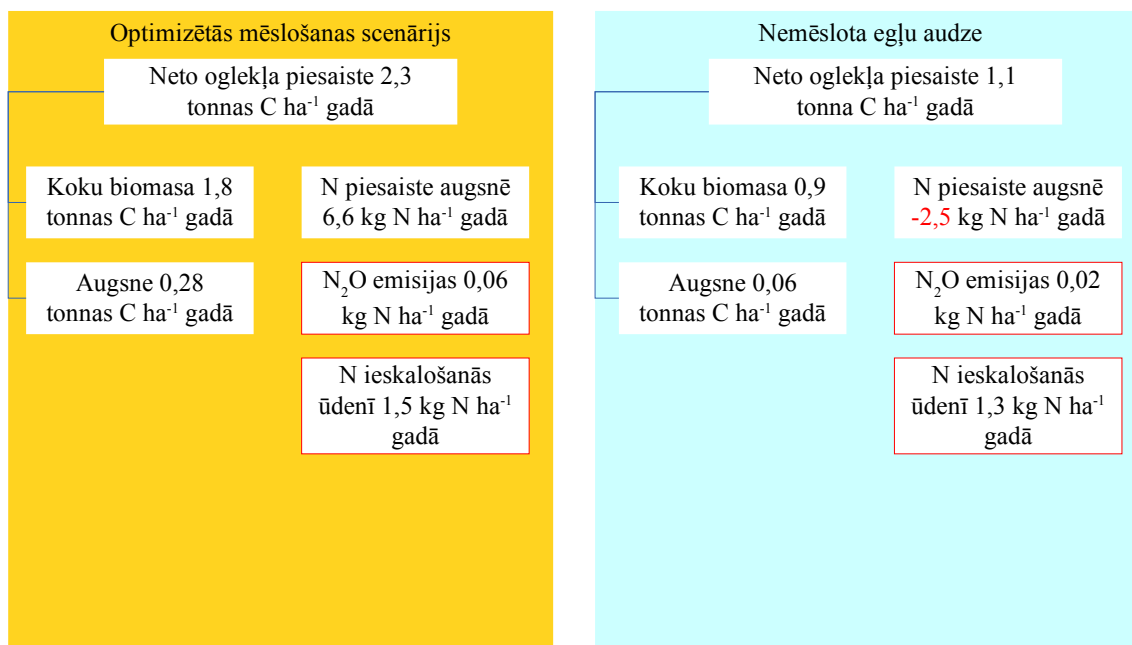
Tab. 7: 1967.-1973. gadā mēsloto priežu, egļu un bērzu audžu papildpieaugumu uzskaites rezultāti 1979. gadā (Kāposts, 1981)

Suga	Vecumklase	Meža tips	Minerālmēslojums			Papildpieaugums		Cik gados
			N	P	K	$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā	%	
Priede	III	lāns	75			1,9	11,9	10
Priede	IV	mētrājs	80	80	120	1,6	33,6	10
Priede	V	sils	80	80	120	1,2	32,9	10
Egle	IV	damaksnis	80	80	120	3	42,8	10
Priede	IV	mētrājs	85			2,5	32,2	5
Priede	V	mētrājs	85			1,1	22,3	10
Bērzs	VI	vēris	100	120		0,5	17,2	5
Bērzs	VII	damaksnis	100	120		1,5	75,8	5
Egle	IV	damaksnis	120			3	30	5

Latvijas un ārvalstu pieredze meža mēslošanā

Suga	Vecumklase	Meža tips	Minerālmēslojums			Papildpieaugums		Cik gados
			N	P	K	m ³ ha ⁻¹ gadā	%	
Egle	V	damaksnis	120	80		1,9	21,1	5
Priede	V	mētrājs	150			3,5	72	5
Egle	V	vēris	150			2,2	44	5
Bērzs	VIII	vēris	150			2,1	79,5	5
Bērzs	VIII	vēris	150	100	80	2,5	94,3	5
Priede	V	mētrājs	200			5	102,9	5

Zviedrijā biežāk pielietotais meža mēslošanas paņēmieni ir mehanizēta slāpekļa minerālmēslojuma ienešana skujkoku audzēs 1-3 reizes rotācijas laikā. Parasti mēslojumu ienes pēc kopšanas cirtēm. Mēslojuma deva – 150 kg N ha⁻¹ katrā mēslošanas reizē. Mēslojuma efektivitāte ir vidēji 10-15 kg N m⁻³ papildus pieauguma, t.i. 3 reizes veikta apstrāde ar minerālmēslojumu vidēji nodrošina 36 m³ ha⁻¹ papildus pieaugumu aprītē, ja mēslojums iestrādāts 3 reizes. Pēdējās desmitgadēs gūtās atziņas par meža mēslošanas efekta fizioloģiskajiem mehānismiem Zviedrijā veicinājusi vienā reizē ienesamās mēslojuma devas samazināšanu un apstrādes reižu skaita pieaugumu (optimizētās mēslošanas paņēmieni). Piemēram, 800-1500 kg N ha⁻¹ liela mēslojuma deva, kas ienesta augsnē pakāpeniski, izmantojot 100 kg N ha⁻¹ lielas vienā reizē iestrādājamās devas, palielina mēslojuma izmantošanas efektivitāti par vidēji 25 % (papildus pieaugums 4-10 kg N m⁻³ vai vidēji 160 m³ ha⁻¹ aprītē Nordin, 2011). Saskaņā ar citu pētījumu rezultātiem aptuveni 41 % papildus pieauguma veidojas resnajos lietkoksnēs sortimentos. Ja pieņem, ka 1 m³ apaļkoksnēs cena ir vidēji 40 Ls, mēslojuma efekts naudas izteiksmē, pielietojot tradicionālo mēslošanas shēmu, ir 3-4 Ls kg N⁻¹, bet optimizēto mēslošanas shēmu – 4-10 Ls kg N⁻¹ (Att. 7). Jāņem vērā, ka šādu papildus pieaugumu un ieņēmumus var nodrošināt tad, ja augošo koku vainagi spēj izmantot mēslojumu, t.i. palielināt lapotnes masu, izmantojot tūlīt pēc iestrādes koku biomasā saistītās barības vielas (Miller, 1995). Tas nozīmē, ka intensificējot meža mēslošanu, jāpalielina arī kopšanas ciršu intensitāte, lielu daļu papildus krājas pieauguma izņemot starpcirtēs.



Att. 7 Optimizētās mēslošanas shēmas un nemēslota kontroles varianta salīdzinājums (Nordin, 2011).

Zviedrijā projekta Future Forests⁵ ietvaros veikts pētījums par slāpekļa un oglekļa apriti mežā, salīdzinot optimizēto meža mēslošanas paņēmieni ar dabisku nemēslotu egļu mežu. Mēslošanas modelī pieņemts, ka kopējā iestrādātā mēslojuma deva ir 1400 kg N ha⁻¹ un mēslojumu ienes katru 2. gadu. Rotācijas periods 50 gadi, t.i. vienā reizē iestrādājamā mēslojuma deva ir vidēji 60 kg N ha⁻¹. Slāpekļa un oglekļa aprites modelēšanas rezultāti parādīti Att. 7. Saskaņā ar pētījuma rezultātiem slāpekļa ieskalosnās virszemes ūdenskrātuvēs palielinātos par 2 %, ja modelēto mēslošanas shēmu pielietotu 5 % no Zviedrijas mežiem (Nordin, 2011).

Metodes mēslošanas līdzekļa un devas noteikšanai

Jāatzīst, ka Latvijā veiktajos pētījumos zinātnieki ir vairāk paļāvušies uz Ziemeļvalstu un tuvāko kaimiņu pieredzi, tāpēc nepastāv praksē pārbaudīta argumentācija mēslojuma devu noteikšanai Latvijā. Arī vispusīgs meža augšņu novērtējums barošanās režīma kontekstā nav veikts, piemēram, BioSoil programmā, kurā ārkārtīgi detalizēti vērtēja smago metālu saturu augsnē, netika novērtēts fosfora daudzums augsnē, tāpēc arī zināšanas par meža augsnēm Latvijā, kā arī citās Baltijas valstīs, ir ierobežotas. Turpmākajos pētījumos plānots sasaistīt pieejamos meža augsnes kvalitatīvos rādītājus (Tab. 8) un krājas pieauguma rādītājus, atlasot tos meža tipus, kuros meža mēslošana varētu dot lielāko efektu. Precīzāku datu iegūšanai būtu jāveic arī fosfora satura analīzes visos BioSoil projektā ievāktajos augsnes paraugos.

Ziemeļvalstīs slāpekļa mēslojuma devu parasti nosaka pēc maksimāli pieļaujamās devas nosacījumiem, jo mēslojuma izkliedēšana ir pietiekoši dārga, lai neriskētu ar nepietiekošas devas iestrādi.

⁵ <http://www.slu.se/en/collaborative-centres-and-projects/future-forests/>

Tab. 8: Barības vielu krājumi meža augsnē (0-80 cm dziļumā) un zemsegā Latvijā atbilstoši BioSoil projekta rezultātiem

Edafiskā rinda	Meža tips	Augsnes slāņa masa, kg ha ⁻¹	C _{karb.} , kg ha ⁻¹	C _{org.} , kg ha ⁻¹	N, kg ha ⁻¹	K, kg ha ⁻¹	Ca, kg ha ⁻¹	Mg, kg ha ⁻¹	Mn, kg ha ⁻¹
Āreņi	Am	7 976 067	13	179 543	8 643	4 421	10 485	2 594	190
	As	11 689 436	18 996	138 647	6 398	17 102	75 647	24 701	1 914
	Ap	12 337 213	82 216	143 531	8 041	26 452	431 710	46 762	2 950
Kūdreņi	Ks	6 062 123	896	533 999	20 395	14 911	36 622	13 160	431
	Kp	11 583 000	1 448	94 285	5 292	3 438	9 097	1 948	240
Purvaini	Pv	845 875	-	368 314	8 676	166	2 357	283	7
	Nd	3 850 885	-	618 333	30 876	703	49 716	3 257	273
	Db	1 437 400	-	745 626	34 704	388	75 655	4 399	143
Sausieņi	Sl	11 199 570	265	74 090	2 465	899	8 012	1 349	271
	Mr	11 741 604	16	98 898	2 985	2 474	3 186	2 518	619
	Ln	11 778 275	1 898	91 126	3 566	5 124	9 099	6 367	1 232
	Dm	11 294 698	7 058	97 038	4 332	16 560	32 995	18 692	1 440
	Vr	11 919 939	17 212	126 410	7 508	41 262	89 398	51 603	3 013
Slapjaini	Dms	10 472 863	69	180 769	5 503	2 341	5 351	1 351	151
	Vrs	11 302 686	23 759	144 414	10 387	51 102	83 475	56 239	4 131
Visi meža tipi		10 215 431	9 762	192 920	8 533	16 734	52 835	20 193	1 472

Pielietotie mēslošanas līdzekļi

Saskaņā ar Latvijas nacionālā FSC sistēmas meža sertifikācijas standarta projektu (6.5.4 pants) pirms meža mēslošanas (izņemot koksnes pelnu izmantošanu un dabiskas izcelsmes minerālmēslojumu) meža apsaimniekotājam jāveic mēslojuma ietekmes uz bioloģisko daudzveidību, augsni un ūdeni novērtējums. Ietekmes mazināšanas pasākumus novērtē, pārbaudot iekšējās kārtības noteikumus (kā tajos atspoguļojas pasākumi, kas vērsti uz ietekmes mazināšanu), intervējot uzņēmumu darbiniekus un pakalpojumu sniedzējus, kā arī veicot pārbaudes uz vietas. FSC 10.7 kritērijā noteikts, ka meža apsaimniekošanā jāierobežo kaitēkļu izplatīšanos, ugunsgrēku un invazīvu augu savairošanās riskus. Integrētajām meža aizsardzības sistēmām jāņem vērā būtiska loma meža apsaimniekošanas plānošanā, prioritāte jādod preventīviem aizsardzības pasākumiem un bioloģiskas aizsardzības metodēm, nevis ķīmisku augu aizsardzības līdzekļu un mēslošanas līdzekļu izmantošanai. Arī plantāciju un kokaudzētavu apsaimniekošanā maksimāli jāizvairās no ķīmisko pesticīdu un mēslošanas līdzekļu pielietošanas (Latvian Forest Certification Council, 2012). Faktiski, tas nozīmē, ka FSC sertifikācija (sistēmas projekts) neierobežo koksnes pelnu un dabiskas izcelsmes minerālmēsli izmantošanu meža apsaimniekošanā, turpretim ķīmiski iegūto un organisko mēslošanas līdzekļu pielietošanai meža mēslošanā atbilstoši patreizējai FSC sertifikācijas nosacījumu redakcijai nepieciešams ietekmes uz vidi novērtējums.

Saskaņā ar PEFC meža sertifikācijas nacionālo standartu (2.1.9 pants) jebkāda veida augu aizsardzības līdzekļu un/vai minerālmēsli izmantošanai mežā un meža zemēs ir jābūt pamatotai. Pirms ķīmikāliju lietošanas jāizvērtē iespējamie alternatīvie veidi vēlamā rezultāta sasniegšanai un jāveic ietekmes uz vidi izvērtēšana (*PEFC Mežu apsaimniekošanas sertifikācijas standarts Latvijai*, 2010). Sertifikācijas standarta angļiskajā tulkojumā nepieciešamība veikt ietekmes uz vidi novērtējumu attiecināta uz visiem mēslošanas līdzekļiem (*PEFC Forest Management Standard for Latvia*, 2010). Tas nozīmē, PEFC sertifikācija mēslojuma izmantošanas jomā izvirza stingrākas

prasības, nekā FSC sertifikācijas sistēma, nešķirojot dabiskas un ķīmiskas izcelsmes mēslojuma veidus. PEFC sertifikācijas nacionālā standarta esošajā redakcijā, atšķirībā no pirms 2010. gada izmantotā standarta un FSC sertifikācijas standarta, vairs nav uzsvērtā koksnes pelnu, kā barības vielu iznesi kompensējošā mēslojuma, izmantošanas iespēja.

PEFC starptautiskajā standartā teikts, ka mēslojuma izmantošana mežā ir jāveic kontrolētā veidā, ņemot vērā ietekmes uz vidi aspektus (*PEFC international standard requirements for certification schemes, PEFC ST 1003:2010, Sustainable Forest Management – Requirements*, 2010). Netiek izdalīti dabiskas un mākslīgas izcelsmes mēslošanas līdzekļi un dažādi mēslojuma izmantošanas veidi.

Kā mēslojuma (angliskajā variantā) izmantošanu aprakstošie indikatori PEFC standartā ir norādīti: mežaudžu un vai izcirtumu platības izmaiņas, kur lietots mēslojums. Pārējās prasības attiecas uz augu aizsardzības līdzekļu lietošanu, tajā skaitā kārtība augu aizsardzības līdzekļu lietošanai, uzskaitēi un apmācībai (*PEFC Mežu apsaimniekošanas sertifikācijas standarts Latvijai*, 2010).

Latvijā reģistrēto mēslošanas līdzekļu sarakstu saskaņā ar Mēslošanas līdzekļu aprites likumu uztur Valsts augu aizsardzības dienests (*Mēslošanas līdzekļu aprites likums*, 2006). Aktualizēts reģistrēto mēslošanas līdzekļu saraksts ar atzīmi par tā ražošanas metodi (ķīmiskas vai dabiskas izcelsmes) ir iekļauts Ministru kabineta noteikumos Nr. 530 (Rīgā, 2006. gada 27. jūnijā) Mēslošanas līdzekļu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi (Ministru Kabinets, 2006).

Dabiskais slāpekļa mēslojums ir, piemēram, Čīles salpetris, ko ražo no tīrradņa Čīles salpetra, pamatsastāvdaļa – nātrija nitrāts (NaNO_3), slāpekļa tīrvielas saturam jābūt vismaz 15 % (N- NO_3). Latvijā neizdevās atrast šī mēslošanas līdzekļa izplatītājus. Var iegādāties ķīmiskā ceļā iegūtu NH_4NO_3 mēslojumu, taču tas neatbilst dabisku minerālmēsļu statusam. Amonija nitrāta cena ir aptuveni 190 Ls tonnā. Latvijā nav pieejams dabiskais Čīles salpetris rūpnieciskai izmantošanai nepieciešamā apjomā, tāpēc jāreķinās ar nepieciešamību veikt meža mēslošanas ietekmes uz vidi novērtējumu, pielietojot lauksaimniecībā izmantotos slāpekļa mēslojuma veidus.

PSRS meža mēslošanā izmantoja karbamīdu un amonija nitrātu. Kā būtiskākais karbamīda trūkums atzīta tā augstā cena un slāpekļa zudumi (līdz 30 %), ja mēslojumu iestrādā karstā laikā. Amonija nitrāta galvenais trūkums ir tā higroskopiskums. Komplekso mēslojumu (piemēram, nitrofoska) PSRS meža mēslošanā izmantoja tikai izmēģinājumos, jo šis mēslojums bija būtiski dārgāks, nekā vienkāršie mēslojumi.

Daudz lielāks ir dabiskas izcelsmes fosfora minerālmēsļu piedāvājums. Vienkāršo superfosfātu iegūst, apstrādājot sasmalcinātus fosforītus vai apatītus ar sērskābi; tā pamat-sastāvdaļas ir kalcija dihidrogēnfosfāts un kalcija sulfāts, satur 16 % neitrālā amonija citrātā šķīstoša fosfora (P_2O_5), vismaz 93 % deklarētā P_2O_5 daudzuma ir ūdenī šķīstošā veidā. Koncentrēto superfosfātu iegūst, apstrādājot sasmalcinātus fosforītus vai apatītus ar sērskābi un fosforskābi, tā pamat-sastāvdaļas ir kalcija dihidrogēnfosfāts un kalcija sulfāts, satur 25 % neitrālā amonija citrātā šķīstoša fosfora (P_2O_5), vismaz 93 % deklarētā P_2O_5 daudzuma ir ūdenī šķīstošā veidā. Divkāršais superfosfāts iegūts, apstrādājot sasmalcinātus fosforītus vai apatītus ar fosforskābi, tā pamatsastāvdaļa – kalcija dihidrogēnfosfāts, satur 38 % neitrālā amonija citrātā šķīstoša fosfora (P_2O_5), ne mazāk kā 93 % deklarētā fosfora daudzuma ir ūdenī šķīstošā veidā. Superfoss iegūts, apstrādājot sasmalcinātu fosforītu ar sērskābi vai fosforskābi, tā pamat-sastāvdaļas – kalcija dihidrogēnfosfāts, kalcija fosfāts un kalcija sulfāts, satur 20 % minerālskābēs šķīstoša fosfora (P_2O_5), vismaz 40 % deklarētā P_2O_5 daudzuma ir ūdenī šķīstošā veidā.

Precipitāts iegūts, izgulsnējot fosforskābi no fosforu saturošiem iežiem vai kauliem, tā pamatsastāvdaļa – kalcija hidroģēnfosfāts, satur 38 % bāziskā amonija citrātā šķīstoša fosfora (P_2O_5). Kalcija termofosfāts iegūts, paaugstinātā temperatūrā apstrādājot maltus fosforītus ar bāziskiem šķīdumiem un silīcijskābi, tā pamat-sastāvdaļas – bāziskais kalcija fosfāts un kalcija silikāts, satur 25 % bāziskā amonija citrātā šķīstoša fosfora (P_2O_5). Alumīnija-kalcija fosfāts iegūts, termiski apstrādājot un samaļot fosforītus un/vai apatītus (amorfā formā), tā pamatsastāvdaļa – alumīnija un kalcija fosfāti, satur 30 % minerālskābēs šķīstoša fosfora (P_2O_5), vismaz 75 % deklarētā P_2O_5 daudzuma ir bāziskā amonija citrātā šķīstošs. Fosforītmilti iegūti, samaļot fosforītus, to pamatsastāvdaļas – kalcija fosfāts un kalcija karbonāts, satur 25 % minerālskābēs šķīstoša fosfora (P_2O_5), vismaz 55 % deklarētā P_2O_5 daudzuma ir 2 % skudrskābē šķīstošais fosfors (P_2O_5). Fosforu saturoši izdedži (Tomasmilti) iegūti dzelzs kausēšanas procesā, to pamat-sastāvdaļas – kalcija silikāt-fosfāti, satur 12 % minerālskābēs šķīstoša fosfora (P_2O_5), vismaz 75 % deklarētā P_2O_5 daudzuma ir divprocentīgā citronskābē šķīstošais fosfors (P_2O_5). Efektīvākais (ar lielāko aktīvās vielas saturu) fosforu saturošais mēslošanas līdzeklis ir superfosfāts un divkārsšais superfosfāts. Šajos mēslošanas līdzekļos esošais fosfors ātri atbrīvojas vidē un ir pieejams augiem. Lēni šķīstošu fosfora savienojumu priekšrocība ir tajā apstākļi, ka tie ir grūtāk pieejami lakstaugiem un koki tos varēs saistīt ilgākā laika posmā, lai gan izmēģinājumi par dažādu mēslošanas līdzekļu efektivitāti šādā kontekstā vismaz Ziemeļvalstīs nav veikti. Superfosfāts un divkārsšais superfosfāts ir pieejams arī Latvijā. PSRS ziemeļu daļā veiktajos meža mēslošanas izmēģinājumos izmantoja superfosfātu un dubulto superfosfātu. Būtiskākais šo mēslošanas līdzekļu trūkums ir to higroskopiskums, augsta ūdens piesaistīšanas spēja, kā rezultātā uzglabājot mēslojums savilgst, kas apgrūtina minerālmēslojuma izmantošanu. Superfosfāta cena ir aptuveni 180 Ls tonnā. Superfosfāts iegūts no dabiskiem minerāliem, tāpēc tas formāli tas atbilst FSC prasībām par minerālmēslu izcelsmi, taču mēslojuma bagātināšana notiek ķīmiskā ceļā, tāpēc, visticamāk, arī šī mēslojuma izmantošanai būs nepieciešams ietekmes uz vidi vērtējums. Fosforītmiltus būtu lietderīgi izmantot meliorētās platībās, kur palielinās fosfora izskalošanās un ūdenskrātuviņu piesārņojuma risks, tāpēc lēni šķīstošo fosforītmiltu izmantošana var būt drošāks meža mēslošanas paņēmieni.

Liels piedāvājums ir arī dabiskas izcelsmes kālija minerālmēsliem. Kainīts iegūts, samaļot dabīgos kālija sāļus, pamatsastāvdaļas – kālija hlorīds un magnija sulfāts, satur 10 % ūdenī šķīstošu kāliju (K_2O) un 3 % ūdenī šķīstošu magniju (Mg). Bagātināta kālija sāls iegūta, samaļot dabīgos kālija sāļus un bagātinot tos ar kālija hlorīdu, mehāniski sajaucot, satur 18 % ūdenī šķīstoša kālija (K_2O), var saturēt vairāk nekā 3 % magnija sāļu. Kālija hlorīdu iegūst, samaļot dabīgos kālija sāļus, pamatsastāvdaļa – kālija hlorīds, satur 37 % ūdenī šķīstoša kālija (K_2O). Magniju saturošs kālija hlorīds iegūts, samaļot dabīgos kālija sāļus un pievienojot magnija sāļus, pamatsastāvdaļas – kālija hlorīds un magnija sāļi (37 % ūdenī šķīstošais kālijs (K_2O) un 3,0 % ūdenī šķīstošais magnijs (Mg)). Kizerīts ar kālija sulfātu iegūts, samaļot kizerītu, pievienojot kālija sulfātu, satur 4,8 % ūdenī šķīstoša magnija (Mg), 6 % ūdenī šķīstoša kālija (K_2O), maksimālais hlora (Cl) saturs 3 %. Meža mēslošanai piemērotākais ir kālija hlorīds, kas satur salīdzinoši visvairāk kālija un kas ir ātri pieejams augiem. Šis mēslojuma veids ir biežāk izmantotais kālija mēslojums Latvijā. Pirms 20-40 gadiem veiktajos meža mēslošanas darbos PSRS ziemeļu daļā izmantota pārsvarā kālija sāls (KCl). Atsevišķos pētījumos kālija hlorīda izmantošana nav rekomendēta (Paxteenko *et al.*, 1986), lai gan nav zinātnisku pierādījumu par šajā mēslojumā esošo hlora negatīvu ietekmi uz mežaudzi. Kālija sulfāta izmantošanu neieteica sakarā ar šī mēslojuma veida lielajām izmaksām. Kālija hlorīda cena ir aptuveni 265 Ls tonnā.

Meža augšņu paskābināšanās problēma Latvijā nav aktuāla, taču nepieciešamības gadījumā ir plaša dažādu dabisku kalķošanas līdzekļu izvēle (Tab. 9). Izmantošanai mežā piemērotākais ir dolomīta smiltis vai rupji dolomītmilti. Šāds materiāls nerada putekļveida nosēdumus un iedarbojas lēni, neradot krasu augsnes skābuma izmaiņu risku. Alternatīvs kalķošanas materiāls ir koksnes pelnu no katlumājām, kas sadedzina koksni bez akmeņogļu piejaukuma. Koksnes pelnos ir augsta kālija (līdz 10% K), kalcija (līdz 21 % Ca) un magnija (līdz 3 % Mg) koncentrācija (Saez et al, 1998), tāpēc tos var izmantot gan kā kalķošanas materiālu, gan mēslošanas līdzekli. Pārreķinot uz kalcija karbonāta (CaCO_3) ekvivalentu, koksnes pelnu efektivitāte augsnes kalķošanā ir 40-60 %, atkarībā no nepilnīgi sadegušās koksnes, kalcija, magnija un kālija oksīdu daudzuma (Lazdiņš & Lazdiņa, 2007).

Tab. 9: Dabiskie kalķošanas materiāli (Ministru Kabinets, 2006)

Nosaukums	Ražošanas metode, pamat-sastāvdaļas	Kalcija karbonāta (CaCO_3) ekvivalents
Dolomīta karbonātkalķi	Rūpnieciski ražots kalķošanas materiāls, pamat-sastāvdaļas – kalcija un magnija karbonāti, kalcija un magnija oksīdi, kalcija un magnija hidroksīdi	105 %
Kalķakmens milti	Rūpnieciski ražots kalķošanas materiāls, pamatsastāvdaļa – kalcija karbonāts	80 %
Daļēji apdedzināts, malts dolomīts	Rūpnieciski ražots kalķošanas materiāls, pamat-sastāvdaļas – kalcija un magnija karbonāti, kalcija un magnija oksīdi, kalcija un magnija hidroksīdi	85 %
Dolomītmilti	Rūpnieciski ražots kalķošanas materiāls, pamat-sastāvdaļas – kalcija un magnija karbonāti	80 %
Elektrofiltru putekļi	Cementa rūpniecības atkritumprodukts, pamat-sastāvdaļas – kalcija oksīdi un nedaudz magnija oksīdu	70 %
Degakmens pelni	Rūpniecības atkritumprodukts, pamat-sastāvdaļas – kalcija oksīdi un nedaudz magnija oksīdu	60 %
Filtrkalķi	Cukura rūpniecības atkritumprodukts, pamat-sastāvdaļas – kalcija un magnija karbonāti. Nedaudz satur organiskās vielas, slāpekļa, fosfora, kālija u.c. augu barības elementus	30 %
Krīts	Rūpnieciski ražots kalķošanas materiāls, pamatsastāvdaļa – kalcija karbonāts	95 %
Dolomīta smiltis, rupjie dolomīta milti	Rūpnieciski ražots kalķošanas materiāls, pamat-sastāvdaļas – kalcija un magnija karbonāti	80 %

Bez makroelementiem koksnes pelni satur arī mikroelementus, pelnu ķīmiskais sastāvs ir atkarīgs no sadedzināto koku sugas (Bušs *et al.*, 1974), bet to struktūra no kurināmā veida un sadedzināšanas tehnoloģijas. Iepriekš Latvijas zinātnieku veiktajos pētījumos iegūtie dati par vidējo barības vielu saturu koksnes pelnos doti Tab. 10. No alkšņu malkas var iegūt ar augu barības elementiem visbagātākos pelnus.

Tab. 10: Vidējais barības vielu saturs dažādu koku sugu pelnos (%) pēc Bušs *et al.*, 1974

Kurināmais materiāls, malka	K_2O	P_2O_5	CaO	MgO	Fe_2O_3	MnO
Bērzs	8,73	3,29	31,8	6,72	1,23	1,12
Alksnis	10,24	5,57	36,2			
Osis	11,20	5,11	31,6			
Priede	9,46	2,53	32,6	4,59	1,67	
Egle	5,60	2,16	24,5	8,07	2,94	0,64
Sūnu kūdra	0,3-2,0	0,5-2,1	12,8 -29,8		3,2 -19,5	

Komplekso minerālmēsļu sastāvā parasti ir vismaz viens ķīmiskā ceļā iegūts komponents, tāpēc to izmantošanai saskaņā ar FSC prasībām jāveic ietekmes uz vidi vērtējums. Kompleksā mēslojuma izmantošana mežsaimniecībā būtu izdevīgāka, jo

samazinātos mēslojuma iestrādes izmaksas (vienā reizē iedodot visus nepieciešamos mikro un makroelementus) un tehnikas radītā ietekme uz vidi, jo samazinās tehnikas pārbraucienu skaits pa mežu. Komplekso mēslojuma veidu piemēri un to cenas dotas Tab. 11.

Tab. 11: Kompleksie mēslojuma veidi un to izmaksas

Nosaukums	Sastāvs	Cena, Ls tonna ⁻¹
Azofoska	Kompleksie NPK 16-16-16	250,00
Amofoska	NPK 5-10-25, Ca 8%, S 15%, B 0,1%	260,00
NPK ar mikroelementiem	NPK 12-5-14 vai līdzīgi ar Mg un S	270,00
NPK ar mikroelementiem bez Cl	11-9-20 bez Cl, S 16%, B 0,05%, Mg 1,5%	344,00
Yara NPK ar zemu N saturu	NPK 7-20-28, MgO 2 %, S 8 %, B 0,02 %, Fe 0,02 %, Mn 0,03 %, Zn 0,02 %	348,00

Organisko mēslošanas līdzekļu izmantošana meža mēslošanā nav reglamentēta, izņemot notekūdeņu dūņas un to kompostus, kuru devas un iestrādes paņēmieni ir noteikti Ministru kabineta noteikumos Nr.362. Saskaņā ar šiem noteikumiem augšņu ielabošanai un mēslošanai mežsaimniecībā izmanto tikai apstrādātas notekūdeņu dūņas un kompostu. Katras notekūdeņu dūņu un to komposta sērijas kvalitātes raksturošanai nosaka sausas saturu un smago metālu masas koncentrāciju. Mežsaimniecībā izmanto apstrādātas notekūdeņu dūņas un kompostu, kam saussnā smago metālu masas koncentrācija nepārsniedz MK noteikumu 9. pielikumā dotos koncentrācijas limitus (Tab. 12).

Tab. 12: Smago metālu masas koncentrācijas limits augsnes mēslošanai un rekultivācijai vai apglabāšanai sadzīves atkritumu poligonos un izgāztuvēs paredzētajās notekūdeņu dūņās un to kompostā

Nr.p.k.	Smagie metāli	Masas koncentrācija saussnā (mg kg ⁻¹)
1.	Kadmijijs (Cd)	10
2.	Hroms (Cr)	600
3.	Varš (Cu)	800
4.	Dzīvsudrabs (Hg)	10
5.	Niķelis (Ni)	200
6.	Svins (Pb)	500
7.	Cinks (Zn)	2500

Plantāciju mežos atļauts izmantot apstrādātas dūņas un kompostu, bet mazauglīgo smiltāju, degradēto meža augšņu un meža degumu apmežošanai – tikai kompostu. Pieļaujamie apstrādes veidi ir:

- mezofilā anaerobā sadalīšana 35 °C temperatūrā, minimālais apstrādes ilgums 21 diennaktis;
- termofilā anaerobā sadalīšana 55 °C temperatūrā, minimālais apstrādes ilgums 10 diennaktis;
- termofilā aerobā stabilizēšana 55 °C temperatūrā, minimālais apstrādes ilgums 10 diennaktis;
- kompostēšana, kuras laikā vismaz 3 diennaktis temperatūra kaudzes iekšienē, 50 cm no kaudzes virskārtas, ir ne mazāka par 60 °C;

- apstrāde ar kaļķi līdz pH 12 vai vairāk, ne mazāk kā divas stundas pēc tās temperatūrai jābūt vismaz 55 °C;
- pastērizācija vismaz 30 minūtes 70 °C temperatūrā;
- žāvēšana līdz 100 °C temperatūrā, līdz sausnas saturs dūņu masā sasniedz vismaz 70 %;

Formāli lielāko daļu notekūdeņu dūņu Latvijā apstrādā, taču faktiski tiek apstrādāta tikai neliela daļa notekūdeņu dūņu, ko pārstrādā kompostā. Pārējās dūņas tiek ilgstoši uzglabātas pirms izmantošanas, taču šis apstrādes veids nenodrošina dūņu higiēnisko un fizikālo īpašību uzlabošanu. Rīgas pilsētā dūņas apstrādā metāntenkos mezofilajā ciklā, taču šāda apstrāde neuzlabo dūņu higiēniskās īpašības, t.i. cilvēkiem un dzīvniekiem patogēno organismu daudzums pēc apstrādes nesamazinās vai pat pieaug. Drošākie dūņu apstrādes paņēmieni ir žāvēšana un kompostēšana. Žāvēšanu Latvijā nepielieto, bet kompostēšanas gadījumā būtiski noskaidrot kompostēšanas tehnoloģiju. Latvijā vairumā gadījumu par kompostētām dūņām sauc ilgstoši uzglabātas notekūdeņu dūņas, kas ir potenciāli bīstamas cilvēku un dzīvnieku veselībai. Kompostētas dūņas ir drošākas par pastērizētām vai aerobi stabilizētām dūņām, jo tajās darbojas 2 drošības mehānismi; pirmkārt, paaugstināta temperatūra, kurā iet bojā patogēni, un, otrkārt, kompostētās dūņas savairojas plēsīgi mikroorganismi, kas iznīcina atlikušos patogēnos mikroorganismus un helmintu oļiņas.

Izmantojot notekūdeņu dūņas vai kompostu mežsaimniecībā, notekūdeņu dūņas un komposti jāiestrādā augsnē un nav pieļaujama notekūdeņu dūņu izmantošana virsmēslošanai. Tas nozīmē, ka dūņas un to kompostus var izmantot kā starta mēslojumu plantācijās lauksaimniecības zemēs un atcelmotās platībās vai kā starprindu mēslojumu plantācijās, kur tehniski iespējama mēslojuma iestrādāšana arī pēc koku iestādīšanas. Latvijā ir veikti pētījumi par notekūdeņu dūņu un to kompostu pielietošanu smiltāju, meža degumu un noplicinātu lauksaimniecības zemju apmežošanā. Visos gadījumos iegūti pozitīvi rezultāti par dūņu ietekmi (Lazdiņš *et al.*, 2006; Lazdina *et al.*, 2007; Lazdiņa, 2009), taču dūņu un to kompostu pielietošanu mežsaimniecībā kavē intereses trūkums ūdenssaimniecības uzņēmumu pusē. Kamēr ūdens patērētāji nesegs visas ar dūņu apstrādi un izmantošanu saistītās izmaksas un netiks strikti ievērotas likumdošanā noteiktās prasības, notekūdeņu dūņu un to kompostu izmantošana mežsaimniecībā nebūs iespējama sakarā ar lielajām mēslojuma piegādes un iestrādes izmaksām.

Saskaņā ar MK noteikumiem Nr. 362 augsnē vienā reizē ar notekūdeņu dūņām vai kompostu drīkst iestrādāt tādu smago metālu (nosaka katram smagajam metālam atsevišķi) masu, kas nepārsniedz 5 gadu emisijas robežvērtības (Tab. 13). Augsnes izpēti pirms notekūdeņu dūņu vai komposta iestrādes nav nepieciešama.

Tab. 13: Smago metālu, slāpekļa un fosfora gada emisijas robežvērtības lauksaimniecībā izmantojamās augsnēs

Elements	Simbols	Mērv.	Deva ⁶
Kadmījs	Cd	g ha ⁻¹	30
Hroms	Cr	g ha ⁻¹	600
Varš	Cu	g ha ⁻¹	1000
Dzīvsudrabs	Hg	g ha ⁻¹	8
Niķelis	Ni	g ha ⁻¹	250

⁶ Smagajiem metāliem emisiju robežvērtības dotas smilts un mālsmilts augsnēs, māla un smilšmāla augsnēs pieļaujamas lielākas mēslojuma devas, taču, neveicot augsnes izpēti, ir jāizmanto mazākās pieļaujamās devas.

Latvijas un ārvalstu pieredze meža mēslošanā

Elements	Simbols	Mērv.	Deva ⁶
Svins	Pb	g ha ⁻¹	300
Cinks	Zn	g ha ⁻¹	5000
Amonija slāpekļis	N-NH ₄	kg ha ⁻¹	30
Kopējais fosfors	P	kg ha ⁻¹	40

Ja notekūdeņu dūņu vai komposta ražotājs un šī mēslojuma lietotājs vienojas par notekūdeņu dūņu vai komposta izmantošanu augšņu mēslošanai mežsaimniecībā, tie noformē rakstisku apliecinājumu, kas satur šādus dokumentus:

- notekūdeņu dūņu vai komposta sērijas kvalitātes apliecināšanas kopiju;
- kartogrāfisko materiālu (mērogā 1:10000 vai 1:5000) ar iezīmētām platībām, kurās paredzēts iestrādāt notekūdeņu dūņas vai kompostu.

Ja platība, kuru paredzēts mēslot ar notekūdeņu dūņām vai kompostu, atrodas īpaši aizsargājamā dabas teritorijā, notekūdeņu dūņu un komposta izmantošanu saskaņo ar reģionālo vides pārvaldi.

Dūņu izmantošanas apliecinājumā norāda:

- notekūdeņu dūņu vai komposta izmantošanas veidu;
- notekūdeņu dūņu vai komposta daudzumu;
- iestrādei paredzēto platību;
- iestrādei maksimāli pieļaujamo sausnas un dabiski mitru notekūdeņu dūņu vai komposta devu.

Notekūdeņu dūņu vai komposta ražotājs pirms notekūdeņu dūņu vai komposta iestrādes aprēķina iestrādei maksimāli pieļaujamo dabiski mitru notekūdeņu dūņu un komposta devu un paziņo to mēslojuma lietotājam. Katru apliecinājumu notekūdeņu dūņu ražotājs vai komposta ražotājs numurē un reģistrē īpašā žurnālā (*Ministru Kabineta noteikumi Nr. 362 Noteikumi par notekūdeņu dūņu un to komposta izmantošanu, monitoringu un kontroli*, 2006).

Vidējais Latvijas lielo pilsētu notekūdeņu dūņu sastāvs dots Tab. 14. Mēslojuma devu lielumu parasti nosaka kopējā slāpekļa vai fosfora koncentrācija notekūdeņu dūņās. Att. 8 redzams, ka atbilstoši Tab. 14 dotajām raksturīgajām elementu koncentrācijām dūņās vienā reizē var iestrādāt 15 tonnas notekūdeņu dūņu sausnas uz 1 ha (atbilstoši slāpekļa koncentrācijai dūņās). Šāds dūņu sausnas daudzums atbilst 60 tonnām dabiski mitru dūņu. Vienā reizē iestrādājamā slāpekļa daudzums atbilst 150 kg N ha⁻¹, bet fosfora daudzums – 197 kg P ha⁻¹. Fosfora saturs dūņās ir palielināts tad, ja to saista ķīmiski. Dūņās praktiski nav kālija.

Lai nodrošinātu barības vielu līdzsvaru, notekūdeņu dūņas un to kompostus ieteicams sajaukt ar koksnes pelniem, kuros ir daudz koku augšanai nepieciešamo katjonu (kālija, kalcija, magnija un citu). Koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs galvenokārt atkarīgs no sadegšanas procesa efektivitātes, t.i. cik daudz pelnos ir nesadegušo koksnes atlieku, kā arī no tā, vai tiek sajaukti sodrēji, ko savāc skursteņos un ko izgrābj no krāšņu sadegšanas kamerām. Skursteņa sodrējos smago metālu, it īpaši kadmija, koncentrācija ir būtiski lielāka, tāpēc šo pelnu frakciju neiesaka izmantot augsnes ielabošanai. Vidējais labi sadegušas koksnes pelnu sastāvs dots Tab. 14. Tabulā pieņemts, ka skursteņa un krāsns pelni ir sajaukti kopā.

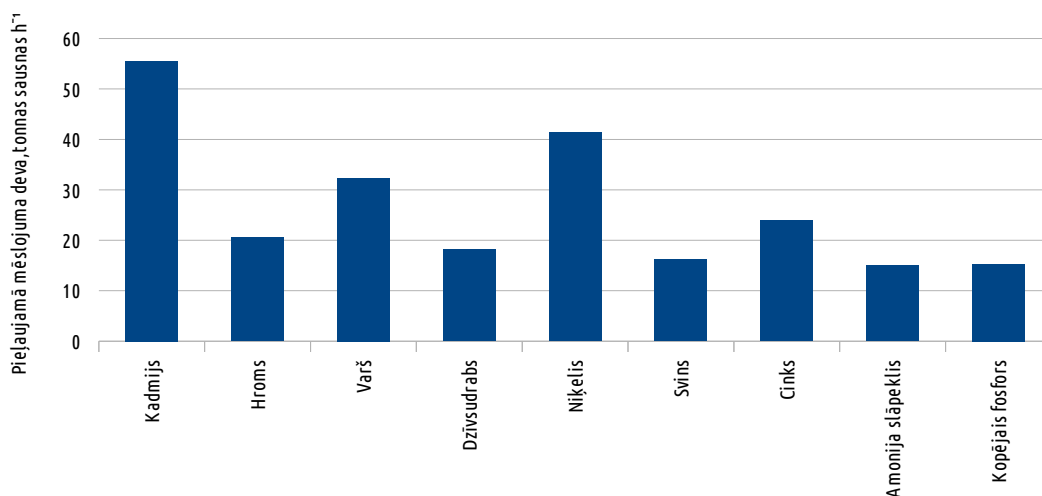
Ja šādus koksnes pelnus izmanto augsnes mēslošanai tīrā veidā, maksimāli pieļaujamā deva ir aptuveni 5 tonnas ^{sausnas} ha⁻¹, un to ierobežo kadmija koncentrācija, ja uz koksnes

pelniem attiecina notekūdeņu dūņu un to kompostu pielietošanas normatīvus (Att. 8). Ar šādu mēslojuma daudzumu augsnē ienes līdz 270 kg K ha⁻¹. Praksē ienestā kālija daudzums ir būtiski mazāks sakarā ar koksnes nepilnīgu sadegšanu un straujo kālija izskalošanos, ja pelnus uzglabā zem klājas debess.

Tā kā pelnu un dūņu sajaukšana var izsaukt strauju masas uzkaršanu, mitruma un gaistošu slāpekļa savienojumu izdalīšanos, maksimāli pieļaujamā deva jārēķina atbilstoši iegūtā maisījuma īpašībām.

Tab. 14: Vidējais notekūdeņu dūņu un koksnes pelnu sastāvs⁷.

Elements	Simbols	Mērvienība	Dūņas	Pelni
Kadmijijs	Cd	mg kg ⁻¹	2,7	28,6
Hroms	Cr	mg kg ⁻¹	146,2	225,0
Varš	Cu	mg kg ⁻¹	154,8	289,0
Dzīvsudrabs	Hg	mg kg ⁻¹	2,2	0,1
Niķelis	Ni	mg kg ⁻¹	30,2	64,0
Svins	Pb	mg kg ⁻¹	92,8	100,0
Cinks	Zn	mg kg ⁻¹	1 044,0	1,5
Kopējais slāpeklis	N	g kg⁻¹	24,2	0,2
Amonija slāpeklis	N-NH ₄	g kg ⁻¹	10,0	0,0
Kopējais fosfors	P	g kg⁻¹	13,1	28,0
Kopējais kālijs	K	g kg⁻¹	0,1	26,0
Tilpummasa	-	g kg ⁻¹	1,0	0,3
Organiskā viela	-	%	48,9	80,0
Mitrums	-	%	75,0	5,0



Att. 8 Maksimāli pieļaujamo mēslojuma devu lielums atbilstoši dažādu elementu koncentrācijai Tab. 14.

Organisko mēslošanas līdzekļu, kuru sastāvā nav notekūdeņu dūņas (Tab. 15), statuss attiecībā pret abām meža sertificēšanas sistēmām nav skaidrs. Formāli FSC sertificēšanas sistēma pieļauj šāda mēslojuma izmantošanu, jo tas ir dabiskas izcelsmes,

⁷ Dati izmantoti notekūdeņu dūņu un koksnes pelnu mēslojuma devas modelēšanas programmā.

bet atbilstoši PEFC prasību interpretācijai Latvijas standartā ietekmes uz vidi novērtējums nepieciešams arī tādā gadījumā, ja izmanto notekūdeņu dūņas nesaturošu organisko mēslojumu.

Jāņem vērā, ka slāpekļa saturs šādos mēslošanas līdzekļos ir niecīgs, tāpēc, lai ienestu nepieciešamo mēslojuma devu, jāizklieš vairākas tonnas mēslojuma, piemēram 100 kg N ienešanai ar mājputnu mēsliem, ir jāizklieš aptuveni 4 tonnas dabiski mitra materiāla uz 1 ha. Bioloģiski aktīva organiskā mēslojuma priekšrocība ir augsnes bioloģisko procesu aktivēšana, kā rezultātā atbrīvojas zemsegā un augsnes virskārtā ieslēgtais slāpeklis. Tāpēc arī ar salīdzinoši nelielām organiskā mēslojuma devām var panākt efektu, kas būtiski pārsniedz ar minerālmēsliem iegūstamo rezultātu.

Pagaidām maz pētīta bioloģiski neaktīvu vai mazaktīvu organiskā mēslojuma veidu, piemēram, pasterizētu vai žāvētu notekūdeņu dūņu ietekme uz kociņu attīstību. Žāvēšana ļauj būtiski samazināt ienesamā materiāla masu un atvieglo tā izklieššanu, attiecīgi samazinās degvielas patēriņš. Piemēram, 100 kg ienešanai ar dabiski mitrām dūņām mežā jāieved aptuveni 11 tonnas noturētu dūņu (sausnas saturs 30 %) vai 7 tonnas žāvētu dūņu (sausnas saturs 60 %).

Bioloģiski “pasterizētas” notekūdeņu dūņas, kas vienlaicīgi ir arī bioloģiski aktīvs mēslojums, ir notekūdeņu dūņu komposts. Šis materiāls gan sekmē augsnes mikrofloras attīstību un zemsegā saistīto barības vielu atbrīvošanos, gan ļauj samazināt piegāžu izmaksas, jo kompostēšanas procesā iztvaiko lielākā daļa dūņās uzkrātā ūdens. Komposta izklieššana ir vismaz tikpat vienkārša, kā žāvētu dūņu izklieššana. Jāņem vērā, ka kompostā ir līdz 2 reizes mazāk N, nekā notekūdeņu dūņās, tāpēc N pieejamība pieaugs, galvenokārt, pateicoties zemsegas mineralizācijai. Tas nozīmē, ka kompostu varētu izmantot pieaugušās skujkoku audzēs, lai veicinātu zemsegā ieslēgto barības vielu atbrīvošanos, taču ir jāatrisina notekūdeņu dūņu komposta iestrādes jautājums. Citi komposti, kas nesatur notekūdeņu dūņas, nav jāiestrādā augsnē. Kompostā var izmantot mazvērtīgās šķeldu frakcijas, piemēram, rupjos atbirumus un smalko frakciju, ja šķeldošanas procesā ievieš sijāšanu.

Organiskā mēslojuma būtisks trūkums ir arī lielās transportēšanas izmaksas, lai nogādātu materiālu uz mežu. Arī šajā etapā izdevīgāk izmantot žāvētas vai kompostētas dūņas, taču šie materiāli nav izmantojami augošās mežaudzēs saskaņā ar spēkā esošajiem normatīviem.

Tab. 15: Organiskie un organominerālie mēslošanas līdzekļi

Nr. p.k.	Mēslošanas līdzekļa nosaukums	Ražošanas metode un pamat-sastāvdaļas	Kvalitātes prasības
1.	Sapropelis	Organisko vielu un minerālvielu komplekss nogulums	Sausna – 10 % Organiskās vielas – 5 %
2.	Mājputnu mēsli	Iegūti, žāvējot vai citādi apstrādājot mājputnu mēslus	0,5 % (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) Sausna – 50 % Organiskās vielas – 30 %
3.	Zivju milti	Ražoti saskaņā ar regulā Nr. 1069/2009 ⁸ minētajām pārstrādes metodēm, bez citām piedevām	0,5 % (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) Sausna – 80 % Organiskās vielas – 50 %
4.	Mājlopu ragi un nagi	Ražoti saskaņā ar regulā Nr. 1069/2009 minētajām pārstrādes metodēm, bez citām piedevām	–
5.	Elļas augu sēklu izspaidas	Atlikumi, kurus iegūst, izspiežot un (vai) ekstrahējot elļu no sēklām, un kurus paredzēts lietot mēslojumam	–
6.	Apstrādāti organiskie un organominerālie mēslošanas līdzekļi	Iegūti: 1) gatavojot minerālmēsli un organisko mēsli maisījumus, tai skaitā no dzīvnieku izcelsmes blakusproduktiem, kas ražoti saskaņā ar regulā Nr. 1069/2009 minētajām pārstrādes metodēm, un (vai) no žāvētiem vai citādi apstrādātiem augu izcelsmes	0,5 % (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) Sausna – 10 % Organiskās vielas – 5 %

⁸

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2009R1069:20101109:LV:HTML>

Latvijas un ārvalstu pieredze meža mēslošanā

		produktiem; 2) no dzīvnieku izcelsmes blakusproduktiem, kas ražoti saskaņā ar regulā Nr. 1069/2009 minētajām pārstrādes metodēm; 3) žāvējot vai citādi apstrādājot augu izcelsmes produktus	
7.	Cietie organominerālie mēslošanas līdzekļi ar sekundārajiem elementiem un (vai) mikroelementiem	Cieti mēslošanas līdzekļi, kas iegūti no minerālmēsliem un augu izcelsmes organiskiem savienojumiem vai dzīvnieku izcelsmes blakusproduktiem, kuri ražoti saskaņā ar regulā Nr. 1069/2009 minētajām pārstrādes metodēm, tos mehāniski sajaucot, un ar papildu apstrādi vai bez tās	0,5% (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) Sausna – 10 % Organiskās vielas – 5 %
8.	Šķidrie organominerālie mēslošanas līdzekļi ar sekundārajiem elementiem un (vai) mikroelementiem	Šķidri mēslošanas līdzekļi, kuru ražošanā izmantoti minerālmēsli un dzīvnieku izcelsmes blakusprodukti, kuri ražoti saskaņā ar regulā Nr. 1069/2009 minētajām pārstrādes metodēm, vai augu izcelsmes organiski savienojumi	0,5 % (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) Sausna – 2 % Organiskās vielas – 1 %

Kā organisko mēslojumu nabadzīgās minerāl augsnes iespējams izmantot arī kūdru. Atkarībā no tā, kādos apstākļos kūdra ir veidojusies, izšķir trīs kūdras veidus, to ķīmiskā sastāva aptuvenie dati doti Tab. 16.

Tab. 16: Dažādu kūdras veidu ķīmiskais sastāvs, %, pēc Bušs *et al.*, 1974

Purvu kūdras veids	Pelnu saturs	N	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
Sūnu	1-5	0,80-1,20	0,15-0,65	0,06-0,20	0,06-0,15	0,04-0,12
Zāļu	8-15	2,30-3,75	1,80-4,50	0,25-0,65	0,06-0,20	0,12-0,50
Pārejas	5-8	1,00-2,30	0,50-2,50	0,10-0,20	0,08-0,12	0,10-0,20

Kūdras mēslojumam augsne sadaloties pakāpeniski atbrīvojas kūdrā esošās augu barības vielas un kļūst pieejamas mežaudzes augiem (Bušs *et al.*, 1974). Tomēr kūdras izmantošana varētu būt aktuāla ekstremālos gadījumos, piemēram, karjeru rekultivācijā, atjaunojot augsnes virskārtu, vai meža degumos, kur izdedzis augsnes auglīgais slānis.

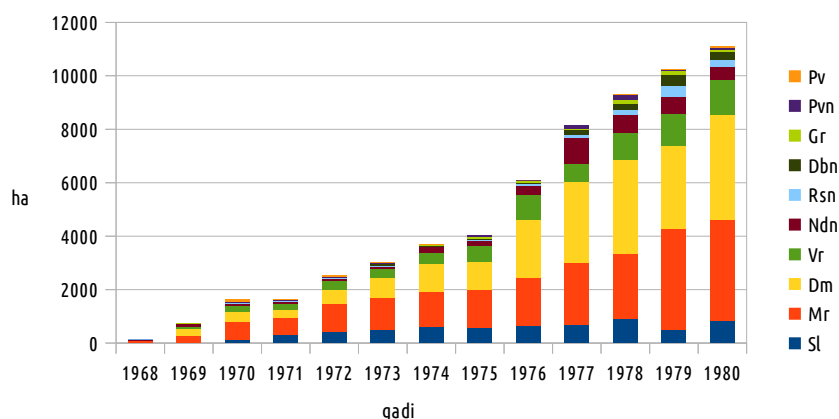
Latvijā veikto meža mēslošanas izmēģinājumu rezultāti

Meža mēslošanas pieredze Latvijā jau raksturota nodaļās “” un “”, tāpēc šajā nodaļā lielāka uzmanība pievērsta praktiskajai pieredzei meža mēslošanā.

Latvijā meža mēslošanu uzsāka 1968. gadā, kad mēslošanu veica tikai 4 audzēs, bet nākamajos gados jau 20, 22, 26 un 35 mežaudzēs un Mežu pētīšana stacijā “Kalsnava”. Pētījumi par meža mēslošanu un meža mēslošana rūpnieciskos mērogos turpinājās līdz iepriekšējā gadsimta astoņdesmitajiem gadiem (Kāposts, 1981).

Meža mēslošana Latvijā pagājušā gadsimta 70. gados bija nozīmīga meža apsaimniekošanas cikla sastāvdaļa; jau 1971. gadā minerālmēslojumu izmantoja 1650 ha platībā, 1972. gadā – 2500 ha, 1973. gadā – 3000 ha, 1974. gadā – 3600 ha, 1975. gadā – 4000 ha, bet 1976. gadā – 6100 ha platībā. Tā laika plānos bija palielināt mēslojamo mežaudžu platību līdz 8000 ha gadā (Капостс & Сацениекс, 1977).

Periodā no 1981. līdz 1985. gadam bija paredzēts mēslot ar minerālmēsliem apmēram 65 000 ha meža. Līdz 1980. gadam mēslošana bija veikta 62 251,9 ha mežu (Att. 9).



Att. 9: Meža mēslošanas aktivitāte Latvijā 1968-1980.gads pēc Kāposts, 1981.

Mēslojuma ienešanai izmantoja mazo aviāciju (AN-2 lidmašīnas), kas apkalpoja sākumā teritoriju 50 km rādiusā ap lidlauku, bet vēlāk – 10 km rādiusā ap lidlauku. Mēslojuma izkliedēšanas izmaksas tajā laikā bija 50 rubļi ha⁻¹, tajā skaitā ap 30 rubļi – mēslojums (Капустс & Сацениекс, 1977).

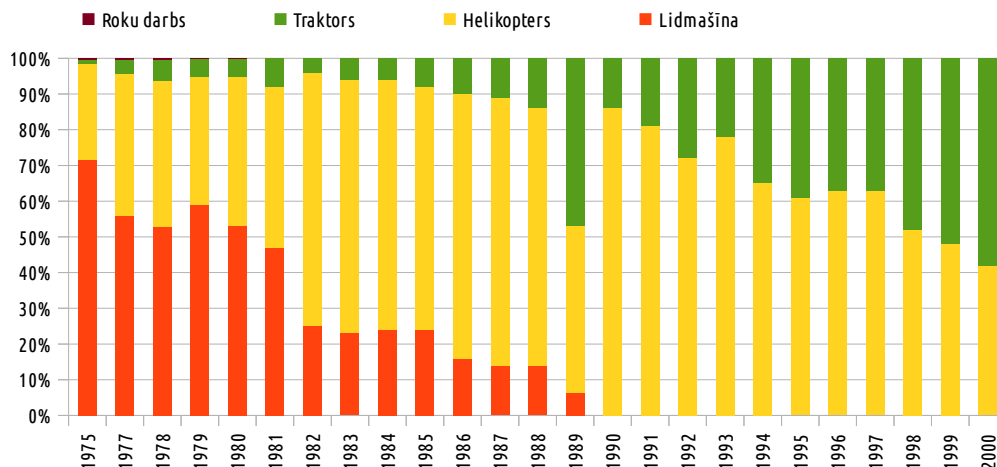
1989. gadā meža mēslošanu oficiāli pārtrauca (Špalte, 1991), par iemeslu minot lielās aviācijas pakalpojumu izmaksas.

Meža mēslošanas pieredze Ziemeļvalstīs

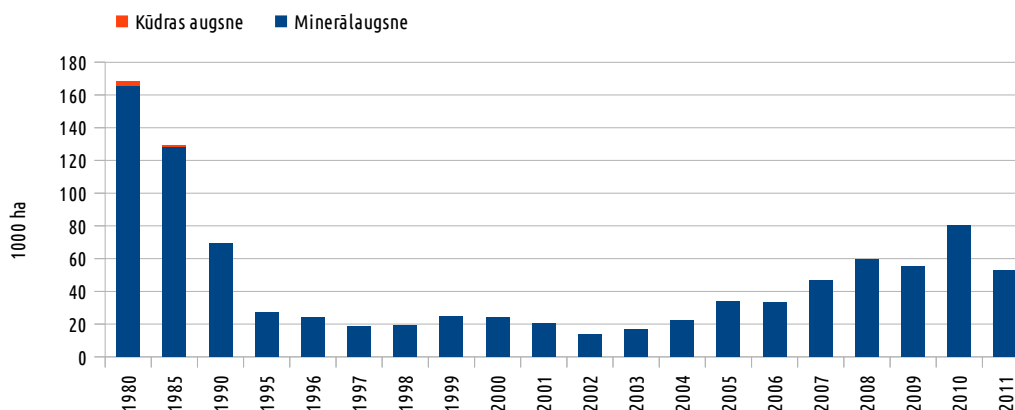
Salīdzinājumam, Zviedrijā pagājušā gadsimta 70. gados lidmašīnas izmantotas mēslojuma izkliedēšanai 53-71 % gadījumu, bet, ja pieskaita helikopterus, aviāciju izmantoja mēslojuma izkliedēšanai vairāk nekā 90 % gadījumu no mēslojamajām audzēm (Att. 10). Laika gaitā samazinājās lidmašīnu izmantošanas īpatsvars, 1990. gadā sasniedzot 0 %, bet helikopteri 2000. gadā izmantoti nedaudz vairāk kā 40 % gadījumu no mēslojamajām audzēm. Laika gaitā palielinājies traktortehnikas izmantošanas īpatsvars un 1999. gadā traktortehnika kļuva par dominējošo mēslojuma izkliedēšanas tehnisko risinājumu Zviedrijā, un šī risinājuma popularitāte, saskaņā ar zviedru ekspertu atzinumu turpina palielināties. Roku darbs izmantots nelielās platībās tikai 70. gados.

Saskaņā ar Zviedrijas meža aģentūras datiem 1980. gadā meža mēslošana notika gandrīz 170 tūkst. ha platībā, bet turpmākajos gados strauji samazinājās, nokrītot līdz vidēji 20 tūkst. ha gadā. Meža mēslošanas apjoms pieauga pēc 2004. gada, sasniedzot 52 tūkst. ha 2011. gadā (Att. 11).

Latvijas un ārvalstu pieredze meža mēslošanā



Att. 10: Meža mēslošanas tehniskais risinājums Zviedrijā⁹.



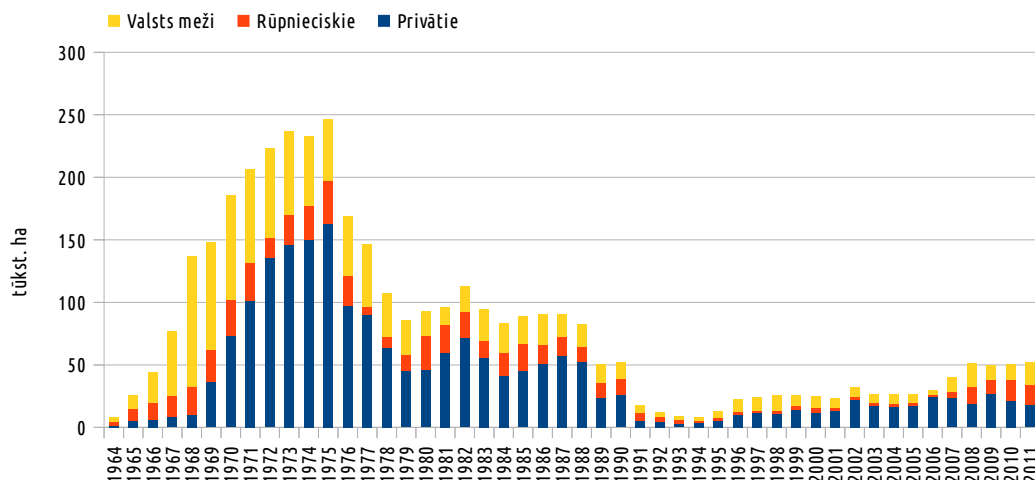
Att. 11: Meža mēslošana Zviedrijā¹⁰.

Somijā meža mēslošana uzplaukuma laiks bija pagājušā gadsimta 70. gadi, kad ik gadu mēsloātā platība pietuvojās 250 tūkst. ha. Pagājušā gadsimta 80. gados meža mēslošana samazinājās līdz aptuveni 90 tūkst. ha gadā, bet 90. gadu sākumā nokritās gandrīz līdz nullei. Pēdējos gados meža mēslošanu Somijā veic vidēji 50 tūkst. ha platībā ik gadu (Att. 12). Salīdzinājumam, jaunaudzū kopšanu katru gadu veic vidēji 200 tūkst. ha platībā (Ylitalo, 2012). Līdz pagājušā gadsimta 90. gadiem mēslošanu veica galvenokārt privātpersonām piederošās mežaudzēs, bet pēdējos gados privātajos, valsts un uzņēmumiem piederošajos mežos mēsloto platību īpatsvars ir izlīdzinājies.

⁹ Zviedrijas meža aģentūras dati.

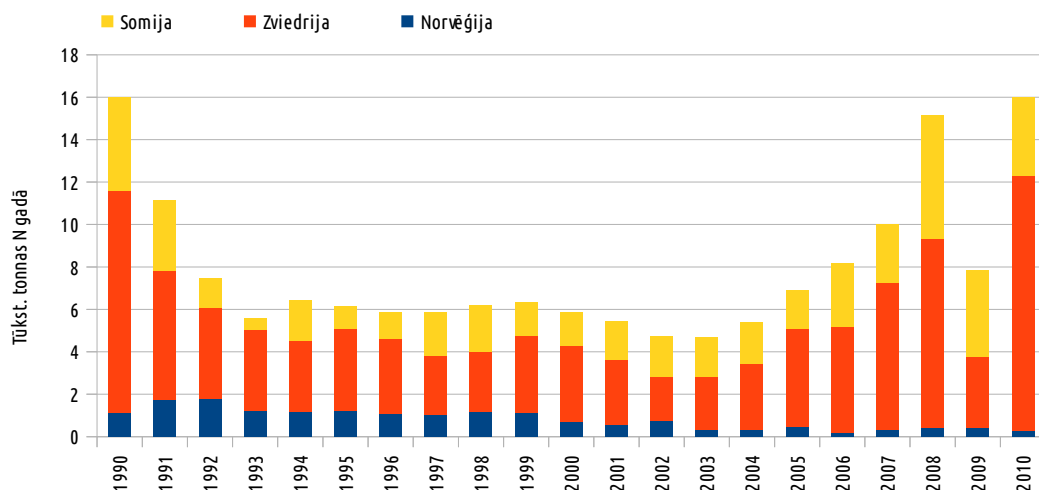
¹⁰ Zviedrijas meža aģentūras dati.

Latvijas un ārvalstu pieredze meža mēslošanā



Att. 12: Meža mēslošana Somijā (Ylitalo, 2012).

Saskaņā ar SEG inventarizācijas pārskatu, kurā ietver informāciju par meža mēslošanas radītajām emisijām, meža mēslošana ar N saturošiem minerālmēsliem no Eiropas valstīm notiek tikai Somijā, Zviedrijā un Norvēģijā. Kopā šajās valstīs 2010. gadā izmantotas 16 tūkst. tonnas N mēslojuma, tajā skaitā lielākā daļa Zviedrijā (Att. 13). Norvēģijā, pretēji pārējām Ziemeļvalstīm, vērojams minerālmēslojuma izmantošanas samazinājums.



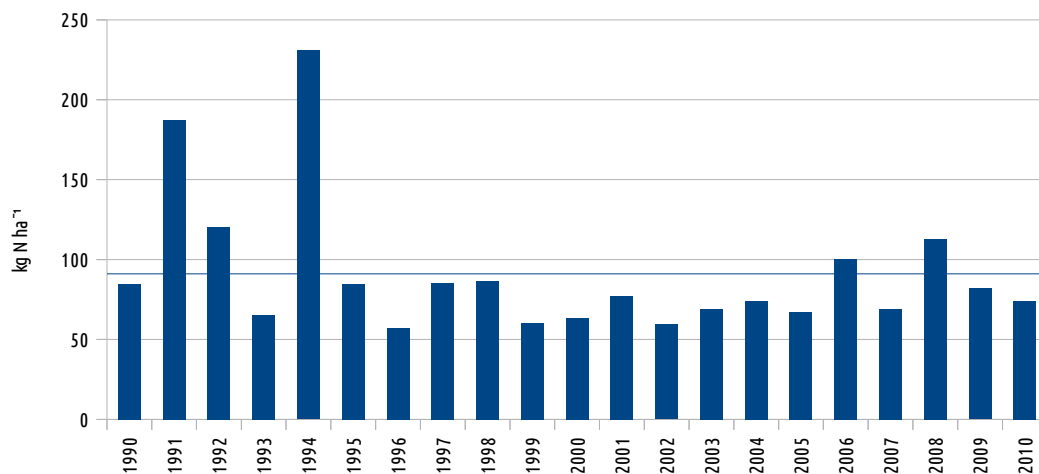
Att. 13: Mežā izmantojamais N mēslojums¹¹.

Mēslojuma devu var novērtēt, salīdzinot izmantotā mēslojuma daudzumu un mēslo to platību. Zviedrijas gadījumā šie dati šķiet maz ticami, jo vidējā mēslojuma deva atbilstoši aprēķinu rezultātiem ir 180 kg N ha^{-1} un tā svārstās no 760 kg N ha^{-1} līdz

¹¹ SEG inventarizācijas datu apkopojums.

Latvijas un ārvalstu pieredze meža mēslošanā

34 kg N ha⁻¹. Somijā mēslojuma devas aprēķins dod ticamākus rezultātus – vidējā mēslojuma deva ir 91 kg N ha⁻¹ (Att. 14).



Att. 14: Vidējās mēslojuma devas aprēķins Somijā¹².

¹² SEG inventarizācijas datu un statistikas gadagrāmatā publicētās informācijas apkopojums.

Likumdošanas analīze

Augsnes un grunts kvalitātes normatīvi attiecībā uz varu (Cu), svini (Pb), cinku (Zn), niķeli (Ni), arsēnu (As), kadmiju (Cd), hromu (Cr), dzīvsudrabu (Hg), naftas produktiem, poliaromātiskajiem ogļūdeņražiem (PAH) un polihlorbifeniliem (PCB) (*Ministru kabineta noteikumi Nr. 804 Noteikumi par augsnes un grunts kvalitātes normatīviem*, 2005) parādīti Tab. 17.

Tab. 17: Smago metālu koncentrāciju limitējošās vērtības augsnē¹³

Parametrs	Mērvienība	Smilts			Mālsmilts			Smilšmāls			Māls		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Cu	mg kg ⁻¹	4	30	150	7	40	150	12	50	150	19	60	150
Pb	mg kg ⁻¹	13	75	300	13	100	500	16	200	500	23	200	500
Zn	mg kg ⁻¹	16	250	700	24	250	700	46	350	700	70	350	700
Ni	mg kg ⁻¹	3	50	200	8	75	200	16	75	200	28	100	200
As	mg kg ⁻¹	2	10	40	2,5	10	40	3	15	40	5,5	20	40
Cd	µg kg ⁻¹	80	3000	8000	90	3000	8000	180	4000	10000	200	4000	10000
Cr	mg kg ⁻¹	4	150	350	11	150	350	22	170	350	40	170	350
Hg	µg kg ⁻¹	250	2000	10000	540	2000	10000	800	3000	10000	800	3000	10000

Saskaņā ar BioSoil projekta datiem mežā sastopamas galvenokārt mālsmilts un smilšmāla augsnes, kā arī augsnes uz organiska pamatmateriāla. Organiskās augsnes var pielīdzināt māla augsnēm Tab. 17. Vara (Cu) koncentrācija nevienā no meža tipiēm nepārsniedz pieļaujamās koncentrācijas; svina (Pb) koncentrācija augsnē ir paaugstināta purvaiņos, mežaudzēs uz organiskām augsnēm; cinka (Zn) un niķeļa (Ni) koncentrācija meža augsnēs būtiski atpaliek no maksimāli pieļaujamajiem rādītājiem; kadmija (Cd) koncentrācija meža augsnēs ir tuvu mērķlielumam noteikumos par augsnes un grunts kvalitātes normatīviem vai pārsniedz to (ja organiskās augsnes pielīdzina māla augsnēm), hroma (Cr) un dzīvsudraba (Hg) koncentrācija meža augsnēs ir būtiski mazāka par mērķlielumiem (Tab. 18). BioSoil rezultātu apkopojums liecina, ka meža mēslošanā īpaša uzmanība jāpievērš Cd koncentrācijai mēslošanas līdzekļos, lai neradītu augsnes piesārņojumu ar Cd. Vislielākajā mērā tas attiecas uz koksnes pelniem, kas var saturēt daudz Cd savienojumu, ja pelni savākti skursteņos

Tab. 18: Smago metālu koncentrācija mežā augsnes virskārtā (0-10 cm dziļumā) atbilstoši projekta BioSoil rezultātiem

Edafiskā rinda	Meža tips	Pb, mg kg ⁻¹	Cd, mg kg ⁻¹	Zn, mg kg ⁻¹	Cr, mg kg ⁻¹	Ni, mg kg ⁻¹	Hg, mg kg ⁻¹	Cu, mg kg ⁻¹
Āreņi	Am	8,39	0,11	4,20	4,15	1,61	0,08	4,63
	Ap	11,72	0,14	24,66	12,05	6,11	0,11	5,09
	As	8,28	0,08	5,19	4,06	1,56	0,04	2,45
	Vidēji	8,96	0,10	8,59	5,58	2,42	0,06	3,49
Kūdreņi	Ks	23,29	0,31	41,96	6,78	4,55	0,18	10,60
Purvaiņi	Db	37,94	0,62	16,00	4,09	2,36	0,25	8,93
	Nd	20,74	0,43	15,59	3,77	1,67	0,20	6,65
	Pv	29,15	0,56	22,41	3,37	2,73	0,12	2,90

¹³ mērķlielums (A vērtība) – norāda maksimālo līmeni, kuru pārsniedzot nevar nodrošināt ilgtspējīgu augsnes un grunts kvalitāti; piesardzības robežlielums (B vērtība) – norāda maksimālo piesārņojuma līmeni, kuru pārsniedzot iespējama negatīva ietekme uz cilvēku veselību vai vidi, kā arī līmeni, kāds jāsasniež pēc sanācijas, ja sanācijai nav noteiktas stingrākas prasības; kritiskais robežlielums (C vērtība) – norāda, ka, to sasniegto vai pārsniedzot, augsnes un grunts funkcionālās īpašības ir nopietni traucētas vai piesārņojums tieši apdraud cilvēku veselību vai vidi.

Likumdošanas analīze

Edafiskā rinda	Meža tips	Pb, mg kg ⁻¹	Cd, mg kg ⁻¹	Zn, mg kg ⁻¹	Cr, mg kg ⁻¹	Ni, mg kg ⁻¹	Hg, mg kg ⁻¹	Cu, mg kg ⁻¹
	Vidēji	25,60	0,49	17,60	3,70	2,07	0,18	5,90
Sausieņi	Dm	7,74	0,05	9,68	4,69	2,18	0,03	2,25
	Ln	6,09	0,03	8,79	3,01	1,48	0,01	1,31
	Mr	5,49	0,03	6,79	1,70	0,75	0,01	3,19
	Sl	10,90	0,17	17,17	1,57	0,97	0,07	1,90
	Vr	11,92	0,12	25,92	12,71	7,18	0,06	7,00
	Vidēji	8,32	0,07	13,52	5,76	3,02	0,03	3,24
Slapjaini	Dms	13,35	0,13	3,61	1,63	0,86	0,08	2,93
	Vrs	15,62	0,16	41,27	22,76	12,35	0,08	15,32
	Vidēji	14,77	0,15	27,15	14,84	8,04	0,08	10,67
Visi meža tipi		11,82	0,14	17,13	6,45	3,43	0,07	4,88

Lielā kadmija vai kāda cita smago metālu koncentrācija, saskaņā ar MK noteikumos Nr. 530 (Tab. 19) teikto, var traucēt koksnes pelnu izmantošanu meža mēslošanā.

Tab. 19: Nevēlamo piemaisījumu maksimāli pieļaujamā koncentrācija mēslošanas līdzeklī (Ministru Kabinets, 2006)

Mēslošanas līdzeklis	Nevēlamie piemaisījumi	Maksimāli pieļaujamā koncentrācija	Noteikšanas metode
Fosforu saturošie minerālmēsli	kadmiji (Cd)	60 mg Cd kg ⁻¹ P ₂ O ₅	Nosaka karaļūdens ekstraktā
Organominerālie un organiskie mēslošanas līdzekļi un kaļķošanas materiāli, netipiskie mēslošanas līdzekļi un augu augšanas veicinātāji	dzīvsudrabs (Hg)	2,0 mg kg ⁻¹	Nosaka karaļūdens ekstraktā
	kadmiji (Cd)	3,0 mg kg ⁻¹	Nosaka karaļūdens ekstraktā
	arsēns (As)	50 mg kg ⁻¹	Nosaka karaļūdens ekstraktā
	niķelis (Ni)	100 mg kg ⁻¹	Nosaka karaļūdens ekstraktā
	svins (Pb)	150 mg kg ⁻¹	Nosaka karaļūdens ekstraktā
	varš (Cu)	600 mg kg ⁻¹	Nosaka karaļūdens ekstraktā
	cinks (Zn)	1500 mg kg ⁻¹	Nosaka karaļūdens ekstraktā

Lai samazinātu smago metālu saturu pelnos līdz normatīvos noteiktajām robežām, tos var sajaukt ar slāpekli saturošu mēslojumu, kurā nav smago metālu, piemēram, kūtsmēsliem, vai nekaitīgas minerālvielas saturošu materiālu (piemēram, smiltīm), taču šādā gadījumā proporcionāli pieaug transportējamā un izkliedējamā materiāla masa. Kadmija saturu pelnos var samazināt, nodalot sodrēju frakciju, ko savāc skurstenī, un birstošo smago pelnu frakciju, ko savāc no kurtuves, jo lielākā daļa kadmija koncentrējas sodrējos.

Uz meža mēslošanu neattiecas lauksaimniecības zemēs spēkā esošie nosacījumi par mēslojuma izmantošanu, tajā skaitā par mēslojuma devām. Tas nozīmē, ka ir jāizstrādā pamatojums devu noteikšanai un mēslojuma pielietošanas labas prakses noteikumi.

Meža mēslošanas ietekme uz vidi

Mēslošanas ietekme uz augsnes īpašībām

Koksnes pelni

Kopš rūpnieciska mēroga katlu mājās koksnes pelnu saturs ir vien 1% no kurināmā sākotnējās masas, Zviedrijā pelnu izmantošana meža mēslošanai ir kļuvusi ražotājam izdevīga (Samuelsson, 2002), Kanādā to izmanto augsnes kaļķošanai (Sharifi *et al.*, 2013). Pirms 20 gadiem Anglijā koksnes pelnus izmantoja, utilizējot kā mēslojumu lauksaimniecības zemēs, kā arī kā notekūdeņu dūņu mēslojuma piemaisījumu, cementa ražošanā kā skrubi, ceļu būvniecībā Zviedrijā un ASV (Pitman, 2006a).

Jau kopš 1935. gada koksnes pelnus Somijā izmanto otrās aprites skujkoku audžu mēslošanai susinātos kūdrājos (Hakkila, 1989; Korpilahti *et al.*, 1999). Pētījumi turpinās, izmantojot pelnus kā dabiskas izcelsmes pH līmeņa samazināšanas un bioloģiskās daudzveidības paaugstināšanas līdzekli (Pitman, 2006b, Nasi *et al.*, 2005). Zviedrijas pētnieki ir sekmīgi ieviesuši praksē bioenerģijas ieguves blakusprodukta koksnes pelnu izmantošanu meža mēslošanā gan kūdras, gan podzola augsnēs, pētīta arī smago metālu, tai skaitā Cs koncentrācija (Aronsson, 2007; Saarsalmi *et al.*, 2012). Zviedrijas dienvidu reģionos aktuāla augsnes ielabošana un kaļķošana, izmantojot pelnus (Lundström *et al.*, 2003). Dānijā mēslošanai izmantojamie pelni rodas, sadedzinot dažādus organiskos materiālus: salmus, koksnes šķeldas, organiskos atkritumus, sīkkoksni, tāpēc koksnes pelniem ir ļoti dažādas īpašības, kā arī liels nevēlamo piemaisījumu saturs Møller & Ingerslev, 2001. Dānijā arī tagad pelni tiek izmantoti mēslošanai un turpinās pētījumi par vieglās pelnu frakcijas un smago metālu atdalīšanas paņēmieniem (Ingerslev *et al.*, 2011). Koksnes īpašības ir cieši saistītas ar koksnes pelnu saturu, koksnes pelnu saturs dažādām koku sugām dots Tab. 20. Zaru un mizas pelni ir ievērojami piesātinātāki ar minerālvielām nekā stumbra daļa, zaros un mizā esošās koncentrācijas ir pat 10 reizes lielākas nekā stumbra daļā noteiktās. Liels Ca un Si saturs ir zaru un mizas pelnos, bet Mn, Al un Si – stumbra daļā. Mizas pelnu saturs var būt pat 6 %, kamēr stumbra daļai tas ir tikai 0,25 %. (COFORD & Danish Energy Authority, 2005, Werkelin *et al.*, 2005, Tab. 21). Tātad mēslošanas nolūkiem sīkkoku un zaru pelni ir vērtīgāki, jo tajos vairāk augiem izmantojamo barības elementu.

Tab. 20: Elementu koncentrācija pelnos % no sausnes atkarībā no pelnu avota

	Koksnes atliekas, miza Campbell, 1990		Skuju koki Hakkila, 1989		Lapu koki Hakkila, 1989	
	Vidēji	intervāls	stumbrs	miza	stumbrs	miza
Ca	13,2	7,4–33,1	22,4	28,5	19	27,1
Fe	1,51	0,3–2,1	0,8	0,2	0,5	0,6
K	2,93	1,7–4,2	12,4	9,8	20,4	12,2
Mg	1,47	0,7–2,2	4,3	2,8	3,6	2,2
Mn	0,67	0,3–1,3	2,9	1,7	0,8	0,6
Na	0,24	0,2–0,5	–	–	–	–
P	0,79	0,3–1,4	2,4	2,8	4,2	3,4
S	0,56	0,4–0,7	2,3	1,2	2,1	1,1
Al	2	1,5–3,2	–	–	–	–
C	–	–	–	–	–	–

Meža mēslošanas ietekme uz vidi

	Koksnes atliekas, miza Campbell, 1990		Skuju koki Hakkila, 1989		Lapu koki Hakkila, 1989	
	Vidēji	intervāls	stumbrs	miza	stumbrs	miza
pH	12,7	11,7–13,1	–	–	–	–

Tab. 21: Koksnes pelnu sastāvs dažādām koku sugām (mg kg⁻¹)¹⁴

Elements	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si
Skuju koki										
<i>Pinus banksiana</i>	33,3	387	35,0	22,5	33,2	39,0	23,0	12,2	10,4	74,8
<i>Pinus sylvestris</i> (W)	1–18	600	3–15	300	120	70,0	3–22	30,0	NG	NG
<i>Picea abies</i> (W)	NG	700	NG	300	90,0	90,0	NG	20,0	NG	NG
<i>Pinus</i> sp.	4,7	290	5,8	162,5	70,3	40,4	0,6	8,4	10,7	ND
<i>Tsuga heterophylla</i>	11,1	421	9,1	25,3	79,0	19,0	8,2	9,2	5,6	46,7
Lapu koki										
<i>Betula</i> sp.	0,0	466	20,3	36,3	25,3	47,0	9,6	12,6	12,8	14,0
<i>Betula pubescens</i> (W)	3,0	500	7,0	400	90,0	90,0	7,0	40,0	100	90,0
<i>Acer</i> sp.	20,1	402	11,9	31,9	117,0	27,0	16,3	4,8	5,6	46,3
<i>Populus tremuloides</i>	1,4	212	2,6	112,5	35,5	1,4	0,6	11,8	7,0	1,1
<i>Populus</i> sp.	3,5	257	3,2	79,3	90,9	4,5	23,0	9,5	10,2	ND
<i>Quercus rubra</i>	6,8	366	NM	60,8	52,0	14,9	0,8	15,6	18,0	ND
<i>Quercus alba</i>	ND	314	0,9	102,5	75,7	1,4	ND	5,6	12,1	1,3

Pētījumos iegūti dati, ka koksnes pelnu saturs mainās to apstrādes procesā, tos stabilizējot un vēlāk smalcinot vai granulējot (Tab. 22), granulētiem pelniem raksturīgs lielāks K, P, S saturs, bet smalcinātiem salīdzinoši lielāks Na, Ca un Si oksīda procentuālais saturs.

Tab. 22: Elementu koncentrācijas stabilizētos, smalcinātos un granulētos koksnes pelnos % no sausas (Kellner and Weibull, 1998, Nilsson & Lundin, 1996).

Pelnu veids	Ca	Mg	K	Na	P	S	Zn	SiO ₂
Dabiski	21,1	2,0	3,2	1,1	1,2	1,2	0,1	11,8
Smalcināti	18,2	2,0	1,4	1,2	0,5	2,1	0,1	26,2
Granulēti	16,4	1,6	4,0	0,9	2,2	2,2	0,1	22,0

Mēslošanas vajadzībām piemērotākas ir koksnes pelnu smagās frakcijas, smagie metāli galvenokārt koncentrējas vieglajā frakcijās. Augstas temperatūras ietekmē smagos metālus saturošās smalkās daļiņas kopā ar tvaikiem ceļas augšup, sasniedzot vēsāku virsmu kondensējas uz tās, tāpēc mēslošanas nolūkiem kvalitatīvāku materiālu iespējams iegūt tajās katlu mājās, kur tiek atdalīta pelnu vieglā (putekļu) frakcija, to uzkrāj filtros (Hakkila, 1989, Tab. 23). Vienīgais smagais metāls, kura koncentrācija ir salīdzinoši lielāka pelnu smagajā frakcijā ir cinks (Nordin et al., 2005), netoksiskās devās cinks darbojas kā augu makroelements, kura trūkuma gadījumā ir traucēta galotnes pumpuru un garvasu attīstība.

Tab. 23: Biežāk sastopamās smago metālu koncentrācijas koksnes pelnos (mg kg⁻¹)

Elements	Vidējās vērtības kurtuvēs, kur netiek atdalītas vieglā un smagā pelnu frakcija Someshwar, 1996	Smagā pelnu frakcija Hakkila, 1989	Vieglā pelnu frakcija Hakkila, 1989
Hg	<3	<0,4	0–1
Se	<3	–	–

¹⁴ Dati (Werkelin et al., 2005) (W) krāsnīs ar 575°C. (Someshwar, 1996, Misra et al., 1993), (ND = nav noteikts, NM = nav mērīts, NG = nav doti dati.

Meža mēslošanas ietekme uz vidi

Elements	Vidējās vērtības kurtuvēs, kur netiek atdalītas vieglā un smagā pelnu frakcija Someshwar, 1996	Smagā pelnu frakcija Hakkila, 1989	Vieglā pelnu frakcija Hakkila, 1989
Cd	<25	0,4–0,7	6–40
Co	–	0–7	2–300
Mo	<50	–	–
As	–	0,2–3	1–60
Cr	–	>60	40–250
Ni	–	40–250	20–100
Pb	<110	15–60	40–10 ³
Cu	–	15–300	□200
V	–	10–120	20–30
Zn	>300	15–103	40–700
Mn	–	(2–5,5)103	(6–9)10 ³

Koksnes pelnu sārmainība un pielietojamās mēslojuma devas

Pētījumos, kur salīdzināta komerciālo augsnes kaļķošanas līdzekļu - dolomīta, kaļķakmens, dzēsto kaļķu un pelnu – iedarbība, konstatēts, ka koksnes pelnu kaļķošanas materiāla efektivitāte ir atkarīga no koksnes sugas un dimensijām (Hakkila, 1989, Campbell, 1990, Vance 1996). Piemēram, ASV koksnes pelni tiek uzskatīti par bīstamiem videi, ja to pH pārsniedz 12,5 (Someshwar, 1996). Atbilstoši kalcija karbonāta ekvivalentam (100 %), pelnu (hogged fuel ash) kaļķošanas efektivitāte būtiski variē 13,2-92,4 % (Hakkila, 1989, Clapham and Zibilske, 1992, Meiwes, 1995), ja tīras koksnes pelnu efektivitāte ir 115 % , tad koksnes ar mizu pelni sasniedz tikai 64 % no ekvivalenta, pelni no koksnes ar lielāku mizas īpatsvaru ir mazāk bāziski. Koksnes pelnu kā kaļķošanas materiāla efektivitāte ir atkarīga no pH, ko veido gan kalcija, gan magnija karbonāts. Atkarībā no sadegšanas pakāpes, koksnes pelnu sastāvā var būt arī ogle, kas samazina to neitralizēšanas efektivitāti. Tiek uzskatīts, ka no Eiropas koku sugām iegūto pelnu kaļķošanas kapacitāte ir apmēram 50 % no kaļķakmens iedarbības (Meiwes, 1995).

Koksnes pelnu ietekmes uz vidi pētījumu kopsavilkums

Pelnus, kas rodas kā blakusprodukts sadedzināšanai, siltuma vai elektroenerģijas ražošanai, var izmantot kā mēslošanas līdzekli meža ekosistēmā. Būtiskākie faktori, kas nosaka koksnes pelnu ķīmisko sastāvu ir koku sugas, kas tikušas sadedzinātas. Koksnes pelni no cietkoksnes sugām ir ar lielāku makroelementu koncentrāciju, kā arī kopējo pelnu procentuālo saturu nekā skujkoki. Krāsns temperatūrai 500-900 ° C ir izšķiroša nozīme, lai saglabātu augiem izmantojamus mikroelementus, īpaši kāliju, un tā ietekmē toksisko metālu, ieskaitot alumīniju, koncentrāciju pelnos. Vieglās pelnu daļiņas “Fly ash” komponents, kas uzkrājas filtru sistēmās vai skursteņu sienās, var būt ar augstu Cd, Cu, Cr, Pb un As koncentrāciju, tādus pelnus nedrīkst izmantot kā mēslojumu.

Pulverveida koksnes pelni atbrīvo Ca , K un Na straujāk nekā granulēto pelnu mēslojums. Koksnes pelnu mēslojuma radītais smago metālu, radionuklīdu un dioksīnu piesārņojums ir minimāls un tiem nav raksturīga būtiska ietekme uz ekosistēmu funkcijām. Koksnes pelnu efektu galvenokārt nosaka piemērotā mēslojuma daudzums, forma un augsnes tips. Pozitīva ietekme vērojama, izmantojot mēslojuma devas, kas nepārsniedz 10 tonnas ha⁻¹. Lielākajā daļā no meža tipiēm, cirtēs izvāktā koksne, tā, vai tai ekvivalenta apjoma sadedzināta cita koksne, kas pārvēršas par pelniem, ir atgriežama mežaudzē, kur tā var aizstāt visas uzturvielas, kas no mežaudzes iznestas pēc tā

nociršanas un izmantošanas (izņemot N). Ilgstošu pozitīva pelnu mēslojuma ietekme uz koka augšanu ir novērota seklās kūdras augsnēs, kurā, atbildot uz paaugstinātu pH un palielinātu barības vielu pieejamību, atbrīvojas humusa slānī ieslēgtās organiskās vielas un slāpekļi. Savukārt koksnes pelnu izmantošana podzolētās augsnēs ir efektīva tikai tad, ja ir nodrošināti nepieciešamie slāpekļa krājumi. Ir ļoti maz pētījumu par koksnes pelnu ietekmi uz kokiem, kas aug māla un smilšmāla augsnēs. Vislabākie rezultāti novērojami, izmantojot koksnes pelnus platībās, kur trūkst fosfora un ir paaugstināts augsnes skābums. Biežāk sastopamās negatīvās ietekmes ir uz acidofīlu ekosistēmām, sūnu segu, sūnām, augsnes baktērijām un ārējo mikorizu (Pitman, 2006).

pH izmaiņas mēslojuma ietekmē

Zviedrijas zinātnieku grupa ir izstrādājusi koksnes pelnu pielietošanas normatīvus dažādām koku sugām (Andersson et al., 1995), aprēķini veikti augsnēm, kurās organiskās vielas saturs ir vismaz 50 %, bet minerālvielu saturs līdz 20 %, ieteiktās mēslojuma devas ir no 2-5 tonnas ha⁻¹, šādi kaļķojama augsne dižskabārzu (*Fagus sylvatica* L.), ozolu (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), priežu (*Picea abies* L. Karst), egļu (*Pinus sylvestris* L.) un duglāziju (*Pseudotsuga menziesii* Franco) mežaudzēs. Skābās augsnēs ar biezu kūdras slāni optimālā pH sasniegšanai varētu būt nepieciešami pat 15 līdz 20 tonnas ha⁻¹ kaļķojamā materiāla (Meiwes, 1995), tomēr negatīvās ietekmes uz zemsedzes veģetāciju dēļ šādas devas praksē netiek lietotas. Ar maz apstrādātiem, nesasmalcinātiem koksnes pelniem parasti tiek panāktas straujākas augsnes pH izmaiņas (Kahl et al., 1996), vairāku autoru publikācijās norādīts, ka būtiskas augsnes pH izmaiņas novērotas tikai 5-6 gadus pēc pelnu izkliešanas (Jacobson et al., 2004). Podzola augsnē ar trūda slāni izkliešot 3,6 un 9 tonnas ha⁻¹, novērots būtiski paaugstināts noteces ūdeņu pH izmaiņas (Fransman and Nihlgard, 1995). Pētījumos Dienvidzviedrijā noteces ūdeņu pH lēna paaugstināšanās novērota pie 2,2 tonnas ha⁻¹ koksnes pelnu devas. Somijā veiktajos pētījumos priežu un egļu audzēs 16 gadus pēc 3 tonnas ha⁻¹ koksnes pelnu izkliešanas konstatēta pH paaugstināšanās par 0,6-1 vienību, salīdzinot ar kontroli, gan augsnes trūdvielu, gan minerālajā slānī egļu un priežu audzēs. Būtiskāka augsnes pH paaugstināšanās konstatēta mitrākās audzēs (Saarsalmi et al., 2001). Citā Saarsalmi vadītā pētījumā, kas veikts 31-75 gadus vecās skujkoku audzēs, kur vienlaikus ar kaļķojamajiem materiāliem – dolomītu un koksnes pelniem (3 tonnas ha⁻¹), izmantots arī slāpekļa minerālmēslojums (120-150 kg ha⁻¹), pēc 5 un 10 gadiem konstatētās augsnes pH izmaiņas ir 1 līdz 1,7 vienības trūdvielu slānī un 0,3-0,4 vienības minerālaugsnē, mēslošanas un kaļķošanas ietekmē būtiski pieaugusi arī koku krāja (Saarsalmi et al., 2004).

Zviedrijā veiktā koksnes pelnu un dolomīta efekta pētījumā egļu audzēs ar podzolētām augsnēm ar sākotnējo pH 4,3, izkliešot apmēram 3 tonnas ha⁻¹ dolomīta un 4 tonnas ha⁻¹ koksnes pelnu, kaļķošanas rezultātā būtiski palielinājās apmaiņas katjonu koncentrācija. Piecus gadus pēc materiāla izkliešanas augsnē konstatētas lielākas Ca un Mg koncentrācijas nekā kontroles platībā, arī augsnes ūdeņos šo elementu koncentrācijas ir lielākas. Vēl piecpadsmit gadus pēc eksperimenta kaļķotajās platībās ir lielākas augsnes pH vērtības. Pelnu un dolomīta izmantošanas rezultātā augsnes elpošanas aktivitāte par 10-36 % lielāka. Augsnes virsējos slāņos konstatēts vairāk kopējā izšķīdušā organiskā oglekļa. Eksperimentālo platību augsnes ūdeņos konstatētas lielākas nitrātu slāpekļa koncentrācijas, kas liecina par organiskās vielas mineralizēšanos (Lundström et al., 2003).

Augsnes ūdeņos izšķīdušo barības vielu izmaiņas un to novērtēšana

Meža upju un strautu ūdens kvalitāte parasti ir ļoti laba, izņemot vietas, kur upe tek caur platībām ar citu zemes lietošanas veidu. Piemēram, ASV ūdenstecēs, kas šķērso intensīvas lauksaimniecības zemju patības, ir ievērojami sliktāka ūdens kvalitāte, nekā meža upītēs. Meža mēslošanas ietekmē ūdensteču kvalitāte mainās vien tad, ja tiek izmantotas ļoti lielas mēslojuma devas, citādi augu barošanās elementu izskalošanās ir pamanāma, bet nav ekoloģiski nozīmīga. Citu autoru pētījumos konstatēts, ka noteces ūdeņos pēc mēslojuma izmantošanas novērojama paaugstināta slāpekļa koncentrācija, kas atsevišķos brīžos - t.s. "pīķa punktus" - var sasniegt 10-25 mg slāpekļa nitrātu formā uz litru ūdens, tomēr vidēji pēc mēslošanas tā ir ap 4 mg L⁻¹ NO₃⁻¹. Relatīvi augstas slāpekļa koncentrācijas noteces ūdeņos vērojamas tad, ja mēslošanu veic regulāri (līdzīgi kā lauksaimniecībā) un izmanto mēslošanai amonija nitrātu (NH₄NO₃) un, mēslojot ar slāpekli auglīgus lapkoku mežus. Izmantojot slāpekli saturošu mēslojumu, noteces ūdeņos slāpekļa koncentrācija palielinās tieši pēc mēslojuma izmantošanas, sasniedzot 15 mg N L⁻¹, kamēr vidēji tā ir 0,5 mg N L⁻¹, vēlāk netiek novērotas vērā ņemamas slāpekļa svārstības noteces ūdeņos. Fosforu saturoša mēslojuma izmantošanas gadījumā augstākās koncentrācijas mēdz nedaudz pārsniegt 1 mg P L⁻¹, kamēr vidējās fosfora koncentrācijas mēsloto platību noteces ūdeņos ir ap 0,25 mg P L⁻¹. Netiek aprakstīti gadījumi, ka meža mēslošana būt izraisījusi tādas barības vielu izneses svārstības, kas veicinātu meža ūdensteču aizaugšanas procesus un alģu savairošanos tajos. Tas skaidrojams ar to, ka mežos tiek izmantotas mazākas mēslojuma devas nekā lauksaimniecībā, kā arī ir jau izveidojusies kokaugu un lakstaugu veģetācija, kas spēj uzņemt un saistīt papildus ienestās barības vielas. Vislielāko ietekmi uz noteces ūdeņiem rada atkārtota īscirtmeta plantāciju mēslošana ar lielām mēslojuma devām un mēslojuma izmantošana lielās vienlaidu platībās (Binkley et al., 1999).

Efektīva metode mēslojuma ietekmes uz augsnes īpašībām novērtēšanai ir augsnes ūdeņu ķīmiskā sastāva izmaiņu monitorings, jo tas sniedz informāciju gan par augiem pieejamajām papildus barības vielām, gan par riskiem noteces ūdeņu un mežu caurplūstošo ūdensteču piesārņošanai, pētījumos tiek izmantoti dažādi paņēmieni augsnes ūdeņu ievākšanai: vakuuma metode (soil suction methods) (Ring et al., 1999, Werkelin et al., 2005, Högbom et al., 2001, Hees et al., 2003), lizimetri (lysimeters) (Kahl et al., 1996, Staples & Van Rees, 2001, Saarsalmi et al., 2005) ūdens savākšanas akas (Williams et al., 1996, Piirainen, 2001, Lundell et al., 2001). Vairāku autoru pētījumu par koksnes pelnu mēslojuma ietekmi uz augsnes ūdeņiem kopsavilkums dots Tab. 24.

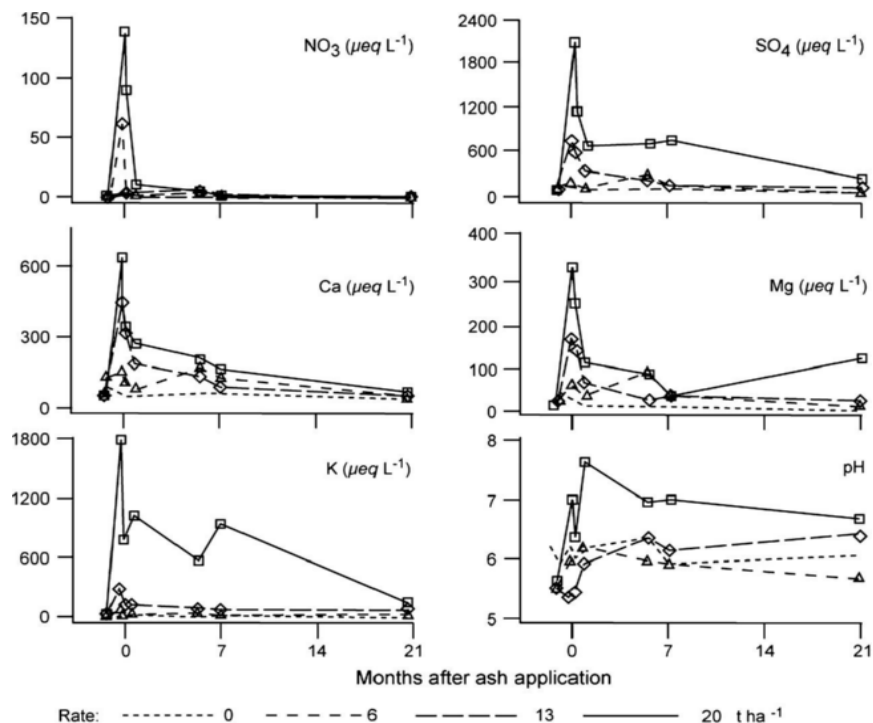
Tab. 24: Koksnes pelnu mēslojuma ietekme uz augsnes ūdens kvalitāti

Pētījuma veikšanas vieta	Augsnes tips	Mēslojuma deva		Efekts - ietekme	
		t ha ⁻¹	augzne	ūdens	
ASV (Williams et al., 1996)	Mālsmilts Loamy sands (nav zināms pH)	11-44	Paaugstināta K, Ca koncentrācija augsnes virskārtā, nav izmaiņu dziļāk par 45 cm. Pēc 60 dienām kontroles un eksperimenta platībās koncentrācijas neatšķiras.	Nedaudz palielinātas Ca, K, SO ₄ koncentrācijas. Smago metālu koncentrācija zem noteikšanas robežas.	
Maine, ASV (Kahl et al., 1996)	Smilts Sandy spodosol, skāba augsne pH 4	6-20	pH izmaiņas no 4 uz 5, apmaiņas Ca, K, Mg konc. palielināšanās, Mn, Al konc. samazināšanās. pēc 25 mēnešiem nav atšķirības starp kontroli un eksperimentu.	Palielinās bāzisko katjonu saturs, minimālas izmaiņas pie zemākām devām, pieaug H, K, SO ₄ koncentrācija, pēc 20 mēnešiem samazinās N koncentrācija variantos ar augstākām devām.	
Somija (Piirainen, 2001)	Susinātie purvi Drained bogs <i>Carex</i> and <i>Sphagnum</i>	3-6		Palielinās Ca, Mg, K un SO ₄ koncentrācijas. Atsevišķās audzēs palielinās P, NH ₄ and Cr koncentrācijas.	
Somija (Saarsalmi	Haptic podzol	1; 2,5 and 5 (loose	Pieaug CEC humusā, Ca, Mg, P augsnē.	pH zemāks kontrolei 4/5 gadus, kamēr	

Meža mēslošanas ietekme uz vidi

Pētījuma veikšanas vieta	Augsnes tips	Mēslojuma deva		Efekts - ietekme	
		t ha ⁻¹	augsne	ūdens	
et al., 2005)		ash)	B, Cu, Fe, Mn, Zn(P = 0.001) un Cd, Cr, Ni (P = 0.05) koncentrācijas pozitīvi korelē ar pelnu devu, nav būtisku izmaiņu minerālaugsnē slānī, izņemot Ca, K and Mg.	Ca, Mg un šķīstošais Al uzrādās. Sākotnēji augstas K and SO ₄ (S) koncentrācijas, kas samazinās pēc 6 gadiem, nedaudz lielākas Mn, Zn koncentrācijas. Nav atšķirību NO ₃ , Cd, Cr, Cu vai Pb koncentrācijās.	
Zviedrija (Fransman and Nihlgard, 1995)	Podzol over granite	2,2 (sodrēji)		Pieaug pH, Ca, K, Ca/Al attiecības. NO ₃ ⁻ izskalošanās, samazinātas Fe, Mn koncentrācijas.	
Zviedrija (Ring E. Ring et al., 1999)	Podzol on till, kailcirtē, <i>P. sylvestris</i> mežs	2 (6 produkti testēti – stabilizēti līdz granulēti)	Pēc 3 gadiem neapstrādāti (loose) pelni veicina P, Cu, Zn koncentrāciju paaugstināšanos kailcirtē, nav izmaiņu mežaudzē. Mežaudzē pH paaugstinās par 0,8 vienībām un granulēti pelni paaugstina Al koncentrāciju.	Nav būtiskas ietekmes uz pH – Nedaudz palielināts slāpekļa saturs (N) kailcirtē, bet ne mežaudzē.	
Zviedrija (Högbom et al., 2001)	Acidic till, bagāta ar N	4,2	Palielinās Ca and Mg, pH lielāks par 0,2 vienībām	Palielinās NO ₃ koncentrācija.	

Nelielas izmaiņas augsnes un tās ūdeņu sastāvā vērojamas pēc nelielu mēslojuma devu ieneses lapkoku (bērza un dižskābarža) audzēs, bet lielas mēslojuma devas izjauc augsnes bufersistēmās pastāvošo līdzsvaru (Att. 15), kas rada straujas augsnes un ūdens ķīmiskā satura izmaiņas, kas 21 mēneša laikā pakāpeniski atgriežas sākotnējā stāvoklī (Kahl *et al.*, 1996).



Att. 15: Lapu koku audzēs izvietotos lizimetros ievāktā augsnes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņu dinamika pēc koksnes pelnu mēslojuma pielietošanas, pēc (Kahl *et al.*, 1996) (NO_3^- = Nitrāti; SO_4 = Sulfāti; Ca = Kalciji; Mg = Magniji; K = Kāliji; pH = vienības).

Gan Ca, gan K koncentrāciju palielināšanās augsnē un augsnes ūdenī, kā arī sekojošas Mg un Al satura izmaiņas novērotas pēc samērā nelielām devām, maksimumu sasniedzot 12 nedēļas pēc mēslošanas. Skābās augsnēs Fe un Al oksīdi veido maz

šķīstošus kompleksus ar Cd (Williams *et al.*, 1996). Somijā ilgtermiņa pētījumos desmit gadu laikā augsnes ūdeņi 20 cm dziļumā ir ar lielāku Ca, K, Mg koncentrāciju, bet nav novērotas būtiskas izmaiņas pH vai nitrātu slāpekļa, Cd, Cr, Cu un Pb koncentrācijās (Saarsalmi *et al.*, 2005). Citos Somijā veiktajos pētījumos aprakstīts, ka, veicot mēslošanu rudenī, kam seko sniegiem bagāta ziema, izskalojošos ūdeņos, ir lielāka bāzisko katjonu koncentrācija, kā arī sērs sulfātu formā, kamēr, izkliežot mēslojumu vasarā, ir būtiski mazāka mikroelementu izskalošanās (Piirainen, 2001). Pēc granulētu un negranulētu pelnu izmantošanas nosusinātajos kūdrājos ieaudzētās priežu audzēs augsnē un ūdeņos palielinās Ca, Mg, K, sēra sulfātu koncentrācijas (Piirainen, 2001, Norström *et al.*, 2012), nedaudz arī Cr, bet, līdzīgi kā Saarsalmi (2005) un Piirainen (2001) pētījumos, nav konstatētas Zn, Cd, Cu, Ni koncentrāciju atšķirības starp kontroli un eksperimentu (Piirainen, 2001). Audzēs ar biezu organiskās vielas slāni konstatē mineralizācijas procesu izraisītu amonija un nitrātu slāpekļa formu koncentrāciju palielināšanos (Piirainen, 2001). Paaugstinātas nitrātu slāpekļa koncentrācijas novērotas arī Zviedrijā meža audzēs uz auglīgām augsnēm veiktos pētījumos (Högbom *et al.*, 2001). Izmantojot nelielas mēslojuma devas, efekts ir ilgtermiņa un neizsaud ilgstošas, būtiskas izmaiņas smago metālu koncentrācijā augsnē, sevišķi minerālaugsnēs (Hees *et al.*, 2003).

Mēslošanas ietekme uz veģētāciju un augsnes organismiem

Papildus barības elementu ienešana un atgriešana meža audzēs var uzlabot biomasas ražošanas aktivitāti tajās un nodrošina lielākas krājas veidošanos, tomēr, veicot mēslošanu, iespējami blakusefekti, kas izraisa izmaiņas ekosistēmā (Karlton *et al.*, 2008). Latvijas zinātnieku pētījumos T. Gaitnieka vadībā (2005) iegūti dati, ka koksne pelnu devas 6 un 12 tonnas ha⁻¹ veicina ne tikai K un Ca koncentrāciju palielināšanos augsnē, bet ietekmē arī kokaugu mikorizas sēņu attīstību un stādu augšanu (Gaitnieks *et al.*, 2005).

Mēslojuma ietekmē koki veido kuplākus vainagus, tāpēc jaunaudzēs novēro straujāku vainagu sakļaušanos, kas samazina zem tiem nokļuvuša apgaismojuma daudzumu, kā rezultātā notiek izmaiņas zemsedzes veģētācijas sugu sastāvā un segumā. Zemsedzes veģētācijas sastāva izmaiņas ir saistītas ar to, kāda veida mežsaimnieciski pasākumi ir veikti meža audzē vienlaicīgi ar papildus barības vielu ienesi pirms vai pēc tās (Hedwall *et al.*, 2013).

Analizējot Zviedrijas meža monitoringa datus, ir iegūta informācija, noskaidrots, ka mēslotajās un koptajās egļu jaunaudzēs ir bagātīgāks sugu sastāvs un lielāks veģētācijas projektīvais segums, nekā tajās audzēs, kur nav veikta mežsaimnieciskā darbība. Svarīgākais ietekmējošais faktors ir atlikušo koku skaits jeb kopšanas intensitāte, tikai tad mēslošana. Mēslošanas efekts egļu jaunaudzēs, neatkarīgi no kopšanas režīma, izpaužas ne tikai kā papildus biomasas pieaugums, bet arī kā puskrūmu un sakņu ārējās mikorizas pakāpenisku nomaīņu uz dominējošu paparžu veģētāciju un arbuskulārās mikorizas sēnēm, kas ir reta, bet nav netipiska egļu meža audzēm Zviedrijā (Hedwall *et al.*, 2013).

Pētījumi par mēslošanu parasti tiek veikti skujkoku audzēs, tomēr lapkoku atbildes reakcija uz koksnes pelnu mēslojumu ir straujāka nekā skujkokiem, jo lapkokiem optimālās elementu attiecības P : K : Ca : Mg ir 1 : 5 : 20 : 2,5, savukārt ar koksnes pelniem ienestās devas ir proporcijās 1 : 7 : 45 : 2,5, kas tuvas optimālajai (Vance, 1996). Augsnes tips ir noteicošais faktors, kas ietekmē koku atbildes reakciju uz mēslošanu, jo atšķirīgas ir augsnes buferīpašības, līdz ar to pie vienādām mēslojuma

devām var būt atšķirīgas izmaiņas augsnē izšķīdušo vielu koncentrācijās un attiecīgi ekosistēmas atbildes reakcijā (Aronsson & Ekelund, 2004). Kūdras augsnēs parasti novēro pozitīvu mēslojuma efektu (Moilanen *et al.*, 2012), līdzīgi tas ir apmežojumos (Vance, 1996, Liepiņš, 2007), (Lazdiņa *et al.*, 2013). Uz minerālaugsnēm mēslošanai ir dažādas sekmes (Nohrstedt, 2001, Lundström *et al.*, 2003). Tāpēc turpmāk mēslojuma ietekme aprakstīta sadalījumā pa dažādām augšņu grupām.

Kūdrāji un organiskās augsnes

Izmantojot koksnes pelnus un komplekso NPK minerālmēslojumu, sākotnēji novēro izteiktāku minerālmēslojuma ietekmi, bet ilgtermiņā iegūtais rezultāts izlīdzinās (Moilanen *et al.*, 2002, Moilanen *et al.*, 2006, Moilanen *et al.*, 2012), Somijā 1947.-1994. gadu periodā kūdrājā ar pelniem mēslojotās augsnēs mežaudžu produktivitāte bijusi par 13-17 reizes lielāka nekā kontrolei, jo bija pieejami 18 reizes lielāki slāpekļa resursi un 9 reizes vairāk fosfora (Moilanen *et al.*, 2002). Vērā ņemamu mēslošanas efektu apraksta Ferm (1992); kontroles variantā krājas pieaugums ir tikai $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, bet mēslotajā platībā (5 un 10 tonnas ha^{-1} pelnu) $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Ferm *et al.*, 1992). Mēslojuma ietekmē veģetācijā sāk dominēt zālaugi, pēc izkļiedes platībā izzūd sūnas.

Eksperimentos, izmantojot koksnes pelnu devas līdz 5 tonnas ha^{-1} , pozitīvs efekts novērots stādu augšanā un sakņu attīstībā, jaunažiem kokaugiems veidojas garākas saknes. Amonija sulfāta mēslojums, salīdzinājuma ar koksnes pelniem, izraisa īsāku uzsūcošo saknīšu veidošanos (Persson & Baičulin, 1996).

Salīdzinot 16 gadīgas baltalkšņa un vītulu audzes pēc mēslošanas ar 10 tonnām ha^{-1} pelnu un NPK ($150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $92,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ un $382 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$), konstatēts biomasas pieauguma kāpinājums par 65-70 % salīdzinot ar kontroli, kā arī ievērojama N atbrīvošanās, mineralizējoties augsnes organiskajai vielai un palielinoties C:N attiecībai. Salīdzinot ar minerālmēslojumu koksnes pelni mazāk ietekmē denitrifikācijas un ūdenī šķīstošo organisko vielu izskalošanās procesus (Weber *et al.*, 1985). Lielas mēslojuma devas izraisa augu orgānu apdegšanu, bet tas ir īslaicīgs efekts. Vēl 40 gadus pēc koksnes pelnu mēslojuma 8-16 tonnas ha^{-1} ienešanas koku lapās ir lielāks fosfora saturs nekā kontrolē, augsnē ir konstatēts pietiekams P un K nodrošinājums, kas vēl joprojām neapmierinošs kontroles daļā (Moilanen *et al.*, 2002).

Podzoli

Vairāku autoru pētījumi norāda, ka limitējošais elements papildus krājas ieguvei ir N, jo tikai tad, ja augsnēs ir pietiekama vai augsta N koncentrācija, citi mēslojuma veidi, ieskaitot koksnes pelnus, dod gaidīto efektu (Jacobson, 2003, Pitman, 2006). Mēslojot uz nabadzīgām augsnēm augošanas skujkoku mežaudzes ar slāpekli nesaturošu mēslojumu, piemēram, koksnes pelniem, novērots par $0,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā mazāks ikgadējais pieaugums nekā kontrolei (Jacobson, 2003). Pirms lēmuma pieņemšanas par mēslojuma veida izvēli vispirms nosakāma C:N attiecība, ja tā ir maza, vispirms dodams slāpekļa mēslojums, izmantojot komplekso mēslojumu, vai koksnes pelnu mēslojumu, kombinējot to ar slāpekli saturošiem mēslošanas līdzekļiem (Swedish National Board of Forestry, 2002, Pitman, 2006, Saarsalmi *et al.*, 2005, Saarsalmi *et al.*, 2001, Saarsalmi *et al.*, 2004, Ring E. Ring *et al.*, 1999). Skujkoku jaunaudzēs uz podzola augsnēm pelnu mēslojums neietekmē koku augšanu, salīdzinot ar kontroli, tikai mēslojuma ietekmē novēro lielāku minerālvielu saturu jauno augu lapās (Arvidsson and Lundkvist, 2002). Arī vecākās priežu audzēs novērotas līdzīgas sakarības (Bramryd & Fransman, 1995).

Smilšmāls un pārējās augsnes

Mēslojuma, tai skaitā koksnes pelnu, izmantošana mežos ar mālainām augsnēm pētīta salīdzinoši maz (Etiegni *et al.*, 1991, Vance, 1996). Sarkanās kļavas jaunaudzēs uz smilšmāla augsnēm ierīkotajos mēslošanas izmēģinājumos 18 mēnešu periodā konstatēta vien paaugstināta minerālvielu koncentrācija mēsloto augu lapās (Unger & Fernandez, 1990), līdzīgi rezultāti iegūti lauksaimniecības zemju apmežojumos ar alkšņiem un bērziem Latvijā (Lazdiņa *et al.*, 2013). Ilgākā laika periodā iespējama kumulatīvā efekta parādīšanās, jo vairāki autori apraksta mēslošanas izmēģinājumus, kur efekts vērojams vien 5 un vairāk gadus pēc eksperimenta uzsākšanas (Bååth & Arnebrant, 1994).

Vaskulārie augi, sūnas un ķērpji

Pirmie pētījumi par koksnes pelnu ietekmi uz meža ekosistēmu saistīti ar smago metālu koncentrāciju pētījumiem zemsedzes veģetācijā, ogās un sēnēs. Šie jautājumi nezaudē aktualitāti arī pašlaik (Perkiomaki, 2004, Moilanen *et al.*, 2006, Moilanen *et al.*, 2012). Vēlāk pētījumos noskaidrots, ka, pat ja skābā augsnē ar koksnes pelniem tiek ienests kadmījs, tas netiek uzņemts ogās un sēnēs tādos daudzumos, kas būtu būtiski lielāki par kontroli (Perkiomaki, 2004). Izmaiņas veģetācijā novērojamas pirmos trīs gadus (Indriksons, 2010). Minerālaugsnēs pēc pelnu mēslojuma izmantošanas palielinās meža ogu raža, bet ogās nav konstatēta palielināta Cd vai Pb koncentrācija virs vidējā rādītāja $< 1 \text{ mg kg}^{-1}$ (Levula *et al.*, 2000).

Zviedrijā, veicot mēslošanu pēc jaunaudžu kopšanas, kurā tiek izvākti 30 vai 60 % no šķērslaukuma, vēl 25 gadus pēc tam novērojamas būtiskas atšķirības zemsedzes veģetācijas sastāvā un segumā. Ja netiek veikta kopšana (kontroles variants), notiek izmaiņas veģetācijas sugu sastāvā, un, ienākot jaunām sugām, pakāpeniski izzūd sākotnējā zemsedzes veģetācija, un pēc 25 gadiem tā vairs nav novērojama. Mēslojot izkoptas jaunaudzes, zemsedzes veģetācijas sastāvs saglabājas tāds pats, kā sākotnēji kontroles audzēs, bet novēro pioniersugu, paparžaugu un puskrūmu ienākšanu, kam labvēlīgus apstākļus rada atēnošana un samazinātais koku skaits audzē. Mēsloto audžu izretināšana ir priekšnosacījums sugu daudzveidības un funkcionalitātes saglabāšanai, jo augiem ir nepieciešama telpa, kur izvietoties papildus izmantojamo barības vielu ietekmē veidotai virszemes daļai (Hedwall *et al.*, 2013).

Zemsedzes veģetācijā tādu sīkkrūmu kā brūklenāju īpatsvara samazināšanos koksnes pelnu mēslojuma 5 tonnas ha^{-1} ietekmē apraksta Levula (2000), savukārt citi pētnieki konstatējuši, ka vēl 9 gadus pēc mēslojuma izmantošanas nav izmaiņu brūklenāju, mellenāju un zīleņu segumā (Pitman, 2006a). Vispārēju puskrūmu seguma samazināšanos Zviedrijas centrālās daļās priežu mežos pēc mēslojuma izmantošanas apraksta (Jacobson & Gustafsson, 2001), bet Silfverberg and Hotanen (1989) pēc mēslošanas konstatējuši veģetācijas izmaiņas nosusinātos, ar slāpekli labi nodrošinātos kūdrājos ar bagātīgu lakstaugu veģetāciju. Tādas sugas kā *Cirsium helenoides*, *Daphne mezereum*, *Paris quadrifolia*, *Prunus padus* un *Urtica dioica* pamazām kļūst par dominējošām (Pitman, 2006a). Viršus (*Calluna vulgaris*) nomaina un izkonkurē liektā ciņu smilga *Deschampsia flexuosa*, tomēr mellenāju daudzuma izmaiņas netika konstatētas (Arvidsson and Lundkvist, 2002).

Izmantojot mēslošanai ne vairāk kā 7 tonnas ha^{-1} koksnes pelnu, izmaiņas sūnu ķērpju segā ir īslaicīgas un ilgtermiņā nebūtiskas Kellner and Weibull, 1998. Lakstaugiem *Goodyera repens* (Kellner, 1993) un *Peltigera aphthosa* (Nohrstedt *et al.*, 1988) pēc mēslojuma pielietošanas vērojama lapu brūnēšana un atmiršana pirmā pusgada laikā, bet pēc mēneša segums atjaunojas, pilnīga sūnu segas atjunošanās vērojama pēc 5-10

gadiem (Pitman, 2006a, Indriksons, 2010). Saglabājoties segumam, sūnu sugu sastāvs mainās, mazāks ir *Pleurozium schreberi* segums, palielinās *Dicranum polysetum* un *Ptilium crista-castrensis*, kas raksturīgas auglīgākiem meža tipiēm (Jacobson and Gustafsson, 2001). Būtiskas izmaiņas pēc 5 gadiem vērojamas tad, ja mēslojuma deva pārsniedz 9 tonnas ha⁻¹, pie mazākām devām bojājumi minimāli, mazāks kļūst *Cladina* ķērpju īpatsvars zemsedzē, tos izkonkurē sūnas. Granulēts mēslojums rada mazāku ietekmi, jo granulām ir mazāks tiešais kontakts ar sūnu ķērpju daļām. Bojājumus novēro galvenokārt tiešā kontakta vietās (Pitman, 2006a). Vietās, kur sūnas ir galvenā zemsedzi veidojošā augu grupa, iesaka izmantot mazākas mēslojuma devas, piemēram, pelnu mēslojuma devām nevajadzētu pārsniegt 2 tonnas ha⁻¹ (Kellner and Weibull, 1998).

Augsnes organismi un sēnes

Mēslojums ietekmē augsnē dzīvojošo tārpu populāciju tādā mērā, kā tas izmaina augsnes organiskās vielas daudzumu un sastāvu un cik daudz tiek ienestas dzīvniekiem toksiskas vielas. Pētīta koksnes pelnu mēslojuma ietekme uz sliekām Lundkvist et al. (1998), kur konstatēts, ka, lai gan ir vērojama Cd koncentrācijas palielināšanās organismos (3 tonnas ha⁻¹ granulēti pelni), tas nav atstājis jūtamu ietekmi uz to dzīvības funkcijām (Pitman, 2006a). Augsnē fauna savairojas un ir aktīvāka pēc mēslojuma ienešanas organiskajās augsnēs (Aronsson and Ekelund, 2004).

Daudzi pētījumi veltīti augsnes mikroorganismu daudzuma un aktivitātes izmaiņām pēc mēslojuma pielietošanas. Galvenie mikroorganismu aktivitāti ietekmējošie faktori ir pH izmaiņas un N slāpekļa pieejamība (Fritze et al., 1994, Perkio et al., 2004, Gaitnieks et al., 2005, Pitman, 2006a, Weber et al., 1985). Pēc mēslošanas mežaudzēs palielinās baktēriju daudzums augsnē, uzlabojas „augšņu elpošanas” rādītāji (sakņu, sīko mikroorganismu un augsnes dzīvnieku elpošana, kas liecina par tiem labvēlīgāku apstākļu nodrošināšanu – izdalās CO₂), C:N attiecība ir pieaugoša (Bååth & Arnebrant, 1994). Pat ievērojami nepalielinoties sēņu kopējam daudzumam priežu mežā, pieaug augsnes elpošanas aktivitāte (Fritze et al., 1994). Paaugstināta elpošanas aktivitāte novērota arī, pieaugot mikroskopisko sēņu biomasai egļu mežos (Zimmermann and Frey, 2002), kam seko pH vērtības kāpums un augsnes mineralizēšanās. Zviedrijā veiktos pētījumos (Erland, 2001) konstatēts, ka tīmekļaiņu ģints *Cortinarius* sp. sēnes ir biežāk sastopamas pēc pelnu mēslojuma izmantošanas (Pitman, 2006a). Mēslojot egļu audzēs uz koku saknēm biežāk sastopamas mikorizas sēnes no *Piloderma* ģints (Taylor & Finlay, 2003). Ģints *Tylospora* biežāk ir sastopamas kaļķotās platībās, kur samazinās *Russula* and *Lactarius* ģints sēņu daudzums. Mēslošana un kaļķošana veicina arī *Amphinema*, *Piloderma*, *Inocybe* and *Hygrophorus* savairošanos, kopumā par 30 % vairāk nekā kontrolē. Paaugstinoties augsnes pH, palielinās ektomikorizas sēņu daudzums (Kjøller & Clemmensen, 2009).

Pēc tādu koksnes pelnu izmantošanas, kas satur vieglās frakcijas, ēdamajās sēnēs (*Boletus edulis*) un (*Lactarius* sp.) konstatēts palielināts Cd saturs (Pitman, 2006a).

Meža mēslošanas ietekme uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti

Pētījumi par meža mēslošanas sasaisti ar SEG emisijām un energobilanci meža apsaimniekošanā veikti vairākās Eiropas valstīs. Apjomīgākais datu apjoms uzkrāts Zviedrijā, kur meža mēslošana ir salīdzinoši ikdienišķa mežsaimniecības prakse. Projekta *Future Forest* ietvaros veiktā pētījumā novērtēts, kādu ietekmi uz SEG emisijām, energobilanci (energoresursu patēriņš meža apsaimniekošanā un aizstāšanas efekts, samazinot fosilā kurināmā patēriņu) un koksnes resursu piegādēm radītu meža

Meža mēslošanas ietekme uz vidi

mēslošana, ja to veiktu 10 % no Zviedrijas mežiem (2,3 milj. ha). Saskaņā ar pētījuma rezultātiem papildus krājas pieaugums ir 7,4 milj. m³ gadā (6 % no esošā krājas pieauguma), tajā skaitā 41 % krājas pieauguma veidojas lielo dimensiju apaļkoksnes sortimentos. Mēslojuma ražošanai un meža apsaimniekošanai papildus nepieciešami 1,7 TWh energoresursu gadā primārās enerģijas izteiksmē (0,74 MWh ha⁻¹ gadā). Izmantojot papildus iegūto pieaugumu enerģētikas sektorā samazinās energoresursu (dabasgāzes un akmeņogļu) patēriņš primārās enerģijas izteiksmē par 42-46 TWh gadā (Tab. 25). Aptuveni 22 % energoresursu patēriņa samazinājuma saistīts ar materiālu aizstāšanu, pārējais – ar fosilā kurināmā aizstāšanu (21 % biokurināmais no mazo dimensiju kokiem, 18 % kokrūpniecības atliekas, 15 % konstrukciju demontāžas atlikumi, 9 % mežizstrādes atliekas, 9 % celmi un pazemes biomasas un 5 % kopšanas ciršu atlikumi). Ieguvums primārās enerģijas izteiksmē atbilst 7 % no Zviedrijas kopējā energoresursu patēriņa. Neto SEG emisiju samazinājums, aizstājot fosilo kurināmo ar papildus iegūto biomasu, pateicoties meža mēslošanai, atbilst 11,9 vai 18,1 milj. tonnām CO₂ ekv. (atkarībā no tā vai aizstāj dabasgāzi vai akmeņogles), kas atbilst, attiecīgi, 18 % vai 28 % no Zviedrijas kopējām neto SEG emisijām 2007. gadā. Būtisks vienreizējs papildus oglekļa uzkrājuma pieaugums veidojas arī koksnes produktos un augošo koku biomasā, attiecīgi, 149 un 197 milj. tonnas CO₂ (Sathre *et al.*, 2010; Nordicforestry, 2013, Tab. 26). Saskaņā ar Zviedrijā veikto pētījumu rezultātiem 1 MWh papildus enerģijas patēriņa mēslojuma ražošanai un izkliešanās mežā var radīt 24-27 MWh energoresursu patēriņa samazinājumu (18-20 MWh ha⁻¹ gadā).

Tab. 25: Meža mēslošanas ikgadējās ietekmes uz enerģijas patēriņu (PJ gadā) kopsavilkums¹⁵
(Sathre *et al.*, 2010)

Rādītājs	Akmeņogles	Dabasgāze
Meža apsaimniekošana un mēslošana		
Meža atjaunošana, kopšana, izstrāde	0,9	0,9
Mēslojuma ražošana un izkliešanās	2,3	2,3
<i>Kopā</i>	3,2	3,2
Lielo dimensiju apaļkoksne		
Transports	0,7	0,7
Materiālu aizstāšana (fosilā kurināmā patēriņa samazinājums)	-35,3	-32,8
Fosilā kurināmā aizstāšana (kokrūpniecības atliekas)	-26,9	-24,7
Fosilā kurināmā aizstāšana (būvniecības atliekas)	-2,8	-2,6
Fosilā kurināmā aizstāšana (reciklējamā koksne)	-25,0	-22,9
<i>Kopā</i>	-89,3	-82,2
Mazo dimensiju apaļkoksne		
Transports	0,5	0,5
Fosilā kurināmā aizstāšana	-34,3	-31,4
<i>Kopā</i>	-33,8	-30,9
Kopšanas atliekas (zari, lapotne)		
Savākšana, transports	0,4	0,4
Fosilā kurināmā aizstāšana	-8,8	-8,0
<i>kopā</i>	-8,4	-7,6
Mežizstrādes atliekas (zari, lapotne)		
Savākšana, transports	0,7	0,7
Fosilā kurināmā aizstāšana	-15,5	-14,2
<i>Kopā</i>	-14,8	-13,5
Celmi		

¹⁵ Ar mīnuszīmi apzīmēts energoresursu patēriņa samazinājums.

Meža mēslošanas ietekme uz vidi

Rādītājs	Akmeņogles	Dabaszgāze
Savākšana transports	1,4	1,4
Fosilā kurināmā aizstāšana	-15,1	-13,8
<i>Kopā</i>	-13,7	-12,4
Pavisam kopā	-156,7	-143,4

Tab. 26: Meža mēslošanas ikgadējās ietekmes uz SEG emisijām (tūkst. tonnas CO₂ ekv. gadā) kopsavilkums¹⁶ (Sathre et al., 2010)

Rādītājs	Akmeņogles	Dabaszgāze
Meža apsaimniekošana un mēslošana		
Meža atjaunošana, kopšana, izstrāde	77	74
Mēslojuma ražošana un izkļiedšana	441	441
N ₂ O emisijas no augsnes	228	228
Augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņas	-672	-672
<i>Kopā</i>	74	72
Lielu dimensiju apaļkoksne		
Transports	62	57
Materiālu aizstāšana (fosilā kurināmā patēriņa samazinājums)	-3124	-2402
Materiālu aizstāšana (cementa ražošanas radītās emisijas)	-3197	-3197
Fosilā kurināmā aizstāšana (kokrūpniecības atliekas)	-2701	-1546
Fosilā kurināmā aizstāšana (būvniecības atliekas)	-280	-160
Fosilā kurināmā aizstāšana (reciklējamā koksne)	-2503	-1434
<i>Kopā</i>	-11744	-8683
Mazo dimensiju apaļkoksne		
Transports	41	38
Fosilā kurināmā aizstāšana	-3425	-1973
<i>Kopā</i>	-3384	-1935
Kopšanas atlikumi (zari, lapotne)		
Savākšana, transports	32	32
Augsnes oglekļa krājumi	102	102
Fosilā kurināmā aizstāšana	-875	-504
<i>Kopā</i>	-741	-370
Mežizstrādes atliekas (zari, lapotne)		
Savākšana, transports	57	57
Augsnes oglekļa krājumi	181	181
Fosilā kurināmā aizstāšana	-1553	-895
<i>Kopā</i>	-1316	-657
Celmi		
Savākšana, transports	110	110
Augsnes oglekļa krājumi	416	416
Fosilā kurināmā aizstāšana	-1506	-867
<i>Kopā</i>	-980	-341
Pavisam kopā	-18090	-11915

Meža mēslošanas ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti modelēšanas projektā pieņemts, ka izmanto katrai audzei adaptētas (pēc skuju ķīmiskā sastāva) slāpekļa (N) un komplekso (NPK) mēslojumu devas, atbilstoši labākās prakses ieteikumiem. Mēslojumu iestrādā reizi 2 gados, tiklīdz koki sasniedz 2-4 m augstumu un līdz vainagu saslēgšanās brīdim. Vidējā N deva ir 100-150 kg N ha⁻¹, pēc vajadzības pievienojot pārējos barības vielu elementus. Mēslošanu atkārtoti 4-5 reizes Zviedrijas dienvidos un 6-7 reizes ziemeļos. Pēc vainagu saslēgšanās mēslojumu ienes ik pēc 7-10 gadiem, dodot 100-125 kg N ha⁻¹ un pārējās augu barības vielas pēc vajadzības. Atkārtoto mēslojuma iestrādi veic tikai 1-3 reizes, jo aprites cikla ilgums tiek būtiski saīsināts.

¹⁶ Ar mīnuszīmi apzīmēts SEG emisiju samazinājums.

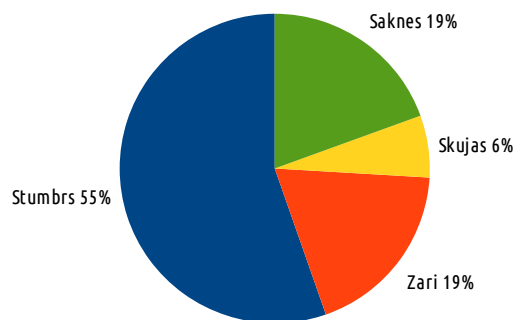
Atkarībā no reģiona un augsnes kvalitātes aprites laikā izmanto 800-1500 kg N ha⁻¹, tajā skaitā 75 % mēslojuma izmanto jaunaudzēs. Galvenās cirtes laiku izvēlas tad, kad ikgadējais krājas pieaugums ir vienāds vai mazāks par vidējo krājas pieaugumu (Sathre *et al.*, 2010). Latvijā šāds mēslošanas modelis, visticamāk, nestrādās tikpat labi kā Zviedrijā, jo jaunaudzēs iestrādātais mēslojums sekmēs lapkoku un pameža augšanu, radot konkurenci skujkokiem un papildus izmaksas jaunaudžu kopšanai. Tāpēc Latvijas apstākļos jāizstrādā adaptētas mēslojuma iestrādes metodes, kombinējot mēslojuma iestrādes vecumu, kopšanas intensitāti un kopjamo koku dimensijas.

Saskaņā ar zviedru pētījumu datiem SEG emisijas slāpekļa minerālmēsli ražošanas procesā atbilst 9,0 kg CO₂ ekv. uz 1 kg N mēslojuma, tajā skaitā 62 % ir N₂O emisijas, 37 % CO₂ emisijas un 1 % ir CH₄ emisijas. Mēslojuma izkliešanas radītās emisijas (0,022 kg CO₂ uz 1 kg mēslojuma) aprēķinātas atbilstoši vidējiem rādītājiem, kaisot minerālmēslus no helikoptera (Mead & Pimentel, 2006).

Meža mēslošana ar koksnes pelniem un slāpekļa minerālmēsliem veicina krājas pieaugumu, taču vienlaicīgi aktivizē augsnes mikrobioloģiskos procesus, kas var izraisīt CH₄, N₂O un CO₂ emisiju pieaugumu, mineralizējoties nedzīvajai zemsegai un augsnes organiskajām vielām. Zviedrijā laboratorijas apstākļos veikti pētījumi liecina, ka N₂O un CO₂ emisijas mēslotajos un kontroles izmēģinājumos būtiski neatšķiras un ir vidēji 11-17 μg N₂O m⁻² h⁻¹ un 533-611 mg CO₂ m⁻² h⁻¹. Konstatēts, ka pelnu mēslojums sekmē CH₄ emisijas būtisku pieaugumu, turpretim slāpekļa mēslojums samazina CH₄ emisijas. Vidējais emisiju līmenis dažādos variantos (kontrole, slāpekļa mēslojums, pelni, pelni un slāpekļa mēslojums) ir, attiecīgi, 153 ± 5, 123 ± 8, 188 ± 10 un 178 ± 18 μg m⁻² h⁻¹ (Maljanen *et al.*, 2006). Šie pētījumi gan nerada priekšstatu par ilgtermiņa ietekmi uz SEG emisijām. Līdzīgi secinājumi par mēslošanas ietekmi uz N₂O un CH₄ emisijām izdarīti Kanādā, apkopojot pētījumu rezultātus par meža mēslošanas ietekmi uz augsnes oglekļa uzkrājumu – mēslojums sekmē oglekļa uzkrāšanos augsnē, pateicoties lielākam virszemes biomasas pieaugumam un nobiru apjomam (Grayston, 2007). Saskaņā ar citu zviedru pētnieku datiem aptuveni 1 % no mežā ienestā slāpekļa mēslojuma nonāk atmosfērā N₂O veidā (Sathre *et al.*, 2010). Saskaņā ar zviedru pētījumu datiem meža mēslošana 300 gadu laikā palielina augsnes oglekļa uzkrājumu par 88 tonnām CO₂ ha⁻¹, salīdzinot ar tradicionālo mežsaimniecību. Lielākā daļa augsnes oglekļa piesaistes veidojas pirmajā mēslo to koku rotācijā, bet mēslojuma efekts saglabājas arī 2. un 3. rotācijā, nodrošinot lielāku krājas pieaugumu, nekā kontroles audzēs (Sathre *et al.*, 2010).

Ja mēslojums neveicina papildus biomasas pieaugumu (piemēram, ir iestrādāts sabiezinātā audzē, kur koku attīstību ierobežo nepietiekošs apgaismojums), mēslojums teorētiski var palielināt CO₂ un citu SEG gāzu emisijas, organiskās vielas, kas mineralizējas, pieaugot mikrobioloģiskajai aktivitātei, netiek kompensētas ar pieaugošu nobiru daudzumu. Šis pieņēmums ir teorētisks, tomēr norāda uz nepieciešamību rūpīgi plānot meža mēslošanu, lai līdzsvarotu mēslojuma devas un papildus pieauguma veidošanās iespējas.

Saskaņā ar Zviedrijā veiktās meža apsaimniekošanas intensifikācijas modelēšanas rezultātiem, katru gadu nepieciešamas 48,7 tūkst. tonnas N mēslojuma (vidēji 21 kg N ha⁻¹ gadā). Vidējais papildus biomasas pieaugums mēslošanas rezultātā palielinās līdz 4 tonnām sausnas gadā (5,5 m³ ha⁻¹ stumbra koksnes). Lielākā daļa papildus pieauguma koncentrējas stumbra koksne (Att. 16). N mēslojuma izmantošanas efektivitāte ir 3,86 kg N m⁻³ stumbra koksnes. Vidējais egles rotācijas ilgums nemēslotajās audzēs Zviedrijas centrālajā daļā ir 90 gadi, bet pēc mēslošanas tas samazinās līdz 60 gadiem, sasniedzot tādas pašas koku dimensijas.

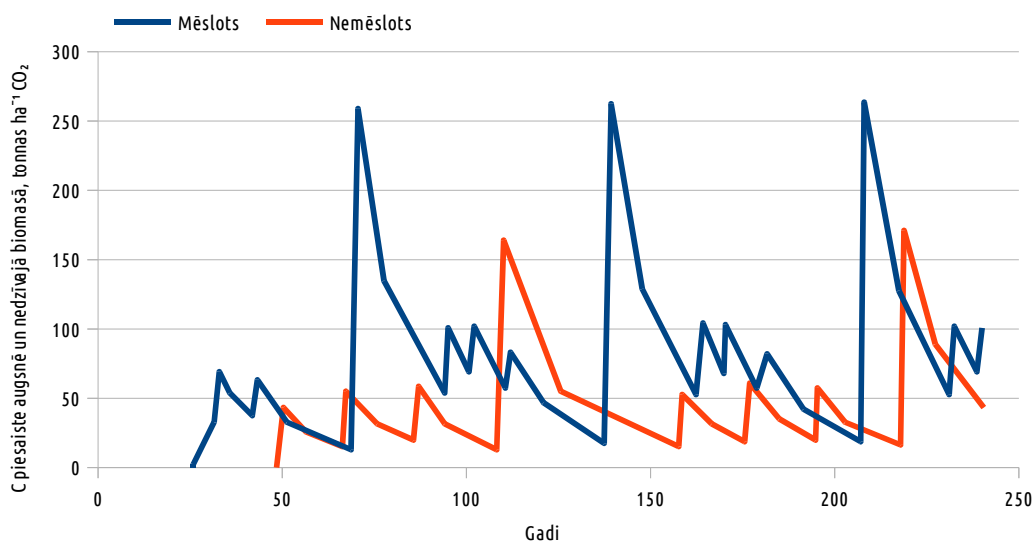


Att. 16: Papildus biomasas pieauguma sadalījums (Sathre *et al.*, 2010).

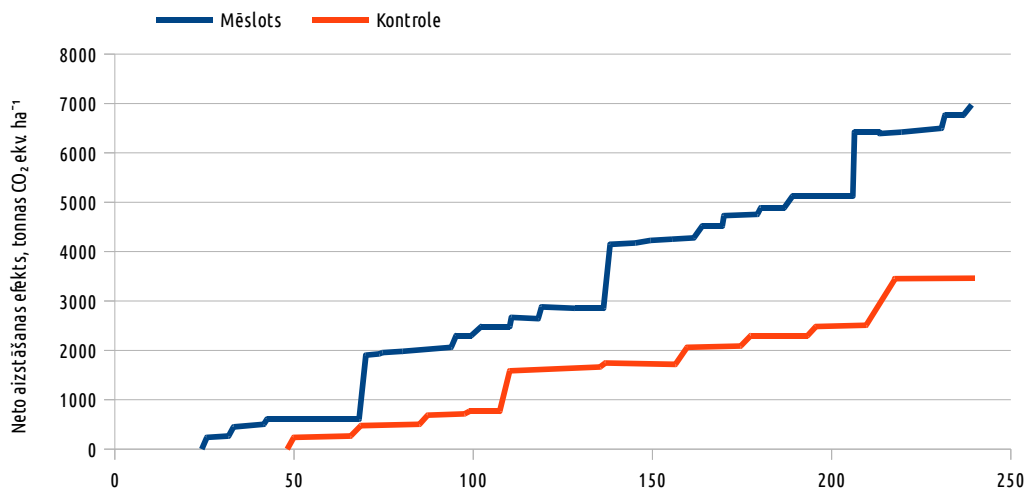
Vidējais oglekļa uzkrājums dzīvajā biomasā pieaugušās audzēs mēslošanas rezultātā atbilstoši modelēšanas rezultātiem Zviedrijas centrālajā daļā palielinās par 26 %, salīdzinot ar kontroli (no 209 līdz 267 tonnām sausas ha⁻¹).

Augsnes un nedzīvā biomasā ir nozīmīgākās meža zemju oglekļa krātuves. Meža mēslošana, ja tā ir izdarīta tādā veidā, kas sekmē biomasas pieaugumu, veicina arī oglekļa uzkrāšanos augsnē un nedzīvajā biomasā (zemsegā un kritālās). Būtiski, ka mēslošana saīsina meža audzēšanas apriņķi (izaudzēt 3 rotācijas tajā laikā, kad nemēslotajās platībās izaug tikai 2 rotācijas), tāpēc meža mēslošana ļauj būtiski palielināt oglekļa piesaisti nedzīvajā biomasā un augsnē (Att. 17).

Kopumā mēslojamās audzes 240 gadu laikā rada 2 reizes lielāku neto CO₂ piesaisti, nekā kontroles audzes, pateicoties aizstāšanas efektam (Att. 18). 240 gadu laikā aizstāšanas efekts nodrošina emisiju samazinājumu, kas atbilst 7000 tonnām CO₂ ekv. ha⁻¹, t.i. vidēji 29 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā.



Att. 17: Oglekļa piesaiste augsnē un nedzīvajā biomasā (Sathre *et al.*, 2010).



Att. 18: Koksnes produktu radītais aizstāšanas efekts (Sathre *et al.*, 2010).

Vērtējot potenciālos ieguvumus no papildus koksnes pieauguma, jāņem vērā, ka Latvijā, tāpat kā Zviedrijā (Sathre & Gustavsson, 2007), potenciālais papildus pieaugums, ko var dot meža mēslošana, iespējams, pārsniedz augstvērtīgās būvkonstrukcijās pielietojamās koksnes pieprasījumu, tāpēc maksimāli efektīvai papildus CO₂ piesaistes izmantošanai ir jānodrošina apstākļi koksnes patēriņa pieaugumam būvniecībā.

Zviedrijā veikto pētījumu rezultāti liecina, ka aizstāšanas efekts enerģētikas sektorā ir ievērojami lielāks, nekā materiālu aizstāšanas efekts, it īpaši, ja aizstāj akmeņogles (Sathre *et al.*, 2010), taču Latvijā akmeņogļu īpatsvars energobilancē ir niecīgs, tāpēc tik lielu fosilā kurināmā aizstāšanas efektu kā Zviedrijā, izmantojot mēslotajās mežaudzēs izaudzēto koksni, Latvijā neizdosies panākt. Tajā pat laikā citu zviedru pētnieku iegūtie dati liecina, ka emisiju samazinājums, izmantojot biokurināmo, ir vairāk atkarīgs no aizstājamā fosilā kurināmā veida, nekā no transporta emisijām, ja biomasa tiek eksportēta (Junginger *et al.*, 2008). Tas nozīmē, ka no Latvijas eksportētais biokurināmais, ko izmanto ogļu termoelektrocentrālēs, Eiropas kontekstā, iespējams, nodrošina lielāku SEG emisiju samazināšanas efektu, nekā tad, ja to izmantotu Latvijā, aizstājot dabasgāzi, piemēram, TEC 2. Lai gan šādam apgalvojumam nepieciešams matemātisks pamatojums.

Oglekļa piesaistes pieaugums dzīvajā biomasā un koksnes produktos, pateicoties meža mēslošanai, ir būtisks, taču ilgtermiņā to pārspēj materiālu aizstāšanas efekts (Sathre *et al.*, 2010). Aizstāšanas efekts jāplāno ilgtermiņā, t.i. jāparedz, ka koksnes piegādes no meža nākotnē nesamazināsies. Pretējā gadījumā šodienas pieaugošā oglekļa piesaiste koksnes produktos nākotnē var izvērsties palielinātās emisijās.

Primāro energoresursu patēriņš meža apsaimniekošanai un papildus emisijas, kas saistītas ar minerālmēslu ražošanu, izmantošanu un N₂O emisijām no augsnes, ir niecīgs, salīdzinot ar SEG emisiju samazinājumu mēslojuma pielietojuma rezultātā (4-6 % no neto CO₂ piesaistes, atkarībā no tā, vai aizstāj dabasgāzi vai akmeņogles). N₂O emisijām no augsnes raksturīga liela nenoteiktība, sākot no 3-5 % no izmantotā slāpekļa mēslojuma līdz nebūtiskai atšķirībai starp mēslotajiem un kontroles objektiem (Maljanen *et al.*, 2006; Crutzen *et al.*, 2007). Tieši tāpat, liela nenoteiktība raksturīga augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu aprēķiniem, vērtējot meža mēslošanas ietekmi.

Atsevišķos pētījumos konstatēts augsnes oglekļa uzkrājuma pieaugums 15 gadu laikā par 10-26 % (12-20 tonnas CO₂ ha⁻¹) ar slāpekli mēsloātās priedes plantācijās (Nohrstedt *et al.*, 1989), citos pētījumos 30 gadu laikā mēsloātās egļu audzēs konstatēts 15-167 % oglekļa uzkrājuma pieaugums minerālaugsnē un 14-87 % zemsegā (maksimāli par 70 tonnām CO₂ ha⁻¹, Hyvönen *et al.*, 2008). Salīdzinošos pētījumos Somijā un Zviedrijā konstatēts, ka NPK mēslojums skujkoku audzēs būtiski palielina augsnes oglekļa uzkrājumu 14-30 gadu laikā (egles un priedes audzēs, attiecīgi, par 2,4 un 0,9 tonnām CO₂ ha⁻¹ gadā vairāk, nekā kontroles laukumos, Hyvönen *et al.*, 2008). Vairums pētījumu rezultātu liecina par oglekļa uzkrājuma pieaugumu, taču sastopami arī dati par to, ka, piemēram, pelnu mēslojums samazina augsnes oglekļa uzkrājumu pieaugušos mežos, jo veicina nedzīvās zemsegas mineralizāciju.

Augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņas šķiet saistītas ar slāpekļa mēslojuma ienešanas perioda ilgumu un laika sprīdi, kas pagājis kopš mēslojuma iestrādes. Sākotnēji oglekļa akumulācija notiek strauji, pēc tam oglekļa piesaistes temps samazinās, atgriežoties sākotnējā stāvoklī, ja mežaudžu mēslošanu neturpina (Franklin *et al.*, 2003). Intensīvi apsaimniekojamajos mežos pieaug arī koksnes izmantošanas intensitāte, piemēram, iegūstot celmu biomasu, tāpēc papildus CO₂ piesaiste augsnē un zemsegā var izlīdzināties ar oglekļa izņemšanu no ekosistēmas ar koksnes produktiem un biokurināmo. Saskaņā ar Zviedrijā veiktiem pētījumiem oglekļa piesaiste augsnē meža mēslošanas rezultātā ir neliela, salīdzinot ar aizstāšanas efektu, ko rada koksnes produkti un biokurināmais.

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Meža augsnes pētnieku grupa Miervalža Buša vadībā, kas pētīja meža mēslošanas nepieciešamību iepriekšējā gadsimta septiņdesmitajos gados, augu barības vielu nodrošinājumu augsnēs (Tab. 27) sadalījumā pa meža tipiem un tajos esošajiem augšanas apstākļiem raksturo sekojoši:

- sils – trūdvielu horizonts tikai 3-5 cm, tāpēc augsnē trūkst slāpekļa un fosforā, augsnes vidēji nodrošinātas ar kāliju (piejūrā galveno augsnes masu veido graudiņi 0,05-0,25mm un tie satur tikai 1- 2% māla, tāpēc ir niecīgs minerālvielu nodrošinājums augsnē, un veidojas audzes ar zemu bonitāti);
- mētrājs - augsnes veidojušās kā uz piejūras tā sandru smiltājiem, tām nedzīvās zemsegas slānis 6-10 cm, maz aktīvā fosforā, kas varētu būt saistīts ar zemsedzes un mežaudzes barošanās procesa patēriņu;
- damaksnis - veidojas uz mineraloģiski bagātākiem smiltis un mālsmitls nogulumiem, ar labi izteiktu trūdvielu horizontu, kas 15-20 cm biezs, parasti nenovēro barības vielu trūkumu, veidojas ražīgas mežaudzes;
- vēris - veidojas uz morēnu augsnes, trūdvielas 15-20 cm biezā slānī, mehāniskais sastāvs - satur gan oļus, gan granti, gan smilti, arī māla daļiņas, kas daļēji pasliktina augsnes fizikālās īpašības, jo mazina gaisa un ūdens caurlaidību, veicina glejošanos;
- kūdras un kūdrainās augsnes raksturojas ar biezu trūda slāni un lielu organiskās vielas daudzumu, organiskās vielas noārdās lēni, mēdz būt atsevišķu barības vielu trūkums Bušs u.c. 1974.

Tab. 27: Aktīvo barības vielu krājumi augsnē dažādos mežaudžu augšanas apstākļos g m⁻³.

Meža tips, augšanas apstākļi	N-NH ₄ ⁺	P	K
Sils	15-20	10	30
Mētrājs	20-25	5	50
Damaksnis	20-30	20-25	50
Vēris	30-35	5	80
Kūdrainās augsnes	65-70	5-8	55-60

Šī pētnieku grupa, vadoties pēc MPS “Kalsnava” ierīkotajos eksperimentos iegūtajiem datiem un tā laika citu pētnieku rezultātiem, sastādīja mēslojamo audžu secību, pēc potenciāli iegūstamā produktivitātes kāpinājuma un iegūtā ekonomiskā efekta. Vislabākais mēslošanas efekts panākams veselīgās II un III bonitātes priežu un egļu audzēs vēra un damakšņa meža tipos, ja to biežība nav mazāka par 0,7 un mēslošanu veic vienu vecuma klasi pirms cirtmeta (Tab. 28), astoņdesmitajos gados rekomendē mēsloāt arī pirmās bonitātes audzes.

Tab. 28: Mēslojamo audžu secība (Bušs et al., 1974, Kāposts, 1981)

Pēc vecuma	Pēc meža tipa	Pēc meža tipa	Pēc koku sugas	Pēc bonitātes	Pēc bonitātes	Pēc biežības	Pēc sanitārā stāvokļa
Pieaugušas audzes vienu vecuma klasi pirms cirtmeta	Vr Dm		Priede , egle	II, III	I , II, III	>0,7	Veselīgas audze
Briestaudzes	Mr	Ln, Mr	Bērzs, apse	I	II, III		
Vidēja vecuma audzes	Sl	Sl, Gr	Pārējās koku sugas	IV IV			
Jaunaudzes (pēc depresijas iestāšanās)	Nosusināts niedrājs	Āreņi		I ^a u.c.	I ^a , V		
Kultūras	Nosusināts riests u.c.	Kūdreni					

Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” 1981. gadā sagatavotajās rekomendācijās, kas tika pamatotas ar Meža pētīšanas stacijā “Kalsnava” ierīkoto izmēģinājumu rezultātiem, izveidota augsnes aktīvo barības vielu nodrošinājuma skala mēslojuma nepieciešamības noteikšanai dažādu meža augšanas apstākļu tipu augsnēm un sniegtas rekomendējamās mēslošanas devas aprēķināšanai (Tab. 29, Kāposts, 1981).

Tab. 29: Aktīvo barības vielu nodrošinājums augsnē (g m^{-3}) un mēslojuma nepieciešamība ($\text{kg tūrvielas ha}^{-1}$)

Koku suga, vecuma klase, meža tips		Slāpeklis (N)			Fosfors (P)			Kālijs (K)		
		Nepilnīgi	Vidēji	Labi	Nepilnīgi	Vidēji	Labi	Nepilnīgi	Vidēji	Labi
Priede III, IV		<20	20 - 35	>35	<10	10-15	>15	<20	20-25	>25
Mēslojuma deva	Sl	150	120	100	80	60	-	60	-	-
	Mr	200	150	120	100	80	60	60	-	-
	Ln	150	120	100	100	80	-	60	-	-
Egle IV, V		<25	25-35	>35	<6	6-10	>10	<15	15-20	>20
Mēslojuma deva	Vr	150	120	100	120	100	80	80	-	-
	Dm	120	100	80	100	80	60	60	-	-
Bērzs VI-VIII		<25	25-35	>35	<6	6-10	>10	<15	15-20	>20
Mēslojuma deva	Vr	150	150	120	100	80	60	80	60	-
	Dm	150	120	100	100	80	60	80	60	-

Sagatavotas arī rekomendācijas dažādu minerālā mēslojuma veidu izmantošanai dažādos meža tipos (Tab. 30, Kāposts, 1981). Rekomendētās mēslojuma devas būtiski neatšķiras no Ziemeļvalstīs vienreizējai iestrādei ieteiktajām devām.

Tab. 30: Minerāl mēslojuma devas (kg ha^{-1}) meža tipu griezumā pēc Kāposts, 1981

Meža tips	Tīrviela				Tehniskais produkts							
	N	P	K	kopā	NH_4NO_3 amonija nitrāts	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ amonija sulfāts	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ urīnviela	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{CaSO}_4$ superfosfāts	KCl kālija hlorīds	K_2SO_4 kālija sulfāts	$\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MgSO}_4$ kālija, magnija sulfāts	KCl + NaCl kālija sāls
Sl	120	80	60	260	340	570	260	400	110	125	220	150
Mr	150	80	-	230	430	715	325	400	-	-	-	-
Ln	120	80	-	200	340	570	260	400	-	-	-	-
Dm	100	80	-	180	285	475	215	400	-	-	-	-
Vr	120	100	-	220	340	570	260	500	-	-	-	-
Kūdreni	100	80	60	240	285	475	215	400	110	125	220	150

Barības vielu nodrošinājuma raksturošanai augsnes paraugu ievākšana rekomendēta aprīlī un maijā pirmajā dekādē vai vēl rudenī uz katriem 50 ha ievācot vismaz 1-2 paraugus no augsnes ģenētiskajiem horizontiem līdz 50 cm dziļumam (Kāposts, 1981). Faktiski, plānojot meža mēslošanu nogabalu līmenī, šāds ieteikums nav racionāls, jo vidējā nogabala platība ir 1,5-2 ha. Vienlaikus meža mēslošanai piemērotie nogabali, visticamāk, neatradīsies blakus, tādēļ augsnes izpēte būtu veicama katram nogabalam atsevišķi. Augsnes izpēti racionālāk aizstāt ar barības vielu nodrošinājuma tabulu izstrādāšanu dažādiem meža tipiem, paļaujoties uz vizuālām pazīmēm (pieaugums, skuju garums un krāsa). Pamatojoties uz vizuālu audzes novērtējumu tiktu noteikta mēslošanas vajadzība un nepieciešamās devas.

Ja nepieciešams veikt meža mēslošanu, tad tas darāms veģetācijas sezonas sākumā, vēlākais jūnijā. Nedrīkst mēslojumu izkliegt uz sniega segas! Ieteikts, ka audzes lietderīgi mēslot vien pēc kopšanas ciršu veikšanas. Noteikti nepieciešama mēsloto audžu iezīmēšana plānos un pazīmes reģistrēšana sistēmā, lai uzkrātu informāciju par mežaudzē veiktajiem pasākumiem (Kāposts, 1981).

Potenciāli mēslojamo mežaudžu atlase AS “Latvijas valsts meži” kopšanas ciršu fondā

Mežaudžu klasifikācija pēc to piemērotības meža mēslošanai veikta atbilstoši Балк & Райд, 1981. Igaunijas meža tipoloģija atšķiras no Latvijā lietotajiem meža tipiem, tāpēc šajā darbā veikta meža tipu savietošana atbilstoši veģetācijas raksturojumam, hidroloģiskajam režīmam un augsnes pamatmateriāla. Igaņu izstrādātajās rekomendācijās nav izcelti susinātie meža tipi, bet ieteikumi mēslojuma izmantošanai attiecināti uz dabiski mitrās augsnēs augošām mežaudzēm, paredzot, ka tās nosusinās pirms mēslojuma izmantošanas. Dažādu meža tipu vērtējums ballēs no 0 līdz 10 atbilstoši piemērotībai meža mēslošanai igauņu pētījumos:

1. Dm, Ln (II-III bonitāte); Kv, Av (II-III bonitāte); Kv, Km, Av (uz dabiski mitrām augsnēm Pv, Nd), IV-V bonitāte – 10 balles;
2. Sl, IV-V bonitāte, Mr, Av (uz dabiski mitrām augsnēm, attiecīgi, Mrs, Gs) III-IV bonitāte; As, Km, Ks (uz dabiski mitrām augsnēm, attiecīgi, Dms, Nd), IV bonitāte; Ks, Kp (uz dabiski mitrām augsnēm, attiecīgi, Nd, Db, Lk), IV-V bonitāte – 7 balles;
3. Kp (Lk), II-III bonitāte, Dm, Dms, II bonitāte, Vr, Vrs, II bonitāte – 3 balles;
4. pārējie meža tipi – 1 balle.

Igaunijā izstrādāto atlases kritēriju kopsavilkumā (Tab. 31) redzams, ka atsevišķi meža tipu noteiktie kritēriji dublējas, jo attiecīgajam meža tipam Latvijā nav raksturīgas tādas bonitātes, piemēram mežaudzēs uz susinātas zemo purvu kūdras, visticamāk, neveidosies IV-V bonitātes mežaudzes, ja hidroloģiskais režīms ir normāls un nav citu traucējošu faktoru, ko nevar novērst ar mēslošanu, tāpēc pētījumā izstrādāta precizēta atlases sistēma, kas balstās Igaunijā izstrādātajiem kritērijiem par meža vecumu, biezību un valdošo sugu un precizētu meža tipu un bonitāšu sadalījumu. Jāņem vērā, ka sadalījums ir teorētisks un, uzsākot meža mēslošanu ražošanas apjomos, rekomendācijas ir precizējamas atbilstoši praksē iegūtiem rezultātiem.

Tab. 31: Mežaudžu atlasē kritēriji meža mēslošanai Igaunijā

Meža tips un bonitāte			Meža vecums		Biezība		Valdošā suga	
meža tips	bonitāte	vērtējums	rādītājs	vērtējums	rādītājs	vērtējums	rādītājs	vērtējums
Ln, Dm	II-III	10	briestaudze	3	0,5-0,8	2	E	3
Mr	II-III	10	vidēja vecuma un jaunaudze	1	> 0,8	1	P	2
Kv, Km, Av (Pv)	II-III (IV-V)	10	pāraugusi audze	0	< 0,5	0	B	1
Sl	IV-V	7						
Mr, Av (Mrs, Gs)	III-IV	7						
As, Km, Ks (Dms, Nd)	III-IV (III-V)	7						
Ks (Db, Lk)	II-III (IV-V)	7						
Kp (Lk)	IV-V	3						
Ap, Kp (Dms, Db)	II-III (V)	3						
Vr, Vrs	II	3						
Gr, Grs	II	3						
Pārējie	-	1						

Igaunu izstrādātajā mēslošanai piemēroto audžu atlasē sistēmā lielākais uzsvars likts uz vidēji auglīgu meža tipu ar būtiski produktivitātes pieauguma potenciālu prioritizēšanu, otrajā vietā liekot meža tipus uz dabiski mitrām augsnēm ar tikpat lielu vai mazāku produktivitātes pieauguma potenciālu un trešajā vietā – meža tipus uz auglīgām dabiski mitrām un sausām augsnēm, kur papildus pieaugums mēslošanas rezultātā būtu salīdzinoši neliels vai arī būtiski lielāku efektu radītu meža meliorācija, nevis mēslošana. Līdzīga pieeja izmantota pētījumā, lai sagrupētu meža tipus, atbilstoši to piemērotībai meža mēslošanai.

Prioritāšu aprēķinos, pirmkārt, novērtēts 1-1A bonitāšu audžu procentuālais īpatsvars attiecīgajā meža tipā, pieņemot, ka, jo lielāks ir šo audžu īpatsvars, jo lielāka ir iespēja palielināt produktivitāti attiecīgā meža tipa mazākas bonitātes audzēs. Otrkārt, novērtēts 2-4 bonitāšu mežaudžu īpatsvars attiecīgajā meža tipā, kas raksturo mēslošanai piemēroto mežaudžu īpatsvaru attiecīgajā meža tipā. Trešais rādītājs ir 4-5A bonitātes mežaudžu īpatsvars attiecīgajā meža tipā, kas raksturo iespējamās riskus, ka mēslojums neradīs vēlamo efektu, jo to mazinās citi faktori. Ceturtais rādītājs ir attiecīgā meža tipa mēslošanai piemērotāko audžu (2-4 bonitāte) īpatsvaru ko kopējās atlasē iekļauto sausieņu, kūdreņu un āreņu platības. Kā papildus negatīvās atlasē kritērijs pievienots 1A bonitātes audžu īpatsvars attiecīgajā meža tipā. Trešajam un piektajam atlasē kritērijiem dotas negatīvas vērtības, pārējiem pozitīvas (Tab. 32).

Tab. 32: Meža tipu un bonitāšu atlasē kritēriju kopsavilkums

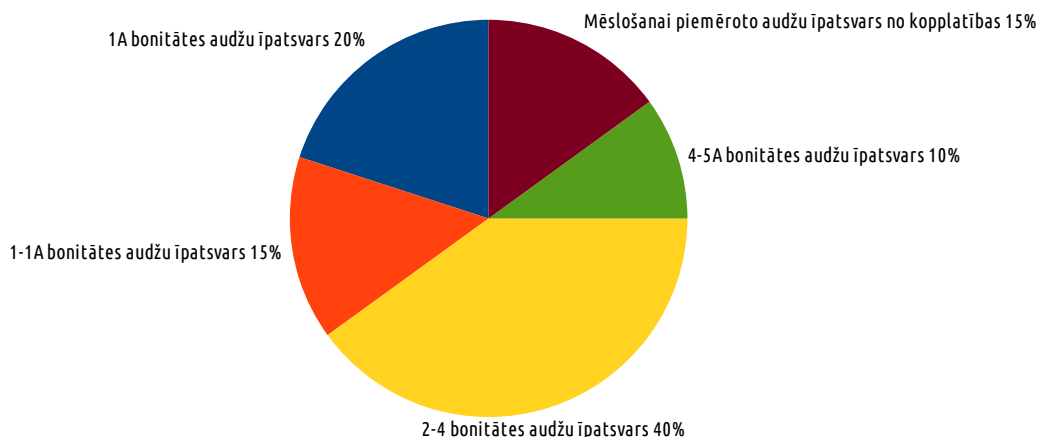
Meža tips	1A bonitātes audžu īpatsvars	1-1A bonitātes audžu īpatsvars	2-4 bonitātes audžu īpatsvars	4-5A bonitātes audžu īpatsvars	Mēslošanai piemēroto platību īpatsvars no atlasē kopplatības
Sausieņi					
Mētrājs	-4%	23%	75%	-8%	3%
Lāns	-13%	44%	55%	-2%	2%
Damaksnis	-33%	77%	23%	-2%	5%
Vēris	-40%	77%	22%	-3%	6%
Gārša	-30%	64%	35%	-2%	1%

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

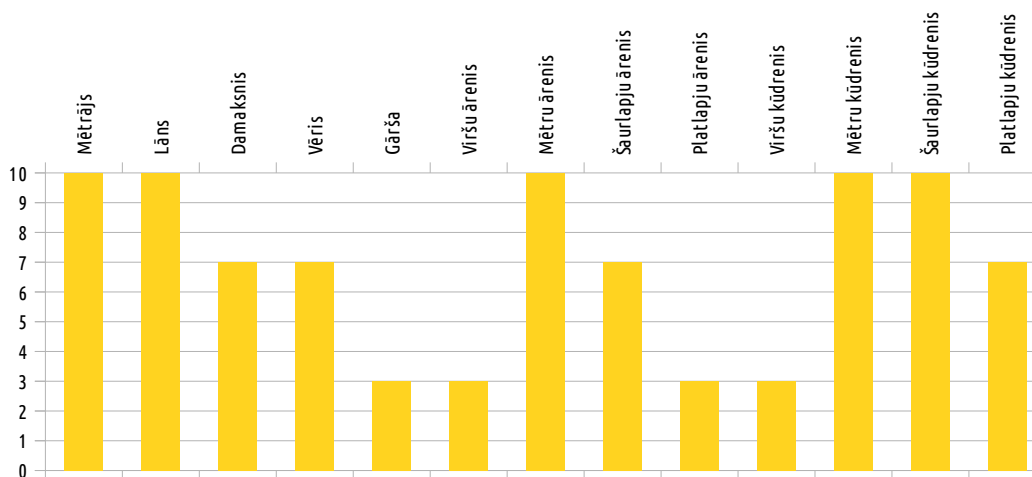
Meža tips	1A bonitātes audžu īpatsvars	1-1A bonitātes audžu īpatsvars	2-4 bonitātes audžu īpatsvars	4-5A bonitātes audžu īpatsvars	Mēslošanai piemēroto platību īpatsvars no atlas kopplatības
Āreņi					
Viršu ārenis	-2%	4%	47%	-72%	0%
Mētru ārenis	-11%	36%	62%	-4%	1%
Šaurlapju ārenis	-28%	69%	31%	-2%	5%
Platlapju ārenis	-36%	76%	24%	-1%	1%
Kūdreni					
Viršu kūdrenis	-2%	4%	47%	-72%	0%
Mētru kūdrenis	-6%	18%	73%	-21%	2%
Šaurlapju kūdrenis	-15%	47%	52%	-8%	5%
Platlapju kūdrenis	-18%	51%	49%	-3%	2%

Pēc sākotnējās atlasē (Tab. 32) visi kritēriji svērti pret to ietekmes kopsummu, t.i., piemēram, 1A Ln mežaudžu procentuālais īpatsvars dalīts ar 1A audžu procentuālā īpatsvara summu visos atlasē iekļautos meža tipos, un katram kritērijam piešķirts pieņemts ietekmes īpatsvars (Att. 19). Svērtu kritēriju un ietekmes īpatsvara reizinājumu summa veido attiecīgā meža tipa mēslošanas prioritāti. Ietekmes īpatsvars rēķināts tā, lai palielinātu Ln, Am un Km prioritāti mēslošanā, jo šajos meža tipos konstatēts lielākais papildus pieaugums, un samazinātu Gr prioritāti, kur mēslošana nav rekomendējama atbilstoši literatūrā pieejamajai informācijai. Jāņem vērā, ka praksē situācija var būt citāda un arī Gr var iegūt būtisku papildus pieaugumu meža mēslošanā, piemēram, bērza audzēs.

Atlasītie meža tipi sadalīti 3 kategorijās atbilstoši iegūtajam mēslošanas prioritātes rādītājam – ja tas ir lielāks par 2/3 no maksimālā rādītāja, attiecīgajam meža tipam piešķirtas 10, balles, ja lielāks par 1/3, tad – 7 balles, bet pārējiem meža tipiem piešķirtas 3 balles. Atlasē neiekļautajiem meža tipiem piešķirta 1 balle. Augstāko prioritāti ieguvušie meža tipi ir Mr, Ln, Am, Km un Ks (Att. 20). Attiecīgā meža tipa mēslošanai piemērotās platības īpatsvara no ģenerālkopas (5. kritērijs) ignorēšana būtiski neietekmē mēslošanas prioritāšu sadalījumu.



Att. 19: Pieņemtais atlasē kritēriju ietekmes īpatsvars.



Att. 20: Meža tipu prioritāte meža mēslošanā.

Koriģētajā mežaudžu atlasē tabulā (Tab. 33) iekļauti pētījuma ietvaros sagatavotie meža tipa un bonitātes atlasē nosacījumi un īgaunu rekomendācijās iekļautie nosacījumi meža vecuma, biezības un valdošās sugas atlasē nosacījumi. Jāņem vērā, ka biezības atlasē nosacījumi reālos apstākļos, piemēram, audzēs, kas sastāv no 2 stāviem, var nebūt objektīvi, un būtisku papildus pieaugumu var iegūt arī audzēs ar lielāku biezību.

Tab. 33: Koriģēta mežaudžu atlasē tabula meža mēslošanas prioritāšu noteikšanai

Meža tips un bonitāte			Meža vecums		Biezība		Valdošā suga	
meža tips	bonitāte	vērtējums	rādītājs	vērtējums	rādītājs	vērtējums	rādītājs	vērtējums
Mr, Ln, Am, Km, Ks	2-4	10	briestaudze	3	0,5-0,8	2	E	3
Dm, Vr, As, Kp	2-4	7	vidēja vecuma un jaunaudze	1	> 0,8	1	P	2
Gr, Av, Ap, Kv	2-4	3	pāraugusi audze	0	< 0,5	0	B	1
Pārējie meža tipi	-	1						

Mežaudzes uz dabiski mitrām augsnēm, kurās paredzēts ierīkot meliorācijas sistēmu, vērtējamas tāpat, kā mežaudzes uz susinātām augsnēm, pieņemot, ka zemākās bonitātes audzēs (5-5A) ir mazāka prioritāte un labāk augošām audzēm (3-4 bonitāte) ir lielāka prioritāte.

Izstrādātā mežaudžu klasifikācijas sistēma mēslošanas prioritātes noteikšanai ir detalizētāka, nekā V. Kāposta 1981. gadā piedāvātais mežaudžu sadalījums, kas balstījās uz vidējo nodrošinājumu ar barības vielām dažādos meža tipos (Kāposts, 1981). Tomēr jāņem vērā, ka reālos apstākļos šis iedalījums var ne vienmēr būs pietiekami efektīvs, jo meža tips ne vienmēr raksturo faktiskos augšanas apstākļus. Tāpat, mehāniska mežaudžu sadalīšana pēc 5 pazīmēm nesniedz priekšstatu par vairākiem būtiskiem faktoriem, kas var ierobežot mēslojuma pielietojumu, piemēram, nogāzes slīpums, piekļūšanas iespējas, tehnoloģisko koridoru piemērotību mēslojuma izkliedēšanai, pameža un paaugas blīvums, tuvumā esošās ūdenskrātuves, īpašās apsaimniekošanas prasības aizsargājamām dabas teritorijām pieguļošos mežos u.c.

Darba metodika

Mežaudžu atlases kritēriji vienlaicīgi izmantoti arī iespējamā meža mēslošanas efekta novērtēšanai, pieņemot, ka vidējais vērtējums atbilst vidējiem mēslojuma ietekmes rādītājiem. Mežaudžu klasificēšana pēc to piemērotības mēslojuma izmantošanai veikta, izmantojot meža tipa un bonitātes, vecuma, biezības un valdošās sugas atlases kritērijus. Apvienotā meža tipa un bonitātes kritērija vērtēšanas skala dota Tab. 34. Jo lielāka kritērija skaitliskā vērtība, jo piemērotāka audze.

Tab. 34 Mežaudžu atlase pēc bonitātes un meža tipa

Meža tips	1A	1	2	3	4	5
Sl	0	0	1	1	1	0
Mr	0	0	10	10	10	0
Ln	0	0	7	7	7	0
Dm	0	0	10	10	10	0
Vr	0	0	7	7	7	0
Gr	0	0	3	3	3	0
Gs	0	0	1	1	1	0
Mrs	0	0	1	1	1	0
Dms	0	0	1	1	1	0
Vrs	0	0	1	1	1	0
Grs	0	0	1	1	1	0
Pv	0	0	1	1	1	0
Nd	0	0	1	1	1	0
Db	0	0	1	1	1	0
Lk	0	0	1	1	1	0
Av	0	0	1	1	1	0
Am	0	0	10	10	10	0
As	0	0	7	7	7	0
Ap	0	0	3	3	3	0
Kv	0	0	3	3	3	0
Km	0	0	10	10	10	0
Ks	0	0	10	10	10	0
Kp	0	0	7	7	7	0

Dažāda vecuma audžu vērtējums dots Tab. 35, bet sadalījums vecuma grupās - Tab. 36.

Tab. 35 Mežaudžu atlase pēc vecuma kategorijas

Vecuma grupa	Vērtējums
Jaunaudze	1
Vidēja vecuma audze	1
Briestaudze	3
Pāraugusi audze	0

Tab. 36 Sadalījums vecuma kategorijās pēc audzes vecuma gados

Suga	Jaunaudze	Vidēja vecuma audze	Briestaudze	Pieaugusi audze
B	15	61	71	101
E	20	61	81	141
P	20	81	101	161

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Mežaudžu biežības vērtējums dots Tab. 37, bet mežaudžu atlases pēc valdošās sugas vērtējums - Tab. 38.

Tab. 37 Mežaudžu atlase pēc biežības

Biezības robežvērtība	Vērtējums
0,5-0,8	2
> 0,8	1
< 0,5	0

Tab. 38 Mežaudžu atlase pēc valdošās sugas

Suga	vērtējums
B	1
E	3
P	2

Tab. 39 Aprēķinos pieņemtais galvenās cirtes vecums

Suga	Galvenā cirte
B	71
E	81
P	101

Mēslojuma ietekmes prognozēšanai izmantota V. Kāposta izstrādātā meža mēslošanas ietekmes kopsavilkuma tabula, kurā apkopti nozīmīgāko Latvijā veikto meža mēslošanas izmēģinājumu rezultāti (Tab. 40). Aprēķinos izmantoti vidējie ietekmes rādītāji sugu griezumā, pieņemot, ka tie raksturo vidējo mēslojuma ietekmi (Tab. 41) un mēslojuma ietekme mainās lineāri, proporcionāli mežaudžu atlases kritēriju vērtību summai, t.i., ja vidējais B audžu vērtējums ir 5, ikgadējais papildus pieaugums audzēs ar vērtējumu 5 atbilstoši Tab. 41 ir $1,7 \text{ m}^3$, audzēs ar vērtējumu 0, papildus pieaugums neveidojas, bet audzēs ar vērtējumu 10 papildus pieaugums ir $3,4 \text{ m}^3$ gadā.

Tab. 40 Mēslojuma ietekmes kopsavilkums (Kāposts, 1981)

Suga	Vecumklase	Meža tips	Minerālmēslojums			Papildpieaugums		Ietekmes ilgums
			N	P	K	$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ gadā}$	%	
B	VII	damaksnis	100	120		1,5	76	5
B	VI	vēris	100	120		0,5	17	5
B	VIII	vēris	150	100	80	2,5	94	
B	VIII	vēris	150			2,1	80	5
E	IV	damaksnis	80	80	120	3	43	10
E	IV	damaksnis	120			3	30	5
E	V	damaksnis	120	80		1,9	21	
E	V	vēris	150			2,2	44	
P	V	sils	80	80	120	1,2	33	10
P	III	lāns	75			1,1	12	10
P	IV	mētrājs	85			2,5	32	
P	IV	mētrājs	80	80	120	1,1	34	10
P	V	mētrājs	200			5	103	5
P	V	mētrājs	150			3,5	72	5
P	V	mētrājs	85			1,1	22	10

Tab. 41 Pieņēmumi par mēslojuma vidējo ietekmi

Suga	Papildpieaugums		Ietekmes ilgums
	m ³ ha ⁻¹ gadā	m ³ ha ⁻¹	
B	1,7	8,3	5,0
E	2,5	18,9	7,5
P	2,2	18,5	8,3

Kokmateriālu struktūras raksturošanai papildus pieaugumā izmantoti SEG inventarizācijā CO₂ piesaistes koksnes produktos aprēķinos izmantotie pieņēmumi (Tab. 42), kas atbilst AS “Latvijas valsts meži” kokmateriālu sadalījumam visos ciršu veidos 2010.-2011. gados (Lazdiņš *et al.*, 2012; Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre *et al.*, 2014). Aprēķinos pieņemtā kokmateriālu realizācijas cena dota Tab. 43. Dažādi aprēķinu koeficienti un pieņēmumi apkopoti Tab. 44.

Tab. 42 Kokmateriālu struktūra papildus pieaugumā

Valdošā suga	Skujkoku zāgbaļķi	Lapu koku zāgbaļķi	Papīrmalka	Malka
B	23,90%	13,57%	45,83%	16,69%
E	42,91%	5,19%	36,69%	15,21%
P	60,00%	2,00%	30,00%	8,00%

Tab. 43 Vidējā kokmateriālu cena, EUR m⁻³

Valdošā suga	Skujkoku zāgbaļķi	Lapu koku zāgbaļķi	Papīrmalka	Malka
B	€ 56,71	€ 56,35	€ 36,00	€ 21,43
E	€ 56,71	€ 56,35	€ 38,09	€ 23,14
P	€ 56,71	€ 56,35	€ 38,09	€ 23,14

Tab. 44 Dažādi aprēķinu koeficienti un pieņēmumi

Rādītājs	Skaitliskā vērtība	Skaidrojums
Šķeldu cena, EUR ber. m ⁻³	€ 11,43	-
Mežizstrādes atlieku īpatsvars, ber. m ³ m ⁻³	80,00%	Mežizstrādes atliekas no apaļajiem kokmateriāliem
Mežizstrādes izmaksas, EUR m ⁻³	10,89	pievešana un ceļu transports, neskaitot izstrādi
Biokurināmā sagatavošanas izmaksas, EUR ber. m ⁻³	7,14	pievešana, šķeldošana un ceļu transports
Mēslojuma deva, kg N ha ⁻¹	150	-
Mēslojums, % N	44,00%	karbamīds
Mēslojuma cena, EUR tona ⁻¹	€ 297,14	-
Mēslojuma izkliešanas izmaksas, EUR ha ⁻¹		
lauksaimniecībā	15,6	
pieņemts mežsaimniecībā	42,86	pieņēmums atbilstoši vidējam tehnikas pārvietošanas ātrumam regulārā pievešanas ceļu izvietojumā

Diskonta likme ieņēmumu aprēķinos pieņemta 5,00%.

Kopumā aprēķinā iekļauta 18011 audze no 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fonda (33551 ha) un 5584 audzes no 2014. gada kopšanas ciršu fonda (10576 ha). Audžu sadalījums pēc valdošās sugas un meža tipa dots Tab. 45 un Tab. 46.

Tab. 45 Kopšanas ciršu platības sadalījums pēc meža tipa un valdošās sugas 2010.-2013. gados

Platība, ha	B	E	P	Visas sugas
-------------	---	---	---	-------------

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Platība, ha	B	E	P	Visas sugas
Am	9	20	1 641	1 670
Ap	539	1 117	13	1 668
As	792	2 289	2 523	5 604
Av	2	3	246	251
Dm	681	3 486	3 304	7 471
Gr	245	658		902
Km	17	9	268	294
Kp	499	372	8	879
Ks	293	443	555	1 291
Kv	10	1	189	201
Ln	53	112	4 924	5 090
Mr	4	5	3 186	3 194
Vr	862	4 167	8	5 038
Visi meža tipi	4 004	12 681	16 866	33 551

Tab. 46 Kopšanas ciršu platības sadalījums pēc meža tipa un valdošās sugas 2014. gadā

Platība, ha	B	E	P	Visas sugas
Am	31	8	405	444
Ap	209	355		564
As	214	758	524	1 497
Av	0		64	64
Dm	262	1 614	849	2 725
Gr	84	442		526
Km	14	5	105	124
Kp	100	166	2	269
Ks	91	197	150	437
Kv	6		59	64
Ln	17	17	1 120	1 153
Mr			514	514
Vr	185	1 999	12	2 196
Visi meža tipi	1 212	5 562	3 803	10 576

Mēslošanas iespēju analīze

2010.-2013. gada kopšanas ciršu fonds

Vidējais kopšanas ciršu fonda vērtējums pēc piemērotības meža mēslošanai dots Tab. 47; attiecīgi, visās audzēs, kas ieguva lielāku vērtējumu, prognozētais krājas pieaugums ir lielāks par vidējiem rādītājiem, kas iegūti pagājušā gadsimta 70. gadu pētījumos, bet audzēs, kas ieguva mazāku vērtējumu – proporcionāli mazāks. Mežaudžu sadalījums pēc to piemērotības mēslošanai dots Tab. 48.

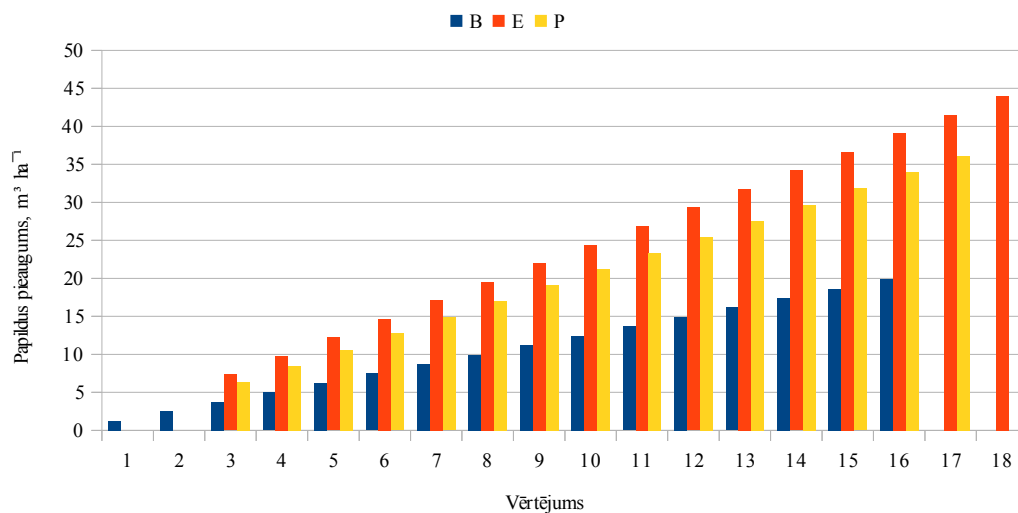
Tab. 47 Vidējais vērtējums atbilstoši audžu piemērotībai meža mēslošanai

Valdošā suga	Vidējais vērtējums
B	6,6
E	7,8
P	8,7

Tab. 48 Mežaudžu platības sadalījums pēc piemērotības mēslojuma pielietošanai, ha

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
1	3			3
2	59			59
3	852	2	29	883
4	1 101	47	3 874	5 021
5	266	4 006	3 930	8 201
6	348	4 866	819	6 033
7	106	234	394	734
8	8	400	99	507
9	26	166	12	203
10	449	7	45	500
11	337	24	957	1 318
12	66	713	1 669	2 448
13	180	911	383	1 474
14	136	85	1 381	1 602
15	41	504	2 591	3 137
16	27	622	368	1 018
17		57	315	372
18		37		37

Papildus pieauguma prognoze atkarībā no vērtējuma dota Att. 21. Salīdzinoši vismazākais papildus pieaugums iespējams bērza audzēs, vislielākais – egles audzēs. Praksē gan situācija var atšķirties, jo pagājušā gadsimta 70. gados bērzam, kā saimnieciski nozīmīgai sugai, netika pievērsta pietiekoši liela uzmanība, un iegūtie rezultāti var raksturot saimnieciski mazvērtīgas audzes.



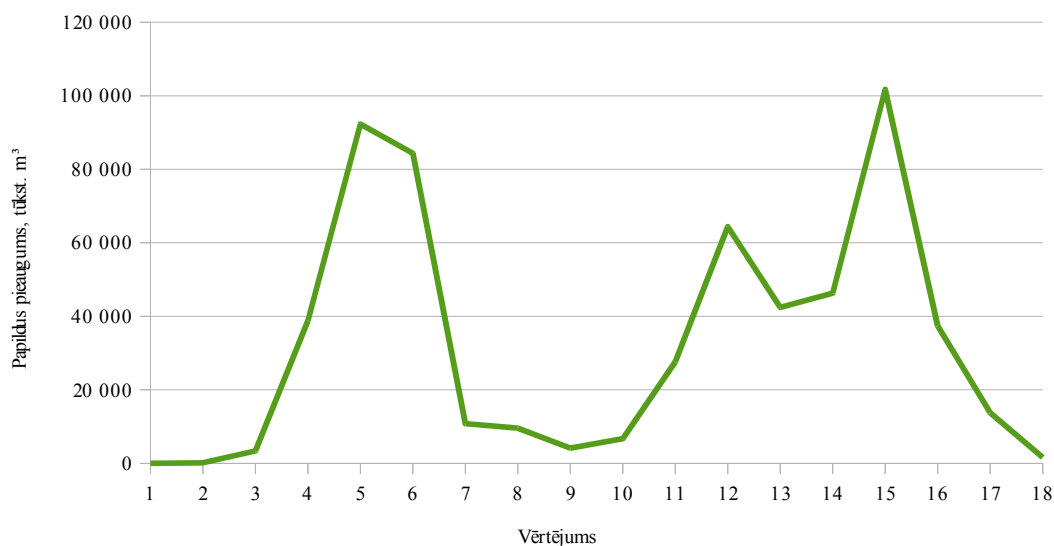
Att. 21: Pieņēmumi par papildus pieaugumu atkarībā no mežaudzes vērtējuma.

Kopējais prognozētais papildus pieaugums 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fondā ir 585 tūkst. m³, ja pieņem, ka mēslojumu izmanto visos 34 tūkst. ha. Vislielākais papildus pieaugums sagaidāms skujkoku audzēs, kopā 553 tūkst. m³ (Tab. 49). Lielākā daļa

papildus pieauguma veidosies audzēs ar lielu vērtējumu, taču būtisks ir arī audžu ar mazu vērtējumu īpatsvars, kur mēslojuma pielietošana ir apšaubāma (Att. 22).

Tab. 49 Papildus pieauguma prognoze, m³

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
1	3			3
2	147			147
3	3 177	12	183	3 372
4	5 473	456	32 879	38 809
5	1 650	48 933	41 703	92 286
6	2 597	71 331	10 427	84 355
7	918	4 006	5 859	10 782
8	81	7 811	1 679	9 570
9	286	3 639	229	4 155
10	5 576	171	944	6 691
11	4 607	648	22 339	27 594
12	984	20 902	42 491	64 377
13	2 906	28 942	10 571	42 420
14	2 366	2 901	41 028	46 295
15	772	18 479	82 471	101 722
16	545	24 316	12 505	37 365
17		2 351	11 378	13 729
18		1 618		1 618
Kopā	32 087	236 515	316 687	585 289



Att. 22: Papildus pieauguma sadalījums pēc audžu vērtējuma.

Kopējie diskontētie neto ieņēmumi no kokmateriālu realizācijas (ieņēmumi atskaitot izdevumus meža mēslošanai, mežizstrādei un kokmateriālu piegādei) atbilst 4,1 milj. EUR (Tab. 50). Jāņem vērā, ka ieņēmumu prognoze balstīta uz praksē nepārbaudītiem pieņēmumiem par meža mēslošanas izmaksām, kas var būtiski

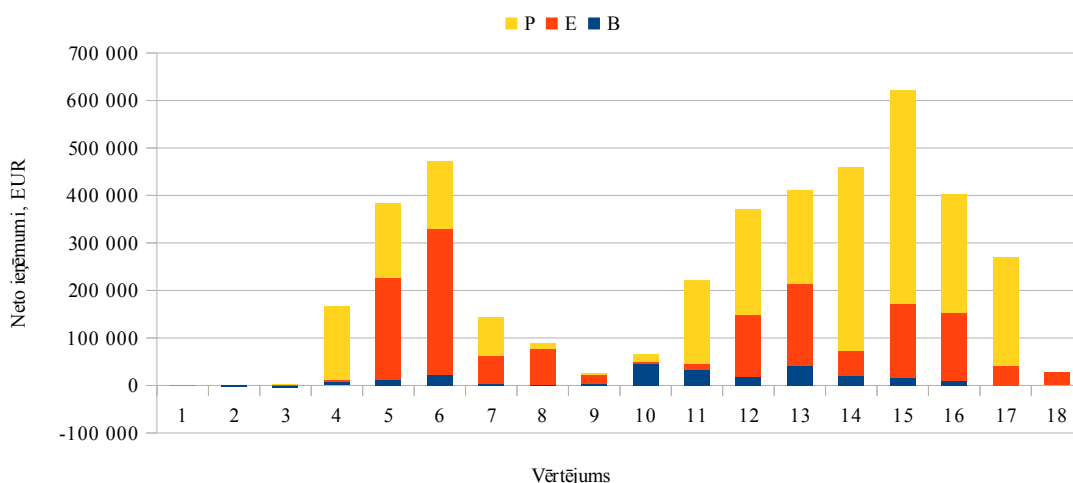
Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

palielināties, piemēram, sakarā ar mēslojuma piegādes loģistikas organizācijas īpatnībām vai neprognozēti lielām mēslojuma izkliedēšanas izmaksām, ja šajā sektorā netiks nodrošināta pietiekoši liela pakalpojumu sniedzēju konkurence.

Papildus ieņēmumus veido galvenokārt skujkoku audzes ar lielu vērtējumu (Att. 23).

Tab. 50 Diskontēto ieņēmumu prognoze

Valdošā suga	B	E	P	Visas sugas
Diskontētie ieņēmumi, EUR	228 660	1 415 510	2 478 753	4 122 924



Att. 23: Diskontēto ieņēmumu prognoze atkarībā no valdošās sugas un audzes vērtējuma.

Vidējie neto ieņēmumi uz 1 ha gadā palielinās proporcionāli mežaudžu vērtējumam. Audzēs ar vērtējumu līdz 5 ballēm papildus ieņēmumi gada laikā ir negatīvi vai tuvi nullei; bērza audzēs ar vērtējumu 5 balles vidējie ikgadējie ieņēmumi sasniedz 15,4 EUR ha⁻¹ gadā, egļu audzēs papildus neto ieņēmumi pārsniedz 20 EUR ha⁻¹ gadā, ja vērtējums ir vismaz 7 balles, bet priežu audzēs – 6 balles (Tab. 51). Vidēji visā kopšanas ciršu fondā papildus neto ieņēmumi pārsniedz 20 EUR ha⁻¹ gadā, ja vērtējums ir vismaz 7 balles.

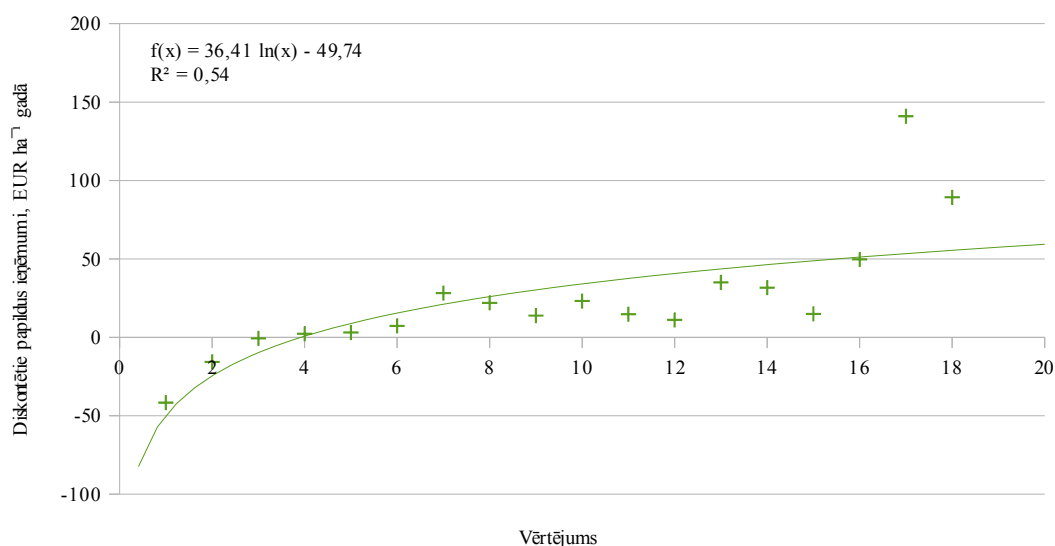
Neto papildus ieņēmumu un mežaudžu vērtējuma sakarību 2010.-2013. kopšanas cirsmu fondā raksturo logaritmiska regresija (Att. 24).

Tab. 51 Vidējo ikgadējo diskontēto ieņēmumu prognoze, EUR ha⁻¹ gadā

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
1	-41,61			-41,61
2	-15,65			-15,65
3	-1,08	18,58	7,57	-0,64
4	0,84	17,35	2,55	2,35
5	15,39	3,26	2,16	3,1
6	20,93	3,53	24,47	7,32
7	4,6	27,98	33,71	28,22
8	37,63	24,64	9,93	22,01
9	30,76	6,49	91,24	13,89
10	16,54	42,41	68,32	23,19

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
11	9,34	78,34	14,9	14,75
12	83,37	12,75	7,48	11,12
13	48,34	11,38	81,15	35,08
14	12,83	93,86	29,77	31,73
15	85,7	27,79	10,59	15
16	113,79	11,62	118,01	49,73
17		92,45	154,5	140,99
18		89,27		89,27
Vidēji	12,15	9,06	15,44	12,66



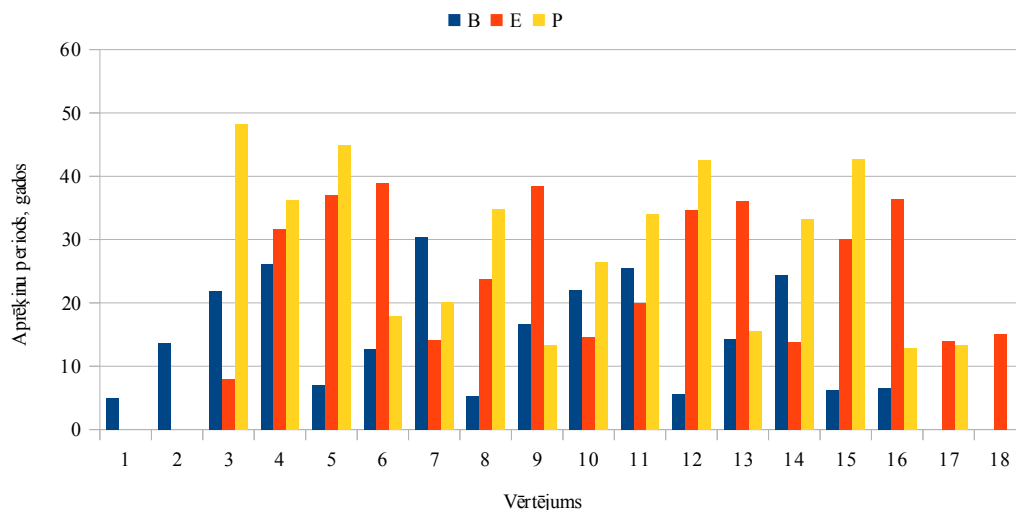
Att. 24: Sakarība starp papildus ieņēmumiem un mežaudžu vērtējumu 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fondā.

Būtisks rādītājs ir ieņēmumu iegūšanas sadalījums laikā. Tab. 52 parādīts vidējais laiks no 2015. gada (nosacītais mežaudžu mēslošanas laiks) līdz galvenās cirtes vecuma sasniegšanai, kas pieņemts kā aprēķinu periods ieņēmumu diskontēšanai. Skujkokiem aprēķinu periods ir 36-37 gadi (aptuveni 5 reizes ilgāks par mēslošanas ietekmes ilgumu), bērzam – 21 gads (4 reizes ilgāks par mēslojuma ietekmes ilgumu). Aprēķinu periods atkarībā no audzes vērtējuma dots Att. 25. Grafīkā redzams, ka aprēķinu periods būtiski neatšķiras atkarībā no audzes vērtējuma. Salīdzinoši īsāks aprēķinu periods gandrīz visās vērtējuma grupās ir bērza audzēm.

Jo garāks aprēķinu periods, jo lielāks risks, ka daļa papildus pieauguma transformēsies kritālās un papildus pieaugums būs būtiski mazāks, nekā prognozēts. Šo risku vēl vairāk palielina ekstrēmu vēju un ugunsgrēku risks.

Tab. 52 Vidējais aprēķinu perioda ilgums gados

Valdošā suga	B	E	P	Visas sugas
Aprēķinu perioda ilgums	21	36	37	35



Att. 25: Vidējais aprēķinu perioda ilgums.

Lai ņemtu vērā aprēķinu periodu un mazinātu zaudējumu risku, veikts papildus pieauguma un ieņēmumu prognozes aprēķins tām audzēm, kurās aprēķinu periods nav garāks par 10 gadiem un piemērotības vērtējums ir vismaz 5 balles. 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fondā šādu audžu ir 1,8 tūkst. ha, tajā skaitā lielākā daļa ir bērza un priedes audzes. Jāņem vērā, ka, vērtējot iespēju veikt galveno cirti pēc caurmēra, šādu audžu īpatsvars var būt vairākas reizes lielāks, taču aprēķina perioda noteikšanai pēc caurmēra nepieciešami korekti empīriski dati par audžu caurmēra pieauguma prognozēm.

Tab. 53 Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, ha

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
5	264	19	4	287
6	253	1	111	365
7	5	62	72	139
8	8	44		52
9	18		2	19
10	40	3	28	71
11	15	14	28	58
12	66	9		75
13	91		131	222
14	2	36	100	138
15	41	31		72
16	27		123	150
17		15	122	137
18		8		8
Kopā	830	242	720	1 792

Papildus pieaugums audzēs, kas sasniegs galvenās cirtes vecumu pēc 10 gadiem, ir 36 tūkst. m³. Tas veidosies galvenokārt skujkoku audzēs (Tab. 54). Diskontētie neto papildus ieņēmumi aprēķinu perioda beigās – 693 tūkst. EUR (Tab. 55).

Tab. 54 Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, papildus pieaugums m³

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
5	1 639	232	40	1 912
6	1 886	9	1 418	3 313
7	45	1 059	1 073	2 176
8	81	864		944
9	199		29	228
10	495	73	588	1 156
11	202	387	663	1 252
12	984	249		1 233
13	1 464		3 617	5 080
14	33	1 242	2 962	4 237
15	772	1 125		1 897
16	545		4 159	4 704
17		636	4 394	5 029
18		347		347
Kopā	8 344	6 223	18 943	33 509

Tab. 55 Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, diskontētie papildus ieņēmumi EUR

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
5	12 766	4 005	747	17 518
6	19 458	163	27 529	47 151
7	479	20 270	21 616	42 364
8	1 195	17 159		18 354
9	3 185		588	3 773
10	7 515	1 422	13 598	22 535
11	2 891	8 364	15 613	26 867
12	17 972	5 461		23 433
13	27 144		85 700	112 844
14	518	27 087	71 561	99 166
15	14 569	24 634		39 203
16	10 884		100 681	111 565
17		14 221	106 089	120 309
18		7 735		7 735
Kopā	118 576	130 521	443 721	692 818

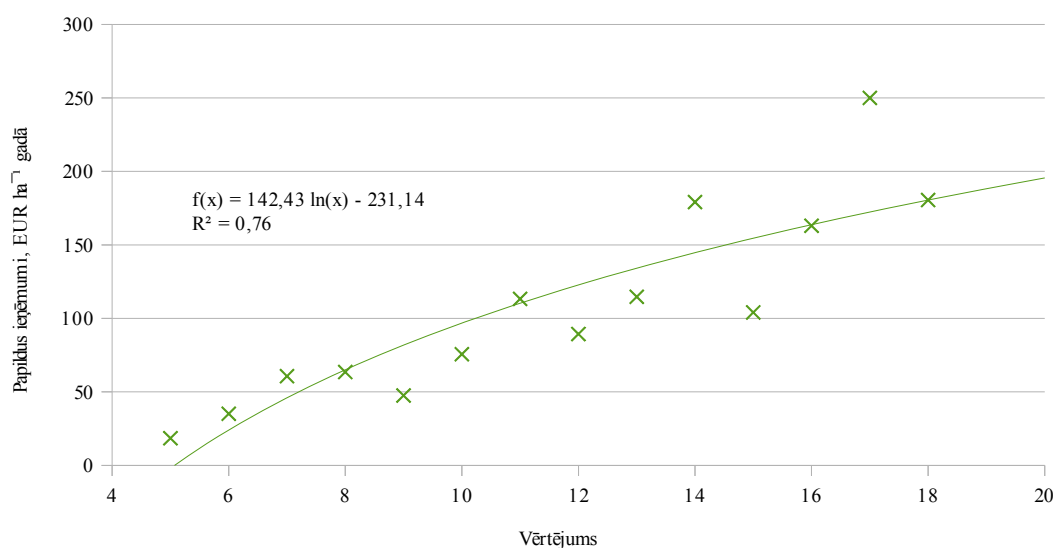
Vidējie neto papildus ieņēmumi gadā būtiski palielinās, ja aprēķinā iekļauj tikai tās audzes, kurās aprēķinu periods nav lielāks par 10 gadiem (Tab. 56). Tāpat kā aprēķinā, kurā iekļautas visas audzes, salīdzinoši lielāki vidējie ikgadējie neto papildus ieņēmumi sagaidāmi no skujkoku audzēm. Papildus ieņēmumus atkarībā no audzes vērtējuma raksturo logaritmiska regresijas līkne (Att. 26).

Tab. 56 Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, diskontētie papildus ieņēmumi EUR ha⁻¹ gadā

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
5	15,6	55,6	46,7	18,5
6	27,3	20,4	48,6	35,2

Meža mēslšanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

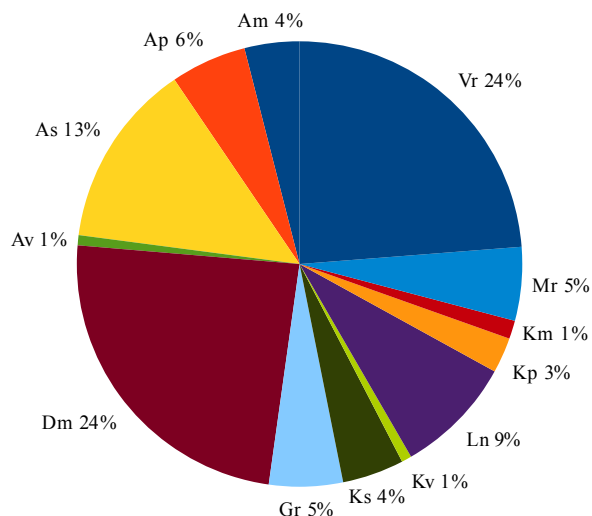
Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
7	16,0	47,6	90,3	60,7
8	37,6	68,7		63,5
9	46,6		58,8	47,5
10	52,7	72,4	106,2	75,7
11	41,3	130,7	139,4	113,3
12	83,4	136,5		89,4
13	86,6		135,1	114,7
14	25,9	139,7	208,0	179,1
15	85,7	125,7		104,1
16	113,8		175,4	163,0
17		154,4	273,5	250,1
18		180,5		180,5
Kopā	45,1	92,8	147,6	91,4



Att. 26: Papildus ieņēmumu prognoze audzēs ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem.

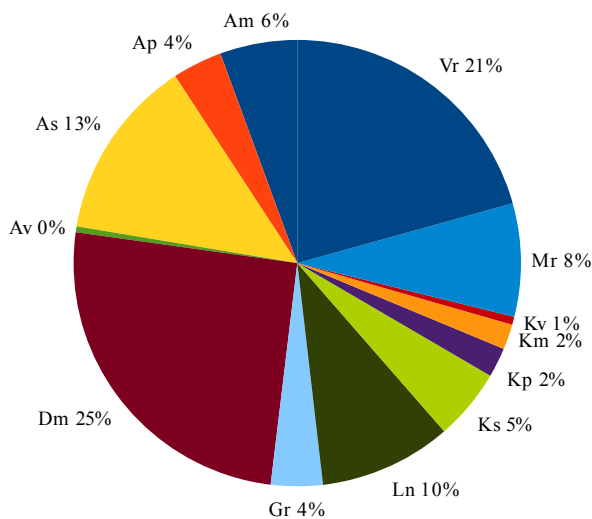
Meža tipu griezumā salīdzinoši lielākā daļa mēslojamo audžu ir Dm un Vr (Att. 27 un Tab. 57). Salīdzinoši visvairāk audžu ar lielu vērtējumu ir Dm un Mr meža tipos.

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem



Att. 27: Par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušo platību sadalījums pa meža tipiem.

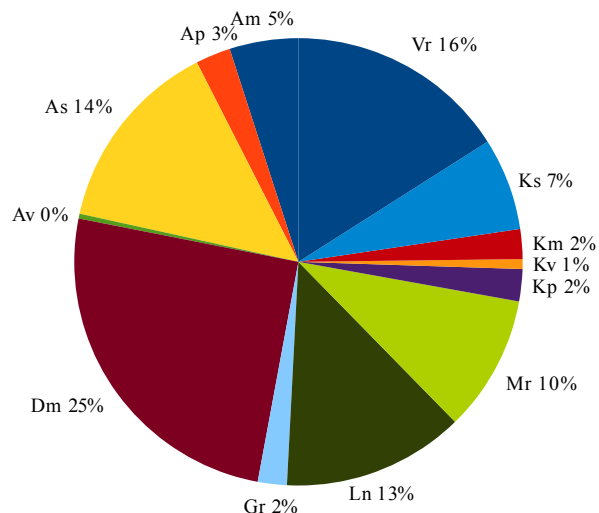
Prognozējamais papildus pieaugums sadalās līdzīgi platībai – 46 % veidosies Dm un Vr meža tipos (Att. 28 un Tab. 58).



Att. 28: Papildus krājas pieaugums par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipiem.

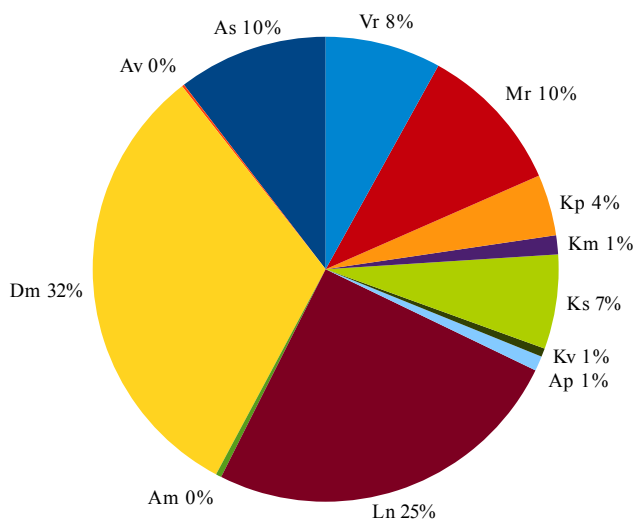
Papildus neto ieņēmumu prognozē pieaug As, Ln un Mr loma, jo šajos meža tipos ir lielāks priedes īpatsvars. Kopā ar Dm un Vr šie meža tipi veido 78 % papildus ieņēmumu (Att. 29 un Tab. 59).

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem



Att. 29: Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipi.

Ja aprēķinā ietver tikai tās audzes, kurās aprēķinu periods nav garāks par 10 gadiem, būtiski pieaug Ln, Dm un Ks loma potenciālajā ieņēmumu prognozē (Att. 30 un Tab. 60).



Att. 30: Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs ar aprēķinu periodu līdz 11 gadiem sadalījumā pa meža tipi.

Tab. 57 Par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušo mežaudžu platības sadalījums pa meža tipi

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Gr	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Visi meža tipi
5	247	429	1 222	93	2 161	302	56	148	198	8	1 238	524	1 575	8 201
6	20	505	814	91	1 828	302	3	124	175	8	277	18	1 868	6 033
7	8	96	91	28	160	27		13	33	74	128	23	52	734
8	1	183	21	8	65	61		7	4	91	2		65	507
9		117	12			51		1		11			12	203
10		7	205					191		6	38		55	500
11		6	596					66			596		54	1 318
12	2		752		12			66	2		1 285		329	2 448
13	12		582		48		4	69	57		271	11	421	1 474
14	339		73		179		66	5	216		171	522	31	1 602
15	640		48		655		113	15	178		0	1 466	22	3 137
16	96				630		13		120			159		1 018
17	66				66		10		36			195		372
18					32		1		4					37
Kopā	1 429	1 343	4 415	220	5 834	743	266	705	1 023	197	4 007	2 918	4 483	27 583

Tab. 58 Papildus krājas pieaugums par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipi, m³

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Gr	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Visi meža tipi
5	2 631	5 120	13 828	989	24 217	3 572	597	1 672	2 288	81	13 152	5 560	18 580	92 286
6	273	6 569	11 683	1 166	25 577	4 159	31	1 656	2 448	65	3 601	228	26 899	84 355
7	118	1 001	1 466	416	2 559	240		226	518	1 084	1 914	346	893	10 782
8	16	3 514	414	127	1 274	1 170		131	84	1 540	37		1 263	9 570
9		2 558	133			1 119		15		201			130	4 155
10		166	2 675					2 367		136	667		680	6 691
11		151	11 794					940			13 843		866	27 594
12	30		20 140		171			1 827	33		32 776		9 400	64 377
13	299		17 573		838		61	1 797	948		7 624	304	12 976	42 420
14	10 043		2 332		4 705		1 905	185	5 508		5 075	15 496	1 047	46 295

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Gr	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Visi meža tipi
15	20 358		1 745		22 139		3 606	557	5 828		15	46 661	814	101 722
16	3 253				24 006		449		4 238			5 419		37 365
17	2 370				2 599		354		1 383			7 024		13 729
18					1 394		62		163					1 618
Kopā	39 390	19 078	83 783	2 698	109 479	10 261	7 065	11 372	23 438	3 106	78 704	81 037	73 545	542 958

Tab. 59 Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipiem, EUR.

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Gr	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Visi meža tipi
5	9 854	19 721	58 314	4 587	104 700	14 252	2 572	8 457	11 033	533	50 394	19 699	80 443	384 558
6	2 508	27 580	64 219	4 976	170 657	14 376	204	8 668	13 808	205	48 663	3 051	114 172	473 086
7	1 651	7 313	21 505	7 629	39 823	892		3 147	8 077	5 158	30 177	5 498	12 699	143 568
8	214	22 410	6 043	2 041	20 694	5 602		1 728	1 215	10 340	484		18 080	88 851
9		12 998	1 472			5 561		61		3 224			1 831	25 146
10		2 561	23 304					20 201		2 635	9 591		6 107	64 398
11		2 640	93 643					6 859			109 171		9 196	221 508
12	564		109 781		3 245			12 885	621		187 231		55 988	370 317
13	1 976		157 789		9 628		410	13 861	10 468		138 097	1 926	76 964	411 119
14	77 304		42 083		46 332		11 802	2 919	47 132		103 814	110 258	17 847	459 491
15	97 366		31 665		135 829		21 250	10 352	45 496		213	265 894	13 585	621 650
16	63 984				180 435		7 615		47 946			102 424		402 405
17	46 841				47 236		7 105		25 445			142 377		269 005
18					23 773		829		2 584					27 185
Kopā	302 263	95 222	609 819	19 233	782 352	40 683	51 787	89 138	213 824	22 094	677 835	651 126	406 911	3 962 287

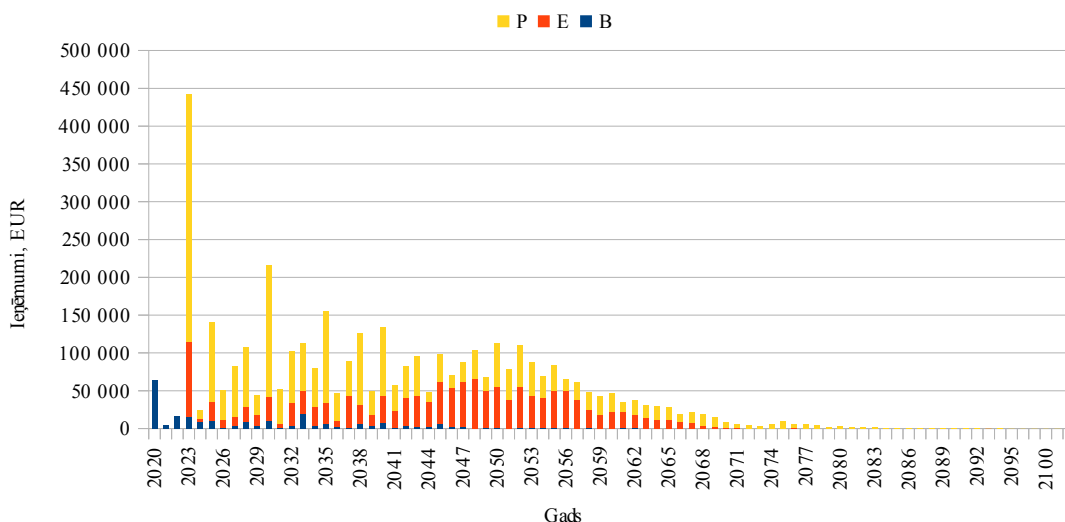
Tab. 60 Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs ar aprēķinu periodu līdz 11 gadiem sadalījumā pa meža tipiem, EUR.

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Gr	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Visi meža tipi
5		839	1 513	747	5 199	1 022		969	150		198		6 882	17 518
6		3 524	4 099		17 495	1 275	125	1 607	933		12 476	256	5 362	47 151

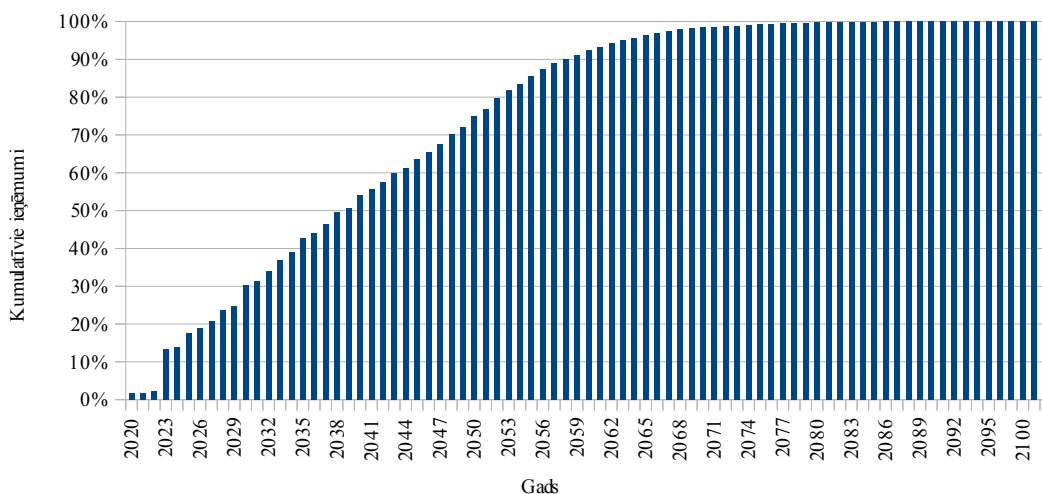
Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Gr	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Visi meža tipi
7		2 049	3 737	7 412	11 994			1 045	1 336		10 033	2 002	2 754	42 364
8		3 575	277		9 371	232			264				4 635	18 354
9		715	1 298										1 761	3 773
10		1 318	6 898					2 390		1 522	7 973		2 434	22 535
11		1 104	6 063								15 613		4 088	26 867
12	564		11 480		3 245			2 154	621		875		4 494	23 433
13	1 441		21 418		4 398			7 347	2 818		66 757	1 001	7 663	112 844
14	1 307		19 130		8 414			689	1 444		56 671	6 609	4 901	99 166
15	686		15 141		10 688			4 419	4 519				3 751	39 203
16	23 173				36 131		2 240		22 046			27 976		111 565
17	23 680				20 190		3 590		10 486			62 363		120 309
18					7 735									7 735
Kopā	50 851	13 124	91 053	8 159	134 860	2 529	5 955	20 621	44 616	1 522	170 595	100 207	48 726	692 818

Sadalot neto ieņēmumu prognozi pa gadiem, sagaidāms krass ieņēmumu prognozes palielinājums 2023. gadā un pēc tam sagaidāmie ieņēmumi vienmērīgi sadalās turpmāko 30 gadu laikā (Att. 31). Egļu audzēs ieņēmumu prognozes palielinājums sagaidāms 2040.-2060. gados. Aptuveni puse ieņēmumu, zāģējot audzes galvenajā cirtē pēc vecuma, būs pieejamas līdz 2040. gadam (Att. 32). Abi grafiki norāda uz nepieciešamību plašāk izmantot iespēju veikt galveno cirti pēc caurmēra un mēslojamās audzēs pēdējo kopšanu plānot tā, lai audzes būtu pieejamas izstrādei galvenajā cirtē pēc 10 gadiem.



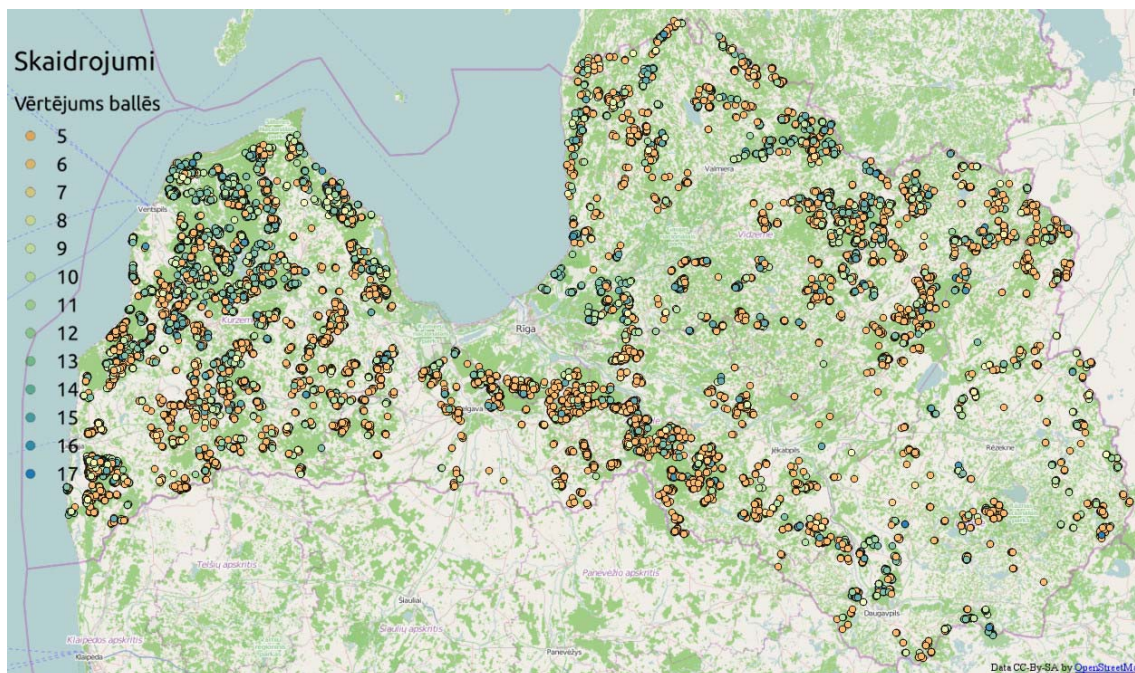
Att. 31: Ieņēmumu sadalījums laika griezumā un atbilstoši valdošajai sugai.



Att. 32: Kumulatīvais ieņēmumu sadalījums laika griezumā.

Lielākā daļa audžu ar lielu vērtējumu izvietotas Ziemeļkurzemē un Austrumvidzemē gar Igaunijas robežu, lai gan ir arī vairākas mazākas mežaudžu ar lielu vērtējumu koncentrācijas vietas, piemēram, starp Siguldu un Saulkrastiem un Dienvidkurzemē pie

Liepājas (Att. 33). Perspektīvākais reģions meža mēslošanas rūpnieciskai uzsākšanai ir Ziemeļkurzeme.



Att. 33: Izkopto audžu vērtējums dažādos reģionos.

2014. gada kopšanas ciršu fonds

Vidējais kopšanas ciršu fonda vērtējums pēc piemērotības meža mēslošanai dots Tab. 61. Mežaudžu sadalījums pēc to piemērotības mēslošanai dots Tab. 62. Kopā analizē ietverti 10,6 tūkst. ha mežaudžu.

Tab. 61 Vidējais vērtējums atbilstoši audžu piemērotībai meža mēslošanai

Valdošā suga	Vidējais vērtējums
B	6,8
E	8,15
P	8,52

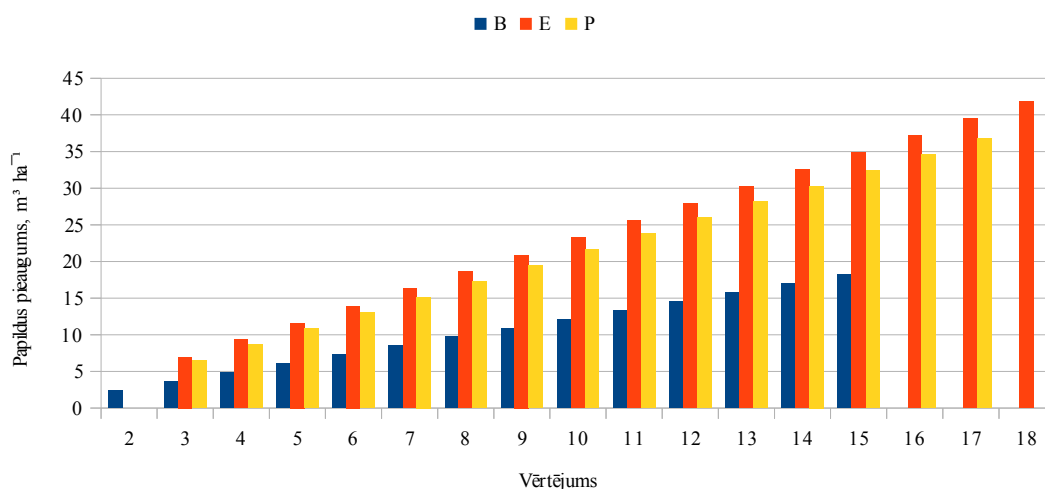
Tab. 62 Mežaudžu platības sadalījums pēc piemērotības mēslojuma pielietošanai, ha

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
2	36			36
3	367	1	12	380
4	218	28	1 398	1 643
5	23	2 694	442	3 159
6	107	645	103	855
7	25	54	58	137
8	1	217	32	249
9	3	72	3	79
10	115	4	5	124
11	84	3	454	541
12	14	787	184	984
13	115	278	97	490

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
14	103	17	663	784
15	1	510	287	798
16		238	44	282
17		9	20	29
18		6		6
Kopā	1 212	5 562	3 803	10 576

Papildus pieauguma prognoze atkarībā no vērtējuma dota Att. 34. Salīdzinoši vismazākais papildus pieaugums iespējams bērza audzēs, vislielākais – egles audzēs. 2010.-2013. gad un 2014. gada kopšanas ciršu fonds pēc sagaidāmā papildus pieauguma būtiski neatšķiras.



Att. 34: Pieņēmumi par papildus pieaugumu atkarībā no mežaudzes vērtējuma.

Kopējais prognozētais papildus pieaugums 2014. gada kopšanas ciršu fondā ir 185 tūkst. m³, ja pieņem, ka mēslojumu izmanto visos 10,6 tūkst. ha. Vislielākais papildus pieaugums sagaidāms skujkoku audzēs, kopā 175 tūkst. m³. Lielākā daļa papildus pieauguma veidosies audzēs ar lielu vērtējumu, taču būtisks ir arī audžu ar mazu vērtējumu īpatsvars, kur mēslojuma pielietošana ir apšaubāma (Tab. 63). Salīdzinot ar 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fondu, palielinās skujkoku audžu potenciālā loma.

Tab. 63 Papildus pieauguma prognoze, m³

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
2	88			88
3	1 336	4	79	1 419
4	1 056	259	12 101	13 416
5	140	31 282	4 788	36 210
6	777	8 989	1 336	11 102
7	215	873	879	1 967
8	7	4 022	551	4 580
9	32	1 511	64	1 607

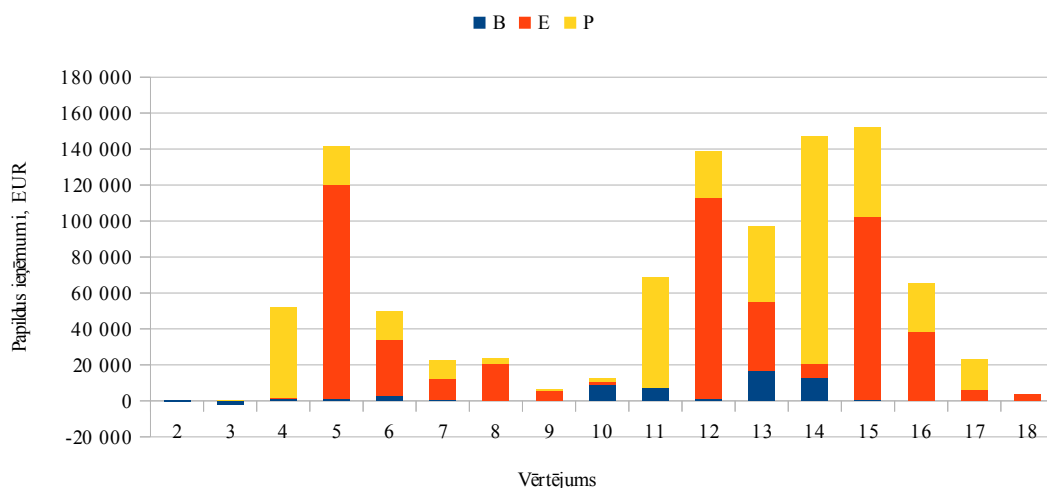
Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
10	1 397	88	108	1 593
11	1 121	87	10 807	12 015
12	197	21 936	4 769	26 901
13	1 820	8 390	2 729	12 940
14	1 751	556	20 100	22 408
15	22	17 759	9 331	27 113
16		8 859	1 524	10 382
17		347	743	1 091
18		230		230
Kopā	9 958	105 193	69 911	185 062

Kopējie diskontētie neto ieņēmumi no kokmateriālu realizācijas atbilst 1,0 milj. EUR (Tab. 64). Papildus ieņēmumus veido galvenokārt skujkoku audzes ar lielu vērtējumu (Att. 35).

Tab. 64 Diskontēto ieņēmumu prognoze

Valdošā suga	B	E	P	Visas sugas
Ieņēmumi, EUR	50 628	497 706	454 426	1 002 760



Att. 35: Diskontēto ieņēmumu prognoze atkarībā no valdošās sugas un audzes vērtējuma.

Audzēs ar vērtējumu līdz 6 ballēm papildus ieņēmumi gada laikā ir negatīvi vai tuvi nullei; bērza audzēs ar vērtējumu 5 balles vidējie ikgadējie ieņēmumi sasniedz 11,8 EUR ha⁻¹ gadā, egļu un priežu audzēs papildus neto ieņēmumi pārsniedz 20 EUR ha⁻¹ gadā, ja vērtējums ir vismaz 7 balles (Tab. 65). Vidēji visā kopšanas ciršu fondā papildus neto ieņēmumi pārsniedz 15 EUR ha⁻¹ gadā, ja vērtējums ir vismaz 7 balles.

Tab. 65 Vidējo ikgadējo diskontēto ieņēmumu prognoze, EUR ha⁻¹ gadā

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
2	-2,28			-2,28
3	-0,76	5,87	2,5	-0,54
4	0,62	1,44	2,15	1,94

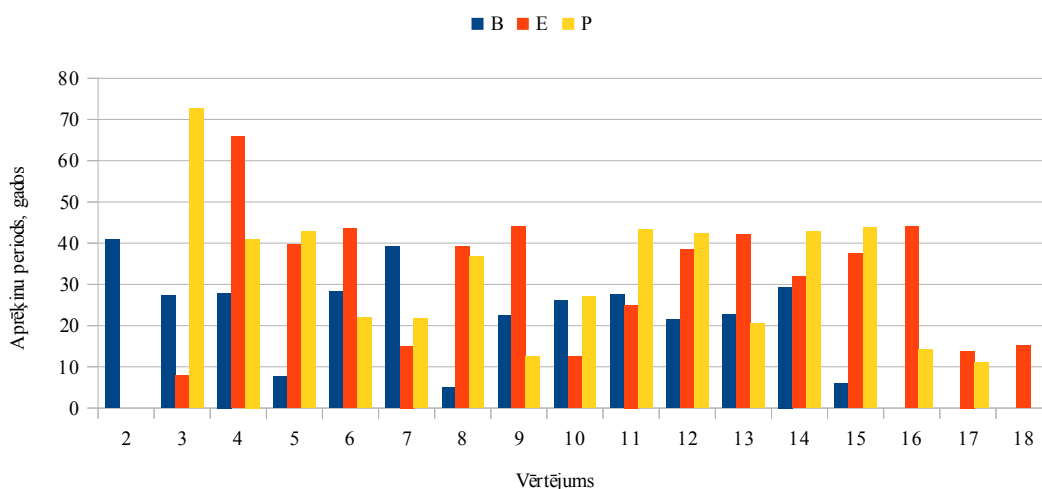
Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
5	11,77	2,53	2,94	2,67
6	4,09	2,69	19,3	4,84
7	1,77	20,58	22,34	18,63
8	20,2	10,98	10,5	11,02
9	18,17	4,49	45,04	8,31
10	6,75	67,12	73,55	11,15
11	7,9	10,81	10,52	10,14
12	43,04	9,31	7,84	9,33
13	24,77	7,11	52,84	21,29
14	15,14	55,16	14,73	15,77
15	36,52	11,43	9,29	10,75
16		7,46	90,23	18,53
17		92,48	252,54	178,67
18		59,34		59,34
Vidēji	5,93	5,8	10,27	7,53

Tab. 66 parādīts vidējais laiks no 2015. gada līdz galvenās cirtes vecuma sasniegšanai. Skujkokiem aprēķinu periods ir 40-41 gadi (aptuveni 6 reizes ilgāks par mēslošanas ietekmes ilgumu), bērzam – 27 gadi (5 reizes ilgāks par mēslojuma ietekmes ilgumu). Aprēķinu periods atkarībā no audzes vērtējuma dots Att. 36. Aprēķinu periods būtiski neatšķiras atkarībā no audzes vērtējuma. Atšķirībā no 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fonda, nav konstatēts salīdzinoši īsāks aprēķinu periods bērza audzēm.

Tab. 66 Vidējais aprēķinu perioda ilgums gados

Valdošā suga	B	E	P	Visas sugas
Aprēķinu periods, gados	27	40	41	39



Att. 36: Vidējais aprēķinu perioda ilgums.

2014. gada kopšanas ciršu fondu audžu platība, kuru vērtējums ir lielāks par 4 ballēm un aprēķinu periods ir līdz 10 gadiem, ir 167 ha, tajā skaitā lielākā daļa ir bērza un priedes

audzes. Jāņem vērā, ka tāpat ka 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fondā, vērtējot iespēju veikt galveno cirti pēc caurmēra, šādu audžu īpatsvars var būt vairākas reizes lielāks.

Tab. 67 Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, ha

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
5	22,7	5,2		27,9
6	5,5		4,5	10
7		7	2,1	9,1
8	0,7	8,6	0,3	9,6
9	1,9		0,9	2,8
10	2,7	1,5	3,5	7,7
11	3,8	0,2	12	16
12	3,8	0,4		4,2
13	20,4		14,3	34,7
14	11	2,3	15,1	28,4
15	1,2	0,1		1,3
16			1,2	1,2
17		4,2	10	14,2
Kopā	73,7	29,5	63,9	167,1

Papildus pieaugums audzēs, kas sasniegs galvenās cirtes vecumu pēc 10 gadiem, ir 3 tūkst. m³. Tas veidosies galvenokārt skujkoku audzēs (Tab. 68). Diskontētie neto papildus ieņēmumi aprēķinu perioda beigās – 68 tūkst. EUR (Tab. 69).

Tab. 68 Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, papildus pieaugums m³

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
5	138	60		198
6	40		58	98
7		114	32	146
8	7	160	5	172
9	21		18	38
10	33	35	76	143
11	51	5	286	342
12	55	11		66
13	322		402	724
14	187	75	458	719
15	22	3		25
16			42	42
17		166	368	534
Kopā	875	629	1 744	3 248

Tab. 69 Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, diskontētie papildus ieņēmumi EUR

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
5	1 002	1 017		2 019
6	397		1 138	1 535
7		2 171	677	2 849
8	101	2 987	115	3 203
9	312		398	711
10	450	733	1 759	2 943

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
11	717	109	6 752	7 579
12	1 037	242		1 279
13	5 895		9 535	15 430
14	2 906	1 663	11 216	15 785
15	423	78		501
16			1 035	1 035
17		3 517	9 228	12 745
Kopā	13 241	12 518	41 855	67 613

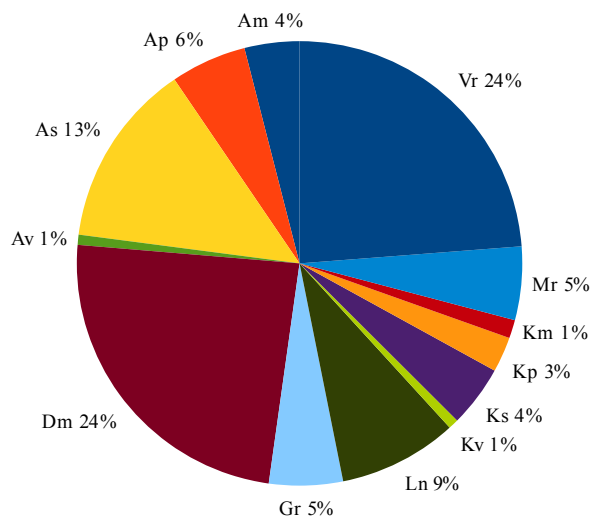
Tāpat kā 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fonda analīzē, vidējie neto papildus ieņēmumi gadā būtiski palielinās, ja aprēķinā iekļauj tikai tās audzes, kurās aprēķinu periods nav lielāks par 10 gadiem (Tab. 70). Salīdzinoši lielāki vidējie ikgadējie neto papildus ieņēmumi sagaidāmi no skujkoku audzēm.

**Tab. 70 Mežaudzes ar aprēķinu periodu līdz 10 gadiem, diskontētie papildus ieņēmumi
EUR ha⁻¹ gadā**

Vērtējums	B	E	P	Visas sugas
5	12,7	25,4		16,2
6	12,2		65,0	27,3
7		44,4	42,3	43,9
8	20,2	107,6	14,4	71,5
9	27,1		49,8	34,7
10	16,4	91,6	110,0	60,1
11	35,8	13,7	105,5	84,5
12	69,1	30,3		59,4
13	87,4		94,7	91,0
14	290,6	69,3	200,3	172,8
15	36,5	9,8		27,6
16			64,7	64,7
17		188,2	384,5	306,0
Vidēji	46,4	62,9	129,1	80,9

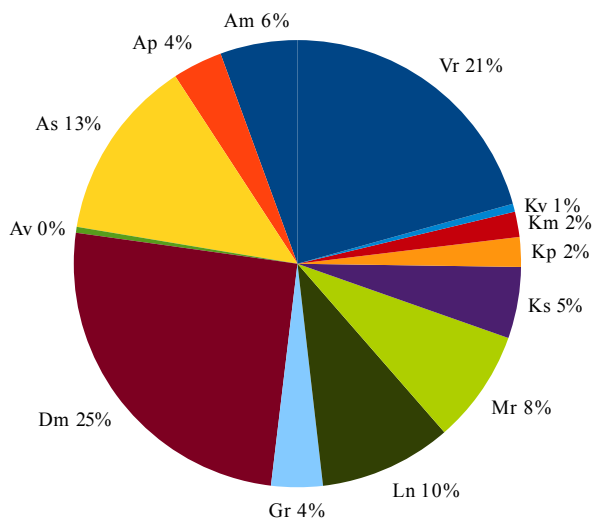
Meža tipu griezumā lielākā daļa mēslojamo audžu (48 %) ir Dm un Vr (Att. 37 un Tab. 71). Salīdzinoši visvairāk audžu ar lielu vērtējumu ir Dm, Am un Mr meža tipos.

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem



Att. 37: Par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušo platību sadalījums pa meža tipi.

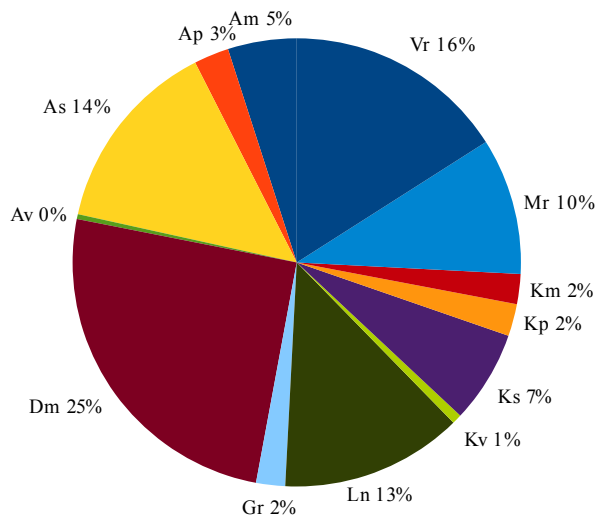
Prognozējamais papildus pieaugums sadalās tāpat kā platība – 46 % papildus pieauguma veidosies Dm un Vr meža tipos (Att. 38 un Tab. 72).



Att. 38: Papildus krājas pieaugums par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipi.

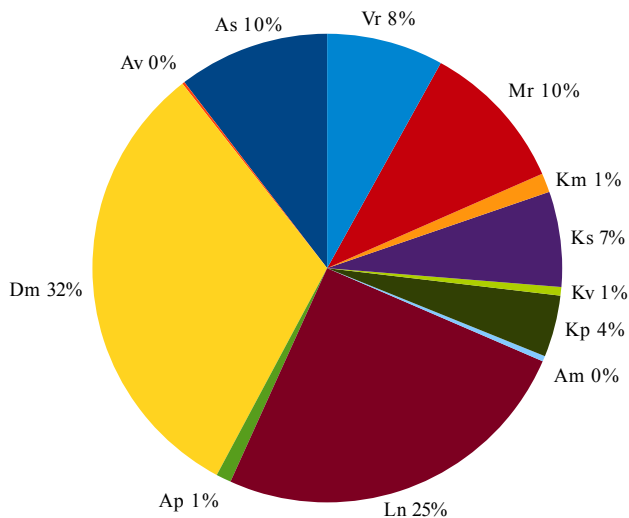
Papildus neto ieņēmumu prognozē nozīmīgākiem meža tipi ir Dm, Vr, As, Ln un Mr, kas kopā veido 78 % papildus ieņēmumu (Att. 39 un Tab. 73).

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem



Att. 39: Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipiem.

Ja aprēķinā ietver tikai tās audzes, kurās aprēķinu periods nav garāks par 10 gadiem, tāpat kā 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fondā, būtiski pieaug Dm un Ln loma potenciālajā ieņēmumu prognozē (Att. 40 un Tab. 74).



Att. 40: Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs ar aprēķinu periodu līdz 11 gadiem sadalījumā pa meža tipiem.

Tab. 71 Par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušo mežaudžu platības sadalījums pa meža tipi

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Gr	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Kopā
5	32	188	372	43	871	258	10	80	104		103	14	1 084	3 159
6	2	123	92	17	248	64		30	25		28		225	855
7		20	11		33	2			11	31	16		13	137
8		94	1	3	13	102				29			8	249
9		42	2			30				3			1	79
10		2	57					24			15		26	124
11			157					25			356		4	541
12			277					47	10		139		512	984
13	12		169		49		17	8	39		45	3	149	490
14	193		8		163		56	5	45		33	277	4	784
15	94				456		24		98		0	125		798
16	6				209		6		40			22		282
17					9				7			13		29
18					4				2					6
Kopā	339	470	1 144	63	2 054	457	113	220	381	63	735	455	2 025	8 517

Tab. 72 Papildus krājas pieaugums par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipi, m³

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Gr	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Kopā
5	341	2 136	4 256	461	9 942	2 999	112	931	1 175		1 123	156	12 577	36 210
6	32	1 131	1 262	219	3 411	807		418	334		361		3 126	11 102
7		192	171		533	22			173	427	241		208	1 967
8		1 745	7	48	249	1 886				502			143	4 580
9		878	25			633				64			7	1 607
10		53	688					296			230		326	1 593
11			3 185					328			8 443		59	12 015
12			7 631					1 262	141		3 624		14 243	26 901
13	212		4 936		904		302	235	641		1 262	82	4 365	12 940
14	5 643		248		4 008		1 700	172	1 115		1 003	8 388	130	22 408
15	3 068				15 772		786		3 417		10	4 058		27 113

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Gr	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Kopā
16	215				7 750		211		1 444			762		10 382
17					335				262			493		1 091
18					159				71					230
Kopā	9 512	6 135	22 410	729	43 065	6 347	3 111	3 643	8 775	993	16 297	13 939	35 184	170 138

Tab. 73 Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs sadalījumā pa meža tipiēm, EUR.

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Gr	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Kopā
5	1 031	7 391	17 697	1 211	42 146	9 094	463	4 026	6 980		5 353	546	45 649	141 587
6	135	3 304	6 867	1 330	17 266	2 274		1 262	3 248		4 788		9 111	49 586
7		1 087	2 507		7 016	123			2 293	3 258	3 681		2 979	22 944
8		8 261	101	795	4 122	6 588				2 306			1 672	23 845
9		3 322	247			1 950				1 083			83	6 685
10		724	4 776					1 812			2 475		2 474	12 261
11			18 633					2 224			47 524		533	68 914
12			41 250					8 840	358		21 547		66 945	138 939
13	1 421		37 938		9 268		2 087	1 083	4 055		20 611	123	20 550	97 136
14	25 589		4 011		27 389		10 822	2 912	9 352		19 088	45 673	2 289	147 124
15	15 231				89 213		5 132		19 073		144	23 402		152 195
16	3 877				34 763		2 128		11 705			12 937		65 411
17					6 473				5 383			11 236		23 093
18					2 463				1 157					3 620
Kopā	47 283	24 089	134 027	3 336	240 120	20 029	20 632	22 158	63 605	6 647	125 211	93 917	152 286	953 338

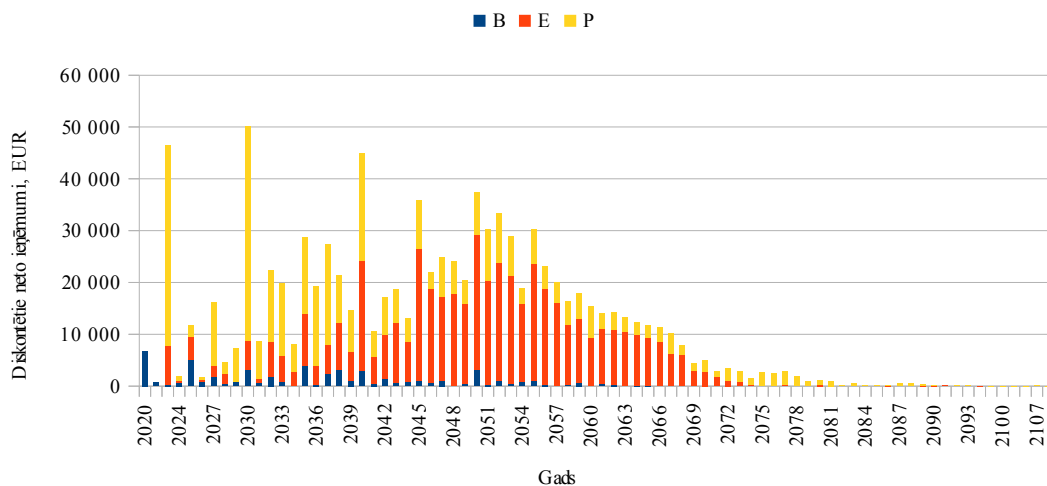
Tab. 74 Papildus diskontētie ieņēmumi par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušajās audzēs ar aprēķinu periodu līdz 11 gadiem sadalījumā pa meža tipiēm, EUR.

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Kopā
5		354	29		988							647	2 019
6			69		459					875		132	1 535
7		344	605		510					357		1 032	2 849
8			101	115	2 987								3 203
9			229						398			83	711

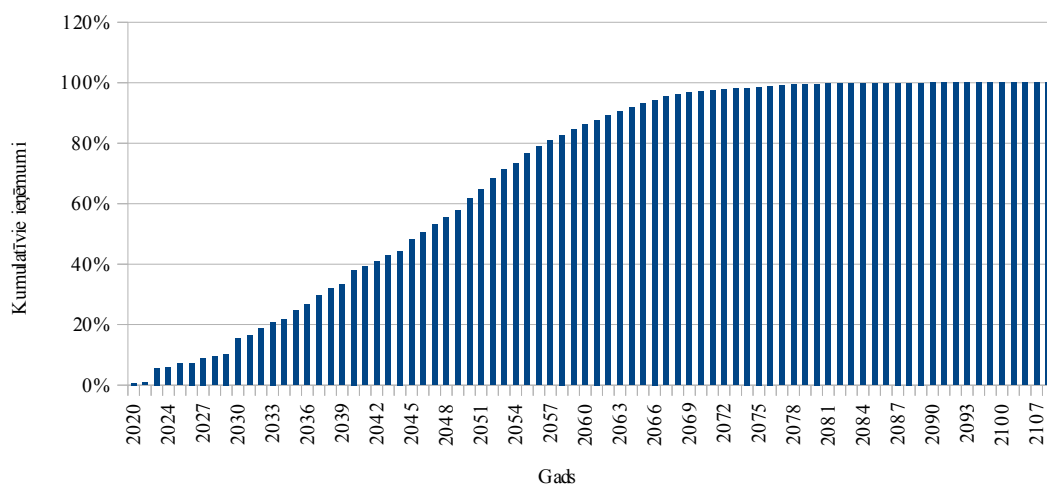
Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Vērtējums	Am	Ap	As	Av	Dm	Km	Kp	Ks	Kv	Ln	Mr	Vr	Kopā
10			42				245			1 759		896	2 943
11			1 291				717			5 571			7 579
12							928			242		109	1 279
13			4 526		4 097		336	1 030		2 912		2 530	15 430
14			145		6 448	891	651	2 303		5 348			15 785
15					501								501
16	259				777								1 035
17					4 624			1 107			7 014		12 745
Kopā	259	698	7 037	115	21 391	891	2 876	4 440	398	17 065	7 014	5 430	67 613

Sadalot neto ieņēmumu prognozi pa gadiem, sagaidāms krass ieņēmumu prognozes palielinājums 2023. gadā, tāpat kā 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fondā, un pēc tam sagaidāmie ieņēmumi vienmērīgi sadalās turpmāko 40 gadu laikā (Att. 41). Egļu audzēs ieņēmumu prognozes palielinājums sagaidāms 2045.-2065. gados. Aptuveni puse ieņēmumu, zāģējot audzes galvenajā cirtē pēc vecuma, būs pieejamas līdz 2047. gadam (Att. 42). Būtisku ekonomiskā efekta un ienākumu palielinājumu 2 nākošajās desmitgadēs var panākt, plašāk izmantojot iespēju veikt galveno cirti pēc caurmēra un mēslojamās audzēs pēdējo kopšanu plānojot tā, lai audzes būtu pieejamas izstrādei galvenajā cirtē pēc 10 gadiem.



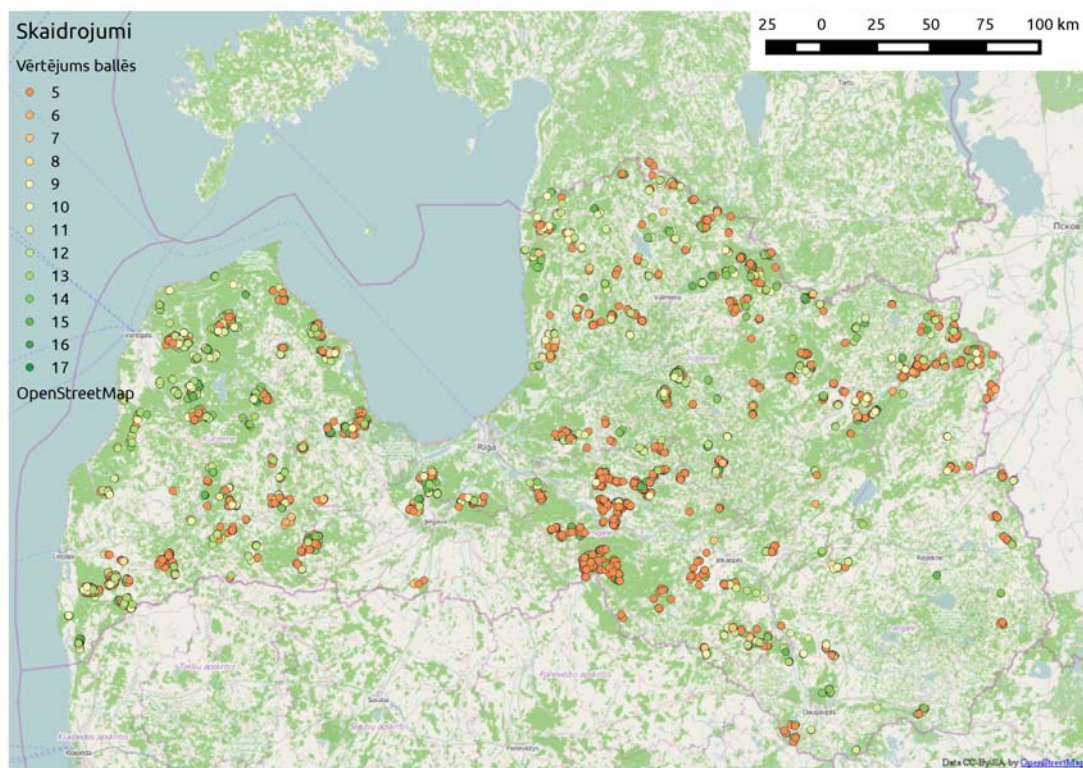
Att. 41: Ieņēmumu sadalījums laika griezumā un atbilstoši valdošajai sugai.



Att. 42: Kumulatīvais ieņēmumu sadalījums laika griezumā.

2014. gada kopšanas ciršu fondā lielākā daļa mēslošanai piemērotāko audžu ar lielu vērtējumu izvietotas Kurzemē. Mazākas mežaudžu ar augstu vērtējumu koncentrācijas vietas ir Ainažu un Valmieras apkārtnē, kā arī Latgales dienvidu daļa (Att. 43).

Perspektīvākais reģions meža mēslošanas rūpnieciskai uzsākšanai ir Kurzeme, bet, ņemot vērā 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fonda analīzes rezultātus – Ziemeļkurzeme.



Att. 43: 2014. gada kopšanas ciršu fonda vērtējums atbilstoši piemērotībai meža mēslošanai.

Kopšanas ciršu fonda analīzes kopsavilkums

Pieņemot, ka mēslojumu izmanto 34 tūkst. ha platībā, kopējais prognozētais papildus pieaugums 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fondā ir 585 tūkst. m³, bet 2014. gada kopšanas ciršu fondā ir 185 tūkst. m³. Vislielākais papildus pieaugums sagaidāms skujkoku audzēs. Papildus pieauguma balstīta un nepilnīgiem datiem, tāpēc faktiskais pieauguma sadalījums un tā absolūtās vērtības praksē var būtiski atšķirties. Projekta rezultāti norāda uz iespējami būtisku mēslojuma ietekmi, kas jāizvērtē, ierīkojot izmēģinājumus dažādu koku sugu un meža tipu audzēs. Ražošanas līmenī mēslošana vispirms jāievieš audzēs ar visaugstāko vērtējumu, paredzot mēslojuma iestrādi arī audzēs ar mazāku vērtējumu, ja tas ir izdevīgi no darba organizācijas skatpunkta. Vienlaicīgi jāievieš monitoringa sistēma, izlases veidā sekojot papildus pieaugumam un zemsedzes veģetācijai mēslotajās audzēs.

Kopējie diskontētie neto ieņēmumi no kokmateriālu realizācijas, veicot mēslošanu 2010.-2014. gada kopšanas ciršu fondā, atbilstoši pētījumā izmantotajiem pieņēmumiem, ir 5,1 milj. EUR. Audzēs ar vērtējumu līdz 5 ballēm 2010.-2014. gada kopšanas ciršu fondā papildus ieņēmumi gada laikā ir negatīvi vai tuvi nullei. Par 4 ballēm lielāku vērtējumu ieguvušās audzēs papildus ieņēmumu prognoze palielinās atbilstoši logaritmiskai regresijas līknei, t.i. lielāku vērtējumu ieguvušās audzēs atšķirība nav tik būtiska, kā zemāku vērtējumu ieguvušās audzēs. Atbilstoši pētījuma

rezultātiem mēslojums izmantojams tikai tajā audzēs, kuru vērtējums ballēs nav mazāks par 5.

Pieņemumiem par meža mēslošanas izmaksām ir teorētiski un var neietvert atsevišķus neparedzētu izdevumu posteņus, tāpēc praksē mēslojuma iestrādes izmaksas var būtiski palielināties, vismaz pirmajos gados pēc meža mēslošanas atsākšanas rūpnieciskā mērogā. Lai iegūtu objektīvus datus par mēslošanas izmaksām, jāveic izmēģinājumi, kas ietver visu meža mēslošanas darba ciklu, ieskaitot mēslojuma piegādi, uzglabāšanu un izkliedēšanu.

Skujkokiem laiks līdz galvenās cirtes vecuma sasniegšanai 2010.-2013. gada kopšanas ciršu fondā vidēji ir 36-37 gadi, bērzam – 21 gads. 2014. gada kopšanas ciršu fondā aprēķinu periods ir vēl garāks. Aprēķinu perioda palielināšanās palielina risku, ka daļa papildus pieauguma transformēsies kritālās un ieguvums būs būtiski mazāks, nekā prognozēts. Nosakot papildus pieauguma un ieņēmumu prognozes tām audzēm, kurās aprēķinu periods nav garāks par 10 gadiem, 2010.-2014. gada kopšanas ciršu fondā šādu audžu ir tikai 2,0 tūkst. ha. Mēslojuma iestrādei piemēroto mežaudžu atlase jāveic pēc prognozējamā galvenās cirtes gada atbilstoši valdošās sugas koku caurmēram. Plānojot galveno cirti pēc caurmēra, mēslošanai piemēroto audžu īpatsvars var būt vairākas reizes lielāks.

Sadalot ieņēmumu prognozi pa gadiem, sagaidāms krass ieņēmumu palielinājums pēc 10 gadiem un tad prognozējamie ieņēmumi vienmērīgi sadalās turpmāko 30-40 gadu laikā. Aptuveni puse ieņēmumu, zāgējot audzes galvenajā cirtē pēc vecuma, būs pieejamas līdz 2040. gadam. Iegūtie rezultāti norāda uz nepieciešamību veikt kopšanas un galvenās cirtes plānošanu tā, lai mēslojātās audzes būtu pieejamas izstrādei galvenajā cirtē pēc 10 gadiem, kad pilnībā realizējies mēslojuma efekts un būtiska papildus pieauguma daļa nav transformējusies atmirumā.

Lielākā daļa audžu ar lielu vērtējumu izvietotas Ziemeļkurzemē un Austrumvidzemē. Perspektīvākais reģions meža mēslošanas rūpnieciskai uzsākšanai ir Ziemeļkurzeme, kur ir salīdzinoši vislielākā kopšanas ciršu koncentrācija. Lai palielinātu mēslojamo audžu izvēles iespējas, izmantojot Valsts meža reģistra vai citus datus, atlasāmas tās audzes, kas būs pieejamas galvenajai cirtē pēc 7-15 gadiem un kurās meža mēslošana var izraisīt vislielāko ietekmi uz krājas pieaugumu. Eksperimentāli jānovērtē mēslojuma izkliedēšanas kvalitātes riski, ko rada pamežs šādās audzēs dažādos meža tipos. Vienlaicīgi, jāizstrādā metodes bioloģiskai mēslošanas nepieciešamības novērtēšanai, atlasot tās audzes, kurās barības vielu deficīts ierobežo pieauguma veidošanos.

Vidējais aprēķinātais papildus krājas pieaugums I-IV bonitātes audzēs 2010.-2014. gada kopšanas ciršu fondā, veicot aprēķinus atbilstoši pētījumā izmantotajai metodikai, iznāk lielāks (Tab. 75) par vidējiem rādītājiem zinātniskās izpētes objektos (Tab. 41). Naudas plūsmas aprēķinos ieteicams izmantot konservatīvākos pieņemumus par papildus pieaugumu, kas iegūti zinātniskās izpētes mežos, t.i. skujkokiem $19 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ un bērzam $8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, jo šie dati balstīti uz empīriskiem datiem un neienesīs aprēķinos iespējamo modelēšanas radīto sistemātisko kļūdu. Vidējais mēslojuma ietekmes ilgums lapkoku audzēs ir 5 gadi, skujkoku audzēs – 8 gadi, t.i. vidējais ikgadējais papildus pieaugums lapkoku audzēs ir $1,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, bet skujkoku audzēs – $2,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Šie dati ir indikatīvi un tiks koriģēti izpētes programmas ietvaros, ierīkojot jaunus meža mēslošanas izmēģinājumus.

Tab. 75 Aprēķinātais vidējais papildus krājas pieaugums

Valdošā suga	Papildus krājas pieaugums, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$
B	9,2
E	21,9
P	19,7

Paralēli kopšanas ciršu fonda analīzei, meža mēslošanas iespēju izpētei (mēslojamā platība un papildus pieaugums) izmantota arī Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) parauglaukumu datu bāze, atlasot AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajās zemēs tos objektus, kas atbilst pagājušā gadsimta 70. un 80. gados veiktajos pētījumos definētajiem perspektīvo (mēslojuma pielietošanai) mežaudžu kritērijiem. Ņemot vērā, ka dažādi autori devuši pretrunīgus priekšlikumus par dažādu bonitāšu audžu mēslošanu, pētījumā pieņemts, ka mēslojumu iestrādā 1.-3. bonitātes audzēs, t.i. tādās audzēs, kurās vēl iespējams būtisks pieauguma palielinājums, bet 4. un 5. bonitātes audzes nav iekļautas aprēķinā, pieņemot, ka tajās augšanas gaitas traucējumi ir pietiekoši nozīmīgi, lai tos nevarētu atrisināt ar mēslojuma palīdzību. lielākas par 1. bonitāti audzes nav iekļautas aprēķinā, pieņemot, ka tajās mēslojuma efekts būs mazāk izteikts, jo augšanas apstākļi jau ir optimāli.

No atlikušajiem MSI parauglaukumiem atlasīti tādi, kuros ir mežsaimnieciskās darbības ierobežojumi, kas nepieļauj kailciršu veikšanu. No MSI parauglaukumiem, kuros var veikt kailcirtes, atlasīti 5.-15. vecuma desmitgades audzes, t.i. tādas, kurās papildus krājas pieaugumu var izmantot krājas kopšanā vai galvenajā cirtē.

Pēdējais atlases posms ir mežaudžu ar biezību $< 0,8$ atlase sausieņu, āreņu un kūdreņu meža tipos. Izņēmums ir sils, kurā meža mēslošana nav plānota. Atlasē iekļautas priedes, egles un bērza audzes. Atlases rezultāts parādīts Tab. 76. Kopā mēslošanai piemēroti 398 tūkst. ha mežaudžu, tajā skaitā 238 tūkst. ha priedes audžu, 83 tūkst. ha egles un 77 tūkst. ha bērza audžu. Visvairāk mēslošanai piemēroto mežaudžu koncentrētas sausieņu meža tipos (221 tūkst. ha). Jāņem vērā, ka Latvijā pielietotā bonitāšu skala ir nepilnīga un neraksturo augšanas apstākļus uz auglīgākajām augsnēm (1A bonitātes audzes), tāpēc faktiskā meža mēslošanai piemērotā platība var būt lielāka. Tomēr jāņem vērā, ka, jo labāki augšanas apstākļi, jo mazāku efektu var dot papildus mēslojums.

Tab. 76: Mēslošanai piemēroto mežaudžu platība (tūkst. ha) meža tipu un valdošo koku sugu griezumā

Meža tips	priede	egle	bērzs	visas sugas
Mētrājs	55	-	1	56
Lāns	49	-	-	50
Damaksnis	45	26	11	82
Vēris	1	19	11	31
Gārša	-	1	2	3
Mētru ārenis	10	1	-	10
Šaurlapju ārenis	26	22	19	67
Platlapju ārenis	-	1	7	8
Mētru kūdrenis	24	1	1	25
Šaurlapju kūdrenis	28	10	19	58
Platlapju kūdrenis	-	2	6	8

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Kopējais papildus krājas pieaugums, pielietojot mēslojumu visās teritorijās, kur tas iespējams atbilstoši MSI datiem, kopējais papildus krājas pieaugums LVM apsaimniekotajos mežos būtu 2 654 tūkst. m³ (Tab. 77), tajā skaitā priežu audzēs 1 584 tūkst. m³, egļu audzēs – 555 tūkst. m³ un bērza audzēs – 515 tūkst. m³. Mēslojuma iedarbība ilgst 5-10 gadus, tāpēc var pieņemt, ka ikgadējais papildus pieaugums mēslošanas rezultātā ir 250-536 tūkst. m³. Papildus pieauguma aprēķinā, iespējams, nav ņemti vērā iespējamie zudumi atmiruma rezultātā, jo Ziemeļvalstu literatūras avotos pieejamā informācija raksturo, galvenokārt krājas izmaiņas, nepieminot, cik liela daļa papildus pieauguma nonāk atmirumā.

Tab. 77: Papildus krājas pieauguma prognoze (tūkst. m³)

Meža tips	priede	egle	bērzs	visas sugas
Mētrājs	366	-	5	370
Lāns	330	2	1	333
Damaksnis	301	175	71	546
Vēris	5	128	76	210
Gārša	-	4	14	18
Mētru ārenis	64	4	-	69
Šaurlapju ārenis	171	146	129	446
Platlapju ārenis	-	9	44	54
Mētru kūdrenis	158	7	5	170
Šaurlapju kūdrenis	188	65	130	383
Platlapju kūdrenis	-	16	40	56

Papildus krājas pieauguma sortimentu struktūrā pieņemts, ka tas atbilst vidējam sortimentu sadalījumam LVM cirtēs (Tab. 78). Šis sadalījums izstrādāts sadarbībā ar LVM, meža apsaimniekošanas radīto SEG emisiju references līmeņa novērtēšanai (Lazdiņš *et al.*, 2012). No papildus pieauguma resno apaļo kokmateriālu īpatsvars, saskaņā ar aprēķinu rezultātiem ir 54 % (1 412 tūkst. m³, Tab. 79). Zviedru pētījumos secināts, ka lielo dimensiju apaļo sortimentu īpatsvars ir 40 %. Jāņem vērā, ka Latvijā galvenajā cirtē vidējā koka caurmērs ir lielāks, nekā Zviedrijā, tāpēc lielāks resnāko sortimentu īpatsvars ir likumsakarīgs.

Tab. 78: Pieņēmumi sortimentu struktūras aprēķinam dažādu koku sugu audzēs

Valdošā suga	Skujkoku zāģbāļķi	Lapu koku zāģbāļķi	Papīrmalka	Malka
apse	15%	17%	47%	20%
baltalksnis	12%	13%	31%	44%
bērzs	24%	14%	46%	17%
egle	43%	5%	37%	15%
melnalksnis	18%	20%	35%	28%
pārējās sugas	14%	22%	43%	21%
priede	60%	2%	30%	8%

Tab. 79: Papildus krājas pieauguma sortimentu struktūras aprēķins

Sortiments	priede	egle	bērzs	visas sugas
Skujkoku zāģbāļķi, tūkst. m ³	950	238	123	1 312
Lapu koku zāģbāļķi, tūkst. m ³	32	29	70	130
Papīrmalka, tūkst. m ³	475	204	236	915
Malka, tūkst. m ³	127	84	86	297
Apaļkoksnes sortimenti, tūkst. m ³	1 584	555	515	2 654

Meža mēslošanas procesa teorētiskais apraksts Latvijas apstākļiem

Sortiments	priede	egle	bērzs	visas sugas
Biokurināmais, tūkst. ber. m3	684	216	278	1 178

Secinājumi un ieteikumi

1. Līdz šim veiktie zinātniskie pētījumi apstiprina, ka meža mēslošana Latvijā var kļūt par perspektīvu meža vērtības palielināšanas paņēmieni, lai gan dati par iespējamo papildus pieaugumu ir pretrunīgi – $1-3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā 5-8 gadu laikā, atkarībā no augšanas apstākļiem. Lielāko papildus krājas pieaugumu var iegūt uz mazauglīgām augsnēm, taču ekonomiski visizdevīgāk mēslojumu iestrādāt vidēji auglīgās augsnēs.
2. Ziemeļu un mērenās klimatiskās joslas mežos lielāko efektu rada slāpekļa mēslojums ($100-200 \text{ kg N tīrvielas ha}^{-1}$), kā arī slāpekļa un fosfora kompleksais mēslojums. Uz kūdras augsnēm un susinātām minerālaugsnēm būtisku pozitīvu efektu rada kālija mēslojums.
3. Mēslojuma devu aprēķinu metodika ir nepilnīga; vairumā gadījumu tā balstās uz empīrisku pieredzi par mežaudžu reakciju uz dažādām mēslojuma devām dažādos meža tipos. Parasti rekomendējamā deva atbilst maksimāli pieļaujamai devai.
4. Neskatoties uz to, ka mežaudzes ir atsaucīgas pret mēslojuma iestrādi dažādos vecumos, ekonomiski izdevīgākais laiks meža mēslošanai ir 5-10 gadi pirms galvenās cirtes. Mēslojuma pielietošana pirms cirtes nodrošina to, ka ieguldītie līdzekļi tiek atgūti dažu gadu laikā un papildus pieaugums nenonāk kritālu kategorijā.
5. Koksnes pelnus kā kompensējošu mēslojumu var izmantot arī pēc kopšanas cirtēm, lielāka efekta nodrošināšanai sajaucot ar slāpekli saturošu mēslojumu. Koksnes pelnu tehniskie un organizatoriskie risinājumi, kā arī kvalitātes kontroles iespējas Latvijā ir maz pētītas, bet šī materiāla izmantošanas iespējas – gandrīz neierobežotas, ņemot vērā, ka koksnes pelnus var ievest arī no valstīm, uz kurām Latvija eksportē koksnes produktus.
6. Latvijā nav nopērkams minerālmēslojums, kā arī organiskais mēslojums, kas būtu reģistrēts kā piemērots lietošanai bioloģiskajās saimniecībās. Visi Latvijā izmantotie slāpekļa minerālmēsli ir sintētiskas izcelsmes. Tas liecina, ka, plānojot mēslojuma izmantošanu mežaudzēs, jārēķinās ar nepieciešamību veikt ietekmes uz vidi novērtējuma procedūru.
7. Zviedrijā, kur liela daļa mežu ir sertificēta atbilstoši FSC sistēmai, sertificētajos mežos pieļaujama meža mēslošana ar slāpekļa mēslojumu, sekojot norādījumiem Meža aģentūras sagatavotajās vadlīnijās. Citu mēslošanas līdzekļu pielietošanu reglamentē neoficiālas rekomendācijas. Somijā meža mēslošana pieļaujama teritorijās, kur pierādīts barības deficīts vai nelīdzsvarots nodrošinājums ar barības vielām.
8. Papildus ieņēmumi, veicot mēslošanu 2010.-2014. gada kopšanas ciršu fondā, novērtēti 5,1 milj. EUR apjomā, bet kopējais papildus pieaugums 2010.-2014. gada kopšanas ciršu fondā ir 770 tūkst. m^3 . Vislielākais papildus pieaugums sagaidāms skujkoku audzēs.
9. Ņemot vērā, ka papildus pieauguma prognoze balstīta uz pieņēmumiem par papildus pieauguma dinamiku dažādās mežaudžu kategorijās, kas var neapstiprināties turpmākajos pētījumos, naudas plūsmas aprēķinos ieteicams izmantot zinātniskās izpētes mežos iegūtos vidējos papildus pieauguma rādītājus

Secinājumi un ieteikumi

– skujkokiem $19 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ un bērzam $8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Vidējais mēslojuma ietekmes ilgums lapkoku audzēs ir 5 gadi, skujkoku audzēs – 8 gadi.

10. Saskaņā ar MSI datu analīzi izpēti AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajos mežos mēslošanu var veikt 389 tūkst. ha platībā, tajā skaitā lielākā daļa šo platību ir priežu audzes. Papildus iegūstamais pieaugums ir 2 654 tūkst. m^3 . Kopējā mēslošanai piemērotā mežaudžu platība ir vairākas reizes lielāka, nekā kopšanas ciršu fondā atlasītā platība, tāpēc meža mēslošanas plānošanā ieteicams izmantot visu meža fondu, neaprobežojoties ar kopšanas cirtēm.
11. Zinātniskā informācija par meža mēslošanas ietekmi uz CO_2 piesaisti ir atšķirīga, taču vairumā gadījumu pētnieki secina, ka mēslojums sekmē CO_2 piesaisti augsnē un dažādās biomasas frakcijās. Ņemot vērā, ka mēslojums iedarbojas jau pirmajā gadā pēc tā iestrādes, meža mēslošana var izrādīties par visefektīvāko risinājumu CO_2 piesaistes palielināšanai līdz 2020. gadam, lai nodrošinātu valsts starptautisko saistību izpildi.

Izmantotā literatūra

1. Baker, F. S. (1934). *Theory and Practice of Silviculture*. McGraw-Hill Book Company, Incorporated.
2. Bergh, J., Linder, S., Lundmark, T. & Elfving, B. (1999). The effect of water and nutrient availability on the productivity of Norway spruce in northern and southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 119(1–3), 51–62.
3. Binns, W. O., Mayhead, G. J. & MacKenzie, J. M. (1980). *Nutrient deficiencies of conifers in British forests: an illustrated guide*. London: H.M.S.O. ISBN 011710227X 9780117102279.
4. Brunberg, T., Lundström, H. & Norden, B. (2007). *Studies of harvester and forwarder at 5 and 13 assortments*. Uppasala. (2007-05-24).
5. Bušs, M., Kāposts, V. & Sacenieks, R. (1974). *Meža mēslošana*: apskats [online]. Rīga: LRZTIPI. Available from: <http://biblioteka.silava.lv/Alise/lv/book.aspx?id=1857>. [Accessed 2013-04-21].
6. Crutzen, P. J., Mosier, A. R., Smith, K. A. & Winiwarter, W. (2007). N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 7(4), 11191–11205.
7. Ebermayer, E. W. F. (1882). *Physiologische Chemie der Pflanzen zugleich Lehrbuch der organischen Chemie und Agrikulturchemie für Forst- und Landwirthe, Agrikulturchemiker, Botaniker etc.*: erster Band. *Die Bestandtheile der Pflanzen*. Berlin: J. Springer.
8. Ērmāne, E., Bārdule, A., Lazdiņš, A. & Vīksna, A. (2013). Skuju ķīmiskā sastāva izvērtējums 2010. gadā bojātājās egļu (*Picea abies* (L.) H. Karst) audzēs pēc kālija saturoša mēslojuma ienešanas. *Proceedings of Latvian University 71. zinātniskā konference "Ģeogrāfija, ģeoloģija, vides zinātne"*, Rīga, 2013. pp 72–74. Rīga: Latvian University.
9. Franklin, O., Höglberg, P., Ekblad, A. & Ågren, G. I. (2003). Pine Forest Floor Carbon Accumulation in Response to N and PK Additions: Bomb 14C Modelling and Respiration Studies. *Ecosystems* 6(7), 644–658.
10. FSC Forest Stewardship Council ® · Finland FSC Forest Stewardship Council ® [online]. Available from: <https://ic.fsc.org:443/finland.275.htm>. [Accessed 2014-06-04].
11. FSC Standard for Finland (1996). Finnish FSC Association.
12. Grayston, S. J. (2007). *Effects of forest fertilization on soil C sequestration and greenhouse gas emissions* [online]. Canada. (Greenhouse-gas budget of soils under changing climate and land use (BurnOut) • COST 639 • 2006-2010).
13. Havlin, J. L., Beaton, J. D. & Tisdale, S. L. (2005). *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall. ISBN 9780130278241 0130278246.
14. Heljä-Sisko, H. (1992). Nutrient retranslocation in three *Pinus sylvestris* stands. *Forest Ecology and Management* 51(4), 347–367.
15. Hytönen, J. (1998). Effect of peat ash fertilization on the nutrient status and biomass production of short-rotation willow on cut-away peatland area. *Biomass and Bioenergy* 15(1), 83–92.
16. Hyvönen, R., Persson, T., Andersson, S., Olsson, B., Ågren, G. I. & Linder, S. (2008). Impact of long-term nitrogen addition on carbon stocks in trees and soils in northern Europe. *Biogeochemistry* 89(1), 121–137.
17. Junginger, M., Bolkesjø, T., Bradley, D., Dolzan, P., Faaij, A., Heinimö, J., Hektor, B., Leisstad, Ø., Ling, E., Perry, M., Piacente, E., Rosillo-Calle, F., Ryckmans, Y., Schouwenberg, P.-P., Solberg, B., Trømborg, E., Walter, A. da S. & Wit, M. de (2008). Developments in international bioenergy trade. *Biomass and Bioenergy* 32(8), 717–729.
18. Justus von Liebig (2013). *Wikipedia, the free encyclopedia*. Available from: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Justus_von_Liebig&oldid=560855454. [Accessed 2013-07-18].
19. Kāposts, V. (1981). *Meža audžu barošanās režīms un to mēslošana*: Apskats. Rīga: LatZITZIPI.
20. Kaunisto, S., Aro, L. & Rantavaara, A. (2002). Effect of fertilisation on the potassium and radiocaesium distribution in tree stands (*Pinus sylvestris* L.) and peat on a pine mire. *Environmental Pollution* 117(1), 111–119.
21. Latvian Forest Certification Council (2012). Latvian FSC Forest Stewardship Standard, FSC-STD-LVA V1-0 D2-4 EN (PRE-APPROVAL DRAFT). FSC Latvia / Association “Latvian Forest. Available from: http://www.fsc.lv/Latvian_FSC_Standard_Pre-approval_draft_20120518_01.pdf. [Accessed 2013-07-25].
22. Lazdiņa, D. (2009). *Notekūdeņu dūņu izmantošanas iespējas kārkļu plantācijās*. Jelgava: LLU.
23. Lazdiņa, D., Lazdiņš, A., Karinš, Z. & Kāposts, V. (2007). Effect of sewage sludge fertilization in short-

Izmantotā literatūra

- rotation willow plantations. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 15(2), 105.
24. Lazdiņš, A., Donis, J., Kļaviņa, D. & Šmits, A. (2010). AS "Latvijas valsts meži" valdījumā esošajos mežos bojāto egļu audžu masveida bojājumu iemeslu noskaidrošana un rekomendāciju izstrāde bojāto audžu apsaimniekošanai. Salaspils. (5.5-5.1/0027/120/10/9).
25. Lazdiņš, A., Donis, J. & Strūve, L. (2012). Latvijas meža apsaimniekošanas radītās ogļskābās gāzes (CO₂) piesaistes un siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju references līmeņa aprēķina modeļa izstrāde. Salaspils. (5.5-9.1-0070-101-12-91).
26. Lazdiņš, A. & Lazdiņa, D. (2007). *Niedru (Phalaris arundinacea) lauku ierīkošanas biomasas ražošanai izstrādātās kūdras atradnēs zinātniskais pamatojums*. Salaspils. (RPA-RMA-06-86LĪ).
27. Lazdiņš, A., Miezīte, O. & Bārdule, A. (2011). Characterization of severe damages of spruce (*Picea abies* (L.) H.Karst.) stands in relation to soil properties. *Proceedings of Research for Rural Development 2011*, Jelgava, 2011. pp 22–29. Jelgava: Latvia University of Agriculture.
28. Lazdiņš, A. & Zimelis, A. (2012). *Biokurināmā sagatavošanas darba ražīgumu un izmaksas ietekmējošo faktoru izpēte meža infrastruktūras objektu apaugumā*. Salaspils. (3. 5.5-5.1-000p-101-12-8).
29. Lazdiņš, D., Liepa, I., Lazdiņš, A., Kariņš, Z. & Kāposts, V. (2006). Dūņu mēslojuma pielietojšanas efekts kārkļu īsircimeta plantācijās un plantāciju mežos. *Proceedings of Latvian University 64. scientific conference Geography, geology, environmental science*, Rīga, 2006. pp 245–247. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds.
30. Lundborg, A. (1998). A sustainable forest fuel system in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 15(4–5), 399–406.
31. Maljanen, M., Jokinen, H., Saari, A., Strömmer, R. & Martikainen, P. J. (2006). Methane and nitrous oxide fluxes, and carbon dioxide production in boreal forest soil fertilized with wood ash and nitrogen. *Soil Use and Management* 22(2), 151–157.
32. Mead, D. J. & Pimentel, D. (2006). Use of energy analyses in silvicultural decision-making. *Biomass and Bioenergy* 30(4), 357–362.
33. Mēslošanas līdzekļu aprites likums (2006). Saeima. Available from: <http://likumi.lv/doc.php?id=127660>.
34. Miller, H. G. (1995). The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. *Plant and Soil* 168-169(1), 225–232.
35. Miller, H. G. (2004). Nutrient limitations and fertilization. *Encyclopedia of forest sciences* The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK: Elsevier Ltd.
36. Ministru Kabineta noteikumi Nr. 362 Noteikumi par noteikumu dūņu un to komposta izmantošanu, monitoringu un kontroli (2006). Ministru kabinets. Available from: <http://likumi.lv/doc.php?id=134653>. [Accessed 2013-08-18].
37. Ministru kabineta noteikumi Nr. 804 Noteikumi par augsnes un grunts kvalitātes normatīviem (2005). Ministru kabinets. Available from: <http://likumi.lv/doc.php?id=120072>. [Accessed 2013-08-18].
38. Ministru Kabinets (2006). Ministru Kabineta noteikumi Nr. 530 Mēslošanas līdzekļu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi (27.06.2006 ar labojumiem līdz 30.05.2012). Latvijas Vēstnesis.
39. Nambiar, E. K. S. & Fife, D. N. (1991). Nutrient retranslocation in temperate conifers. *Tree Physiology* 9(1-2), 185–207.
40. Nohrstedt, H.-Ö. (2001). Response of Coniferous Forest Ecosystems on Mineral Soils to Nutrient Additions: A Review of Swedish Experiences. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16(6), 555–573.
41. Nohrstedt, H.-ö., Arnebrant, K., Bååth, E. & Söderström, B. (1989). Changes in carbon content, respiration rate, ATP content, and microbial biomass in nitrogen-fertilized pine forest soils in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 19(3), 323–328.
42. Nordicforestry. *Forests in Sweden*. [online] (2013) (Nordic Family Forestry - startpage). Available from: <http://www.nordicforestry.org/facts/Sweden.asp>. [Accessed 2013-08-06].
43. Nordin, A. (2011). Future forests: sustainable strategies under uncertainty and risk. Arlanda.
44. *Nutrition of plantation forests* (1984). London; Orlando: Academic Press. ISBN 0121209806.
45. PEFC Forest Management Standard for Latvia (2010). Biedrība „PEFC Latvijas Padome”. Available from: http://www.pefc.org/images/stories/documents/NGB_Documentation/Latvia/Latvia_Standard.pdf.
46. PEFC international standard requirements for certification schemes, PEFC ST 1003:2010, Sustainable Forest Management – Requirements (2010). . Available from: http://www.pefc.org/images/documents/PEFC_ST_1001_2010_Standard_Setting_2010_11_26.pdf.
47. PEFC Mežu apsaimniekošanas sertifikācijas standarts Latvijai (2010). Biedrība „PEFC Latvijas Padome”. Available from: http://www.pefc.lv/wp-content/uploads/2010/09/PEFC_MA_standarts_2010-1.pdf.
48. Rone, V. (1982). *Разработать научные основы организации и технологические процессы создания*

Izmantotā literatūra

- еловых насаждений плантационного типа в условиях Латвийской СССР, отчет за 1978-1982 гг. Salaspils. (1575-8-327).
49. Saarsalmi, A. & Mälkönen, E. (2001). Forest Fertilization Research in Finland: A Literature Review. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16(6), 514–535.
50. Saez et al (1998). Identification and quantification of polycyclic aromatic hydrocarbons in biomass combustion emissions (Cynara Cardunculus). *Proceedings of 10 th European Conference and Technology Exhibition*, Würzburg, Germany, 1998. pp 1417–1419. Würzburg, Germany: C.A.R.M.E.N.
51. Sathre, R. & Gustavsson, L. (2007). Effects of energy and carbon taxes on building material competitiveness. *Energy and Buildings* 39(4), 488–494.
52. Sathre, R., Gustavsson, L. & Bergh, J. (2010). Primary energy and greenhouse gas implications of increasing biomass production through forest fertilization. *Biomass and Bioenergy* 34(4), 572–581.
53. Schlich, S. W. (1904). *Manual of Forestry: Sylviculture, 1904*, W. Schlich. Bradbury, Agnew & Company.
54. Skranda, I. (2013). *Mēslojuma ietekme uz parastās egles Picea abies (L.) H. Karst. vitalitāti egļu bruņots Physokermes piceae (Schränk) bojātajās audzēs*. Diss. Jelgava: LLU.
55. Small, E. (1972). Photosynthetic rates in relation to nitrogen recycling as an adaptation to nutrient deficiency in peat bog plants. *Canadian Journal of Botany* 50(11), 2227–2233.
56. Špalte, E. (1991). Meža mēslošanas problēmas un perspektīvas. *Jaunākais mežsaimniecībā* (33), 47–53.
57. Stephen Hales (2013). *Wikipedia, the free encyclopedia*. Available from: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Stephen_Hales&oldid=552594532. [Accessed 2013-07-18].
58. Tiernan, D. & Flannery, M. (2010). *Assessing the potential for spreading fertiliser in forests using ground-based machines*. (Silviculture / Management No. 17).
59. Vesterinen, P. (2003). *Wood ash recycling: state of the art in Finland and Sweden, draft 31.10.2003*. P.O. Box 1603 FIN-40101 Jyväskylä, Finland. (PRO2/6107/03).
60. Ylitalo, E. (Ed.) (2012). *The new Statistical Yearbook of Forestry 2012*. Vantaa: METLA.
61. Ипатьев, В. А. & Кирова, С. М. (1977). Некоторые вопросы удобрения осушенных лесов БССР. In: Будниченко, Н. И., Вишнякова, В. П., & Доркина, Н. В. (Eds) *Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве*. pp 74–78. Тарту: Всесоюзная опдена Ленина академия сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина Западное отделение Эстонской научно-исследовательский институт лесного хозяйства и охраны природы Эстонская сельскохозяйственная академия. (Материалы второго координационного совещания).
62. Капустс, В. & Сацениекс, Р. (1977). Применение минеральных удобрений в насаждениях хвойных пород Латвийской ССР. In: Будниченко, Н. И., Вишнякова, В. П., & Доркина, Н. В. (Eds) *Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве*. pp 8–12. Тарту: Всесоюзная опдена Ленина академия сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина Западное отделение Эстонской научно-исследовательский институт лесного хозяйства и охраны природы Эстонская сельскохозяйственная академия. (Материалы второго координационного совещания).
63. Паршевников, А. Л., Серый, В. С. & Бахвалов, Ю. М. (1979). *Рекомендации по применению минеральных удобрений в лесах Европейского севера*. Архангельск: Архангельский институт леса и лесохимии.
64. Рахтеенко, Л. И., Новикова, А. А., Савельев, В. В., Моисеенко, Е. И., Пискунов, В. С. & Малюкович, А. И. (1986). *Применение удобрений в сосновых и еловых культурах (Рекомендации)*. Минск.
65. Тялли, П. Г. (1977). Внутрипочвенная фильтрация минеральных удобрений на среднеподзолистых почвах сосняка чирничникового. In: Будниченко, Н. И., Вишнякова, В. П., & Доркина, Н. В. (Eds) *Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве*. pp 54–59. Тарту: Всесоюзная опдена Ленина академия сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина Западное отделение Эстонской научно-исследовательский институт лесного хозяйства и охраны природы Эстонская сельскохозяйственная академия. (Материалы второго координационного совещания).

**1.Pielikums: Zviedrijas Meža aģentūras
rekomendāciju meža
mēslošanai kopsavilkums**

ZVIEDRIJAS MEŽA AĢENTŪRAS VADLĪNIJAS ATBILSTOŠI MEŽA LIKUMA § 30 F(1979:429), SLĀPEKĻA MĒSLOJUMA IZMANTOŠANAI MEŽA ZEMĒS

SKSFS 2007:3

Mežsaimniecības padome pēc konsultācijām ar Vides aizsardzības aģentūru un atbilstoši Meža likuma 30. pantam un Meža apsaimniekošanas noteikumu 30. pantam (1993:1096) publicējusi vadlīnijas meža mēslošanai. Vadlīnijas parāda Mežsaimniecības padomes skatījumu uz dabas aizsardzības un citiem nosacījumiem, kas jāņem vērā veicot meža mēslošanu ar slāpekļa mēslojumu saimnieciskajos mežos. Vadlīnijas aizstāj Meža aģentūras vadlīnijas (SKSFS 1991:2) slāpekļa mēslojuma izmantošanai meža zemēs.

Saskaņā ar šīm vadlīnijām slāpekļa izmantošana saimnieciskajos mežos atbilst šādiem nosacījumiem:

- mēslojumu ienes mežaudzēs, ko plānots izstrādāt kopšanas (starpcirtē) vai galvenajā cirtēs,
- vienā reizē ienes ne vairāk kā 200 kg N ha^{-1} slāpekļa mēslojuma,
- atkārtotu mēslojuma iestrādi var veikt ne ātrāk kā 8 gadus pēc iepriekšējās mēslošanas.

Ar slāpekļa (N) mēslojumu šajās vadlīnijās saprot amonija nitrātu (NH_4NO_3) vai kalcija nitrātu ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), t.i. minerālmēslojumu, kas satur kalciju, magniju un slāpekli un kurā šie elementi ir pārākumā pēc masas.

Ierobežojumi, kas noteikti šajās vadlīnijās, neattiecas uz organiskā mēslojuma izmantošanu kūdrājos, zinātnisko pētījumu objektos, kā arī rekultivējamās platībās (karjeri, atbērtnes), kur organisko mēslojumu izmanto augsnes virskārtas atjaunošanai.

Anotācija

Vadlīniju mērķis ir nodrošināt tādas meža mēslošanas prakses izplatību, kas maksimāli mazina mēslojuma iespējamo negatīvo ietekmi uz mežu un ūdeņiem. Ietekmes uz vidi novērtējumā un rekomendācijās ņemti vērā faktori, kas var veicināt mēslojuma negatīvu iedarbību, piemēram, N savienojumi, kas nonāk uz augsnes ar atmosfēras nokrišņiem. Faktori, kas jāņem vērā, vērtējot meža mēslošanas ar N iespējamo negatīvo ietekmi:

- augsnes paskābināšanās;
- slāpekļa izskalošanās un gruntsūdeņu kvalitātes pasliktināšanās;

- slāpekļa uzkrāšanās augsnē pārmērīgas mēslojuma lietošanas rezultātā;
- iespējamā ietekme uz jutīgiem floras un faunas pārstāvjiem;
- vēsturisko un arheoloģisko vērtību bojājumi.

Ierobežojumi dažādās valsts daļās

Zviedrija sadalīta 4 reģionos, kuros noteikti atšķirīgi nosacījumi meža mēslošanai (Att. 44). Latvijai tuvākie reģioni atbilstoši Att. 45 ir 2. un 3.



Att. 44: Zviedrijas reģioni, kur noteikti atšķirīgi meža mēslošanas nosacījumi.

Pirmais reģions

Pirmajā reģionā ietilpst Zviedrijas dienvidu un dienvidrietumu daļa (Att. 45). Meža mēslošana ar slāpekļa mēslojumu šajā reģionā praksē nenotiek.

Otrs reģions

Otrs reģions ietver Zviedrijas dienvidaustrumu daļu (Att. 45). Praksē meža mēslošana šajā reģionā nenotiek. Izņēmums ir egļu audzes, kurās plānota svaigu mežizstrādes atlieku vākšana galvenās cirtes laikā. Šajās audzēs ieteicams iestrādāt līdz 150 kg N ha⁻¹ meža atjaunošanas laikā¹⁷.

¹⁷

Meža atjaunošana šajā gadījumā ietver galveno cirti.

Trešais reģions

Trešajā reģionā ietilpst Zviedrijas centrālā daļa (Att. 45), kas pēc klimatiskajiem rādītājiem visvairāk atbilst Latvijai, lai gan pēc augšņu izplatības Latvijas teritorija pielīdzināma 1. un 2. reģionam, jo augsnes Zviedrijas centrālajā daļā ir seklas un salīdzinoši mazauglīgas, atšķirībā no dienvidu līdzenumiem. Trešajā reģionā pieļaujamā N mēslojuma deva ir līdz 300 kg ha⁻¹ vienas meža aprites laikā.

Ceturtais reģions

Ceturtais reģions daļēji ietver Zviedrijas centrālo un visu ziemeļu daļu (Att. 45). Šajā reģionā N mēslojuma deva nedrīkst pārsniegt 450 kg n ha⁻¹ vienas aprites laikā.

Vispārīgie ierobežojumi

Platības, kurās slāpekļa mēslojuma izmantošana pieļaujama

Lēmums par mēslojuma izmantošanu jāpieņem atbilstoši vietējiem apstākļiem konkrētā audzē, rūpējoties par to, lai mēslojuma pielietošana nerada negatīvu ietekmi uz bioloģiski vai kultūrvēsturiski nozīmīgām teritorijām. Lai nodrošinātu šīs prasības izpildi, meža mēslošana nav pieļaujama:

- mežaudzēs uz auglīgām augsnēm ar kvalitātes indeksu virs G30;
- mežaudzēs uz brūnaugsnēm;
- mežaudzēs uz neauglīgām augsnēm ar kvalitātes indeksu zem T16;
- mežaudzēs uz seklām un viegli izskalojamām augsnēm;
- mežaudzēs uz augsto purvu kūdras augsnēm;
- atslēgas biotopos un citās teritorijās, kas būtiskas specifisku floras un faunas elementu saglabāšanai;
- mežaudzēs, kur nepieciešams labs izgaismojums un vietās, kas būtiskas kultūrvēsturiskā mantojuma saglabāšanai un kur mēslojums var radīt negatīvu ietekmi uz saglabājamiem elementiem.

Meža mēslošanu nerekomendē meža tipos, kur vairāk nekā 50 % zemsedzes veģetācijas pārklājuma veido ķērpji. Meža mēslošana Zviedrijā tāpat nav rekomendējama mežaudzēs, kur augsnes slānis ir plānāks par 20 cm, kā arī viegli izskalojamās grants un rupjas smilts augsnēs.

Teritorijas un to aizsargjoslas, kurās slāpekļa mēslojuma izmantošana nav ieteicama

Meža mēslošana nav atļauta teritorijās, kas uzskaitītas Tab. 85. Papildus šīm teritorijām paredzētas aizsargjoslas, kurās mēslojuma izmantošana arī nav atļauta. Maksimāli pieļaujamā slāpekļa mēslojuma deva, ko nepieciešamības gadījumā vai tehnoloģisku faktoru ietekmē var iestrādāt aizsargjoslās, ir 10 kg N ha⁻¹.

Tab. 80: Teritorijas un to aizsargjoslas, kur meža mēslošana nav atļauta

Mēslojumu nedrīkst izmantot	Aizsargjoslas minimālais platums, m
-----------------------------	--

Zviedrijas Meža Aģentūras vadlīnijas meža mēslošanai

Mēslojumu nedrīkst izmantot	Aizsargjoslas minimālais platums, m
Ezeri un upes	25
Mitrzemes ar lielu bioloģisko vai kultūrvēsturisko vērtību (1. un 2. klases mitrzemes atbilstoši Zviedrijas meža inventarizācijai)	25
Aizsargājamās dabas teritorijas	25
Atslēgas biotopi	25
Kultūras un vēstures pieminekļi	25
Ceļi un to infrastruktūra	10

Upes šo vadlīniju izpratnē ir ūdensteces, kurās ūdens plūsma saglabājas visu gadu. Aizsargājamās dabas teritorijas ir dabas rezervāti, dzīvotņu un ūdens aizsardzības objekti, kā arī aizsargājamie biotopi.

Meža mēslošana Natura 2000 vai tam piegulošajās teritorijās vairumā gadījumu nevar radīt būtisku ietekmi uz vidi, tāpēc meža mēslošanas iespējas Natura 2000 teritorijās jāvērtē katrā gadījumā atsevišķi.

Uzstādījumi darbam heterogēnās teritorijās

Ja mēslojumu izkliedē vietās, kur mijas teritorijas, kurās mēslojuma izmantošana nav pieļaujama vai nav rekomendējama un mežaudzes, kurās var izmantot mēslojumu, mēslojuma ienešana jāorganizē tā, lai mēslojums nenonāk teritorijās, kur tas nav pieļaujams.

Mēslojuma izkliedēšanas laiks

Meža mēslošanu ar slāpekli saturošu mēslojumu veic:

- laikā, kad hidroloģiskie un augsnes apstākļi nodrošina vismazāko slāpekļa mēslojuma nonākšanas risku teritorijās, kuru mēslošana nav pieļaujama;

Mēslošanu neveic uz sasalušas vai ar sniegu klātas augsnes un atkušņa laikā vai sniega kušanas laikā pavasarī.

**2.Pielikums: Meža mēslošana Somijas FSC
standartā**

MEŽA MĒSLOŠANA SOMIJAS FSC STANDARTĀ

Saskaņā ar Somijas FSC standartu lielie meža īpašnieki (apsaimniekotā platība pārsniedz 500 ha) var izmantot mēslojumu mežaudzēs, kurās apstiprināts nepietiekošs vai neizlīdzsvarots nodrošinājums ar barības vielām. Mēslošana augšanas gaitas uzlabošanai iespējama arī izkoptās audzēs lāna un mētrāja meža tipos. Pelnu izmantošana ir atļauta uz organiskām augsnēm (6.3.8 pants). Mēslojamajās audzes jāatzīmē meža apsaimniekošanas plānā, pamatojot būtiska ekonomiskā efekta sasniegšanu, neradot vides riskus (6.3.8.1 pants). Mēslojamo audžu platība 1 īpašuma robežās ilgtermiņā nepārsniedz 30 % no kopējās mežu platības. Meža īpašnieki, kas apsaimnieko vairāk par 10 000 ha, gada laikā drīkst izmantot mēslojumu ne vairāk kā 2 % no apsaimniekotās platības (6.3.8.2 pants).

Mazāko īpašumu apsaimniekotāji (< 500 ha), tāpat kā lielie meža apsaimniekotāji, var izmantot mēslojumu mežaudzēs, kurās apstiprināts neizlīdzsvarots nodrošinājums ar barības vielām. Mēslošana augšanas gaitas uzlabošanai iespējama arī izkoptās audzēs uz organiskām augsnēm (6.3.8 S.B pants). Tāpat, mēslojamām audzēm jābūt identificētām meža apsaimniekošanas plānā (6.3.8.1 S.B pants). Atšķirībā no lielajiem meža īpašniekiem, mazāko meža īpašumu apsaimniekotāji ilgtermiņā var izmantot mēslojumu līdz 50 % no kopējās apsaimniekotās platības.

Visām meža īpašnieku grupām jāminimizē mēslojuma pielietošanas ietekme uz ūdeņiem, saglabājot nemēslošanas buferzonas ap ūdenstecēm un ūdenskrātuvēm (6.3.9 S pants):

- 50 m gar jūras, ezeru, upju un dīķu krastiem);
- 20 m gar strautiem;
- 5 m gar meliorācijas grāvjiem.

Mēslojums nav izmantojams mežaudzēs, kurās atrodas gruntsūdens ņemšanas vietas (6.3.9.1 S pants). Mēslošanas ierobežojumi noteikti arī 6.5.8 S pantā, kur noteikti saimnieciskās darbības ierobežojumi ūdens ņemšanas vietās. Meža īpašniekam šādās vietās jānodrošina gruntsūdens kvalitātes saglabāšana, atturoties no grāvju tīrīšanas, jaunu meliorācijas sistēmu ierīkošanas, mēslojuma un ķīmisko pesticīdu pielietošanas, celmu ieguves un mežizstrādes atlieku dedzināšanas.

Meža īpašniekam jāpārlicinās, ka mēslošanā izmantojamais materiāls atbilst likumdošanas prasībām attiecībā uz mēslojuma aktīvās vielas saturu un piesārņojošo vielu koncentrāciju (reģistrēts kā mēslošanas līdzeklis, 6.3.10 S pants).

Atbilstoši 8.2.1 S pantam visiem meža īpašniekiem jā saglabā uzskaites dati par mēslojamajām platībām un mēslošanas laiku.

Saskaņā ar 10.6 pantu lielajiem meža īpašniekiem jāveic pasākumi, lai saglabātu vai uzlabotu augsnes struktūru, auglību un bioloģisko aktivitāti. Mežizstrādes tehnoloģijas un intensitāte, ceļu un tehnoloģisko koridoru ierīkošana un uzturēšana, kā arī sugu izvēle ilgtermiņā nedrīkst novest pie augsnes degradācijas vai negatīvas ietekmes uz

ūdens resursu kvalitāti un kvantitāti vai būtiskas ietekmes uz hidroloģisko režīmu meliorācijas sistēmu ietekmes zonā. Lielajiem meža īpašniekiem regulāri jāseko augšnes auglības rādītājiem, nepieciešamības gadījumā īstenojot pasākumus augšnes auglības saglabāšanai vai paaugstināšanai (10.6.1 S pants). Viens no uzskaitītajiem pasākumiem ir meža mēslošana.

Saskaņā ar 10.7 pantu lielajiem meža īpašniekiem jāveic pasākumi, lai ierobežotu kaitēkļu, slimību un invazīvu sugu izplatību, kā arī mazinātu ugunsbīstamību. Integrētiem meža aizsardzības pasākumiem jāklūst par būtisku meža apsaimniekošanas plāna sastāvdaļu, prioritizējot bioloģiskās kontroles metodes, nevis ķīmiskos pesticīdus un mēslošanas līdzekļus. Arī plantāciju apsaimniekošanā jāierobežo ķīmisko pesticīdu un mēslošanas līdzekļu pielietošana. Atbilstoši 10.7.2 S pantam kaitēkļu ierobežošanas pasākumiem jābūt fokusētiem uz preventīvām darbībām un bioloģiskiem ierobežošanas mehānismiem, izvairoties no ķīmisku pesticīdu un mēslošanas līdzekļu pielietošanas, ja vien tiem ir ekonomiski izdevīgas alternatīvas.

Saskaņā ar Somijas FSC standartu ir pieļaujama koksnes, kūdras vai lauksaimniecības biomasas pelnu izmantošana meža mēslošanā. Koksnes pelni pirms pielietošanas ir jāapstrādā (jāveic darbība, kas līdzvērtīga kaļķa dzēšanai) un jāgranulē. Pelnu mēslojuma ražošanu, transportēšanu un izmantošanu reglamentē Somijas likums par mēslošanas līdzekļiem¹⁸ un Dekrēta par mēslošanas līdzekļu produktiem¹⁹). Pelniem, lai tos izmantotu mežā, jāatbilst šādiem kritērijiem: kopā vismaz 1 % no sausnas ir fosfors (P) un kālijs (K), vismaz 8 % kalcijš (Ca) un ne vairāk kā 2 % hlors (Cl). Kadmija (Cd) saturs mēslošanai paredzētajos pelnos nedrīkst pārsniegt 17,5 mg kg⁻¹ sausnas, bet maksimālā Cd deva, ko augsnē ienes ne biežāk kā reizi 40 gados, nepārsniedz 60 g ha⁻¹, attiecīgi, maksimālā 40 gadu laikā mežaudzē ienesamā pelnu deva ir ne vairāk kā 3,43 tonnas sausnas ha⁻¹ (*FSC Forest Stewardship Council Finland, FSC Standard for Finland, 1996*).

18

http://www.mmm.fi/attachments/maatalous/maataloustuotanto/kasvintuotanto/5w4ixxoAV/LANNOITEVALMISTELAKI_539_2006_EN_LGLISH.pdf

19

http://www.mmm.fi/attachments/elo/newfolder/lannoiteaineet/6JBCcjo1k/MMMa_24_2011_lannoitevalmistasetus_EN.pdf;
http://www.mmm.fi/attachments/elo/newfolder/lannoiteaineet/6JBCaDv5v/MMMa_11_2012_lannoitevalmiste_EN.pdf