

**Koksnes sadedzināšanas
pelnu kā otrreizēji
izmantojamu materiālu
gala statusa noteikšana
(Nr.1-08/81/2019.)
Ekspertu novērtējums**

**Projekta izpildītājs: Latvijas Atkritumu
saimniecības asociācija**

**Projektu finansē: Latvijas Vides aizsardzības
fonds un atbalsta Vides aizsardzības un reģionālās
attīstības ministrija**

Saturs

N.p.k.	Nosaukums	Lpp.
	Ievads	3
1.	Koksnes un tās pelnu īpašības	7
1.1.	Koksne kā kurināmais	7
1.2.	Koksnes pelnu īpašības	13
1.3.	Radioaktivitātes mērījumi koksnē un koksnes pelnos	16
1.4.	Koksnes pelnu izmantošanas iespējas	17
2.	Latvijas kurtuvju pelnu raksturojums	21
2.1.	Kurtuvju apsekojums	21
2.2.	Kurtuvēs radušos pelnu daudzums	23
2.3.	Pelnu radioaktivitātes mērījumi	23
2.4.	Kurtuvju pelnu analīzes	25
3.	Koksnes pelnu izmantošana mežsaimniecībā	30
3.1	Ziemeļeiropā veiktie pētījumi par koksnes sadedzināšanas pelnu izmantošanu mežsaimniecībā	30
3.2.	Mēslošanas ietekme uz augsnes īpašībām	32
3.3.	Koksnes pelnu sārmainība un pielietojamās mēslojuma devas	35
3.4.	pH izmaiņas mēslojuma ietekmē	36
3.5.	Augsnes ūdeņos izšķīdušo barības vielu izmaiņas un novērtēšana	37
3.6.	Mēslošanas ietekme uz veģētāciju un augsnes organismiem	40
4.	Koksnes pelnu izmantošana lauksaimniecībā	44
4.1.	Tehnoloģiskie risinājumi koksnes pelnu iestrādei augsnē	44
4.2.	Koksnes pelni kā augsnes ielabotājs	45
4.3.	Jaunu mēslošanas līdzekļu izstrāde, kur kā viena no sastāvdaļām tiek izmantoti koksnes pelni	46
4.4.	Koksnes pelnu kvalitātes prasības atbilstoši šī brīža Latvijas normatīvajiem aktiem un sniegtās rekomendācijas	49
4.5.	Latvijas koksnes pelnu ķīmiskā un granulometriskā sastāva izvērtējums lauksaimniecības vajadzībām	50
4.6.	Rekomendācijas un Latvijas koksnes pelnu atbilstība lauksaimniecības vajadzībām	
5.	Koksnes pelnu izmantošana celtniecības materiālu izgatavošanā un būvniecībā	53
5.1.	Ārvalstu pieredze pelnu reciklēšanā, deponēšanā, grunšu modificēšanā un stabilizēšanā	53
5.2.	Pelni – lietderīgs daudzfunkcionāls produkts	55
5.3.	Stabilizācijas tehnoloģiju apskats	56
	Literatūra	60
1.	Pielikums, Aptaujas anketa	
2.	Pielikums Analīžu grafiskie attēli	

IEVADS

Projekta “Koksnes sadedzināšanas pelnu kā otrreizēji izmantojamu materiālu gala statusa noteikšana” mērķis ir sagatavot gala statusa noteikumus koksnes sadedzināšanas pelnu izmantošanai Latvijā, norādot pielietojuma veidus izvēlētajās nozarēs – lauksaimniecība, mežsaimniecība un būvniecības tehniskie risinājumi, kā arī atbilstošās pelnu sastāva prasības to izmantošanai. Projekta atskaitē sniegti Latvijas kurtuvju pelnu analīžu dati, ekspertu sagatavotie literatūras apskati un novērojums par pelnu izmantošanu attiecīgajās tautsaimniecības nozarēs valstī. Materiāla sagatavošanā piedalījušies Dr.chem Dace Strode, Dr. phys. Rūta Bendere, Dr. agr. Ilze Vircava un Dr. ing. Jānis Kaminskis.

Sākot no 2010.gada, Latvijā strauji pieaug koksnes kurināmā izmantošana siltuma apgādē. Enerģija, kas saražota no atjaunojamajiem energoresurciem (AER) Latvijā 2014. gadā sastādīja 36.8% (apmēram 69PJ) no kopējā iekšzemes enerģijas patēriņa (siltums/elektroenerģija). 82.1% no šīs enerģijas tika saražots ar dažāda veida kurināmo koksni, tai skaitā 24.3% tika saražoti koģenerācijas stacijās. Ik gadu Latvijā tiek saražoti vairāki 10-iti tūkstoši tonnu bio-kurināmā (BK) pelnu kā blakusprodukts koģenerācijas stacijās.

Izniedzot A un B kategorijas atļaujas, RVP, kā nosacījumu pelnu izmantošanai, visbiežāk norāda prasību par līgumu ar atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu. Tikai atsevišķos gadījumos tiek norādīta iespēja pelnu izmantošanai lauksaimniecībā, bet vairums gadījumos, nenorādot prasības to izmantošanai. Pēc 2017.gada sadzīves atkritumu apkopojuma, kopējais radītais kurtuvju pelnu daudzums valstī sasniedz 27329 tonnas. Pašreiz pamatā tie tiek apglabāti poligonos, kaut arī, kā parāda citu valstu prakse, pelni, atkarībā no to sastāva, ir izmantojami gan lauksaimniecībā, gan mežsaimniecībā, kā arī dažādu būvniecības tehnisko risinājumu īstenošanai.

Atkritumu stadijas izbeigšanās nosacījumi jeb atkritumu “beigu” statuss – attiecas uz atkritumu pārstrādes rezultātā iegūtajiem materiāliem, kuru apsaimniekošanai vairs nav jāpiemēro atkritumu apsaimniekošanas normatīvie akti. Izstrādājot koksnes sadedzināšanas pelnu beigu statusa noteikšanai nepieciešamās prasības un nosacījumus Latvijā, valstī tiks būtiski paplašināta šo atkritumu veidu izmantošana, samazinot to apglabāšanu, kas veicinās aprites ekonomikas cikla nodrošināšanu un veicinās ne tikai koksnes, bet arī tās pelnu izmantošanu dažādās tautsaimniecības nozarēs.

Latvijā pelnu izmantošanas praktiskie pētījumi ir sākuma stadijā. Pirmie pilot izmēģinājumi koksnes pelnu izmantošanai ļoti nelielā apjomā tika ierīkoti 2002.gadā īstenojot starptautisku izpētes programmu REC Ash. To rezultāti izmatoti maģistra darbā, ko Tāļa Gaitnieka vadībā izstrādājis Andrejs Brūvelis, pētot koksnes pelnu

ietekmi uz priedes un egles stādījumu ierīkošanu¹. Bet 2009. gadā aizstāvētajā A. Indriksona promocijas darbā “Biogēno elementu aprite nosusinātajos mežos”² pētīta dažādu koksnes pelnu devu ietekme uz meža augsnes ūdeņiem.

Atkārtota 2002. gadā ierīkoto izmēģinājumu apsekošana veikta 2013.-2015.gadā. Saprotot, ka koksnes pelnos esošo barošanās elementu atgriešana mežā ir Latvijas apstākļiem piemērota prakse, LVMI Silava piesaistīja Eiropas Reģionālās attīstības fonda finansējumu un īstenoja pētījumu “Koksnes pelnu apstrādes un izmantošanas meža mēslošanā tehniskā un metodiskā risinājuma izstrādāšana”³. Pētījuma ietvaros izgatavoja pelnu kļiedēšanai piemērotas iekārtas prototipu un koksnes pelnu sijāšanas iekārtu. Zinātniskās izpētes mežos ierīkoja pirmos rūpnieciska apjoma pilot pētījumus.

LVMI Silava pētnieki kopš 2016. gada īsteno Koku augšnas apstākļu uzlabošanas pētījumu programmu 2016-2021 gadam⁴. Pētījumu finansē a/s "Latvijas valsts meži", tā mērķis ir nodrošināt maksimālo saimniecisko efektu, atjaunojot koku augšanas apstākļu uzlabošanas praksi Latvijas mežsaimniecībā un veidot pozitīvu un atbildīgu sabiedrības attieksmi pret koku augšanas apstākļu uzlabošanas pasākumiem. Pētījums vēl turpināsies divus gadus - pētījumu programmas darba uzdevumi:

- koksnes pelnu pielietošanas koku augšanas apstākļu uzlabošanā tehnisko risinājumu, saimnieciskā efekta un ietekmes uz vidi vērtējums;
- slāpekli saturošu augsnes ielabošanas līdzekļu saimnieciskā efekta un ietekmes uz vidi izpēte skujkoku un bērza briestaudzēs;
- dažādu slāpekļa augsnes ielabošanas līdzekļu devu saimnieciskā efekta un ietekmes uz vidi izpēte skujkoku un bērza jaunaudzēs un vidēja vecuma audzēs, paredzot atkārtotu augsnes ielabošanas līdzekļu ienešanu;
- slāpekļa un koksnes pelnu ieneses saimnieciskā efekta un ietekmes uz vidi izpēte meliorētajos mežos vidēja vecuma skujkoku un bērza audzēs;
- ātraudzīgo un introducēto koku sugu papildus krājas pieauguma novērtējums, ienesot augsnē slāpekli saturošus augsnes ielabošanas līdzekļus un koksnes pelniem;
- komplekss augsnes ielabošanas līdzekļu ietekmes uz ūdeņu ekoloģisko kvalitāti novērtējums;
- pētījumu programmas rezultātu publicitātes nodrošināšana un darbs ar sabiedrību.

1 Gaitnieks T, Brūvelis A, Indriksons A, Zālītis P (2005) Influence of wood ash on morphological parameters and mycorrhization of Scots pine containerized seedlings. For Stud 42:74–78.

2 http://silava.lv/userfiles/file/A_Indriksons%20Autoreferats%20A5.pdf

3 <http://www.silava.lv/23/section.aspx/View/162>

4 <http://www.silava.lv/23/section.aspx/View/181>

Sagaidāmie pētījuma rezultāti:

- rekomendācijas, algoritmi un metodes maksimāla saimnieciskā efekta nodrošināšanai, izmantojot koku augšanas apstākļu uzlabošanas pasākumus;
- rekomendācijas ietekmes uz vidi mazināšanai, izmantojot mežā slāpekli saturošos augsnes ielabošanas līdzekļus un koksnes pelnus;
- priekšlikumi augsnes ielabošanas līdzekļu pielietošanai ātraudzīgu introducēto koku sugu stādījumos un metodes saimnieciskā efekta prognozēšanai;
- apmācīti nozares profesionāļi meža augšanas apstākļu uzlabošanas pasākumu ieviešanai;
- pozitīva un atbildīga dažādu sabiedrības grupu attieksme pret koku augšanas apstākļu uzlabošanas pasākumiem.

Papildus šai pētījumu programmai uzsākti pētījumi par koksnes pelnu izmantošanu lauksaimniecībā un mežkopībā veidojot to maisījumus ar biogāzes ražošanas atliekām – digestātu⁵ vai liellopu mēsliem⁶.

Savukārt RTU Būvniecības inženierzinātņu fakultātes Transportbūvju institūtam arī pašlaik 2020.gadā ir aktīvi pētījumi par pelnu lietošanu, t.sk. arī ceļu būvē. Jāatzīmē, ka plaša atskaite publicēta 2017.gadā akciju sabiedrības „Latvijas valsts meži” (LVM) mājas lapā <https://www.lvm.lv/https://www.lvm.lv/petijumi-un-publikacijas/pelnu-izmantosana-meza-autocelos>. Minētais pētījums “Pelnu izmantošana meža autoceļos” ir tapis sadarbojoties Rīgas Tehniskajai universitātei, AS “Latvijas Valsts meži” un SIA “FORTUM Latvia”. Šo darbu mērķis bija veikt laboratorijas testus ar bio-kurināmā vieglo (BKV) pelnu – grants un dolomīta šķembu optimālajiem maisījumiem, lai noskaidrotu maisījuma iestrādājamības īpašības, kā arī stiprības un stinguma rādītājus pēc tā cietēšanas. Par pētījumiem un to rezultātu atbilstību standartiem ziņots daudzās starptautiskās konferencēs, kā piemēram, “13th Baltic Sea Region Geotechnical Conference Historical Experience and Challenges of Geotechnical Problems in Baltic Sea Region, September 22-24, 2016 Vilnius” ar referātu “Usage of Wood Fly Ash in Stabilization of Unbound Pavement Layers and Soils”. Praktiskās pārbaudes sniedz apstiprinātos rezultātus pelnu izmantošanai ceļu būvē, ir atrasti iespējamie maisījumi – kādas kombinācijas būtu lietderīgas.

Par ceļu būves plašo vērienu un risinājumiem atkārtoto materiālu izmantošanu interesantas un uzskatāmas video ziņas <https://youtu.be/JmkjavMwhao> ar turpinājumu.

Transportbūvju institūtā šobrīd ir aktīvs viens LZP Fundamentālo un lietišķo pētījumu programmas projekts par dažādu atkārtoti izmantojamu materiālu izmantošanu ceļu būvniecībā. Pastāv problēma, kura prasa risinājumu, lai valstī sakārtotu likumdošanu ar

5 <https://www.llu.lv/lv/projekti/apstiprinatie-projekti/2019/jaunas-tehnologijas-izstrade-augmeslosanas-lidzeklu>

6 <http://www.silava.lv/23/section.aspx/View/250>

detalizēti izstrādātu normatīvo regulējumu, kas pelniem izbeigtu atkritumu statusu un ļautu tos lietot praktiskā darbā (piem. ceļu būvē, piejaucot asfaltam vai ieklājot ceļa pamatni u.c.). Bez tam valsts vides institūciju izvirzīto nosacījumu izpilde, lai saņemtu tehniskos noteikumus no reģionālās vides pārvaldes nav īsti samērojami ar paredzamajiem potenciālajiem ieguvumiem. Speciālisti uzskata, ka nedrīkstētu pelnus novērtēt kā bīstamus atkritumus, ja ir veiktas pelnu ķīmiskās analīzes un nav konstatētas novirzes no normatīvos noteiktajiem parametriem. Kopumā var novērtēt, ka pelni ir lpiemērots materiāls, kuru iespējams sekmīgi un ekonomiski izmantot daudzās būvniecības apakšnozarēs.

Latvijas Lauksaimniecības universitātē (LLU) pētījumi saistībā ar koksnes pelnu izmantošanu lauksaimniecībā pēdējā desmitgadē galvenokārt tapuši, sadarbojoties ar Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silava" pētniekiem. Pētījumi, kas tapuši pēdējā desmitgadē saistībā ar koksnes pelnu izmantošanu lauksaimniecībā vairāk uzskatāmi par fragmentāriem. Turklāt LVMI „Silava” pētnieks Jansons Ā. jau 2009. gadā SIA Vides projektiem sniegtajā pārskatā definēja problēmnostādni attiecībā uz koksnes pelnu izmantošanu mēslošanā – precīzāka novērtējuma izdarīšanai nepieciešams plašāks Latvijā veikts pētījums, t.sk. augsnes sastāva monitorings. Kas attiecas uz koksnes pelnu izmantošanu meža augšņu ielabošanā, pēc minētā ziņojuma ir veikti vairāki nopietni pētījumi (Adamovičs u.c., 2009). Savukārt LIZ zemju ielabošanā ar koksnes pelniem un dažādu kultūraugu mēslošanā šāda veida pētījumi pagaidām ir iztrūkstoši.

Neskatoties uz pētījumu epizodiskumu un ņemot vērā LVMI Silava pētnieku apkopotu pieredzi meža augšņu ielabošanā, iespējams izdalīt trīs galvenos pētījumu virzienus saistībā ar koksnes pelnu izmantošanu lauksaimniecībā:

- 1) tehnoloģiskie risinājumi koksnes pelnu iestrādei augsnē;
- 2) koksnes pelni kā augsnes ielabotājs
- 3) jaunu mēslošanas līdzekļu izstrāde, kur kā viena no sastāvdaļām tiek izmantoti koksnes pelni.

1. KOKSNE UN TĀS PELNU ĪPAŠĪBAS

1.1.Koksne kā kurnāmais

Galvenās kokmateriālu kā kurināmā raksturojošās īpašības ir:

- siltumspēja;
- ķīmiskais sastāvs;
- mitruma pakāpe;
- blīvums, daļiņu izmērs;
- pelnainība, pelnu sastāvs;
- bīstamo vielu daudzums, tajā skaitā smago metālu koncentrācija.

Biokurināmā kvalitātes un īpašību noteikšanai ir izstrādāti vairāki standarti (ISO, CEN, BSI, DIN un citāssistēmās). Apjomīgs apkopojums pieejams Gruzijas universitātes 2015.gada pētījumā (“*Solid Biofuel Standardization*”; *Energy and Sustainable Development Institute Iliia State University*; 2015.;52 lpp), kurā aprakstītas arī sertifikācijas shēmas un pamatprincipi kā arī prasības sadedzināšanas iekārtām.

Kopš 1989. gada notiek regulāra informācijas apmaiņa un koordinācija, lai novērstu standartu dublēšanos un samazinātu to izstrādes un saskaņošanas laiku. Līdz ar to šobrīd prioritāri augstāks statuss ir ISO standartiem, bet atsevišķās jomās saglabājas arī CEN standartu izmantošana (specifiskām nozarēm un maziem tirgiem Eiropā). 1.1. tabulā apkopoti būtiskākās standartizētās jomas un parametri attiecībā uz koksnes šķeldu.

Papildus standartiem var būt pieejamas tehniskās atskaites (*Technical Report - TR*) vai tehniskās specifikācijas (*Technical Specifications - TS*). Ja parametra noteikšanas metode nav pilnībā zinātniski pamatota vai metode nav plaši izmantota, var sagatavot tehnisko ziņojumu, kurš izskaidro jaunākos sasniegumus un pieredzi, kas gūta, izmantojot šo metodi. Tehnisko specifikāciju izmanto, ja metode ir plašāk atzīta, bet trūkst datu vai pieredzes par iegūtajiem rezultātiem. TS jāpārskata 3 līdz 5 gadu laikā, un vai nu tā tiek paaugstināta līdz standartam, vai arī atmesta pavisam.

1.1.tabula

Cietā biokurināmā Eiropas (EN) un starptautiskie (ISO) standarti, kuri attiecināmi uz koksnes šķeldu

(EN - http://biomass.ge/sites/default/files/biofuel_standards_eng.pdf

ISO - <https://www.iso.org/ics/75.160.40/x/>)

Terminoloģija	
EN 14588:2010 ISO 16559:2014	Cietais biokurināmais – terminoloģija, definīcijas un raksturojumi
Kurināmā raksturlielumi un klasifikācija	
EN 14961-1:2010 ISO 17225-1:2014	Cietais biokurināmais – kurināmā specifikācijas un klases – 1. daļa: Vispārīgās prasības

EN 14961-4:2011 ISO 17225-4:2014	Cietais biokurināmais – kurināmā specififikācijas un klases – 4. daļa: Koksnes skaidas nerūpnieciskai izmantošanai
ISO/TS 17225-9:2020	Cietais biokurināmais – kurināmā specififikācijas un klases – 9. daļa:: Klasificēta šķelda rūpnieciskai izmantošanai
Kurināmā kvalitāte	
EN 15234-1:2011	Cietais biokurināmais – Kurināmā kvalitātes apliecinājums – 1. daļa: Vispārīgās prasības
EN 15234-4:2012	Cietais biokurināmais – Kurināmā kvalitātes apliecinājums – 4. daļa: Koksnes šķelda nerūpnieciskai izmantošanai
Paraugi un paraugu ņemšana	
EN 14778:2011 ISO 18135:2017 ISO 21945:2020	Cietais biokurināmais – Paraugu ņemšana Cietais biokurināmais – vienkāršota paraugu ņemšana mazajām iekārtām
EN 14780:2011 ISO 14780:2017 un ISO 14780:2017 /AMD 1:2019	Cietais biokurināmais – Paraugu sagatavošana
Fizikālās un mehāniskās īpašības	
EN 14774-1:2009 ISO 18134-1:2015	Cietais biokurināmais – Mitruma satura noteikšana – Žāvēšana krāsnī – 1. daļa: Kopējais mitrums – References metode
EN 14774-2:2009 ISO 18134-2:2017	Cietais biokurināmais – Mitruma satura noteikšana – Žāvēšana krāsnī – 2. daļa: Kopējais mitrums – Vienkāršota metode
EN 14774-3:2009 ISO 18134-3:2015	Cietais biokurināmais – Mitruma satura noteikšana – Žāvēšana krāsnī – 3. daļa: Vispārīgās analīzes parauga mitrums
EN 14775:2009 ISO 18122:2015	Cietais biokurināmais – Pelnu satura noteikšana
EN 14918:2009 ISO 18125:2017	Cietais biokurināmais – Siltumspējas noteikšana
EN 15103:2009 ISO 17828:2015	Cietais biokurināmais – Tilpumbūvuma noteikšana
EN 15148:2009 ISO 18123:2015	Cietais biokurināmais – Gaistošo savienojumu satura noteikšana
EN 15149-1:2010 ISO 17827-1:2016	Cietais biokurināmais – Daļiņu izmēra sadalījuma noteikšanas metodes – 1. daļa: Oscilējošā sieta metode ar sieta atverēm 3,15 mm un lielākām

EN 15149-2:2010 ISO 17827-2:2016	Cietais biokurināmais – Daļiņu izmēra sadalījuma noteikšanas metodes – 2. daļa: Vibrējošā sieta metode ar sieta atverēm ar 3,15 mm un mazākām
CEN/TS 15149-3: 2006	Cietais biokurināmais – Daļiņu izmēra sadalījuma noteikšanas metodes – 3. daļa: Rotācijas sieta metode
EN 15150:2011	Cietais biokurināmais – Daļiņu blīvuma noteikšana
ISO 19743:2017	Cietais biokurināmais – Smago piemaisījumu, kuru izmērs pārsniedz 3,15 mm, daudzuma un sastāva noteikšana
ISO 21404:2020	Cietais biokurināmais – Pelnu kušanas parametru noteikšana
Ķīmiskās analīzes	
EN 15104:2011 ISO 16948:2015	Cietais biokurināmais – Kopējā oglekļa, ūdeņraža un slāpekļa noteikšana – Instrumentālās metodes
ISO/TS 16996:2015	Cietais biokurināmais - Elementu sastāva noteikšana, izmantojot rentgenstaru fluorescenci
EN 15105:2011 ISO 16995:2015	Cietais biokurināmais – Ūdenī šķīstošo hlorīdu, nātrija un kālija satura noteikšana
EN 15289:2011 ISO 16994:2016	Cietais biokurināmais – Kopējā sēra un hlora satura noteikšana
EN 15290:2011 ISO 16967:2015	Cietais biokurināmais – Galveno elementu noteikšana – Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na un Ti
EN 15296:2011 ISO 16993:2016	Cietais biokurināmais – Analīžu rezultātu konvertēšana no vienas bāzes uz citu
EN 15297:2011 ISO 16967:2015	Cietais biokurināmais – Mikroelementu noteikšana – As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V un Zn

Standarts ISO 17225-4 nosaka četras dažādas kvalitātes klases koksnes šķeldai (A1, A2, B1, B2) un trīs dažādas frakcijas (P16S, P31S, P45S) atkarībā no šķeldas daļiņu izmēra. Vidējas jaudas sadedzināšanas iekārtām optimālā ir P31 frakcija, kas nodrošina automātiskā dozatora vienmērīgu darbību.

A1 un A2 kvalitātes klases šķelda galvenokārt paredzētas māsaimniecībām vai mazajām sadedzināšanas iekārtām, bet rūpnieciski parasti izmanto B1 un B2 klasi. Iekārtām, kas ir lielākas par 1 MW, var tikt noteikti individuāli kurināmā kvalitātes nosacījumi. Šķeldas kvalitātes prasības atbilstoši ISO 17225 standartam sniegtas 1.2. tabulā.

1.2.tabula

Kvalitātes atbilstības parametri atbilstoši ISO 17225 klasificētai šķeldai

	Īpašību klase, analīzes metode	Mēr- vienība	A		B	
			1	2	1	2
	Izcelsme un avots ISO 17225-1		1.1.1. Veseli koki bez saknēm 1.1.3. Stumbrs 1.1.4. Mežizstrādes atlikumi 1.2.1. Ķīmiski neapstrādāti koksnes atlikumi	1.1.1. Veseli koki bez saknēm 1.1.3. Stumbrs 1.1.4. Mežizstrādes atlikumi 1.2.1. Ķīmiski neapstrādāti koksnes atlikumi	1.1. Mežs, plantācijas un citi neapstrādāti koksnes veidi 1.2.1. Ķīmiski neapstrādāti koksnes atlikumi	1.1. Mežs, plantācijas un citi 1.2. Blakusprodukti un atlikumi no koksnes industriālas apstrādes 1.3.1. Ķīmiski neapstrādāta izmantota koksne
Normatīvi	Daliņu izmērs, P ISO 17827-1	mm				
	Mitrums, M ISO 18134-1 ISO 18134-2	Masas %	M10 ≤ 10 M25 ≤ 25	M35 ≤ 35	Maksimālā nosakāmā vērtība	
	Pelni, A ISO 18122	masas% sausā	A1.0 ≤ 1.0	A1.5 ≤ 1.5	A3.0 ≤ 3.0	
	Tilpuma blīvums, BD ISO 17828	kg uz m3 saņemtās šķeldas	BD150 ≥ 150 BD200 ≥ 200 BD250 ≥ 250	BD150 ≥ 150 BD200 ≥ 200 BD250 ≥ 250 BD300 ≥ 300	Minimālā nosakāmā vērtība	
	Slāpekļis, N ISO 16948	masas% sausā	Nav piemērojams	Nav piemērojams	N1.0 ≤ 1.0	
	Sērs, S ISO 16994	masas% sausā	Nav piemērojams	Nav piemērojams	S0.1 ≤ 0.1	
	Hlors, Cl ISO 16694	masas% sausā	Nav piemērojams	Nav piemērojams	Cl0.05 ≤ 0.05	
	Arsēns, As ISO 16968	mg/kg sausā	Nav piemērojams	Nav piemērojams	≤ 1	
	Kadmijijs, Cd ISO 16968	mg/kg sausā	Nav piemērojams	Nav piemērojams	≤ 2.0	
	Hroms, Cr ISO 16968	mg/kg sausā	Nav piemērojams	Nav piemērojams	≤ 10	
	Varš, Cu ISO 16968	mg/kg sausā	Nav piemērojams	Nav piemērojams	≤ 10	
	Svins, Pb ISO 16968	mg/kg sausā	Nav piemērojams	Nav piemērojams	≤ 10	
	Dzīvsudrabs, Hg ISO 16968	mg/kg sausā	Nav piemērojams	Nav piemērojams	≤ 0.1	
	Niķelis, Ni ISO 16968	mg/kg sausā	Nav piemērojams	Nav piemērojams	≤ 10	
Cinks, Zn ISO 16968	mg/kg sausā	Nav piemērojams	Nav piemērojams	≤ 100		
Informatīvi	Zemākais sadegšanas siltums, Q° ISO 18125	MJ/kg vai kWh/kg kā saņemta	Minimālā nosakāmā vērtība		Minimālā nosakāmā vērtība	

Šķeldas izmēra frakcijām norāda maksimālo smalko porciju, pieļaujamo rupjo porciju, maksimālo daļiņu garumu un maksimālo daļiņu šķērsriezuma laukumu. Lai kurināmajam piešķirtu kādu no frakcijas numuriem, vismaz 60-75% visu daļiņu jāatbilst frakcijas pamatparametriem. Šī standarta izmantošana nav obligāta, bet brīvprātīga. Attiecīgā kurināmā atbilstība tiek norādīta tā etiķetē (skat l.1. attēlu).

Wood pellet		Producer	EAA Biofuels, Box 1603, FI-40101 Jyväskylä Tel. +358 20 722 2550 E-mail: info@eaabiofuels.com
	Origin and source	1.2.1.2 Wood without bark (sawdust)	
	Traded form	Pellet	
	Country and location	Jyväskylä, Finland	
	Normative (EN 14961-2) Class A1		
	Dimensions (mm)	D08 (8 mm ± 1mm, and 3,15 ≤ L ≤ 40 (99%), all ≤ 45 mm)	
	Diameter (D) and length (L)		
	Moisture (w-% as received)	M10 (≤ 10 w-%)	
	Ash (w-% dry basis)	A0.7 (≤ 0.7 w-%)	
	Mechanical durability	DU97.5	
	Fines (w-%, < 3.15 mm)	F1.0 (1 w-% at factory gate when loading)	
	Additives (w-% of pressing mass)	< 1 w-% (starch)	
	Net calorific value as received	Q4.7 [kWh/kg]	
	Bulk density (kg/m³)	600 (≥ 600 kg/m ³)	
	Nitrogen (w-% of dry)	N0.3 (≤ 0,3 w-%)	
Sulphur (w-% of dry)	S0.03 (≤ 0,03 w-%)		
Chlorine (w-% of dry)	Cl0.02 (≤ 0,02 w-%)		
Arsenic (mg/kg dry)	≤ 1 mg/kg		
Cadmium (mg/kg dry)	≤ 0,5 mg/kg		
Chromium, (mg/kg dry)	≤ 10 mg/kg		
Copper, (mg/kg dry)	≤ 10 mg/kg		
Lead,(mg/kg dry)	≤ 10 mg/kg		
Nickel (mg/kg dry)	≤ 10 mg/kg		
Mercury (mg/kg dry)	≤ 0,1 mg/kg		
Zinc (mg/kg dry)	≤ 100 w-%		

1.1.attēls. Piemērs kurināmā (koksnes granulu) etiķetei saskaņā ar standartu EN 14961-1

No informācijas, kas saņemta sarunās ar mazo un vidējo sadedzināšanas iekārtu operatoriem secināms, ka Latvijā no piegādātājiem tiek prasīta samazināta apjoma informācija par piegādāto kurināmo, smago metālu koncentrācijas šķeldā lielākajā daļā gadījumu netiek noteiktas. No piegādātāja netiek prasīts uzrādīt arī šķeldas radioaktivitāti.

Koksnes enerģētiskā vērtība ir atkarīga no ļoti daudziem faktoriem – koka sugas, mitruma un apstrādes pakāpes, no tā, kura koka daļa tā ir (miza, tievgalis, celms utt.). Sadegšanas siltums sausai koksnei var būt robežās no 16-23 MJ/kg.

Būtiskākie kokmateriālu sastāva parametri ir celulozes, hemicelulozes un lignīna daudzums koksne. Atkarībā no koksnes veida, lignīna saturs koksne var būt no 19 līdz 33 %⁷. Lignīna daudzums ir būtisks augstas kvalitātes granulu iegūšanai. Koksne satur arī zināmu daudzumu ekstraktvielu, piemēram tādas kā terpēni, fenoli, taukskābes, glicerīdi u.c.), parasti šis daudzums ir 5% robežās⁸.

⁷ B.C.Bag, A.K.Ghosh., B.Adhikari, S.Maiti. Effectiveness of plant polymer as an antioxidant. Poly.Degrad.Stabil., 1998, 61, 303-307.

⁸ E.Alakangas. "Properties of wood fuels in Finland" Project report PRO2/P2030/05 (Project C5SU00800), Technical Research Centre in Finland, VTT Processes. Jyväskylä 2005, 90 pp.

Nosakot koksnes elementsastāvu, vidēji 99% no tā veido ogleklis (51%), ūdeņradis (6%) un skābeklis (41%), slāpekļa daudzums koksnē reti pārsniedz 0,2%, bērza koksnē tas ir robežās no 0,08-0,1% . Minerālu un smago metālu saturs koksnē parādīts tabulās 1. 3. un 1.4. Katrā reģionā un atkarībā no koksnes veida šie lielumi var būt atšķirīgi, bet kopējā tendence saglabājas.

Minerālvielas pelnos atrodamas galvenokārt oksīdu veidā, vidējie daudzumi ir sekojoši: 35% CaO, 16% Na₂O + K₂O, 7% MgO, 5% MnO, 3% Fe₂O₃, 3% Al₂O₃, 20% CO₂, 5% SO₃, 4% P₂O₅, 2% SiO₂.

1.3. tabula

Minerālvielu saturs dažādu skuju un lapu koku daļās³²

Koka suga/daļa	Daudzums saussnā, masas %				Daudzums saussnā, ppm				
	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	B	Cu
SKUJU KOKS									
Stumbrs	0,01	0,06	0,12	0,02	147	41	13	3	2
Miza no stumbra	0,08	0,29	0,85	0,08	507	60	75	12	4
Zari	0,04	0,18	0,34	0,05	251	101	44	7	4
Galotne	0,16	0,60	0,50	0,09	748	94	75	9	6
VISS SKUJU KOKS	0,03	0,15	0,28	0,05	296	85	30	6	4
LAPU KOKS									
Stumbrs	0,02	0,08	0,08	0,02	34	20	16	2	2
Miza no stumbra	0,09	0,37	0,85	0,07	190	191	131	17	13
Zari	0,06	0,21	0,41	0,05	120	47	52	7	4
Galotne	0,21	1,17	1,10	0,19	867	135	269	21	10
VISS LAPU KOKS	0,05	0,21	0,25	0,04	83	27	39	6	5

1.4. tabula

Smago metālu saturs dažādu skuju un lapu koku daļās³²

Koks	Smago metālu daudzums saussnē, mg/kg								
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	V	Zn	Ni
Koks bez mizas	0,04-0,4	0,1-0,4	1-2	0,6-6	0,01-0,02	0,6-14	0,3-5,0	5-40	
Egles zari		0,23	0,15	6,68		9,25		71,2	3,34
Miza				4,6				90	
Egles galotne		0,09	0,06	2,48		0,30		14	1,62
Priedes galotne		0,30	0,08	3,76		1,25		65	1,45
Bērza lapas		0,30	0,08	3,76		1,25		65	1,45
Vītols		0,8-1,7	3	2-4		0,4-2,0		40-105	

MK ir iesniegts priekšlikums, ka no iepakojuma un sadzīvē radītajiem koksnes atkritumiem saražota šķelda nav uzskatāma par atkritumiem, ja smago metālu saturs tajā nepārsniedz koncentrācijas (skat.1.5. tabulu), kuras ir vidēji 10 reizes augstākas kā

dabīgajā koksnē un atsevišķos gadījumos arī augstāks par MK 25.10.2005 noteikumos Nr. 804. „Noteikumi par augsnes un grunts kvalitātes normatīviem”, noteiktajiem mērķa un piesardzības lielumiem, kur mērķlielums norāda maksimālo līmeni, kuru pārsniedzot nevar nodrošināt ilgtspējīgu augsnes un grunts kvalitāti, bet piesardzības robežlielums – maksimālo piesārņojuma līmeni, kuru pārsniedzot iespējama negatīva ietekme uz cilvēku veselību vai vidi, kā arī līmeni, kāds jāasniedz pēc sanācijas, ja sanācijai nav noteiktas stingrākas prasības. Piemēram, ja augsne ir piesārņota ar PCB (summārie) koncentrācijās 1 mg/kg un vairāk, teritorijā ir jāveic sanācija.

1.5.tabula.

MK noteikumu projekta robežvērtības koka iepakojuma šķeldai

Elements	Maksimālā robežvērtība (mg/kg sausnas)
Dzīvsudrabs, Hg	0,2
Arsēns, As	4
Kadmijs, Cd	5
Hroms, Cr	30
Varš, Cu	30
Svins, Pb	50
Cinks, Zn	200
Hlors, Cl	900
PCP (Pentahlorfenols)	3
PCB (Polihlorbifenils)	2
Slāpekļis (N)	Maksimālais pieļaujamais daudzums — 1,5 % no sausnas

Nemot vērā, ka pelnos metālu koncentrācija palielinās, šādas kvalitātes šķeldas izmantošana var radīt ierobežojumus pelnu tālākajā izmantošanā. Tāpēc būtu nepieciešama rūpīgāka parametru izvērtēšana, lai nerastos pretruna ar jau spēkā esošajiem normatīviem.

1.2. Koksnes pelnu īpašības

Pelnu saturs un sastāvs mainās no koka augšanas apstākļiem un vecuma, no tā, vai sadedzināmais materiāls ir ar mizu vai bez, bet parasti ir robežās no 0,5-3% un mazāks nekā citiem cietā kurināmā veidiem.

1.6.tabula

Pelnainība atkarībā no biokurināmā veida (RTU Vides monitoringa laboratorijas dati)

Biokurināmais	Pelnu saturs, wt%
Malka	0,3 –2,2; vid. 0,92 (17 paraugi)
Šķelda	0,7 –7,0; vid. 3,2 (30 paraugi)
Kokskaidu granulas	0,3–3,0; vid. 1,0 (26 paraugi)
Salmu granulas	3,4 –8,4; vid. 5,7 (5 paraugi)

Mīnerālu un smago metālu saturs koksnes pelnos parādīts tabulās 1.7. un 1.8.

1.7. tabula

Dažāda koksnes kurināmā pelnu sastāvs (svara %),
izteikts kā galvenā komponenta oksīds³²

Koka suga vai daļa	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	SiO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	TiO ₂
Bērzs 1	57,8	11,5	7,7	7,7		3,8	3,8	7,7		
Bērzs 2	46	15	14,9	11,6	1,3	2,6	0,9	8,6		
Priede	42	15,2	1	16	5,5	4,5	4,6	3		
Egle	36,7	29,6	1	10	8,5	4,2	1	3,2		
Vītols	30,8	26,5	4,8	5,1	0,2	2,1	0,43	0,3	0,3	0,02
Miza, priede 1	40	3,3	2,6	2,6	5	3,7	14,5	2		
Miza, priede 2	40,6	7,6	4,8	4,5	0,3	2	1,3	0,5	5,3	0,1
Miza, egle	50,5	3,5	2,6	4,2	1,8	1,6	21,7	2,8		
Bērza miza	60,3	4,1	3,5	5,9	1	4,8	3	0,7		
Zāģu skaidas priede	41,8	12,3	5,2	11,8	1,9	1,9	8,3	0,2	2	0,1

Smago metālu un citu elementu daudzums ir atšķirīgs pelnu vieglajā un smagajā frakcijā, tas mainās akarībā no sadedzināšanas iekārtas tipa un degšanas parametriem (skābekļa daudzums, temperatūra u.c.). Kopumā smago metālu koncentrācija ir augstāka procesos ar augstāku temperatūru, jo sadegšanai notiekot augstākās temperatūrās veidojas mazāks daudzums pelnu.

Kā redzams 1.8.tabulā, metālu koncentrācija augstāka ir pelnu smalkajā, tā sauktajā lidojošo pelnu vai vieglo pelnu (*fly ash*) frakcijā (WOOD ASH RECYCLING – STATE OF THE ART IN FINLAND AND SWEDEN Vesterinen, P. <https://www.cti2000.it/solidi/WoodAshReport%20VTT.pdf>).

1.8. tabula

Smago metālu saturs koksnes sadedzināšanas kurtuves smago un vieglo pelnu frakcijā³²

Elements	Koncentrācija, mg/kg	
	Smagie pelni	Vieglo pelnu frakcija
As	0,2–3,0	1–60
Cd	0,4–0,7	6–40
Co	0–7	3–200
Cr	60,0	40–250
Cu	15–300	200
Hg	0–0,4	0–1
Mn	2 500–5 500	6 000–9 000
Ni	40–250	20–100
Pb	15–60	40–1 000
Se	-	5–15
V	10–120	20–30

Zn	15–1 000	40–700
----	----------	--------

Līdzīgi rezultāti iegūti arī citos pētījumos (skat. 1.9. tabulu).

1.9.tabula

Elementu sadalījuma dažādās pelnu frakcijās salīdzinājums
dažādu autoru pētījumos (mg/kg un %)

(avots: Ange Nzihou, Brian Stanmore. The fate of heavy metals during combustion and gasification of contaminated biomass-A brief review. Journal of Hazardous Materials, Elsevier, 2013, 256, p. 56-66. 10.1016/j.jhazmat.2013.02.050. hal-01632395; <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01632395>)

Metāls	Kurtuves pelni			Ciklona pelni		Filtra pelni			Dūmeņa vieglie pelni
	Li mg kg ⁻¹	Dahl mg kg ⁻¹	Nar (%)	Li mg kg ⁻¹	Nar (%)	Li mg kg ⁻¹	Dahl mg kg ⁻¹	Nar (%)	Nar (%)
As	9.2	<3	51.6	25.6	32.2	5.1	16	12.5	3.7
Ba	535	330	-	671	-	206	2000	-	-
Cd	1.1	<0.3	6.4	2.3	47.0	1.9	3	36.0	10.7
Co	6.7	2.5	68.2	11.5	26.1	6.4	8	4.4	1.3
Cr	24.6	15	72.6	128	19.7	10.1	24	5.9	1.8
Cu	12.8	<10	61.9	31.6	21.7	18.9	60	12.6	3.7
Fe	5230	19	70.4	8140	26.6	1990	-	2.3	0.7
Mn	4865	<3	64.7	7145	30.0	5020	-	4.1	1.2
Ni	28.5	-	58.7	68.3	31.5	24.5	67	7.6	2.3
Pb	29	95	65.9	36.1	34.2	23.4	49	41.7	12.4
Ti	160	160	-	179	-	982	-	-	-
V	99.2	<0.03	71.5	-	22.8	-	140	4.4	1.3
Zn	0.005		23.2	252	45.2	61.7	480	24.4	7.2
Hg			0.8	0.007	7.6	0.014	0.3	70.7	20.9

Kur rezultāti iegūti sekojošos avotos:

Li – Li, C. Yu, J. Bai, Q. Wang, Z. Luo, *Heavy metal characterization of circulating fluidized bed derived biomass ash*, *J. Hazard. Mater.* 233–234 (2012) 41–47.

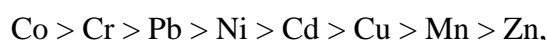
Dahl – O. Dahl, H. Nurmesniemi, R. Pöykö, G. Watkins, *Comparison of the characteristics of bottom ash and fly ash from a medium-size (32 MW) municipal district heating plant incinerating forest residues and peat in a fluidized-bed boiler*, *Fuel Process. Technol.* 90 (2009) 871–878

Nar - M. Narodoslawsky, I. Obernberger, *From waste to raw material—the route from biomass to wood ash for cadmium and other heavy metals*, *J. Hazard. Mater.* 50 (1996) 157–168.

Gan koksne, kura klasificējama kā atkritumi, gan sadegot dabīgam kokmateriālam, smago metālu sadalījums pa dažādām pelnu frakcijām ir līdzīgs. Metāli, kuru savienojumi ir mazāk gaistoši, lielākās apjomos paliek pelnu smagajā frakcijā (*bottom ash*) un ciklonu pelnos, tos atbilstoši piemērojot sadegšanas procesam. Šai grupai pieder Ni, Cr, V. As, Pb, Cd un Hg kā gaistošāki vairāk atrodami pelnu vieglajās frakcijās un jo mazāks daļiņas izmērs, jo koncentrācija augstāka. Ja attīrīšanas iekārtas strādā atbilstoši, tad atmosfērā nonākošais metālu daudzums ir samazināts līdz minimumam (tabulā šīs koncentrācijas atbilst frakcijai *stack flyash*). Metālu sadalījumu starp pelnu frakcijām var ietekmēt arī degšanas procesā sasniedzamā temperatūra un K daudzums koksne. Temperatūrās, kas augstākas par 650 °C, notiek KOH, K₂CO₃ un K₂O dispersija un radušais K darbojas kā katalizators smago metālu ātrākai pārejai gāzveida stāvoklī, līdz ar to palielinās to koncentrācija pelnu vieglajā frakcijā.

Nemot vērā, ka praktiski visi pelnu tālākas izmantošanas varianti saistīti ar to nonākšanu vidē, ir veikti gan dažāda veida praktiskie, gan teorētiskie pētījumi, lai noteiktu metālu mobilitāti no pelnu frakcijas vidē un atkarībā no izmantošanas mērķa mēģināts noteikt, ar kādiem paņēmieniem šo mobilitāti samazināt vai palielināt.

Tā, piemēram, darbā “The Physicochemical Properties and Composition of Biomass Ash and Evaluating Directions of its Applications” (Jan Kalembkiewicz, Dagmara Galas, Elżbieta Sitarz-Palczak; Department of Inorganic and Analytical Chemistry, Rzeszów University of Technology, Rzeszów, Poland Pol. J. Environ. Stud. Vol. 27, No. 6 (2018), 2593-2603), veicot eksperimentus neitrālā (pH=7) un viegli skābā vidē (pH=5), pelnos esoši metāli pēc mobilitātes sakārtoti sekojošā rindā:



kur Co migrācija no pelniem ir visaugstākā, bet Zn praktiski nav konstatēts. Līdz ar to jāņem vērā arī augsnes un grunts piesārņošanas riski, īstermiņā un ilgtermiņā uzglabājot pelnus atklātās kaudzēs.

Pētījumā piedāvāts biomasas sadedzināšanas pelnus izmantot jauna kompozītmateriāla – ģeopolimēra ($\text{Mn}[-\text{SiO}_2]_z-\text{AlO}_2]_n \cdot w\text{H}_2\text{O}$) - ražošanā. ‘Jaunā materiāla īpašības un izmantošanas iespējas vairāk aprakstītas pētījumos “Geopolymer Chemistry and Applications 4th edition” DAVIDOVITS J.; Institut Géopolymère: Saint-Quentin (France), 3, 2015 un “Technical and commercial progress in the adoption of geopolymer cement.”; VAN DEVENTER J.S.J., PROVIS J.L., DUXSON P. ; Miner. Eng. 29, 89, 2012.

Reālā vidē veikts arī Austrijas autoru grupas pētījums “Conversion and leaching characteristics of biomass ashes during outdoor storage” (https://www.bioenergy2020.eu/files/publications/pdf/Supancic2_Paper.pdf).

1.3. Radioaktivitātes mērījumi koksne un koksnes pelnos

Ladygienė u.c. (2010) lietuviešu zinātnieku pētījumā noteikta ^{137}Cs un ^{90}Sr koncentrācija no 15 dažādiem koksnes kurināmā piegādātājiem: gan no Lietuvas, Baltkrievijas, Ukrainas un Polijas. Radioloģisko pētījumu rezultāti parādīja, ka maksimālā ^{137}Cs aktivitātes koncentrācijas vērtība Lietuvas izcelsmes koksnes kurināmajā nepārsniedza 18 Bq / kg. Augstākā ^{137}Cs aktivitātes koncentrācija – 160 Bq/kg – tika konstatēta granulās, kuras importēja no Ukrainas. ^{137}Cs koncentrācijas koksnes kurināmā sadegšanas produktos (pelnos) no Lietuvas un Ukrainas attiecīgi bija $2\,340 \pm 220$ Bq/kg un $9\,800 \pm 700$ Bq/kg. Aktivitātes koncentrācija ^{90}Sr bija zemāka nekā ^{137}Cs (Ladygienė u. c., 2010).

Latvijā veikti zinātniski pētījumi par radioaktīvu koksnes pelnu izmantošanu lauksaimniecībā nav zināmi. Ieskatam daži skandināvu zinātnieku veiktie pētījumi.

Attiecībā uz radiāciju saturošu koksnes pelnu izmantošanu lauksaimniecībā Zviedrijā veiktajā pētījumā (2011) secināts, ka kopumā ^{137}Cs aktivitāte koksnes pelnos, kas, izmantoti augsnes ielabošanā, nepalielināja radioaktivitāti radiāciju augsnēs vai augos,

bet gan pretēji radioaktivitātei bija tendence samazināties pēc koksnes pelnu iestrādes augsnē (Hogbom, Nohrstedt, 2011), tomēr kā atzīst konkrētā pētījuma autori – iegūtie rezultāti nav viennozīmīgi, jo pētījumā izmantots neliels atkārtojumu skaits. Tomēr neskatoties uz to līdzīgā pētījumā somu pētnieki novērojuši līdzīgas sakarības un atsaucoties uz citu pētnieku darbiem tās skaidro ar Cs un K aizvietošanos (Huotari un.c., 2015). Respektīvi Vetikko un līdzautoru darbā (2010) ir minēts, ka mēslošana ar koksnes pelniem ir samazinājusi ¹³⁷Cs daudzumu skujkoku skujās. Iespējamais skaidrojums rodams Hogboma un Norstedta (2001) darbā, kur ¹³⁷Cs samazināšanās tiek raksturota ar augsto K koncentrāciju koksnes pelnos un apmaiņas reakciju ar Cs augu barības vielu uzņemšanas laikā (Högbon un Nohrstedt, 2001).

1.4.Koksnes pelnu izmantošanas iespējas

Saskaņā ar Pasaules Bioenerģijas Asociācijas (*World Bioenergy Association*) datiem, atjaunojamās biomasas izmantošana siltumenerģijas iegūšanai turpina pieaugt, līdz ar to arī saražoto pelnu daudzums. 2014.gadā tas tika lēsts ap 10 milj t tikai no elektroražošanas procesiem vien.

Šobrīd ne pasaulē, ne Eiropā nav vienotu nosacījumu pelnu raksturošanai un atkarībā no tā arī tālākai izmantošanai tautsaimniecībā. Tāpēc tiek veikti gan teorētiski, gan praktiski pētījumi par koksnes sadedzināšanas procesos iegūto kurtuvju pelnu iespējamo izmantošanu^{9,10} mežu un lauksaimniecības zemju mēslošanā gan tiešā veidā, gan pievienojot kompostam un notekūdeņu dūņām, gan arī citās nozarēs. Pētījumi tiek veikti gan atsevišķu pētniecības iestāžu, gan valstiskā līmenī, kā arī dažādu struktūru sadarbības projektos.

International Energy Agency (IEA) un World Bioenergy Association dažādos projektos (skat. Tabulu 1.10) pētīta Eiropas valstu pieredze biomasas izmantošanā, veikti pētījumi kurināmā un arī pelnu īpašību noteikšanai un analītisko metožu un standartizētu prasību izstrādāšanai. IEA Bioenergy Task 32 ietvaros veikts pētījums (viens no jaunākajiem publiski pieejamajiem) “**Options for increased use of ash from biomass combustion and co-firing**” (<https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/02/IEA-Bioenergy-Ash-management-report-revision-5-november.pdf>).

Projekta dalībvalstis: Austrija, Dānija, Vācija, Itālija, Nīderlande, Zviedrija, Kanāda, izmantoti dati par periodu no 2013. līdz 2017. gadam.

1.10.tabula

Projekta ietvaros pētītie pelnu veidi

Biomases veids	Meža koksne	Būvmateriālu koksne	Salmi	Lauksaimniecības biomasa	Notekūdeņu dūņas	Papīra ražošanas dūņas	Kūtsmēsli	Šķidra biomasa
Austrija	x			x				
Kanāda	x	x				x		
Dānija	x	x	x					

⁹ <http://www.bios-bioenergy.at/en/working-field/ash-utilisation.html>

¹⁰ <http://www.silava.lv/73/section.aspx/263>

Vācija	x	x		x	x	x	x	x
Itālija	x	x						
Nīderlande	x	x			x	x	x	
Zviedrija	x	x				x		x

Tika iekļauti Netika iekļauti

Projektā konstatētie biežāk izmantojamie pelnu tālākas izmantošanas veidi apkopoti 1.11.tabulā.

1.11.tabula
Pelnu izmantošanas veidi projekta *IEA Bioenergy Task 32* valstīs

Valsts	Austrija	Kanāda	Dānija	Vācija	Itālija	Nīderlande	Zviedrija
Izmantošanas veids							
Apglabāšana poligonā	Yes, A	Yes, A	Yes, A	Yes, A	Yes, A	Yes, A	Yes, A
Piedeve cementa ražošanā	Yes, B	Yes, B			Yes, B		No
Betona izstrādājumu pildviela					Maybe, B	Yes, B	
Mežsaimniecībā	No		Yes, A			Maybe, B/C	Yes A
Augsnes uzlabotājs/mēslojums	Yes, C	Yes, A	Yes, A/C	Yes, A	Yes, A	Yes, C	No
Piedeve kompostam	Yes				Maybe	Maybe, B/C	
Asfalta pildviela	Maybe, B	No			Yes, B	Yes, B	No
Kaln rūpniecība				Yes, A	No	Yes, A	No
Būvniecība (<i>Civil engineering</i>)	Yes, A	Yes, B		Yes, A	Maybe, B/C	Yes, B/C	Yes, B/C
Citi būvmateriāli	Yes, B/C				Maybe, B/C	Yes, B/C	No
Citas nozares		Yes, B/C					
Eksports					Yes, A/C		Yes, A/C

Apzīmējumi:

A- gala statuss

Maybe – turpinās izpēti un izmantošanas pilotprojekti

B – atbilstoši tehniskajai specifikācijai

Izceltais – galvenais veids valstī

C – atbilstoši normatīvu nosacījumiem

Pētījumā ir pieejami kā apkopojumi, tā arī detalizētāka katras valsts pieredze un spēkā esošie regulējumi.

Konstatēts, ka šobrīd jebkura klasifikācija un standartizācija ir apgrūtināta, jo lielākoties nav stingri regulēta ne kurināmā kvalitāte, ne degšanas apstākļi, tie atšķiras pat vienas valsts mērogā.

Pelnu izmantošanai lauksaimniecībā un mežsaimniecībā

Šobrīd visprecīzāk katrā no projekta dalībvalstīm ir izstrādāti noteikumi pelnu izmantošanai lauksaimniecībā un mežsaimniecībā, kur lielākās atšķirības ir nevis starp pieļaujamajām piesārņotāju koncentrācijām, bet mēslošanas normām. No šīs grupas praktiski ir izslēdzami visi tā sauktie S grupas pelni, kuri ir pelni ar augstu SiO₂ koncentrāciju. Konstatēts, ka attiecībā uz smagajiem metāliem visbiežāk tiek pārsniegtas pieļaujamās Pb un Cd koncentrācijas.

Piedeva cementam

Pārsvārā Portlandcimenta klinkera ražošanā izmanto tīras koksnes pelnus, bet var izmantot arī papīra ražošanas notekūdeņu dūņu pelnus. Pelni daļēji aizstāj izejvielas, kuras satur CaO, SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃. Parasti tiek slēgts divpusējs līgums un ražots cements konkrētam mērķim vai produktam, kur ir pieļaujama alternatīvu izejvielu izmantošana.

Cementa un betona pildviela

Ir atļauta līdzsadedzināšanā ar oglēm radušos vieglo pelnu izmantošana betonā (standarts EN 450). Koksnes daudzums līdzsadedzināšanā nedrīkst pārsniegt 50%. Standarts EN 197-1 neatļauj biomasas pelnus izmantot kā Portlandcimenta pildvielu.

Asfaltbetona pildviela

Līdz šim tehniskā specifikācija vieglās pelnu frakcijas izmantošanai ir spēkā Nīderlandē, dažās valstīs notiek izpēte un atsevišķi pilotprojekti.

Būvniecība

Dažās valstīs ir atļauta arī koksnes atkritumu sadedzināšanas pelnu izmantošana ceļu būvniecībā un kā pildviela vai saistviela dažādos būvniecības kompozītmateriālos. Visbiežāk šādi izmantošanas varianti tiek saskaņoti katram projektam atsevišķi. Piemēram, Austrijā ap 40 % koksnes pelnu (no lielajām sadedzināšanas iekārtām) tiek izmantoti cementa, betona un citos būvmateriālos. Kā ierobežojošais faktors būvniecībā ir sēra saturs un sārmainība.

Lai paplašinātu pelnu izmantošanas iespējas, projekta ietvaros tiek piedāvāti sekojoši risinājumi un turpmāk veicamie darbi:

1. Tālākai izmantošanai piemēroto pelnu klasifikācija pēc kurināmā izcelsmes:
 - tīras mežu koksnes (forest wood) pelni
 - koksnes atkritumu pelni
 - salmu pelni
 - dabiskās biomasas pelni

No grupas būtu izslēdzami cieto atkritumu, notekūdeņu dūņu, papīra ražotņu, notekūdeņu dūņu un mēsļu sadedzināšanas pelni.

Kā ieteicamais risinājums būtu smago un vieglo pelnu atdalīšana.

2. Valstu ziņojumu un pētījumu pieejamība ātrākai informācijas aprītei un labās prakses izmantošanai.
3. Dažādu mērķlielumu un robežkoncentrāciju saskaņošana ar eksistējošiem vides normatīviem Eiropas līmenī, arī Eiropas Komisijas vadlīniju izstrādāšana.
4. Atkritumu apsaimniekošanas nosacījumu pilnveidošana.

Iespēja piemērot pelniem atkritumu beigu statusu vai blakusproduktu statusu atļautu tos vienkāršāk izmantot meža augsnēs un ceļu būvniecībā.

5. Transportēšanas nosacījumu pilnveidošana, iekļaujot pelnus atkritumu zaļajā sarakstā (vai vismaz dzeltenajā).

Austrija

Ap 40 % pelnu tiek izmantoti cementa, betona un citos būvmateriālos. Visās rūpnīcās, kurās tiek izmantoti pelni, ir kvalitātes kontroles sistēmas.

Inovāciju projekti:

- pelnu izmantošana biogāzes iekārtās desulfurizācijai
- ceļu projekti
- izmantošana bitumena un asfalta ražošanā

Dānija

Valstī ir noteikta kārtība pelnu izmantošanai lauksaimniecībā un mežsaimniecībā, kā arī noteikta zemākas izmaksas pārstrādei attiecībā pret novietošanu izgāztuvēs “Executive Order on the use of bioash for farming and forestry purposes (the Executive Order on Bioash)”

(<http://standardconsult.eu/links%20and%20biomass%20ash.html>).

Vācija

Pelnu izmantošana mēslošanai tiek reglamentēta katrā reģionā atsevišķi. Viens no specifiskiem izmantošanas veidiem ir raktuvju aizpildīšana (*Infill*). Sagatavojot projektus pelnu izmantošanai būvniecībā vai citos tehniskos projektos, kvalitātes kontroles process sākas ar sadedzināšanas iekārtas parametru kontroli un uzraudzību.

Itālija

Pelnu izmantošanai jānotiek saskaņā ar Nacionālo Likumu (National Regulation D.lgs. n. 152/2006). Biomasas pelni tiek klasificēti kā “īpašie atkritumi” (special waste).

Nīderlande

Aptuveni 17% pelnu tiek izmantoti asfalta ražošanā kā pildviela, dažādos būvniecības projektos un materiālos izmanto ap 40% pelnu un 13% - raktuvju rekultivācijā.

Zviedrija

Līdz 2012.gadam ap 68% pelnu tika izmantoti izgāztuvju rekultivācijai un pārsegšanai.

2. Latvijas kurtuvju pelnu raksturojums

2.1. Kurtuvju apsekojums

Lai veiktu projektā paredzētos uzdevumu, sākotnēji tika sagatavots A un B kategorijas atļaujas saņēmumu koksni izmantojošo kurtuvju saraksts, kas dots 1. pielikumā. Projektā iesaistīto ekspertu sadarbības rezultātā tika izstrādāta aptaujas anketa (skat.1. pielikumu) un izsūtīta, izmantojot e pastu, visām lielākajām Latvijas kurtuvēm. Saņemtās atbildes liecināja par kurtuvēm, kas bija gatavas sadarboties projekta ietvaros. Daļa no atsūtītajiem datiem, kas saņemti no projektā apsekotajām kurtuvēm, sniegti 2.1. tabulā.

2.1.tabula

Kurtuvju atsūtītie dati

Kurtuve	Kurināmā veids	Daudzums/ gadā, m ³	Daudzums gadā, t*	Pelnu daudzums gadā
SIA "Vidzemes enerģija"	Šķelda	11 127- 15 585m ³	3672 -5143	34-42 m ³
AS "RĪGAS SILTUMS" Daugavgrīva	šķelda	38 410 m ³	12675	91t
AS "RĪGAS SILTUMS", Vecmilgrāvis	šķelda	92 230 m ³	30436	114 t
AS "RĪGAS SILTUMS", Zasulauks	šķelda	111 261 m ³	36716	171 t
AS "RĪGAS SILTUMS", Ziepniekkalns	šķelda	169 907 m ³	56069	331 t
SIA "Līvānu siltums"	šķelda	46 000 m ³	15180	16 t/gadā
SIA "Technological Solutions"	Šķelda, mizas un atgriezumi	180 000m ³	59400	2500m ³
SIA "LATGRAN" Jēkabpils, Krāslavas, Gulbenes ražotnes	mizas un atgriezumi zaru šķelda un mežistrādes atlikumi	~ 45 000 t		350-400 t
SIA "LATGRAN", Jaunjelgavas ražotne	mizas un atgriezumi zaru šķelda un mežistrādes atlikumi	20 000 t		150-200 t
SIA "Liepājas enerģija"	šķelda	2017. g. – 241'810 ber.m ³ ; 2018. g. – 234'549 ber.m ³ .	79797-77401	1925.49 t/gadā 1577.05 t/gadā.
SIA "Fortum Latvia"	Šķelda, mizas un atgriezumi	430 000 m ³ (2018.g)	141900	vieglie pelni (Fly ash) 4000 t Smagie pelni(Bottom ash) 1310 t Kopā 5310 t
Priekuļu novada pašvaldība	šķelda	5143 t		17 t

Veicot jau praktisku aptauju par iespējām apsekot kurtuves, atsevišķas no tām atteicās dažādu apstākļu dēļ. Lai nodrošinātu projektā paredzēto paraugu skaitu, papildus tika iekļautas vēl atsevišķas kurtuves, kuru novietojums atbilda izstrādātajiem transporta maršrutiem : Rīga - Daugavpils, Rīga – Tukums un Rīga – Liepāja, Rīga - Jelgava. Reāli apsekoto kurtuvju saraksts ar paņemto paraugu veidiem sniegts 2.2. tabulā.

2.2. tabula

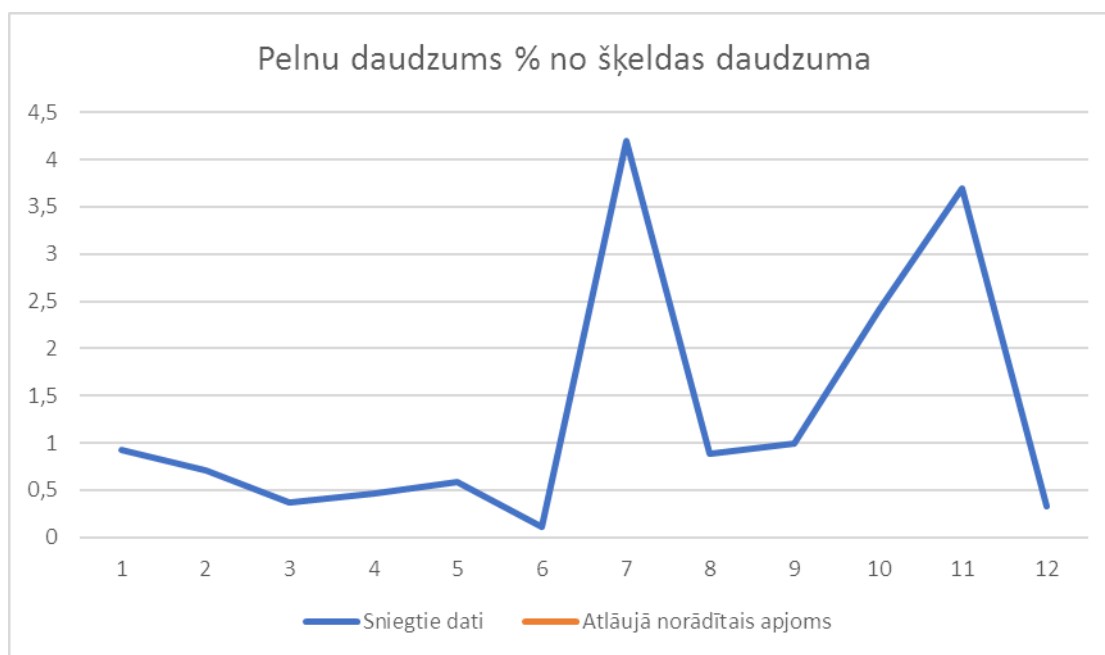
Apsekoto kurtuvju saraksts

Nosaukums	Pelnu veids
Latgran AS, Jēkabpils	Jauktie pelni
Latgran AS, Jaunjelgava	Jauktie pelni
Latgran AS, Krāslava	Jauktie pelni
Grobiņas enerģija	Jauktie pelni
Līvānu Siltums SIA	Jauktie pelni
Tukuma siltums SIA	Jauktie pelni
Dobeles Eko SIA	Jauktie pelni
Fortum Daugavpils SIA	Jauktie pelni
Fortum Daugavpils SIA	Jauktie pelni
Liepājas Enerģija SIA	Smagie pelni
Liepājas Enerģija SIA	Vieglie pelni
Jūrmalas Siltums SIA, Nometņu iela 21a	Jauktie pelni
Jūrmalas Siltums SIA, Slokas iela 47a	Jauktie pelni
Rīgas Siltums AS, siltumcentrāle Ziepniekalns	Vieglie pelni
Rīgas Siltums AS, siltumcentrāle Ziepniekalns	Smagie pelni
Fortum Jelgava SIA	Smagie pelni
Fortum Jelgava SIA	Vieglie pelni
Rīgas Siltums AS, siltumcentrāle Zasuļauks	Smagie pelni
Rīgas Siltums AS, siltumcentrāle Zasuļauks	Vieglie pelni

Pamatā kurtuvēs tiek izmantota kustošo ārdū tehnoloģija, izņemot Jelgavas Fortum kurtuvi, kas izmanto virstošā slāņa tehnoloģiju. Kurtuves ir Vācijā ražotas pēc 2010. gada un daļēji atšķiras ar dūmgāzu attīrīšanas iekārtām. Nelielajās kurtuvēs vieglie un smagie pelni tiek uzkrāti kopējā konteinerā un tālāk projektā tie tiek apzīmēti kā jauktie pelni. Kurtuvēs, kur pelnu veids tiek atsevišķi uzkrāts, izmantoti apzīmējumi smagie pelni (bottom ash) un vieglie pelni (fly ash).

2.2. Kurtuvēs radušos pelnu daudzums

Pelnu daudzuma novērtējums veikts izmantojot kurtuvju sniegtos rezultātus (skat.2.1.tabulu) un aprēķinot kāda % daļa no izmantotā kurināmā ir pelni. Pārreķinam no šķeldas beramiem m³ uz tonnām tika lietots koeficients 0,33, kas vidēji atbilst šķeldas blīvumam.



2.1. attēls Kurtuvju pelnu daudzums (%) no izmantotās šķeldas daudzuma

Lielā datu variācija (skat. 2.1. attēlu) liecina, ka atsevišķas kurtuves pelnu daudzuma noteikšanai nepievērš nepieciešamo uzmanību, jo daļa pelnu tiek nodota lauksaimniekiem, precīzi neuzskaitot to apjomu. Salīdzinot iegūtos datus ar A un B kategorijas atļaujās uzrādītajiem apjomiem, informācija atsevišķos gadījumos būtiski atšķiras, ko praktiski var izskaidrot ar neatbilstošu novērtējumu pelnu daudzuma aprēķinam atkarībā no kurtuvē izmantotās tehnoloģijas un sadegšanas parametriem. (skat. Pielikumu 4). Ir jāņem vērā arī to, ka vairumā gadījumu atļaujas pieteikumi ir veidoti pirms reālo darbību uzsākšanas.

2.3. Pelnu radioaktivitātes mērījumi

Koksne un koksnes pelni var saturēt dažādas radioaktīvā cēzija (¹³⁷Cs) koncentrācijas, kas pamatā ir saistītas ar avāriju Černobiļas atomelektrostacijā 1986. gadā (Vetikko et al., 2010). Latvijā saražoto koksnes pelnu radioaktivitāte aktualizējusies salīdzinoši nesēn, kas ir saistīts ar atjaunojamo energoresursu izmantošanas īpatsvara palielināšanos Latvijā, kas ir novedis pie koksnes pelnu apjoma pieauguma (Centrālā statistikas pārvalde, 2019) Tādēļ tālāk tekstā sniegts vispārējs izklāsts par šī brīža nosacījumiem attiecībā uz pelnu radioaktivitāti – gan kurtuvēs, gan atkritumu poligonos, kas publicēts vietnē dozimetrs.lv

Ar radionuklīdiem nepiesārņotu šķeldu sadedzinot, rodas degšanas galaprodukti - pelni un dūmgāzes. Lielākā daļa minerālvielu paliek pelnos, kur palielinās dabīgā radionuklīda (^{40}K) koncentrācija. Gadījumos, kad šķeldā atrodas arī mākslīgie radionuklīdi, piem., ^{137}Cs , pelnu īpatnējā radioaktivitāte, ko mēra Bq/kg, ievērojumi palielinās.

Pamatojoties uz pētījumiem Baltkrievijas izcelsmes koksnes produktiem, tai skaitā šķeldai, ir sagaidāms paaugstināts piesārņojuma līmenis ar radionuklīdu ^{137}Cs (Radiācija koksnē).

Latvijā ievestai šķeldai jonizējošā starojuma kontrole notiek, šķērsojot valsts robežu (autoceļi, dzelzceļi). Radiometrisko kontroli veic Latvijas robežsardze. Tiek izmantoti radioaktivitātes kontroles vārti (RKV) un rokas mērinstrumenti. Šķeldas piesārņojuma līmenis vairumā gadījumu ir ārpus iekārtu standarta mērīšanas metožu jutības robežām, jo kravas ar RKV tiek mērītas, pārvietojoties un, kravai atrodoties metāla tilpnē (wagonā), starojums tiek ekranēts. Ņemot vērā, ka normatīvajos aktos nav norādītas šķeldas piesārņojuma normas, tās kontrole ir atbilstoša (Radiācija koksnē).

Neatbilstība Latvijas normatīvajiem aktiem parādās kurināšanas tehnoloģiskā procesa gala produktā - pelnos. Radionuklīda ^{137}Cs īpatnējā aktivitāte nedrīkst pārsniegt 1000 Bq/kg. Pašlaik vienīgā radioaktīvā piesārņojuma monitoringa vieta ir, iebraucot SIA "Getliņi Eko" atkritumu poligonā (Radiācija koksnē).

Kokmateriālu pelnos radioaktīvā piesārņojuma koncentrācija pieaug tūkstoškārtīgi, jo radionuklīdi galvenokārt ir augu minerālajā daļā, kas rada problēmas kurtuvju pelnu tālākā izmantošanā, piem., lauksaimniecībā mēslojumam. Jāņem vērā, ka tehnoloģiskajos procesos īpatnējā radioaktivitāte var palielināties, piem., ietvaicējot šķīdumus, kokmateriālus izmantojot kā kurināmo, jo pelni vairumā gadījumu nepārsniedz 1% no sadedzinātās koksnes masas, tādēļ to īpatnējā radioaktivitāte varētu būt simtos kBq/kg (Zariņš 2011).

Siltumcentrālē "Ziepiņiekkalns" ierīkoti radiācijas detektēšanas sistēmas vārti, ievadamās koksnes šķeldas un izvedamo pelnu kontrolei. Tā ir pirmā šāda veida sistēma Latvijas siltumapgādes uzņēmumu vidū, kura spēj noteikt gan pelnu, gan šķeldas starojuma līmeni. Normatīvo regulējumu papildināšana AS RĪGAS SILTUMS ieskatā ir nepieciešams ieviest arī stingrāku normatīvo regulējumu piegādājamai šķeldai, lai pēc sadedzināšanas pelnos starojums nepārsniegtu normatīvajos aktos noteikto 1000 Bq/kg (bekerelus vienā kg). Piemēram, Lietuvā ievadamās šķeldas starojums nedrīkst pārsniegt 30 Bq/kg. Sekojot kaimiņvalsts praksei, AS RĪGAS SILTUMS turpmāk šķeldas piegādes līgumos paredzēs tādu pat pieļaujamo starojuma līmeni kā Lietuvā, kurš būs vairāk nekā trīsdesmit reizes mazāks, nekā šobrīd to pieprasa normatīvie akti Latvijā. Kravas, kas neatbilda līgumā noteiktajām prasībām, tiks atgrieztas piegādātājam (A/S "Rīgas Siltums" ilgtspējas pārskats 2018).

Latvijā šobrīd nav vadlīniju, kas noteiktu pieļaujamo ^{137}Cs daudzumu koksnes pelnos kā augsnes kaļķošanas materiālam vai augsnes ielabotājam. Projekta paraugu analīzi

sagatavoja SIA “Dozimetrs”, bet to testēšanu veica Lietuvas sertificēta laboratorija “Lietuvas Radiācijas Centrs”, skat 3. pielikumu.

Projekta ietvaros veiktie radiācijas mērījumi, nosakot ¹³⁷ Cs daudzumu paraugos, apkopoti 2.3. tabulā.

2.3.tabula

Kurtuvju pelnu radiācijas mērījumi

Pelnu veids	Trauka nummurs	Bq/kg	Norādītā šķeldas izcelsme
Jauktie pelni	1	25	Latvija
Jauktie pelni	2	9,7	Latvija
Jauktie pelni	3	41	Latvija
Jauktie pelni	4	3,6	
Jauktie pelni	5	5,1	Latvija
Jauktie pelni	6	22	
Jauktie pelni	7	25	
Jauktie pelni	8	29	
Jauktie pelni	9	22	
Smagie pelni	10	29	Latvija / Lietuva
Vieglie pelni	11	259	Latvija / Lietuva
Jauktie pelni	12	474	
Jauktie pelni	13	45	
Vieglie pelni	14	614	Latvija / Ārvalstis
Smagie pelniash	15	128	Latvija / Ārvalstis
Smagie pelni	16	128	
Vieglie pelni	17	52	
Smagie pelni	18	13	Latvija / Ārvalstis
Vieglie pelni	19	1796	Latvija / Ārvalstis

Praktiski tikai vienā gadījumā no 19 paraugiem tika konstatēta ¹³⁷ Cs paaugstināts daudzums virs 1000 Bq/kg. Tas tomēr liecina, ka importējot šķeldu no ārvalstīm, ir precīzāk jānosaka tās radioaktivitāte, neielaižot valstī kravas ar paaugstinātu radioaktivitātes daudzumu. Savukārt regulāri lielajās kurtuvēs ir jāveic pelnu radioaktivitātes mērījumi.

2.4. Kurtuvju pelnu analīzes

Kurtuvju pelnu analīzes tika veiktas sertificētā SIA “Virisma” laboratorijā. Nepieciešamie mērījumi tika izvēlēti atbilstoši valsts normatīvo aktu Ministru kabineta 2005. gada 25. oktobra noteikumiem Nr. 804 “Noteikumi par augsnes un grunts kvalitātes normatīviem” un Ministru kabineta 2015. gada 1. septembra noteikumu Nr. 506 „Mēslošanas līdzekļu un substrātu identifikācijas, kvalitātes atbilstības

novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi” (turpmāk – MK Nr. 506) prasībām. Tabulā 2.4. sniegts sertificēto laboratoriju cenu aptaujai sagatavotais nepieciešamo analīžu materiāls.

2.4. tabula

Nr. p. k.	Nr. no pieprasījuma	Analīzes nosaukums	Apraksts
1	1	Neitralizēšanas spēja	Saskaņā ar LVS EN 12945
2	2	Mitrumš	Saskaņā ar LVS EN ISO 18134-1
3	3	Granulometriskais sastāvs (jābūt iekļautam par 1 mm smalkāku daļiņu saturam % un attiecīgi lielāku daļiņu %)	Saskaņā ar LVS EN ISO 17827
4	5	Kopējais slāpeklis (N)	Saskaņā ar LVS EN ISO 16948
5	4	Ca, Mg, Hg, Cd, Pb, As, Ni	Saskaņā ar LVS EN ISO 16968 un ISO/TS 16996
	6a	Kopējais fosfors (P ₂ O ₅)	
	7a	Kopējais kālijs (K ₂ O)	
	Ekstrakta sagatavošana		
6	6b	Augiem pieejamais fosfors	Saskaņā ar LVS EN ISO 16968 un ISO/TS 16996
	7b	Augiem pieejamais kālijs	
	8	Cu, Zn, Cr, S koncentrācija	
	10	Si, Fe, Al, Na	
	11	Izskalojuma sastāva tests	
7	9	Reakcija pH	Saskaņā ar LVS EN 13037

Tabulās 2.5. līdz 2.7. sniegti veikto mērījumu dati, kuru grafiskie attēli pievienoti 2. pielikumā.

2.5.tabula

Pelnu raksturojošie parametri

Parauga Nr.	Pelnu veids	Mitrums %	Daļiņu izmēri %			C %	N	pH	Neitralizācijas spēja %CaCO ₃
			zem 1mm	1-4mm	virs 4mm				
1	smagie	0,01	95,4	0,3	4,3	0,45	≤0,1	12,8	37,1
	vieglie	0,21	99,7	0,3	-	3,22	≤0,1	12,7	121,2
2	smagie	0,00	70,3	6,1	23,6	4,52	≤0,1	12,5	32,1
	vieglie	0,27	99,5	0,5	-	2,72	≤0,1	12,7	109,0
3	smagie	0,78	82,8	8,9	8,3	2,48	≤0,1	12,7	115,8
	vieglie	0,59	99,2	0,8	-	4,50	≤0,1	12,7	111,2
4	smagie	0,73	78,6	15,8	5,6	0,64	≤0,1	12,8	36,3
	vieglie	0,02	99,8	0,2	-	2,08	≤0,1	12,9	67,9
5	vieglie	0,07	99,7	0,3	-	2,59	≤0,1	12,8	108,5
6	vieglie	0,33	99,5	-	0,5	2,70	≤0,1	12,8	98,4
7	jauktie	22,6	0,5	73,1	26,4	2,84	≤0,1	12,2	37,4
8	jauktie	0,14	39,5	27,3	33,2	0,40	≤0,1	12,7	38,1
9	jauktie	0,0*	41,9	36,1	22,0	0,46	≤0,1	12,6	42,5
10	jauktie	0,0*	75,0	14,9	10,1	1,46	≤0,1	12,8	38,2
11	jauktie	0,00	45,5	25,5	20,0	3,27	≤0,1	12,8	83,1
12	jauktie	0,13	84,7	14,4	0,9	4,54	≤0,1	12,6	84,4
13	jauktie	0,02	43,6	13,8	42,6	1,71	≤0,1	12,8	77,2
14	jauktie	0,03	54,8	19,9	25,3	2,12	≤0,1	12,5	67,2
15	jauktie	0,04	54,7	27,3	18,0	5,56	≤0,1	12,8	94,8
16	jauktie	1,89	66,3	22,0	11,7	18,92	≤0,1	12,8	83,5
Nenoteiktība, %		2	5			10		2	10
Standarts		LVS EN ISO 18134-1	LVS EN ISO 17827			LVS EN 15407		LVS EN 13037	LVS EN 12945

2.6.tabula

Pelnu sastāvs

Noteikts ar karajūdens ekstraktu										
Parauga Nr.	Pelnu veids	Ca	Mg	P2O5	K2O	Ni	As	Cd	Hg	Pb
		%					mg/kg			
1	smagie	6,54	≤0,1	0,44	3,09	13,5	1,0	≤0,5	≤0,2	14,3
	vieglie	22,00	≤0,1	1,63	6,84	22,2	3,7	8,4	≤0,2	28,3
2	smagie	9,59	≤0,1	1,06	3,74	15,1	1,7	3,9	≤0,2	22,2
	vieglie	13,29	≤0,1	2,45	19,37	26,6	29,0	62,8	≤0,2	254,8
3	smagie	21,99	≤0,1	1,35	6,34	23,2	1,1	2,5	≤0,2	5,9
	vieglie	20,15	≤0,1	1,34	13,54	19,3	4,4	30,4	≤0,2	56,2
4	smagie	6,55	≤0,1	0,33	3,10	10,6	1,1	≤0,5	≤0,2	6,0
	vieglie	15,12	≤0,1	0,96	4,17	19,4	4,3	3,6	≤0,2	117,0
5	vieglie	21,89	≤0,1	1,43	6,59	42,9	2,8	13,8	≤0,2	58,9
6	vieglie	21,11	≤0,1	1,37	6,36	42,9	3,3	13,7	≤0,2	60,9

7	jauktie	11,91	≤0,1	0,73	4,09	17,6	1,1	≤ 0,5	≤0,2	10,2	
8	jauktie	7,67	≤0,1	0,48	3,52	22,9	1,1	≤ 0,5	≤0,2	11,4	
9	jauktie	11,02	≤0,1	0,84	4,29	14,1	0,9	≤ 0,5	≤0,2	3,7	
10	jauktie	10,47	≤0,1	1,00	5,30	14,5	1,3	≤ 0,5	≤0,2	6,4	
11	jauktie	22,01	≤0,1	1,58	5,94	22,5	2,2	7,7	≤0,2	12,7	
12	jauktie	23,19	≤0,1	1,87	5,72	17,8	1,2	6,9	≤0,2	8,4	
13	jauktie	18,48	≤0,1	1,85	6,32	15,5	1,0	6,1	≤0,2	10,8	
14	jauktie	17,44	≤0,1	1,65	5,48	12,2	1,1	5,1	≤0,2	13,7	
15	jauktie	20,90	≤0,1	1,15	5,26	15,5	0,7	2,9	≤0,2	10,7	
16	jauktie	15,72	≤0,1	0,80	4,56	13,3	0,7	0,8	≤0,2	3,8	
Nenoteiktība, %		10%					10%				
Standarts		LVS ISO 11466, LVS EN ISO 16968 un ISO/TS 16996									

2.7.tabula

Ūdenī šķīstošās vielas

Parauga Nr.	Pelnu veids	Izskalojums	Na	Al	Si	P	S	K	Cr	Fe	Cu	Zn
		%	mg/kg									
1	smagie	2,00	≤ 105	14,1	63	0,76	301	4913	≤ 0,03	1,15	0,34	2,30
	vieglie	11,30	≤ 500	25,6	355	≤ 0,66	13893	52911	≤ 0,13	≤ 0,66	≤ 0,07	1,10
2	smagie	0,92	≤ 47	≤ 0,3	29	≤ 0,06	1367	4134	≤ 0,01	≤ 0,06	0,04	1,24
	vieglie	11,67	≤ 500	934,9	4797	≤ 0,82	10583	32773	11,22	54,21	1,49	43,80
3	smagie	1,94	≤ 99	10,6	87	≤ 0,13	2149	9693	≤ 0,03	0,19	0,10	4,02
	vieglie	16,05	≤ 500	44,5	5568	24,97	3631	114893	≤ 0,26	≤ 1,30	0,88	1,43
4	smagie	0,31	≤ 16	3,2	14	≤ 0,02	2	9	0,03	0,36	0,02	0,24
	vieglie	3,36	≤ 166	≤ 0,8	16	≤ 0,21	3459	9101	≤ 0,04	≤ 0,21	0,11	2,87
5	vieglie	2,37	≤ 119	1,0	57	≤ 0,14	2644	9381	≤ 0,03	≤ 0,14	0,12	0,55
6	vieglie	4,65	≤ 236	≤ 1,1	149	≤ 0,28	6728	20492	≤ 0,06	≤ 0,28	0,22	6,29
7	jauktie	0,23	≤ 12	1,6	8	0,11	9	261	0,03	0,08	0,05	0,15
8	jauktie	0,38	≤ 19	3,7	21	≤ 0,03	15	178	0,17	≤ 0,03	0,03	0,55
9	jauktie	0,45	≤ 22	1,9	8	≤ 0,03	90	226	1,22	≤ 0,03	0,03	0,36
10	jauktie	0,52	≤ 28	2,9	16	0,06	108	1974	0,14	0,10	≤ 0,01	0,23
11	jauktie	0,86	≤ 44	0,4	35	≤ 0,05	1000	4258	≤ 0,01	≤ 0,05	0,03	0,88
12	jauktie	3,38	≤ 172	17,7	277	≤ 0,22	3821	18135	0,44	≤ 0,22	0,11	4,03

13	jauktie	1,07	≤ 54	≤ 0,3	32	≤ 0,06	1600	4802	≤ 0,02	0,15	0,04	1,42
14	jauktie	0,67	≤ 34	≤ 0,2	20	≤ 0,04	1002	3007	≤ 0,01	0,10	0,03	0,89
15	jauktie	2,09	≤ 112	36,0	253	≤ 0,16	1007	12242	1,33	1,48	0,12	1,87
16	jauktie	1,05	≤ 58	13,3	109	0,23	225	6617	0,16	1,13	0,08	0,57
Nenoteiktība, %		10	10									
Standarts		LVS EN 16192	LVS EN ISO 16968 un ISO/TS 16996									

Ja novērtē iegūtos rezultātus pēc Ministru kabineta 01.09.2015 noteikumi Nr. 506 «Mēslošanas līdzekļu un substrātu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi» 3.pielikuma attiecībā uz nevēlamajiem piesārņotājiem, tad redzams, ka vairāk kā 50% no testētajiem paraugiem ir pārsniegta pieļaujamā Cd koncentrācija un vienā gadījumā arī svina. Bez tam novērojama tāda pati tendence, kā literatūrā analizētajos gadījumos – pelnu vieglajā frakcijā šie pārsniegumi ir ievērojami lielāki. **Līdz ar to var secināt, ka drošāks kaļķošanas līdzeklis ir pelnu smagā frakcija, kura ir savākta atsevišķi.** Kā ierosinājums – kurinājumā jau sākotnēji vajadzētu noteikt vismaz Cd (Šķeldas kvalitātes standarts - ISO 16967:2015, tabula 1.2.) un izvērtēt, vai šīs prasības (Cd ≤2.0 mg/kg) ievērošana nodrošina atbilstošu kvalitāti arī pelniem.

Izvērtējot iegūtos rezultātus attiecībā pret Ministru kabineta 25.10.2005 noteikumu Nr. 804. „Noteikumi par augsnes un grunts kvalitātes normatīviem” mērķlielumiem, kad piesārņotāja koncentrācija vēl nerada kaitējumu augsnei un gruntij, var izvērtēt pelnu piemērotību dažādos ceļa būves un būvniecības darbos, kad tie tiešā veidā nevis kompozītmateriālu sastāvā nonāk saskarē ar augsni un grunti. Ir redzams, ka šajā situācijā 100% neatbilstība ir attiecībā uz niķeli, kadmiju un atsevišķos gadījumos uz arsēnu. Tomēr šajā gadījumā būtu nepieciešami kvalitatīvi izskalošanās testi, kas ļautu novērtēt nevēlamo metālu stabilitāti pelnos. Tomēr būtiskākais secinājums ir, ka pelnu uzglabāšana atklātās kaudzēs uz grunts seguma nav pieļaujama.

3. Koksnes pelnu izmantošana mežsaimniecībā

3.1. Ziemeļeiropā veiktie pētījumi par koksnes sadedzināšanas pelnu izmantošanu mežsaimniecībā

Ziemeļeiropā koksnes pelnu izmantošana organisko augšņu ielabošanai ir vispārpieņemta prakse.

Ziemeļvalstu un Latvijas pieredze un pētījumu rezultāti dažādu mēslošanas līdzekļu izmantošanā nolūkā uzlabot kokaudžu barības vielu nodrošinājumu apkopota 2013.-2014. gadā veiktajos pētījumos. Turpmāk lasāmas Latvijas valsts mežu uzdevumā īstenotā teorētiskā pētījuma “Meža mēslošanas ietekme uz kokaudžu vērtības pieaugumu” nodaļas¹¹, kur aprakstīts koksnes pelnu un citu mēslojumu veidu ietekme uz mežaudzi – ekoloģiskais novērtējums.

Galvenās atziņas:

Koksnes pelni un augsne

- samazina augsnes pH;
- sīkkoku un zaru pelnos vairāk augiem izmantojamo barības elementu;
- jāizmanto koksnes pelnu smagās frakcijas, jo smagie metāli galvenokārt koncentrējas vieglajā frakcijās;
- eiropas koku sugām iegūto pelnu kaļķošanas kapacitāte ir apmēram 50 % no kaļķakmens iedarbības (kaļķošanas efektivitāte būtiski variē 13,2-92,4 %, atkarībā no koksnes-mizas attiecības);
- vislabākie rezultāti novērojami, izmantojot koksnes pelnus platībās, kur trūkst fosfora un ir paaugstināts augsnes skābums.

Koksnes pelni un augsnes ūdeņi:

- lielas mēslojuma devas izjauc augsnes bufersistēmās pastāvošo līdzsvaru, kas rada straujas augsnes un ūdens ķīmiskā satura izmaiņas, kas 20 mēnešu laikā pakāpeniski atgriežas sākotnējā stāvoklī;
- audzēs ar biezu organiskās vielas slāni konstatē mineralizācijas procesu izraisītu amonija un nitrātu slāpekļa formu koncentrāciju palielināšanos;
- 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;

11

https://www.lvm.lv/images/lvm/Petijumi_un_publicijas/Petijumi/Gala_ataskaite_mezaudzu_meslošanas_ietekme.pdf

- netiek aprakstīti gadījumi, ka meža mēslošana būt izraisījusi tādas barības vielu izneses svārstības, kas veicinātu meža ūdensteču aizaugšanas procesus un aļģu savairošanos tajos.

Koksnes pelni un sūnu sega:

- izmantojot mēslošanai ne vairāk kā 7 tonnas ha⁻¹ koksnes pelnu, izmaiņas sūnu ķērpju segā ir īslaicīgas un ilgtermiņā nebūtiskas pilnīga sūnu segas atjaunošanās vērojama pēc 5-10 gadiem;
- 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;
- saglabājoties segumam, sūnu sugu sastāvs mainās, mazāks ir *Pleurozium schreberi* segums, palielinās *Dicranum polysetum* un *Ptilium crista-castrensis*, kas raksturīgas auglīgākiem meža tipiēm;
- granulēts mēslojums rada mazāku ietekmi, jo granulām ir mazāks tiešais kontakts ar sūnu ķērpju daļām, jo bojājumus novēro galvenokārt tiešā kontakta vietās;
- vietās, kur sūnas ir galvenā zemsedzi veidojošā augu grupa, iesaka izmantot mazākas mēslojuma devas, piemēram, pelnu mēslojuma devām nevajadzētu pārsniegt 2 tonnas ha⁻¹.

Koksnes pelni un veģētācija, augsnes organismi:

- mēslotajās un koptajās egļu jaunaudzēs ir bagātīgāks sugu sastāvs un lielāks veģētācijas projektīvais segums, nekā tajās audzēs, kur nav veikta mezsaimnieciskā darbība (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);
- Zviedrijā izraisa puskrūmu un sakņu ārējās mikorizas pakāpenisku nomaiņu uz dominējošu paparžu veģētāciju un arbuskulārās mikorizas sēnēm, kas ir reta, bet nav netipiska egļu mežaudzēm.

Pēc mēslojuma pielietošanas - mikroorganismi un sēnes:

- galvenie mikroorganismu aktivitāti ietekmējošie faktori ir pH izmaiņas un N slāpekļa pieejamība;
- 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);

- tīmekļaiņu ģints *Cortinarius sp.* sēnes ir biežāk sastopamas pēc pelnu mēslojuma izmantošanas;
- mēslošanās egļu audzēs uz koku saknēm biežāk sastopamas mikorizas sēnes no *Piloderma* ģints;
- ģints *Tylospora* biežāk ir sastopamas kaļķotās platībās, kur samazinās *Russula* and *Lactarius* ģints sēņu daudzums;
- mēslošana un kaļķošana veicina arī *Amphinema*, *Piloderma*, *Inocybe* un *Hygrophorus* savairošanos, kopumā par 30 % vairāk nekā kontrolē;
- paaugstinoties augsnes pH, palielinās ektomikorizas sēņu daudzums.

Kūdras augsnēs parasti novēro pozitīvu mēslojuma efektu, līdzīgi tas ir apmežojumos, bet uz minerālaugsnēm mēslošanai ir dažādas sekmes. 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.

3.2. 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 (Swedish National Board of Forestry, 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 saistvielu, ceļu būvniecībā Zviedrijā un ASV (Pitman, 2006).

Jau kopš 1935. gada koksnes pelnus Somijā izmanto skuju koku 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 ([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 metāla, tai skaitā Cs, koncentrācija ((Saarsalmi et al., 2012))(Aronsson, 2007), 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 nevēlamo piemaisījumu saturs([Møller & Ingerslev, 2001]), 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 3.1. un 3.2. tabulās. Zaru

un mizas pelni ir ievērojami piesātinātāki ar minerālvielām nekā stumbra daļa, zarus un mizā esošās koncentrācijas ir pat 10 reizes augstākas nekā stumbra daļā noteiktās. Augsts 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 and Danish Energy Authority, 2005); (Werkelin et al., 2005), (Tabula 3.2). Tātad mēslošanas nolūkiem sīkkoku un zaru pelni ir vērtīgāki, jo tajos vairāk augiem izmantojamo barības elementu.

3.1 tabula

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	–	–	–	–	–	–
pH	12,7	11,7–13,1	–	–	–	–

3.2.tabula

Koksnes pelnu sastāvs dažādām koku sugām (mg kg⁻¹)

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

Elements	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si
<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)(

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

Pētījumos iegūti dati, ka koksnes pelnu saturs mainās to apstrādes procesā, tos stabilizējot un vēlāk smalcinot vai granulējot (Tabula 3.3), granulētiem pelniem raksturīgs augstāks K, P, S saturs, bet smalcinātiem salīdzinoši lielāks Na, Ca un silīcija oksīda procentuālais saturs.

3.3.tabula

Elementu koncentrācijas stabilizētos, smalcinātos un granulētos koksnes pelnos % no sausnas ([Kellner and Weibull, 1998]), (Nilsson and Lundin, 1996).

Ash type	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], 3.4. tabula). Vienīgais smagais metāls, kura koncentrācija ir salīdzinoši augstāka 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.

3.4.tabula

Biežāk sastopamās smago metālu koncentrācijas koksnes pelnos (mg kg⁻¹)

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

Elements	Vidējās vērtības kurtuvēs, kur netiek atdalītas vieglā un smagā pelnu frakcija ([Someswar, 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)10 ³	(6–9)10 ³

3.3. 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 ([Someswar, 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 neutralizēšanas efektivitāti. Tiek uzskatīts, ka no Eiropas koku sugām iegūto pelnu kaļķošanas kapacitāte ir apmēram puse no kaļķakmens (Meiwes, 1995).

Koksnes pelnu kā mēslošanas un kaļķošanas līdzekļa ietekmes uz vidi pētījumu kopsavilkums

Pelnus, kas rodas kā blakusprodukts sadedzināšanai, siltuma vai elektroenerģijas ražošanai, ir iespējams izmantot kā mēslošanas līdzekli meža sistēmas. Būtiskākie faktori, kas nosaka koksnes pelnu ķīmisko sastāvu ir koku sugas, kas tikušas sadedzinātas. Koksnes pelni no cietkoksnes sugām ir ar augstāku makroelementu koncentrāciju, ka arī kopējo pelnu procentuālo saturu nekā skujkoki. Krāsns

temperatūru starp 500 un 900 ° C , ir izšķiroša nozīme, lai saglabātu augiem izmantojamus mikroelementus, īpaši kāliju, un ietekmē toksisko metālu, ieskaitot alumīniju, koncentrācijas pelnos. Viegļās pelnu daļiņas “Fly ash” komponents, kas uzkrājas filtru sistēmās vai skursteņu sienās, var būt ar augstu kadmija, vara , hroma, svina un arsēna koncentrāciju, tādus pelnus nedrīkst izmantot kā mēslojumu.

Koksnes pelni kā pulveris atbrīvo Ca , K un Na straujāk nekā granulēto pelnu mēslojums. Koksnes pelnu mēslojuma radītais smago metālu, radionuklīdu un dioksīna 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 t ha⁻¹. Lielākajā daļā no meža tipiēm cirtē izvēkto koku pāri palikušie pelni, tos atgriežot ekosistēmā, varētu 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 slāpeklis. 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 acidofilu ekosistēmām, sūnu segu, sūnām, augsnes baktērijām un ārējo mikorizu (Pitman, 2006).

3.4. 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 t ha⁻¹, šādi kaļķojama augsne dižskabāržu (*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 t ha⁻¹ kaļķojamā materiāla (Meiwes, 1995), tomēr negatīvās ietekmes uz zemsedzes veģetāciju dēļ šādas devas praksē netiek lietotas. Ar mazapstrādātiem, nesasmalcinātiem koksnes pelniem parasti tiek panāktas straujākas augsnes pH izmaiņas (Kahl et al., 1996), vairāku autoru publikācijās norādīts, ka būtiskas augsnes pH izmaiņas tikušas novērotas tikai 5-6 gadus pēc pelnu izkliešanas, (Jacobson et al., 2004) podzola augsnē ar trūda slāni izkliešot 3,6 un 9 t ha⁻¹, novērots būtiski paaugstināts noteces ūdeņu pH, (Fransman and Nihlgard, 1995) pētījumos Dienvidzviedrijā noteces ūdeņu pH lēna paaugstināšanās novērota pie 2,2 t ha⁻¹ devas koksnes pelnu. Somijā veiktajos pētījumos priežu un egļu audzēs 16 gadus pēc 3 t ha⁻¹ koksnes pelnu izkliešanas konstatēta pH paaugstināšanās par 0,6-1 vienību, salīdzinot ar kontroli gan augsnes trūdvielu, gan minerālajā slānī kā egļu, tā

priežu audzēs, būtiskāka augsnes pH paaugstināšanās konstatēta mitrākās audzēs (Saarsalmi et al., 2001). Citā Saarsalmi vadītā pētījumā, kas veikts 31-75 gadus vecās skuju koku audzēs, kur vienlaikus ar kaļķojamajiem materiāliem - dolomītu un koksnes pelniem - (3 t ha^{-1}) izmantots arī slāpekļa minerālmēslojums ($120 - 150 \text{ kg ha}^{-1}$), pēc 5 un 10 gadiem konstatētās augsnes pH izmaiņas ir 1 līdz 1,7 vienības trūdvielu slānī un 0,3-0,4 vienības minerālslānī, mēslošanas un kaļķošanas ietekmē būtiski pieaugusi arī koku krāja (Saarsalmi et al., 2004).

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

3.5. 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 valstīs 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 punktos" - var sasniegt $10-25 \text{ mg}$ slāpekļa nitrātu formā uz litru ūdens, tomēr vidēji pēc mēslošanas tā ir ap $4 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3^{-1}$. Relatīvi augstas slāpekļa koncentrācijas noteces ūdeņos vērojamas tad, ja mēslošanu veic regulāri (līdzīgi kā lauksaimniecībā) un izmanto mēslošanai amonija nitrātu (NH_4NO_3) un, mēslojot ar slāpekli bagātos lapu koku mežus. Izmantojot slāpekli saturošu mēslojumu, noteces ūdeņos slāpekļa koncentrācija palielinās tieši pēc mēslojuma izmantošanas, sasniedzot 15 mg N l^{-1} , kamēr vidēji tā ir $0,5 \text{ mg N l}^{-1}$, vēlāk netiek novērotas vērā ņemamas slāpekļa svārstības noteces ūdeņos. Fosforu saturoša fosfātu mēslojuma izmantošanas gadījumā, augstākās koncentrācijas mēdz nedaudz pārsniegt 1 mg P l^{-1} , kamēr vidējās fosfora koncentrācijas mēsloto platību noteces ūdeņos ir ap $0,25 \text{ mg mg P l}^{-1}$. Netiek aprakstīti gadījumi, ka meža mēslošana būt izraisījusi tādas barības vielu svārstības, kas veicinātu meža ūdensteču aizaugšanas procesus un aļģu 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 atstāj 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: vakuma 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 and Van Rees, 2001); (Saarsalmi et al., 2005)) ūdens savākšanas akas (shallow wells)(Williams et al., 1996), ([Piirainen, 2001]), (Lundell et al., 2001) . Vairāku autoru pētījumu par koksnes pelnu mēslojuma ietekmi uz augsnes ūdeņiem kopsavilkums dots 3.5. tabulā zemāk.

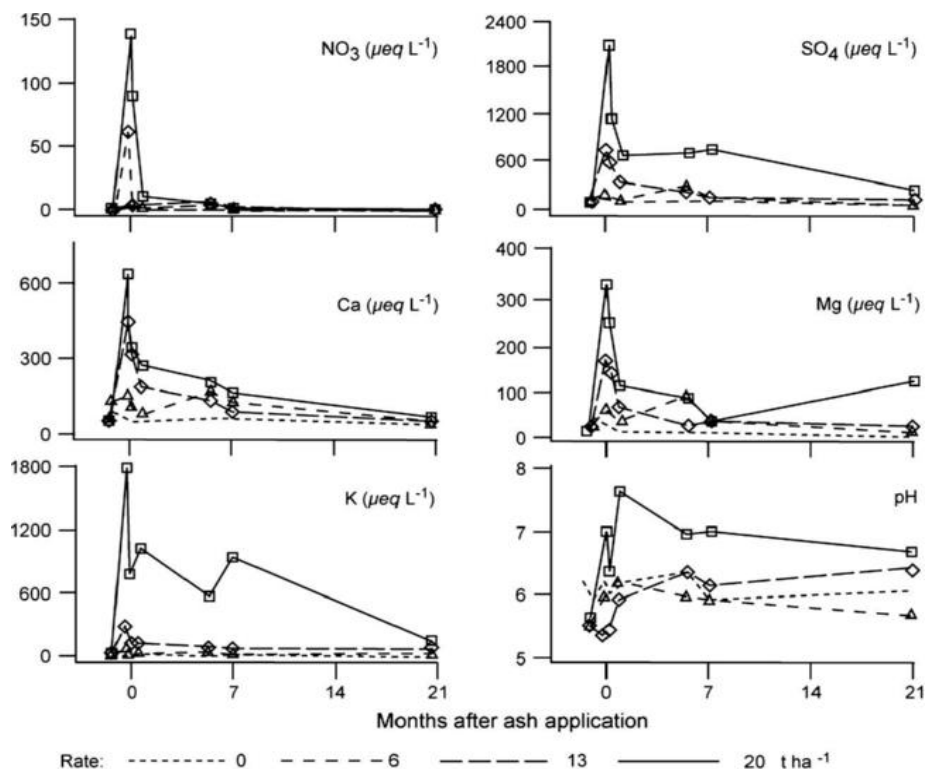
3.5.tabula

Koksnes pelnu mēslojuma ietekme uz augsnes ūdens kvalitāti

Pētījuma veikšanas valsts	Augsnes tips	Mēlojuma deva	Efekts - ietekme	
		t ha ⁻¹	augzne	ūdens
ASV (Williams et al., 1996)	Mālsmilts Loamy sands (nav zināms pH)	11–44	Paugstināta 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 augstākm 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 et al., 2005)	Haptic podzol	1; 2,5 and 5 (loose ash)	Pieaug CEC humusā, Ca, Mg, P augsnē. B, Cu, Fe, Mn, Zn(P = 0.001) un Cd, Cr, Ni (P = 0.05) koncentrācijas pozitīvi korelē ar pelnu devu, nav būtisku izmaiņu minerālaugsnes slānī, izņemot Ca, K and Mg.	pH zemāks kontrolei 4/5 gadus, kamēr Ca, Mg un šķīstošais Al uzrādas. Sākotnēji augstas K and SO ₄ (S) koncentrācijas, kas samazinās pēc 6 gadiem. ndaudz augstākas Mn, Zn koncentrācijas. Nav atšķirību NO ₃ , Cd, Cr, Cu or Pb koncencentrācijās.
Zviedrija (Fransman and Nihlgard, 1995)	Podzol over granite	2,2 (fly ash)		Pieaug pH, Ca, K, Ca/Al attiecības. NO ₃ ⁻¹ izskalošanās, samazinātas Fe, Mn koncentrācijas.

Pētījuma veikšanas valsts	Augsnes tips	Mēlojuma deva	Efekts - ietekme	
		t ha ⁻¹	augšne	ūdens
Zviedrija (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 aplielināts slāpekļa saturs (N) kailcirtē, bet ne mežaudzē.
Zviedrija (Högbom et al., 2001)	Acidic till, bagāta ar N	4,2	Increase in Ca and Mg. pH paaugstinās par 0,2 vienībām	Palielinās NO ₃ koncentrācija.

Nelielas izmaiņas augšnes un tās ūdeņu sastāvā vērojamas pēc zemu mēslojuma devu ieneses lapu koku - bērzu un dižskabāržu - audzēs, bet augstas mēslojuma devas izjauc augšnes bufersistēmās pastāvošo līdzsvaru (Error: Reference source not found), novēro straujas augšnes un ūdens ķīmiskā satura izmaiņas, kas 21 mēneša laikā pakāpeniski samazinās vai atgriežas sākotnējās koncentrācijās (Kahl et al., 1996) (skat.3.1. attēlu).



3.1 attēls Lapu koku audzēs izvietotos lizimetros ievāktā augšnes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņu dinamika pēc koksnes pelnu mēslojuma pielietošanas, pēc (Kahl et al., 1996) (NO₃ = Nitrāti; SO₄ = Sulfāti; Ca = Calciji; Mg = Magniji; K = Kālijs; pH = vienības).

Gan Ca, gan K koncentrāciju palielināšanās augsnē un tās ūdeņos, kā arī sekojošas Mg un Al satura izmaiņas novērotas pēc samērā nelielām devām, maksimumu sasniedzot 12 nedēļas pēc mēslošanas. Pie maksimālajām devām paaugstinās arī pH vērtība,

sasniedzot maksimumu – 6,25 - visa eksperimenta laikā. Konstatētas izmaiņas smago metālu koncentrācijās. Skābās augsnēs Fe un Al oksīdi veido mazšķīstošus kompleksus ar Cd (Williams et al., 1996). Somijā ilgtermiņa pētījumos desmit gadu laikā augsnes ūdeņi 20 cm dziļumā ir ar augstāku Ca, K, Mg koncentrāciju, bet nav novērotas būtiskas izmaiņas nitrātu slāpekļa koncentrācijā, pH vai Cd, Cr, Cu un Pb koncentrācijās (Saarsalmi et al., 2005). Citos Somijā veiktajos pētījumos aprakstīts, ka, veicot mēslošanu ziemā, kam seko sniegiem bagāta ziemā izskalojošos ūdeņos, ir augstāka bāzisko katjonu koncentrācija, kā arī sērs sulfātu formā, kamēr, izkliedējot 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) Piirainen (2001) pētījumos, nav konstatētas Zn, Cd, Cu, Ni koncentrāciju atšķirības starp kontroli un eksperimentu ([Piirainen, 2001]). Audzēs ar biezu organiskās vielas slāni konstatē minaralizācijas procesu izraisītu amonija un nitrātu slāpekļa formu koncentrāciju palielināšanos ([Piirainen, 2001]). Paaugstinātas nitrātu slāpekļa koncentrācijas novērotas arī Zviedrijā, ar slāpekli bagātās mežaudzēs veiktos pētījumos (Högbom et al., 2001). Izmantojot nelielas mēslojuma devas, efekts ir ilgtermiņa un neizsauc ilgstošas, būtiskas izmaiņas smago metālu koncentrācijā augsnē, sevišķi minerālaugsnēs (Hees et al., 2003).

3.6. Mēslošanas ietekme uz veģētāciju un augsnes organismiem

Papildus barības elementu ienešana un atgriešana mežaudzēs 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 koksnē pelnu devas 6 un 12 tha^{-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 mežaudzē vienlaicīgi ar papildus barības vielu ienesi pirms vai pēc tās (Hedwall et al., 2013).

Analizējot Zviedrijas meža monitoringa datus, ir iegūta informācija, kas apstiprina, ka mēslotajās un koptajās – retinātajās - egļu jaunaudzēs ir bagātīgāks sugu sastāvs un lielāks veģētācijas projektīvais segums nekā tajās, kur nav veikta mežsaimnieciskā darbība. Svarīgākais ietekmējošais faktors ir atlikušo koku skaits uz ha 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 nomaiņu uz dominējošu paparžu veģetāciju un arbuskulārās mikorizas sēnēm, kas ir reta, bet nav netipiska egļu mežaudzēm Zviedrijā. (Hedwall et al., 2013).

Pētījumi par mēslošanu parasti tiek veikti skuju koku audzēs, tomēr lapu koku atbildes reakcija uz koksnes pelnu mēslojumu ir straujāka nekā skuju kokiem, jo lapu kokiem optimālās elementu attiecības ir $P : K : Ca : Mg$ at $1 : 5 : 20 : 2.5$, 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 and 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 augsnes grupām.

Kūdrāji un organiskās augsnes

Izmantojot koksnes pelnus un kpmlekso NPK minerālmēslojumu, sākotnēji tiek novērota pozitīvāka minerālmēslojuma ietekme, 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), ka 5 un 10 tha^{-1} pelnu mēslojuma devas ietekmē krājas pieaugums kontroles variantā ir tikai 15 m^3ha^{-1} , bet mēslotajā 70 m^3ha^{-1} (Ferm et al., 1992), mēslojuma ietekmē veģetācija sāk dominēt zālaugi, pēc izklīdes paltībā izzūd sūnas.

Eksperimentos, izmantojot koksnes pelnu devas līdz 5 tha^{-1} , pozitīvs efekts novērots stādu augšanā un to sakņu attīstībā, jaunajiem kokaugiem veidojas garākas saknes. Amonija sulfāta mēslojums salīdzinājumā ar koksnes pelniem izraisa īsāku uzsūcošo saknīšu veidošanos (Persson and Bařtulin, 1996).

Salīdzinot 16 gadīgas baltalkšņa un vītola audzes pēc mēslošanas ar 10 $t ha^{-1}$ un NPK (150 $kg ha^{-1}$ N, 92.4 $kg ha^{-1}$ P and 382 $kg ha^{-1}$ K), konstatēts biomasas pieauguma kāpinājums par 65-70% salīdzinot ar kontroli, kā arī ievērojama N atbrīvošanās ,augsei mineralizējoties un palielinoties C:N attiecībai. Salīdzinot ar minerālmēslojumu koksnes pelni mazāk ietekmē denitrifikācijas un ūdenī šķīstošo organisko vielu izskalošanās procesus (Weber et al., 1985). Augstas mēslojuma devas izraisa augu orgānu apdegšanu, bet tas ir īslaicīgs efekts. Vēl 40 gadus pēc koksnes pelnu mēslojuma 8-16 $t ha^{-1}$ izmantošanas, koku lapās ir augstāks fosfora saturs nekā kontrolei, augsnē ir konstatēts pietiekams P un K nodrošinājums, kas vēl joprojām neapmierinošs kontroles daļā (Moilanen et al., 2002).

Podzoli

Vairāku autoru pētījumi sniedz datus, kas ļauj secināt, ka limitējošais elements papildus krājas ieguvei ir N, jo tikai tad, ja augsnēs ir pietiekama vai augsta N koncentrācija, citi mēslojuma veidi, ieskaitot koksnes pelni, dod gaidīto efektu (Jacobson, 2003), (Pitman, 2006). Mēslojot uz nabadzīgām augsnēm augošas skuju koku 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 zema, vispirms dodams slāpekļa mēslojums, ir jāizmanto kompleksie mēslojumi, vai koksnes pelnu mēslojums, 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 et al., 1999). Skuju koku jaunaudzēs uz podzola augsnēm pelnu mēslojums neietekmē koku augšanu, tā nav lielāka, salīdzinot ar kontroli, tikai mēslojuma ietekmē novēro augstāku minerālvielu saturu jauno augu lapās (Arvidsson and Lundkvist, 2002), arī vecākās priežu audzēs novērotas līdzīgas sakarības (Bramryd and 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 and 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 and Arnebrant, 1994).

Vaskulārie augi sūnas un ķērpji

Pirmie pētījumi par koksnes pelnu ietekmi uz meža ekosistēmu saistīti ar smago metālu koncentrāciju pētījumiem zemesdzies veģētācijā, ogās un sēnēs, pētījumi nezaudē aktualitāti arī pašlaik (Perkiömäki, 2004), (Moilanen et al., 2006), (Moilanen et al., 2012). Vēlāk detalizētākos pētījumos noskaidrots, ka, pat ja ar koksnes pelniem skābā augsnē tiek ienests kadmijs, tas netiek uzņemts ogās un sēnēs tādos daudzumos, kas būtu būtiski lielāki par kontroli (Perkiömäki, 2004). Izmaiņas veģētācijā ir 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 $<1 \text{ mg kg}^{-1}$ (Levula et al., 2000).

Zviedrijā, veicot mēslošanu pēc jaunaudžu kopšanas, kurā tiek izvākti 30 vai 60% no šķerslaukuma, vēl 25 gadus pēc tam novērojamas būtiskas atšķirības zemesdzies veģētācijas sastāvā un segumā. Ja netiek veikta kopšana (kontroles variants), nenotiek izmaiņas veģētācijas sugu sastāvā, ienākot jaunām sugām, pakāpeniski izzūd

zemsedzes veģetācija un pēc 25 gadiem tā vairs nav novērojama. Mēslojot izkoptas jaunaudzēs, tiek saglabāta zemsedzes veģetācija tādā sastāvā kā sākotnēji kontroles audzēs, bet tiek novērots, ka, veicot atēnošanu un samazinot koku skaitu audzē, tiek nodrošināti labvēlīgāki apstākļi pioniersugu augu, paparžaugu un puskrūmu augšanai tajās. Mēslojošo audžu izretināšana - kopšana - 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 sīkrūmu kā brūkļenu īpatsvara samazināšanos koksnes pelnu mēslojuma 5 t ha^{-1} ietekmē apraksta (Levula et al., 2000), savukārt citi pētnieki konstatējuši, ka vēl 9 gadus pēc mēslojuma izmantošanas nav izmaiņu brūklenāju, mellenāju un zīleņu segumā (Pitman, 2006). Vispārēju puskrūmu seguma samazināšanos Zviedrijas centrālās daļās priežu mežos pēc mēslojuma izmantošanas apraksta (Jacobson and Gustafsson, 2001), bet Silfverberg and Hotanen (1989) pēc mēlošanas 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, 2006). 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 t 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 atmīršana pirmā pusgada laikā, bet pēc mēneša segums atjaunojas, pilnīga sūnu segas atjunošanās vērojama pēc 5-10 gadiem (Pitman, 2006), ([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 pieciem gadiem tad, ja mēslojuma deva pārsniedz 9 t ha^{-1} , pie zemākām devām bojājumi minimāli, mazāks kļūst *Cladina* ķērpju īpatsvars zemsedzē, tos izkonkurē sūnas. Granulēts mēslojums atstāj mazāku ietekmi, jo tiem ar sūnu ķērpju daļām mazāks tiešais kontakts, bojājumus novēro galvenokārt tiešā kontakta vietās kā apdegumus (Pitman, 2006). Vietās, kur sūnas ir galvenā zemsedzi veidojošā augu grupa, iesaka izmantot mazākas mēslojuma devas, piemēram, pelnu mēslojuma devām nevajadzētu pārsniegt 2 t 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 sliedām Lundkvist et al.

(1998), kur konstatēts, ka, lai gan ir vērojama smago metāla Cd koncentrācijas palielināšanās organismos (3 tha^{-1} granulēti pelni), tas nav atstājis jūtamu ietekmi uz to dzīvības funkcijām (Pitman, 2006). Augsnē dzīvojošie dzīvnieki mikroorganismu noārdītāji savairojas ir aktīvāki pēc mēslojuma ienešanas organiskajās augsnēs (Aronsson and Ekelund, 2004).

Daudzi pētījumi veltīti augsnes mikroorganismu daudzuma un aktivitātes izmaiņām pēc mēslojuma pielietošanas, kur kā galvenie ietekmējošie faktori konstatētas pH izmaiņas, N slāpekļa pieejamība un celulozes noārdīšanās procesi (Fritze et al., 1994), (Perkiömäki, 2004), (Gaitnieks et al., 2005), (Pitman, 2006), (Weber et al., 1985). Novērots, ka pēc mēslošanas mežaudzē palielinās baktēriju daudzums augsnē, uzlabojas augsnes elpošanas rādītāji, C:N attiecība ir augsta (Bååth and Arnebrant, 1994). Pat ievērojami nepalielinoties sēņu kopējam daudzumam priežu mežā, pieaug augsnes elpošanas aktivitāte (Fritze et al., 1994), paaugstināta elpošanas aktivitāte novērota arī pie mikroskopisko sēņu biomasas pieauguma egļu mežos (Zimmermann and Frey, 2002), kam seko pH vērtības kāpumu un augsnes mineralizēšanos. Zviedrijā veiktos pētījumos (Erland, 2001) tīmekļaiņu ģints *Cortinarius* sp. sēnes ir biežāk sastopamas pēc pelnu mēslojuma izmantošanas (Pitman, 2006). Mēslojot egļu mežaudzēs uz koku saknēm biežāk sastopamas mikorizas sēnes no *Piloderma* ģints (Taylor and 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 and Clemmensen, 2009).

Pēc tādu koksnes pelnu izmantošanas, kas satur vieglās frakcijas, ēdamjās sēnēs (*Boletus edulis*) Ruhling (1996) un (*Lactarius* sp.) Perkiomaki (2003) konstatēts papaugstināts Cd saturs (Pitman, 2006).

4. KOKSNES PELNU IZMANTOŠANA LAUKSAIMNIECĪBĀ

4.1. Tehnoloģiskie risinājumi koksnes pelnu iestrādei augsnē

Kalvja T. (2011) pētījumā no tehnoloģiskajiem risinājumiem koksnes pelnu iestrādei augsnē izriet, ka pelnu izkliedes vienmērīgumam ir ietekme uz koksnes ikgadējo pieaugumu, kā arī pierāda pelnu pozitīvo ietekmi jau pirmajā gadā pēc lietošanas, 5 gadu laikā novērojama ietekmes pakāpeniska samazināšanās. Iegūtie secinājumi uzskatāmi par būtiskiem un vērā ņemamiem pie pelnu iestrādes arī lauksaimniecības zemēs. Pie dažādiem tehnoloģiskajiem risinājumiem, kas samazina koksnes pelnu putekļus transportēšanas un lietošanas laikā, ir pieskaitāmā Karpa un līdzautoru pētījumi (2017) par koksnes pelnu granulēšanu kombinācijā ar šķidrmēsliem. Paši autori gan atzīst, ka granulēšana ir visdārgākais posms minētajā tehnoloģijā, līdz ar to šāda risinājuma ieviešana praksē ir atkarīgo gan no pelnu minerālā sastāva, gan

ekonomiskā pamatojuma. Līdz ar to būtu jāmeklē tehnoloģisks risinājums nevis, pelnus izkļiedējot, uz lauka izkaisot, bet gan iestrādājot augsnē nelielā 10–15 cm dziļumā. Lai mazinātu pelnu putekļu difūziju un veicinātu vienmērīgu pelnu izkļiedi, pelni var tik sajaukti ar pildvielu, piemēram, citu kaļķojamo materiālu un iestrādāti augsnē ar mēslojuma izkļiedētāju, kuram ir vērpšanas diski. Šāda pelnu iestrādes tehnikas aprobācija veikta, izmantojot pelnus no mājputnu pakaišiem (Bauer u.c., 2019). Savukārt Lickažs (2002) min, ka koksnes pelnu izkļiedei uz lauka ir piemēroti jebkuri kaļķojamo materiālu izkļiedētāji un lielākā daļa minerālmēsļu izkļiedētāju atbilstoši vides prasībām (Lickacz, 2002).

Apkopojot pieejamo informāciju, koksnes pelni kā mēslošanas līdzeklis var tikt izmantoti divos veidos. Pirmais – līdzīgi kā kaļķojamais materiāls, bet ar lielāku pievienoto vērtību, jo tiek uzlabota ne tikai augsnes reakcija, bet tā tiek arī bagātināta ar tādiem makroelementiem kā P, K, Ca un Mg (Adamovičs u.c., 2009). Mēslošanas reižu skaitu un apjomu nosakot pēc augsnes īpašībām un normatīvajiem aktiem. Otrs – koksnes pelnu izmantošana mēslošanas līdzekļu izstrādē, kur koksnes pelni ir viena no sastāvdaļām.

4.2. Koksnes pelni kā augsnes ielabotājs

A. Pogulis (2017) savā pētījumā ir veiksmīgi formulējis koksnes pelnu nozīmīgākās īpašības, pateicoties kurām koksnes pelni ir izmantojami lauksaimniecībā: augsnes skābuma neutralizētājs, mēslošanas un augu aizsardzības līdzeklis. Koksnes pelni pieder pie ātras iedarbības kaļķojamiem materiāliem, jo augsnes skābumu samazina salīdzinoši īsā laikā, ātrāk nekā lielākā daļa karbonātus saturošu kaļķojamo materiālu (Pogulis, 2017). Tomēr pirmajā gadā pēc pelnu iestrādes augsnē ievērojami var pieaugt augiem nozīmīgu makro un mikroelementu saturs augsnē, piemēram, P_2O_5 un K_2O , tai skaitā arī Mg un S, kā arī no mikroelementiem Zn saturs, tomēr pirmajā gadā augu kvalitātes kritēriju un biomasas pieaugums, arī korelācija starp barības elementiem un iznesi var netikt konstatēti (Fūzesi u.c., 2015).

Izmantojot koksnes pelnus zirņu audzēšanā, pierādītā koksnes pelnu labvēlīgā ietekme uz zirņu ražas kvalitāti, biomasas pieaugumu, kā arī ražu pieaugumu 2,14 reizes (Pogulis 2017). Arī Rancānes un līdzautoru pētījumā (2015) par daudzgadīgo zālaugu biomasas pieaugumu mēslošanas shēmā ar koksnes pelniem pierāda to efektivitāti, kas ir gandrīz līdzvērtīga mēslošanas variantā ar minerālmēsliem.

Starp zinātniskajām publikācijām ir atrodamī vairāki pētījumi, kas pierāda koksnes pelnu efektivitāti tos izkļiedējot kopā ar NPK minerālmēsliem nevis atsevišķi koksnes pelnus un atsevišķi minerālmēsļus (Adekeyode un Olojugba, 2010).

Dažās valstīs (piemēram, Austrijā), lai uzlabotu kompostēšanās procesu un kopējo komposta sastāvu, t.sk. regulētu pH, ir atļauts pievienot koksnes pelnus, bet ne vairāk kā 2%. Vācijā kompostā atļauj izmantot pelnus līdz pat 5% (IEA Bioenergy, 2018).

4.3. Jaunu mēslošanas līdzekļu izstrāde, kur kā viena no sastāvdaļām tiek izmantoti koksnes pelni

Par vienu no koksnes pelnu izmantošanas iespējām var kalpot to izmantošana kā ar kāliju bagāts mēslošanas līdzeklis. Šveiciešu zinātnieku pētījumā izmantotajos koksnes pelnos bija liels daudzums Ca un K, kā arī mikroelementi, īpaši Zn Cu un Ni, pēdējie divi ķīmiskie elementi pārsniedza mēslošanas līdzekļos pieļaujamās normas. Tomēr mēslošanas līdzekļa efektivitāte attiecībā uz K tika testēta uz saulespuķēm, kas pierādīja līdzīgu iedarbību kā KCl mēslošanas līdzekli (Malta, Sinaj 2014). Līdzīgs pētījums, bet saistībā ar koksnes pelnu izmantošanu kā fosforu saturošu mēslošanas līdzekli veikts uz graudaugu sējumiem (Lindvall et al., 2015). Līdzīgi kā citviet Latvijā šādi mēslošanas līdzekļi vēl atrodas izstrādes stadijā. Šobrīd LLU tiek īstenots sadarbības projekts “Jaunas tehnoloģijas izstrāde augu mēslošanas līdzekļu ražošanai no biogāzes ražotnes fermentācijas atliekām – digestāta un šķeldas koģenerācijas atliekām – koksnes pelniem”, kura īstenošanu finansiāli atbalsta Lauku atbalsta dienests Eiropas Lauksaimniecības fonda lauku attīstībai Latvijas Lauku attīstības plāna pasākuma „Sadarbība” 16.1. ietvaros un, kur vadošais partneris ir LLU. Projektā plānots izstrādāt jaunas tehnoloģijas, lai ražotu augsnes auglību uzlabojošus produktus (mēslošanas līdzekļus) ar augstu pievienoto vērtību no ražošanas blakusproduktiem – digestātiem un koksnes pelniem. Projekts tiek īstenots laika periodā no 01.10.2019 līdz 31.10.2022. Projektā ir vairāki sadarbības partneri: LVMI “Silava” zinātniekiem un uzņēmumiem AS “Ziedi JP”, SIA “Pampāļi”, Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”, SIA “Fortum Latvia”, SIA “LATVI DAN AGRO”, ZS “Irbenes”, SIA “Dobeles EKO” un SIA “MC BIO”. Sīkāka informācija par projektu: <https://www.llu.lv/lv/raksts/2019-11-26/ar-digestatu-un-koksnes-pelnu-maisijumiem-risinas-augsnes-auglibas-problemas>.

Paredzams, ka projekta rezultāti iztirzās jaunus risinājumus un problēmas saistībā ar koksnes pelnu izmantošanu lauksaimniecībā un jaunu mēslošanas produktu izstrādi, izmantojot koksnes pelnus.

Galvenā problemātika ir saistīta ar nevienādo pelnu ķīmisko sastāvu, t.sk. smago metālu īpatsvaru un radioaktivitāti. Tomēr izstrādājot pelnu kvalitātes standartus, kas tos no atkritumiem, ļautu transformēt uz lauksaimniecībā izmantojamu produktu, būtu jāņem vērā divi kritēriji – koksnes pelnu izmantošanas veids: kā augsnes ielabotājs vai mēslošanas līdzekļa/produkta sastāvdaļa. Pirmajā variantā koksnes pelniem ir jāatbilst noteiktiem kvalitātes standartiem, kas neatstāj negatīvu ietekmi uz vidi – augsnes un augu veselību. Savukārt otrajā variantā, kur pelni ir kā viena no komponentēm, jāparedz galaproduktā nevēlamo ķīmisko elementu robežkritērijus.

Zviedrijā veikti lauka izmēģinājumi, izvērtējot pelnu ietekmi uz graudaugu sējumiem. Pētījumā konstatēts, ka P galvenokārt tika uzņemts no pelniem, savukārt N un daļa no K uzņemta no minerālmēsliem, bet variantā, kur mēslošanā izmantoti pelni no sadzīvēs atkritumiem, smago metālu koncentrācijas pārsniedza Zviedrijas vides aizsardzības aģentūras izstrādātās pieļaujamās normas. Tika novērots arī smago metālu (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn,) izkliedes nevienmērīgums augsnes profilos dziļumā no 0–5 cm, 5–10 cm un 10–20 cm (Lindvall et al., 2015). Koka pelnu pielietošanas ietekmi uz smago metālu koncentrāciju augsnē Lietuvas skotu priežu audzē ir pētījuši lietuviešu zinātnieki Ozolinčius un Varnagirīte (2005), kur divus gadus koka pelnu izkliedes smago metālu uzkrāšanās novērota O horizontā un arī priežu skujās. Analizējot koka pelnu ietekmi uz dažādiem kultūraugiem un augsnes veselību kopumā, minētais ir arī vērā ņemams aspekts, jo nereti koksnes pelni satur augstas smago metālu koncentrācijas. Šis pētījums (Lindvall et al., 2015) līdzīgi kā Rancānes un līdzautoru (2015) pētījums uzrādīja augiem pieejamā P uzņemšanu no pelniem līdzīgi kā no minerālmēsliem. Pie līdzīgiem secinājumiem nonāk arī Šīmenzs un Loubermans (2010), secinot, ka, ja koksnes pelnos smago metālu koncentrācijas nepārsniedz pieļaujamās normas, koksnes pelni ir izmantojami lauksaimniecībā kā mēslošanas līdzeklis (Schiemenz un Eichler-Löbermann, 2010).

Fuzesi un līdzautoru pētījums (2015) uzskatāms par savā ziņā rekomendējošu, jo autori sava pētījumā izceļ pelnu nozīmīgumu lauksaimniecībā un sniedz ieteikumus to izmantošanā. Koksnes pelnos, kurus izmanto augsnes ielabošanā vai mēslošanā, smago metālu koncentrācija nedrīkst pārsniegt normatīvos-literatūrā minētas vidējās vērtības. Minētajā pētījumā koksnes pelni 10 t/ha paaugstināja augsnes pH par vienu vienību. No smagajiem metāliem augsnē pieauga Cd saturs. Nātrija daudzuma pieaugumu autori neskaidro, vien atzīst, ka pārsniedzot 60 mg/kg tas var kaitēt kultūraugiem un liecināt par nelabvēlīgu augsnes sasāļošanos. Augu toksicitāte netika novērota pat ar maksimāli pieļaujamo pelnu daudzumu. Balstoties uz veiktajiem izmēģinājumiem, var secināt, ka koksnes pelnus var efektīvi izmantot lauksaimniecībā skābu augšņu ielabošanā, nevis tikai kā kaļķojamo materiālu, bet var veiksmīgi izmantot kā mēslošanas līdzekli augiem nepieciešamo barības vielu nodrošināšanai. Autori eksperimentāli noskaidroja ieteicamo koksnes pelnu devu, kas ir no 1 līdz 5 t/ha (Poguļa (2017) pētījumā 1,5 t/ha). Citā pētījumā (Park un c., 2004) secināts, ka koksnes pelni darbojas kā mēslojums ar zemu slāpekļa saturu, minot šādu attiecību NPK 1-10-50. NPK attiecība ir mainīga, kas galvenokārt ir atkarīga no sākotnējā koksnes materiāla, no kura ir iegūti koksnes pelni. Par to liecina citā ziņojumā sniegtā NPK attiecības, kas ir 0-1-3 (Risse un Gaskin, 2010). Tādēļ augsnēs, kur ir pazemināts slāpekļa trūkums, pētnieki (Fuzesi u.c., 2015) iesaka apvienot koksnes pelnu izmantošanu ar N saturošiem mēslošanas līdzekļiem. Dotajā eksperimentā novērota pozitīva koksnes pelnu ietekme uz augu uzkrāto organisko vielu. No kristāliskajām fāzēm koksnes pelnos dominē CaCO_3 , SiO_2 , $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$, kas padara koksnes pelnus izmantojamus augsnes neitralizācijas spējas uzlabošanā (Serafimova un c., 2011). Turklāt Fuzesi ar līdzautoriem izceļ koksnes pelnu izmantošanas nozīmīgumu lauksaimniecībā, pamatojot to ar ekonomiskajiem ieguvumiem – samazinot izdevumus, kas saistīti ar atkritumu izmešanu poligonos un

daļēji aizstājot dārgos augsnes ielabotājus un mēslošanas līdzekļus (Fuzesi u.c., 2015). Merino ar līdzautoriem nonāk pie līdzīgiem secinājumiem, ka koksnes pelni ir gan kā labs mēslošanas līdzeklis, gan kā augsnes kaļķojamais materiāls, tomēr atzīst, ka saistībā ar to, ka koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs ir mainīgs – tas ir regulāri jāpārbauda (Merino u.c., 2006). Kanādā veiktie lauka izmēģinājumi vairāk kā 20 gadu garumā pierādīja koksnes pelniem līdzīgu ilgtermiņa efektivitāti kā minerālajiem kaļķojamiem materiāliem (Pulse un Unit, 2002).

Vēl viens no koksnes pelnu potenciālajiem izmantošanas veidiem lauksaimniecībā ir koksnes pelnu izmantošana notekūdeņu dūņu atūdeņošanā (Wójcik u.c, 2020) un augsnes ielabošanā (Lazdiņa u.c., 2011). Izmantojot šādu pieeju vienlaikus, tiek risinātas divas problēmas – koksnes pelnu un notekūdeņu dūņu atkritumu izmantošana. Pētījumos pierādīts, ka abus no šiem materiāliem var veiksmīgi izmantot kā mēslošanas līdzekļus un augsnes ielabotājus, samazinot gan augsnes skābumu, gan bagātinot to ar augiem nepieciešamajiem barības elementiem (Wójcik u.c., 2020, Lazdiņa u.c., 2011). Lazdiņas un līdzautoru pētījumā (2011) segtajās platībās, lai sasniegtu optimālos pH rādītājus kūdras substrātos, notekūdeņu dūņām pievienoti koksnes pelni un dolomīts. Rezultātā dolomīts kūdras substrātu pH mainīja par 0,6–1,2 vienībām, bet pelnu iedarbības rezultātā reakcijas izmaiņas notika daudz straujāk (Lazdiņa u.c., 2011).

Poļu zinātnieku veiktajā eksperimentā (Wójcik u.c, 2020) notekūdeņu dūņu mitrums un kopējais baktēriju skaits samazinājās atkarībā no pievienotā koku pelnu daudzuma. Ar maksimālo koksnes pelnu devu (30 g / dm³) laboratorijas apstākļos bija iespējams dūņu mitrumu samazināt par 10–23%, bet kopējo baktēriju skaitu par 90%, tomēr ražošanas izmēģinājumā iegūtie mitruma rādītāji bija līdzīgi, bet baktērijām zemāki – 53%. Perspektīvi pētnieki plāno notekūdeņu dūņu atūdeņošanas galaproduktu izstrādāt par dabīgu mēslojumu, piemēram, daudzgadīgo augu stādījumos. Savukārt smago metālu saturs konkrētajā koksnes pelnu un notekūdeņu dūņu maisījumā nepārsniedza Polijas likumdošanā pieļaujamās normas (Wójcik, Stachowicz, Masłoń, 2020). Savukārt Lazdiņas un līdzautoru (2011) pētījums uzrāda paaugstinātu smago metālu daudzumu potenciālajos mēslošanas līdzekļos. Līdzīgi kā ar koksnes pelniem smago metālu koncentrācija ir pārbaudāms lielums, jo arī notekūdeņu sastāvā tas var būt mainīgs.

Publicētie pētījumi uzskatāmi kā potenciāls arī Latvijas koksnes pelnu inovatīvai izmantošanai lauksaimniecībā.

Wójcika un Stachoviča 2018. gadā izstrādātā SVID analīze lieliski ilustrē koksnes pelnu stiprās un vājās puses, ieguvumus un apdraudējumus, kas saistīti ar biomasas izmantošanas iespējām notekūdeņu dūņu apsaimniekošanā (Wójcik un Stachowicz, 2018).

Kā pozitīvs aspekts koksnes pelnu izmantošanai lauksaimniecībā ir arī organiskās vielas daudzuma palielināšanās augsnē, izmantojot koksnes pelnus. 2017. gadā veiktajā

pētījumā tiek salīdzināta bio-ogļu un koksnes pelnu (vieglo un jaukto) ietekme uz augsnes organiskās vielas (OV) uzkrāšanos un kvalitāti. Tika konstatēts, ka koksnes pelnu OV ir atšķirīgi atkarībā no pelnu veida, piemēram, jaukto pelnu OV bija ar zemāku karbonatizācijas pakāpi, bet vieglie pelni ar augstāku, tādējādi pelnu izmantošanas iespējas OV satura paaugstināšanas nolūkos noteiks augšņu sastāva īpatnības. Autori piedāvā vieglos pelnus iestrādāt augsnēs, kuras jau satur daudz OV, bet ir skābas, bet jauktā tipa pelnus iestrādāt ar OV nabadzīgās augsnēs (Merino un c., 2017).

4.4. Koksnes pelnu kvalitātes prasības atbilstoši šī brīža Latvijas normatīviem aktiem un sniegtās rekomendācijas

Koksnes pelni kā augsnes ielabotājs pasaulē tiek rekomendēti tieši bioloģiskajā lauksaimniecībā (Kousa u.c., 2013). Arī Latvijā Eiropas Komisijas regula Nr. 889/2008 paredz koksnes pelnu, kuri nav ķīmiski apstrādāti, lietošanu bioloģiskajā lauksaimniecībā. Nemot vērā, ka notiek bioloģiskās lauksaimniecības attīstība, pieaug arī pieprasījums pēc bioloģiskajiem mēslošanas līdzekļiem. Minētais, jo īpaši izceļ koksnes pelnu izmantošanas potenciālu lauksaimniecībā. Svarīgi atzīmēt, ka, piemēram, Somijā kūdras pelnus nedrīkst izmantot bioloģiskajā lauksaimniecībā, jo EU kūdra nav definēta kā atjaunojamais zemes resurss (Kousa u.c. 2013). Kousas un līdzautoru pētījumā (2013), izanalizējot 66 pelnu paraugus no dažādām kurtuvēm Somijā, nonāca pie secinājuma, ka 21 no analizētajiem paraugiem atbilda LIZ mēslošanas prasībām, 33 meža augšņu mēslošanai un tikai 12 paraugos smago metālu saturs pārsniedza pieļaujamās normas. Arī atsevišķos paraugos no Latvijas kurtuvēm smago metālu koncentrācija pārsniedza pieļaujamās smago metālu normas, tomēr liela daļa izanalizēto koksnes pelnu pēc to ķīmiskā un granulometriskā sastāva būtu izmantojami lauksaimniecībā.

Saskaņā ar MK noteikumu Nr. 506 “Mēslošanas līdzekļu un substrātu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi” 1. pielikumu par Mēslošanas līdzekļu identifikācijas prasībām, pelni, t.sk. koksnes, var tikt reģistrēti kā kaļķojamais materiāls, kas atbilst 10. punktā minētajam kaļķošanas materiāla nosaukumam – citi kaļķošanas materiāli. Minētajam materiālam ir jābūt derīgam augsnes skābuma neitralizācijai un nedrīkst atstāt nelabvēlīgu ietekmi uz augsni un augiem, minimālā neitralizācijas spēja 20%, pavaddokumentos jāuzrāda neitralizēšanas spēja, mitrums, smalko daļiņu <1 mm saturs % un papildus var minēt lielāku par 1 mm daļiņu daudzumu %, kalcijš (Ca), magnijs (Mg), norāde par kaļķošanas materiāla iedarbību. (<https://likumi.lv/ta/id/276480-meslošanas-lidzeklu-un-substratu-identifikācijas-kvalitātes-atbilstības-novērtēšanas-un-tirdzniecības-noteikumi>).

Maksimāli pieļaujamās smago metālu koncentrācijas kaļķojamiem materiāliem ir noteiktas MK noteikumos Nr. 506 3. pielikumā: Nevēlamo piemaisījumu maksimāli pieļaujamā koncentrācija mēslošanas līdzeklī un substrātā, kur uz koksnes pelniem būtu attiecināms 3. punkts – organiskie un organominerālie mēslošanas līdzekļi, un kaļķošanas materiāli, un augu augšanas veicinātāji. Minētajā punktā kā nevēlamie piemaisījumi minēti dzīvsudrabs (Hg), kadmijs (Cd), arsēns (As), niķelis (Ni), svins (Pb), ar attiecīgi maksimāli pieļaujamām normām (abs. sausā paraugā) 2,0, 3,0, 50, 100, 150 mg/kg, minētās vērtības nosakot karaļūdens ekstraktā.

REKOMENDĀCIJAS: Normatīvie, kas paredz koksnē pelnu izmantošanu lauksaimniecības vajadzībām, akti būtu papildināmi ar koksnē pelnu (koksnē importētājvalstīs Ukarina, Baltkrievija) maksimāli pieļaujamo radiotivitātes līmeni. Koksnē pelnos, kas tiek izmantoti lauksaimniecības vajadzībām nepārsniedz 2 kBq/kg^{-1} , bet mežsaimniecībā 5 kBq/kg^{-1} .

No citu valstu pētījumiem izriet, ka koksnē pelnos būtu jāizvērtē arī nātrijs (Na) daudzums, kas varētu veicināt augsnes sasāļošanu (Fuzesi u.c., 2015). Lai novērstu un ierobežotu pelnu nekontrolētu emisiju vidē, pelnu pārvadāšanas un uzglabāšanas laikā, ieteicams nodrošināt slēgtus konteinerus un/vai pārsegu vai jumta segumu.

Kopumā, kā ir minēts IEA Bioenergy (2018) ziņojumā, arī pasaules mērogā pelnu pārvaldības jomā nav izstrādātas vai ir ierobežots skaits pamatnostādņu. Minētais ziņojums parāda pašreizējās situāciju pelnu izmantošanā un likumdošanā, minot kopīgo un atšķirīgo starpvalstu līmeni. No septiņām ziņojumā iekļautajām valstīm (Austrija, Kanāda, Dānija, Vācija, Itālija, Nīderlande, Zviedrija) tikai Zviedrijā koksnē pelni netiek izmantoti lauksaimniecības zemju ielabošanā vai kaļķošanā. Savukārt tikai Austrijā, Dānijā un Nīderlandē pelnu izmantošanu lauksaimniecībā regulē normatīvo aktu prasības (Lamers F. u.c., 2018).

IEA Bioenergy, 2018 ziņojuma teikts, ka tiek pārskatīts ES dekrēts 2003-2003 par mēslošanas līdzekļiem, kur papildus jau definētam mēslošanas līdzekļu sarakstam tiks pārskatīti alternatīvie mēslošanas līdzekļi, iztīrējot to ķīmisko sastāvu. Paredzēts, ka pelniem tiks izdalīti 4 kategoriju veidi: 1) C pelni (bagāti ar kaļķiem), 2) K pelni (bagāti ar K, P, S), 3) CK pelni (starposma grupa) un 4) S pelni (bagāti ar SiO_2). S pelni nav piemēroti mēslošanas līdzekļu izmantošanai. Ziņojumā minēts, ka būtībā visi smagie pelni un 30% vieglo pelnu pieder pie S grupas pelniem un nav piemēroti izmantošanai lauksaimniecībā. Tai skaitā paredzams, ka daudzos gadījumos Pb un Cd saturs neļaus koksnē pelnus izmantot par mēslošanas līdzekļu sastāvdaļu (Lamers F. u.c., 2018). Jebkurā gadījumā minētās regulas pārskatīšana pavērs jaunas iespējas visā Eiropā izmantot pelnus kā jaunu mēslošanas līdzekļu sastāvdaļās un/vai kompostā. Paredzētās vides prasības EK Mēslošanas līdzekļu regulā joprojām ierobežo pelnu izmantošanu lauksaimniecībā (Lamers F. u.c., 2018).

Attiecībā uz koksnē pelnu izmantošanu kompostēšanas procesā šajā pašā ziņojumā (Lamers F. u.c., 2018) ir minēts, ka saskaņā ar ES dekrētu par mēslošanas līdzekļiem kompostam ir atļauts pievienot līdz 5% pelnus, bet jebkurai piedevai ir jābūt reģistrētai EU, ar pierādītu ietekmi uz kompostēšanās procesu un/vai ietekmes uz vidi samazināšanu.

4.5. Latvijas koksnē pelnu ķīmiskā un granulometriskā sastāva izvērtējums lauksaimniecības vajadzībām

Minētais izvērtējums balstīts uz 22 koksnē pelnu paraugiem no Latvijas kurtuvēm.

Vērtējot kaļķošanas materiālus pēc fizikālām īpašībām, svarīgs rādītājs ir par 1 mm smalkāku daļiņu saturs, jo smalkāks kaļķošanas materiāls, jo ātrāk augsnē notiek neutralizēšanas process. Pelnu paraugos šis rādītājs ir ļoti dažāds sākot no 39.5% līdz pat 99.8%, kur praktiski visa pelnu masa ir smalka. Atšķirīgs ir paraugs paraugs Nr.1,

kur pelni ir rupjāki par 1mm (smalkās daļiņas 0.5%). Bet jāņem vērā, ka smalkā pelnu masa veido putekļus transportēšanas un izkliešanas laikā.

Kaļķošanas materiālu raksturojošs lielums ir to neitralizēšanas spēja, t.i., spēja neitralizēt augsnes skābes, izteikta CaCO_3 veidā, analizētajiem paraugiem šis rādītājs ir ļoti plašā diapazonā. Ir paraugi ar ļoti zemu neitralizēšanas spēju 32.1–38.2 % un arī pelni ar ļoti augstu neitralizēšanas spēju 109.0–121.2 %. Visu izanalizēto pelnu neitralizēšanas spēja atbilst MK noteikumiem Nr. 506 “Mēslošanas līdzekļu un substrātu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi” 1.pielikuma prasībām (minimālā neitralizēšanas spēja – 20%)

Pelnu izmantošanas lauksaimniecībā pozitīvais aspekts ir tas, ka tie veic divas funkcijas: augsnes skābuma neitralizēšanu un augsnē nonāk augiem nepieciešamās barības vielas (kalcijs, magnijs, fosfors, kālijs u.c.). Analizētajos “fly ash” paraugos (paraugs Nr.11) raksturojas ar augstu kālija saturu (19.37 % K_2O) un fosfora saturu (2.45 % P_2O_5), savukārt ir pelnu paraugi, kur kālija saturs sastāda tikai 3.09–3.52 %.

Tādēļ iegūtos koksnes pelnus pēc to ķīmiskā un granulometriskā sastāva būtu ieteicams iedalīt un izmantot kā kaļķojamo materiālu vai augsnes ielabotāju, kas atbilst iepriekš izvirzītiem kritērijiem.

Vērtējot smago metālu saturu pelnu paraugos, jāsecina, ka pelnos ir palielināts kadmija saturs, 10 paraugos no analizētajiem 22 paraugiem. “bottom ash” (10, 18), “fly ash” (11,14, 17, 19) un 20.parauga pelni pārsniedz maksimāli pieļaujamo Cd saturu (MK noteikumos maksimāli pieļaujamā koncentrācija 3 mg/kg). Svina (Pb) palielināta koncentrācija konstatēta tikai vienā paraugā (11. paraugs) “fly ash”. “fly ash” (11. paraugs), kas raksturojas ar augstu neitralizēšanas spēju (109%), ir smalks (smalkās daļiņas ir 99,5%), satur arī augiem nepieciešamos barības elementus (13.29% Ca, 2.45% P_2O_5 , 19.37% K_2O), bet satur palielinātu smago metālu koncentrāciju – kadmiju (Cd) un svinu (Pb), tādēļ neskatoties uz pamatsastāva īpašībām nav izmantojams lauksaimniecībā kā kaļķojamais materiāls vai augsnes ielabotājs.

4.6. Rekomendācijas un Latvijas koksnes pelnu atbilstība lauksaimniecības vajadzībām

Balstoties uz citu valstu pieredzi koksnes pelnu izmantošanā lauksaimniecībā un pēc līdzīgiem kritērijiem izvērtējot vietējo koksnes pelnu sastāva analīzi, tiek rekomendēts atbilstoša sastāva koksnes pelnus klasificēt kā lauksaimniecībā izmantojamu kaļķojamo materiālu vai kā augsnes ielabotāju. Kaļķojamajam materiālam vai augsnes ielabotājam, kas ražots no koksnes pelniem būtu jāatbilst zemāk aprakstītajiem kritērijiem (tab. 4.1.,4. 2). Lai gan IEA Bioenergy, 2018 ziņojumā tiek rekomendēts lauksaimniecībā izmantojamus koksnes pelnus iedalīt 4 grupās, iepazīstoties ar Latvijas koksnes pelnu ķīmisko sastāvu, iesakām koksnes pelnus iedalīt 2 pamatgrupās – kaļķojamais materiāls un augsnes ielabotājs. Bet koksnes pelnus, kas atbilst kaļķojamajam materiālam, iedalīt sīkāk pēc to neitralizēšanas spējas un granulometriskā sastāva 3 apakšgrupās (4.1.tab. un 4.2. tab.).

Pelnu kā kaļķošanas materiāls raksturojošie parametri.

Rādītājs	Raksturojošās vērtības		
Dzīvsudrabs (Hg)	Maksimāli pieļaujamā koncentrācija 2,0 mg/kg		
Kadmijijs (Cd)	Maksimāli pieļaujamā koncentrācija 3,0 mg/kg		
Arsēns (As)	Maksimāli pieļaujamā koncentrācija 50 mg/kg		
Niķelis (Ni)	Maksimāli pieļaujamā koncentrācija 100 mg/kg		
Svins (Pb)	Maksimāli pieļaujamā koncentrācija 150 mg/kg		
Neitralizēšanas spēja, izteikta CaCO ₃ veidā, %	< 50 %, zema	50-80 %, vidēja	>80 %, augsta
Daļiņu izmēri	< 1 mm – ātra iedarbība	> 1 mm – lēnāka iedarbība	
Ca un Mg koncentrācija, %	Jo augstāka koncentrācija, jo ātrāka iedarbība kā kaļķošanas materiālam, kā arī augiem nepieciešamie barības elementi		
P ₂ O ₅ un K ₂ O koncentrācija, %	Augstāka koncentrācija dod papildu vērtību pelniem, jo tiek iestrādāti augiem nepieciešamie barības elementi		
PIEZĪME:			
Cēzijs (¹³⁷ Cs)	Gadījumā, ja importētai koksnei nav veikts radioaktivitātes tests, ieteicams kontrolēt ¹³⁷ Cs daudzumu, kas (balstoties uz literatūras datiem) nepārsniedz 2kBq/kg ⁻¹ sausos pelnos		
Nātrijs (Na)	Palielināts Na daudzums augsnē var veicināt tās sasāļošanu		

Pelni kā augsnes ielabotāja raksturojošie parametri

Rādītājs	Raksturojošās vērtības
Dzīvsudrabs (Hg)	Maksimāli pieļaujamā koncentrācija 2,0 mg/kg
Kadmijijs (Cd)	Maksimāli pieļaujamā koncentrācija 3,0 mg/kg
Arsēns (As)	Maksimāli pieļaujamā koncentrācija 50 mg/kg
Niķelis (Ni)	Maksimāli pieļaujamā koncentrācija 100 mg/kg
Svins (Pb)	Maksimāli pieļaujamā koncentrācija 150 mg/kg
P ₂ O ₅ un K ₂ O koncentrācija, %	Barības elementu nodrošināšana kultūraugiem, Lielāka koncentrācija iestrādā vairāk barības vielas.
Ca un Mg koncentrācija, %	Barības elementu nodrošināšana augiem, Lielāka koncentrācija iestrādā vairāk barības vielas. Ca un Mg veic augsnes skābju neitralizēšanu, līdz to augstāks to saturs, dod papildu vērtību
Daļiņu izmēri	Jo smalkāks materiāls, jo lielāka saskarsmes virsma ar augsne un ātrāka iedarbība
Neitralizēšanas spēja, izteikta CaCO ₃ veidā, %	Papildu vērtība - veic arī augsnes kaļķošanas funkciju, samazinot augsnes skābumu. Jo augstāka, jo labāk.
PIEZĪME:	
Cēzijs (¹³⁷ Cs)	Gadījumā, ja importētai koksnei nav veikts radioaktivitātes tests, ieteicams kontrolēt ¹³⁷ Cs daudzumu, kas (balstoties uz literatūras datiem) nepārsniedz 2kBq/kg ⁻¹ sausos pelnos
Nātrijs (Na)	Palielināts Na daudzums augsnē var veicināt tās sasāļošanu

5. KOKSNES PELNU IZMANTOŠANA CELTNIECĪBAS MATERIĀLU IZGATAVOŠANĀ UN BŪVNIECĪBĀ

Iepriekšējie pētījumi ir apstiprinājuši, ka lielākā daļa bio-kurināmā vieglo (BKV) pelnu ir piemēroti dažādās būvniecības apakšnozarēs, tai skaitā ceļubūvē. Kā galvenie aspekti, BKV pelnu izmantošanai, pamatojoties uz citu valstu pieredzi, ir sekojoši:

- BKV pelni ir vērtīgs materiāls, kuru var izmantot daudzās būvniecības apakšnozarēs;
- Lielākā daļa BKV pelnu varētu tikt reciklēti pamatņu sagatavošanā būvniecībā. Pārējā daļa varētu tikt izmantota citādā veidā, piemēram, kā augšņu bagātinātājs u.c..
- BKV pelni ir veiksmīgi iepriekš lietoti ceļu būvniecībā daudzos pilotprojektos Eiropā. Šādas konstrukcijas ceļi ir noturīgi, un to lietojamība ir lielāka nekā parastās konstrukcijas ceļam tādos pašos apstākļos. Arī salturība, kūkumošanās, deformācijas un ceļa plaisāšanas riski tiek samazināti. Var secināt, ka BKV pelni var būt pietiekami efektīva piedeva grunts materiālam, lai nodrošinātu ilgtermiņa stabilizējošas īpašības.

Enerģiju iegūst koksni sadedzinot, kas rezultātā rada ievērojamu apjomu koksnes pelnu. Somijā, piemēram, katru gadu tiek saražoti 500 miljoni kilogramu koksnes un kūdras pelnu. Kaut arī ir palielinājušās koksnes pelnu izmantošanas iespējas (augšņu bagātinātājs, cementa aizvietotājs betonā, ceļu konstrukcijas materiāls u.c.), tomēr ievērojama daļa no koksnes pelniem vēl joprojām tiek deponēti izgāztuvēs, tā vietā, lai izmantotu lietderīgi. To varēt uzskatīt par potenciāli vērtīgu resursu izšķērdēšanu, tā vietā, lai tos izmantotu kā otrreizējas pārstrādes materiālu.

Vispārīgi apskatīti 4 galvenie virzieni, kur bio-kurināmā pelni tiek izmantoti pasaulē - izgāztuvju labiekārtošanā, ceļubūve un citās ģeotehniskajās būvēs, cementa un betona ražošana, augšņu bagātināšanā galvenokārt mežos.

Lietojot BKV pelnus ceļu konstrukciju būvniecībai, tiek izšķirti divi galvenie pielietojuma veidi. Pirmais – jauna grunts slāņa izbūve, pelnus iestrādājot, tieši vai zem diluma kārtas. Otrais - ceļa pamata grunts stabilizēšana, ja esošā pamatne nenodrošina pietiekamu nestspēju. BKV pelni lietotami gan izbūvējot jaunas, gan atjaunojot jau esošas ceļa konstrukcijas. Iepriekšējie pētījumi un pilotprojekti uzrāda paaugstinātas ceļa konstrukcijas nestspējas un lietojamības īpašības, salīdzinājumā ar tradicionālajām ceļu konstrukcijām.

5.1. Ārvalstu pieredze pelnu reciklēšanā, deponēšanā, grunšu modificēšanā un stabilizēšanā

Lai gan plašāk pētīta ir koku pelnu izmantošana augšņu bagātināšanā, pastāv citi iespējamie to pielietojuma veidi, piemēram, ceļu būvniecībā. Pelnu izmantošana ceļu būvniecībā ne tikai ļautu izmantot pašus pelnus, bet arī ļautu samazināt neatjaunojamo dabas resursu izmantošanu, piemēram, šķembas, granti un citus grunts materiālus.

Ietaupījumi varētu būt ievērojami - 20-30% apmērā no ikgadējās summas, kas tiek tērēta parastajai grants konstrukcijai šobrīd. Pelnu izmantošana ļautu arī samazināt pelnu apjomu, kas tiek noglabāts izgāztuvēs, tās ievērojami atslogojot.

Piemēram, Somijā meža ceļu kopējais garums ir 135 000 km, un apmēram 4000 km no šiem meža ceļiem vajadzētu veikt remontdarbus katru gadu. Tā kā Somijā meža ceļu tīkls ir ļoti plašs, tad jaunu meža ceļu būvniecība ir samazinājusies, bet meža ceļu remontdarbu apjoms ir palielinājies. 2010. gadā tika remontēti 3300 km veco meža ceļu, bet no jauna tika uzbūvēti mazāk nekā 1000 km. Šobrīd tiek atļautu kokmateriālu transportēšanu visu gadu, kas nozīmē, ka palielinās un palielināsies meža ceļu remontdarbu apjoms.

Zviedrijā katru gadu ievērojamas ceļu būvniecības izmaksas sastāda izejvielu iegūšana, pārvietošana un iestrāde. Tradicionāli tiek lietots drupināts akmens materiāls, kuru parasti neuzskata par ierobežotu resursu. Tomēr izstrādes un transportēšanas izmaksas var būt augstas, atkarībā no ceļa būvniecības vietas. Parasti akmens materiāla ieguve ir saistīta ar koku ciršanu, kas atstāj ietekmi uz vidi.

Tieši tādēļ BKV pelni tiek apskatīti kā alternatīvs materiāls ceļu segas izbūvei, samazinot izraktā akmens materiāla nepieciešamību. Stabilizējot grunts materiālu, ir iespējams uzlabot ceļa segā projektētā materiāla lietojamību un nestspēju. Materiālu izvēle, parasti tiek pamatota ar vairākiem kritērijiem - fizikāli-mehāniskās īpašības, pieejamība un izmaksas. Visbiežāk kā saistviela grunšu stabilizācijā tiek lietots cements vai neveldzētie kaļķi, bet BKV pelni ir alternatīva, kura Zviedrijā un Somijā tiek lietota mazākas nozīmes ceļu būvniecībā.

Zviedrijas Ceļu pārvalde nosaka tehniskās prasības ceļa segas projektēšanai, ceļa izmēriem, drenāžai utt. Ja tiek pieņemts ceļa segā iestrādāt alternatīvu materiālu (piemēram, BKV pelnus), tas jāsaprot.

Pasaulē kopumā, kā kurināmais bieži tiek izmantotas akmeņogles, tomēr Zviedrijā vairāk cenšas izmantot atjaunojamus bio-kurināmā veidus, tādēļ vairāk tiek iegūti tieši BKV un citi bio-kurināmā pelni. Vēl viena īpatnība ir tā, ka Zviedrijā ir salīdzinoši daudz mazu koģenerācijas staciju, kur tiek saražots salīdzinoši neliels pelnu apjoms.

2006. gadā Zviedrijā tika saražoti aptuveni 1.3 miljoni tonnu pelnu, no kuriem 79% tika utilizēti. Lielākā daļa tika iestrādāti izgāztuvju izveides darbos. *ASH* pētniecības programma apskata 4 galvenos virzienus, bio-kurināmā pelnu izmantošanā:

- *Izgāztuvju izbūvē un labiekārtošanā;*
- *Ceļubūve un citās ģeotehniskajās būvēs;*
- *Cementa un betona ražošanā;*
- *Augšņu bagātināšanā galvenokārt mežos.*

Viens no trūkumiem, kas attur kompānijas izmantot BKV un BKS pelnus ceļubūvē, ir ceļubūves kompāniju mazā pieredze un labu piemēru trūkums. Tādēļ ir izstrādātas vadlīnijas [1, 2], lai šādu pelnu izmantošanai ceļubūvē padarītu saprotamu un salīdzināmu.

Izstrādātās vadlīnijas domātas, lai palīdzētu saprast BKV pelnu kā saistvielas pielietojumu ceļu būvniecībā ceļu uzturētājiem un attiecīgajām valsts institūcijām, kas

tos apskata, ar vidi saistītajām institūcijām, kā arī pelnu ražotājiem. Šo vadlīniju kontekstā BKV pelni tiek izmantoti kā saistviela grants ceļu seguma apakškārtā un nesošajā kārtā. Vadlīnijas uzsver galvenos ieguvumus izmantojot BKV pelnus ceļubūvē – stinguma pieaugumu, sasalšanas-atkušanas noturība salīdzinot ar nesaistītu grants-smilts ceļa nesošo kārtu. Tiek uzskaitītas primārās un sekundārās izejmateriāla īpašības, kas nosaka materiāla izvēli – spiedes stiprība, sausas grunts blīvums, salturība, mitrums. Vadlīnijās galvenais BKV pelnu-grants maisījuma efektivitātes kritērijs ir spiedes stiprība vienass.

Vadlīnijās minēti vairāki veiksmīgi pilotprojekti, ieskaitot pelnu izmantošanu meža ceļos, grants ceļos, kā arī ceļa segumā zem lielām slodzēm.

Lai palielinātu BKS pelnu lietošanu, kuri pieejami lielos apjomos, un samazinātu to deponēšanu izgāztuvēs, kā arī samazinātu dabīgā grunts materiāla lietojumu, ir izstrādātas vadlīnijas BKS pelnu izmantošanai, kas rodas BFB un CFB krāsnīs. BKS pelnus nepieciešams maisīt ar grants vai citu drupu materiālu, jo to sākotnējā spiedes stiprība ir zema. Kritisks faktors, kas ietekmē BKS pelnu īpašības, ir to saķepšana. Grants vai cits drupu materiāls nodrošina spiedes stiprību, kamēr BKS pelni kalpo kā pildviela un saistviela. Izmantojot šos pelnus, nav nepieciešams drupu materiālu frakcionēt līdz smilts izmēram. Šī rokasgrāmata apraksta soļus, kuri jāievēro, lai BKS pelnus izmantotu reālam projektam lauka apstākļos. Vadlīnijās dotas norādes, kā ceļubūvē izmantotos materiālus sertificēt un nodrošināt kvalitatīvi darbu izpildē. BKS pelnu - grunts materiāla maisījuma sagatavošanai var izdalīt sekojošus posmus:

1. BKS pelnu saražošana;
2. Pelnu šķirošana, atļaujot karbonizēties;
3. Pelnu stabilizācija, ja nepieciešams (piemēram, ar smalcinātu asfaltbetonu);
4. Pelnu mazgāšana, lai samazinātu putekļu saturu un sāļu saturu ūdens filtrātā;
5. Grunts materiāla izvēle;
6. Maisījuma izveide, samaisot pelnus un grunts materiālu;
7. Galīgā maisījuma proporciju izstrāde konkrētam projektam.

5.2. Pelni – lietderīgs daudzfunkcionāls produkts

Galvenā vieglo pelnu vērtība ir augstais dažādu lietderīgu minerālvielu saturs. To īpašību dēļ, pelni ir labs mēslojums, saistviela un aizpildītājs. Pelnu izmantošanas iespējas atbilstoši REACH ir sekojošas:

- Izmantošana pelnus saturošos būvmateriālos un lējumos;
- Pelnu izmantošana karstajos maisījumos;
- Pelnu izmantošana mēslojumam;
- Pelnu izmantošana grunts konstrukcijā;
- Pelnu izmantošana stabilizācijai, dezinfekcijai un pakaišiem;
- Pelnu izmantošana papīra ražošanā;
- Pelnu izmantošana otreizējā tērauda pārstrādē.

Visiem šiem izmantošanas veidiem jāveic risku izvērtēšana. Daži lietošanas ierobežojumi ir minēti iedarbības scenārijos. Iedarbības scenārijs ir apstākļu dokumentācija, kādos pelnu lietošana ir droša. Atļauta ir tikai reģistrētu pelnu izmantošana. Saskaņā ar REACH, pelnu piegādātājam jānodrošina pasūtītāju ar

drošības datu lapu (skat. 5.1 att.). Drošības datu lapā (DDL) jāiekļauj attiecīgie iedarbības scenāriji.



5.1. att. Vieglo pelnu dzīves cikls un tehnoloģiskās shēmas drošības informācijas [3].

5.3. Stabilizācijas tehnoloģiju apskats

Lietojot BKV pelnus ceļu konstrukciju būvniecībai, tiek izšķirti divi galvenie pielietojuma veidi. Pirmais – jauna grunts slāņa izbūve, pelnus iestrādājot, tieši vai zem ceļa seguma.

Otrais - ceļa pamata grunts stabilizēšana, ja esošā pamatne nenodrošina pietiekamu nestspēju. BKV pelni lietojami gan izbūvējot jaunas, gan atjaunojot jau esošas ceļa konstrukcijas. Iepriekšējie pētījumi un pilotprojekti parāda paaugstinātas ceļa konstrukcijas nestspējas un lietojamības īpašības, salīdzinājumā ar tradicionālajām ceļu konstrukcijām.

Masas stabilizācija ir metode vāju grunšu (plastisku un plūstošu mālu un visa veida biogēnas izcelsmes grunšu) uzlabošanai un stabilizēšanai. Tehnoloģija transformē vājas grunts slāņus nestspējīgos homogēnos grunts masīvos. Pēc stabilizācijas grunti iespējams lietot kā pamatu ceļa konstrukcijai. Uzlabotas fizikāli – mehāniskās īpašības ievērojami samazina stabilizēto grunšu deformācijas, tādējādi palielinot to izmantošanas iespējas.

Pētījums "Pelnu izmantošana meža autoceļos" tapis sadarbojoties Rīgas Tehniskajai universitātei, AS "Latvijas Valsts meži" un SIA "FORTUM Latvia". Pētījuma otrā etapa mērķis ir veikt laboratorijas testus BKV pelnu – grants un dolomīta šķembu optimālajiem maisījumiem, lai noskaidrotu maisījuma tūlītējās (iestrādājamības) īpašības, kā arī stiprības un stinguma rādītājus pēc 7 un 28 dienu cietēšanas

Iepriekšējie pētījumi ir apstiprinājuši, ka lielākā daļa biokurināmā vieglo (BKV) pelnu ir piemēroti dažādās būvniecības apakšnozarēs, tai skaitā ceļubūvē. Tādēļ tiek piedāvāts stabilizēt meža ceļa grants vai dolomīta šķembu segumu ar BKV pelniem 10%, 20% un 30% apjomā no sausa minerālmateriāla masas.

Frakcionētas grants un dolomīta šķembas un to maisījumi ar 10%; 20%; 30% divos periodos paraugotiem BKV pelniem no SIA "FORTUM Latvia" koģenerācijas stacijas Jelgavā (savākti JUL BKV un JAN BKV) tika testēti laboratorijā. Pirms maisījumu veidošanas, tika noteiktas katru BKV pelnu paraugu ķīmiskās īpašības, kā arī grants šķembu un dolomīta šķembu granulometriskais sastāvs. Maisījumu optimālais mitruma saturs tikanoteikts standarta Proktora testā. Katram maisījumam tika noteikts pH, kas nosaka vai maisījuma vide ir piemērota ilglaicīgām hidrauliskajām reakcijām, kas tiešā veidā ir saistīts ar stabilizētu šķembu stiprības un stinguma pieaugumu. Nesaistītam šķembām un šķembu maisījumiem ar 10%; 20%; 30% BKV pelniem pie optimālā mitruma satura tika noteikts tūlītējās nestspējas rādītājs (Kalifornijas nestspējas vērtība) Kalifornijas nestspējas (CBR) testā, tā novērtējot īslaicīgās mehāniskās īpašības tikko samaisītam un sablīvētam paraugam.

Stabilizētu šķembu paraugi tika atveidnoti no Proktora veidnes un uzglabāti $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūrā 7 un 28 dienas ietīti plēvē, lai novērstu iespējamo mitruma iztvaikošanu. Šķembu maisījumi ar 10%; 20%; 30% BKVpelnu pēc 7 un 28 dienu cietēšanas tika testēti vienass spiedes testā, nosakot maksimālo spiedes pretestību, kā arī vienass spiedes deformāciju moduli. Tieši spiedes pretestība tiek lietota, kā kritērijs, lai novērtētu ar BKVpelniem stabilizētu šķembu paraugu atbilstību noteiktai kategorijai (atbilstoši LVS EN 14227-15), bet ceļa segas aprēķinos lieto atbilstošā slāņa deformāciju moduli.

Šajā pētījuma etapā izmantoto BKV pelnu ķīmiskā sastāva testēšanas rezultāti (BKV pelnu paraugi ņemti JUL un JAN), salīdzinājumā ar 1. etapā testētajiem (BKV pelnu paraugi ņemti 2015. gada novembris, 2015.gada decembris un 2016. gada janvāris), uzrāda nedaudz augstāku SiO_2 un $\text{R}_2\text{O}_3(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ saturu, bet nedaudz zemāku CaO saturu un hidrauliskuma moduli. Lai gan izmaiņas ķīmiskajā sastāvā starp dažādos laikos paņemtiem BKV pelnu paraugiem var sasniegt vairāk kā 15%, hidrauliskuma modulis ir aptuveni 2.0 un CaO saturs ir vismaz 20%, tādēļ var apgalvot, ka pētījuma etapos izmantoto BKV pelnu paraugu ķīmisko testu rezultāti uzrāda, ka BKV pelni ir stipri hidrauliska saistviela un aktīvs pucolāna materiāls, tie atbilstoši LVS EN 14227-4 standartam klasificējami kā kalcifilie (calcareus) pelni.

Pētījumam izvēlēts divu veidu minerālmateriāls - 0/45 frakcijas dolomīta un grants šķembas, kuru parasti izmanto seguma izbūvei tipiskajā meža ceļa konstrukcijā. Veicot izvēlēta materiāla atbilstības novērtējumu atbilstoši MAC 2011 prasībām, noskaidrots, ka dolomīta un grants šķembu granulometriskais sastāvs atbilst specifikācijās reglamentētajām robežām (MAC 2011 p.8.3.1 un MAC 2011 p.8.2).

Sakarības starp ūdens saturu un sauso blīvumu noteikšanai izvēlēta Proktora sablīvējuma metode, jo iegūtos datus var izmantot, lai noteikt optimālo maisījuma blīvumu atbilstošā sablīvējuma nodrošināšanai būvobjektā. Proktora sablīvējuma testa rezultāti grants šķembām parāda, ka nesaistītam materiālam bez pelniem optimālais mitruma saturs ir 5.24%, bet pievienojot BKV pelnus optimālā mitruma saturs pieaug līdz 9%. Tomēr grants – BKV pelnu maisījumos ar 20% un 30% optimālas sausas grunts blīvums samazinās un ir mazāks par nesaistītas grants optimālo sausas grunts blīvumu. Tas izskaidrojams ar tūlītējām hidrauliskajām reakcijām, kuru laikā tiek saistīta daļa brīvā ūdens, savukārt sausas grunts blīvuma samazināšanās izskaidrojama ar to, ka BKV pelnu daļiņu blīvums ir mazāks par grunts daļiņu blīvumu. Proktora sablīvējuma testa rezultāti dolomīta šķembām parāda līdzīgas tendences kā grants – BKV pelnu maisījums - pievienojot BKV pelnus optimālā mitruma saturs pieaug līdz 10% un samazinās optimālas sausas grunts blīvums.

Tūlītējas saistvielas – ūdens – šķembu saistīšanās un pucolāna reakcijas attīstības novērtēšanai izvēlēta Eades un Grim metode pH noteikšanai. Noskaidrots, ka atbilstoši AS "Latvijas Valsts ceļi" Ceļu specifikācijas 2017 metodikai, sasniedzamajam pH jābūt >12.4 pH. Testu rezultāti apstiprina, ka BKV pelnu paraugi no SIA Fortum Latvia koģenerācijas stacijas Jelgavā ir aktīva pucolān-saistviela. Visos šķembu – BKV pelnu maisījumos (10%, 20% un 30%) pH vērtības pārsniedz rekomendēto 12.40 pH. Līdz ar to var uzskatīt, ka šādu maisījumu ķīmiskā vide ir labvēlīga gan tūlītējām hidrauliskajām reakcijām, gan arī ilglaicīgajām stabilizējošajām reakcijām, kas nodrošina stabilizēto šķembu stinguma un stiprības pieaugumu laikā.

Analizējot ar CBR testēšanas metodi noteiktu Proktora paraugu tūlītējās nestspējas rādītāju (IPI) noskaidrots, ka maksimālās IPI vērtības tiek sasniegtas grants – 10% BKV pelnu maisījumiem (ar abiem pelnu paraugiem). Rezultāti rāda, ka šķembu maisījumiem, stabilizētiem ar BKV pelniem, CBR vērtība pieaug 4-5 reizes no 20% nestabilizētam līdz 100% ar BKV pelniem stabilizētam grants šķembu maisījumam. Tūlītējās nestspējas IPI vērtības dolomīta šķembu un dolomīta šķembu – BKV pelnu maisījumiem uzrāda līdzīgu tendenci kā grants šķembu un grants šķembu – BKV maisījumiem. Maksimālās IPI vērtības tiek sasniegtas dolomīta šķembu – 10% BKV pelnu maisījumiem. CBR vērtība pieaug par 25-35% no 65% nestabilizētam līdz 90%-100% ar BKV pelniem stabilizētam dolomīta šķembu maisījumam. Dolomīta šķembu – 20% un 30% BKV pelnu maisījumiem IPI vērtības, salīdzinājumā ar grants - 10% BKV pelnu maisījumu, ir zemākas. Noskaidrots, ka dolomīta šķembu – 30% BKV pelnu maisījumiem IPI vērtības ir viszemākās un samazinās arī salīdzinājumā ar nesaistītu dolomīta šķembu IPI vērtībām, sasniedzot aptuveni 60% (CBR).

Atbilstoši LVS EN 14227-15 visi maisījumi klasificējas kā IPI50, jo IPI > 50% (CBR). Salīdzinājumā ar hidrauliski nesaistītām šķembām, tūlītējās nestspējas vērtības (IPI) ar BKV pelniem stabilizētām šķembām ievērojami palielinās. Tas nozīmē, ka tiek uzlabota mežu ceļa seguma materiāla iestrādājamības īpašības, izmantojot ar BKV pelniem stabilizētas šķembas. Īpaši izteikts tūlītējās nestspējas rādītāja (IPI) pieaugums ir grants šķembām.

Analizējot vienass spiedes (UCS) testa rezultātus grants šķembu – BKV pelnu maisījumiem noskaidrots, ka palielinoties BKV pelnu saturam (no 10% līdz 30%) un paraugu cietēšanas laikam (no 7 līdz 28 dienām) pieaug UCS vērtības. Rezultāti uzrāda līdzīgas tendence ar abiem BKV pelnu paraugiem (JUL un JAN BKV pelnu paraugi).

Vienass spiedes (UCS) vērtības dolomīta šķembu – BKV pelnu maisījumiem 7 dienu UCS vērtības ir no 0.61MPa līdz 1.29MPa, bet 28 dienu UCS vērtības pieaug līdz 2,04MPa. Rezultāti rāda, ka dolomīta šķembu - 20% un 30% BKV pelnu maisījumu UCS vērtības ir līdzīgas un pieaugums nav novērojams.

Atbilstoši LVS EN 14227-15 stabilizēto maisījumu spiedes stiprības klases ir no C0.4/0.5 līdz C1.5/2.0.

Ņemot vērā gan tūlītējas nestspējas rādītāja vērtības, gan vienass spiedes stiprību (UCS), tiek rekomendēts izmantot 20% BKV pelnu – šķembu maisījumu meža ceļu seguma izbūvei.

Analizējot vienass deformāciju moduļa (E30) vērtības grants šķembu – BKV pelniem noskaidrots, ka palielinoties BKV pelnu saturam (no 10% līdz 30%) un paraugu cietēšanas laikam (no 7 līdz 28 dienām), pieaug E30 vērtības. Rezultāti uzrāda līdzīgas tendence ar abiem BKV pelnu paraugiem (JUL un JAN BKV pelnu paraugi).

Vienass deformāciju moduļa (E30) vērtības dolomīta šķembu – BKV pelnu maisījumiem pieaug palielinoties BKV pelnu saturam maisījumā, tomēr JAN 20% BKV pelnu – dolomīta šķembu maisījumam pēc 7 dienu cietēšanas E30 samazinājās un sasniedz vismazāko vērtību, salīdzinot ar visiem citiem paraugiem. Dolomīta šķembu – BKV pelnu maisījumiem deformāciju moduļa vērtības vienādos apstākļos sagatavotiem paraugiem ir zemākās nekā grants šķembu – BKV pelnu paraugiem.

Lai novērtētu 20% BKV pelnu – šķembu maisījuma efektivitāti, ir nepieciešams izbūvēt pilotprojektu, kur varētu salīdzināt 20% BKV pelnu – šķembu maisījumu izbūvētu meža ceļa segumu ar hidrauliski nesaistītām šķembām izbūvētu meža ceļa segumu vienādos apstākļos.

Šī pētījuma ietvaros nav apskatīta ar BKV pelniem stabilizēto šķembu salturība, kā arī iespējamā citu saistvielu (piemēram, cements) pievienošana maisījumā, tādā veidā aktivizējot hidratācijas reakcijas un vēl vairāk uzlabojot šķembas. Turpmāk būtu vajadzīgs šos apstākļus ievērtēt. Salturību varētu novērtēt iespējamā pilotprojekta laikā, kā arī laboratorijas apstākļos.

Mežu ceļu būvniecībai parasti izmanto granti, dolomīta šķembas, par saistvielu kalpo cements vai neveldzētie kaļķi.

Literatūra

Literatūra 3.nodaļai

1. Adamovičs A., Dubrovskis V., Plūme I., Jansons Ā., Lazdiņa D., Lazdiņš, Kārklīņš G. (2009) Biomasas izmantošanas ilgtspējības kritēriju pielietošana un pasākumu izstrāde, Rīga Valsts SIA Vides projekti, 186. lpp.
2. Adekayode F. O., Olojugba M. R. (2010) The utilization of wood ash as manure to reduce the use of mineral fertilizer for improved performance of maize (*Zea mays* L.) as measured in the chlorophyll content and grain yield *Journal of Soil Science and Environmental Management* Vol. 1(3), p. 40-45
3. Akciju sabiedrības Rīgas Siltums ilgtspējas pārskats 2018 [Tiešsaite] [skatīts 2019. g. 25. nov.] Pieejams:
https://www.rs.lv/sites/default/files/page_file/ilgtspejas_parskats_2018.pdf
4. Bauer P. J., Szogi A. A., Shumaker P.D. (2019) Fertilizer Efficacy of Poultry Litter Ash Blended with Lime or Gypsum as Fillers. *In: Innovative Animal Manure Management for Environmental Protection, Improved Soil Fertility and Crop Production*, Enviroments No. 6, 50 p. 90-101
5. Brandón M. G., Juárez M. F. D., Insam H. (2017) Ash characterization Renewable residential heating with fast pyrolysis bio-oil. *HORIZON 2020 project Nr. 654650*, project report, p. 19
6. Centrālā statistikas pārvalde. Pērn koģenerācijas stacijās saražotais elektroenerģijas daudzums pieauga par 39 % (preses relīze 17.05.2019.). [Tiešsaite] [skatīts 2020. g. 8.jan.] Pieejams:
<https://www.csb.gov.lv/lv/statistika/statistikas-temas/vide-energetika/energetika/meklet-tema/2614-kogeneracijas-staciju-darbiba-2018-gada>
7. Füzési,I., Heil B., Kovács G. (2015) Effects of Wood Ash on the Chemical Properties of Soil and Crop Vitality in Small Plot Experiments, *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, Vol. 11, Issue 1, p. 55–64
8. Högbom, L., Nohrstedt, H.-Ö. (2001) The fate of 137Cs in coniferous forests following the application of wood-ash. *In: Science of the Total Environment* No. 280, p.133–141.
9. Huotari N., Tillman-Sutela E., Moilanen M., Laiho R. (2015) Recycling of ash – For the good of the environment? *In: Forest Ecology and Management* No. 348, p. 226-240.
10. Karpis O., Aboltins A., Palabinskis J. (2017). Biomass ash utilization opportunities in agricultutre *In: Proceeding of the 8th international Scienttific Conference Rurl Development 2017*, held in Aleksandras Stulginskis University, November 23 – 24, 2017, p. 193 – 198.
11. Karpis O. (2017) Biomasas pelnu pārstrāde un izmantošana *No: Ražas svētki “Vecauce-2017”:* Lauksaimniecības zinātne Latvijas simtgades gaidās. Zinātniskā semināra rakstu krājums. Jelgava: LLU, 33.-36. Lpp.
12. Kalvis T. (2011) Koksnes pelnu izkliešanās ietekme uz ikgadējo pieaugumu atkarībā no koksnes pelnu izkliešanās vienmērīguma. *Atskaite par paveikto īstermiņa zinātniskās misijas laikā*. Pētījums veikts a/s “Latvijas Valsts meži” un LVMI “Silava” 2011. gada 11. oktobra memoranda “Par sadarbību zinātniskajā izpētē” ietvaros. 9 lpp.
13. Kousa T., Heinonen M., Komanická E., Peltonen K. (2013) Ashes for organic farming in Finland. Finnish Food Safety Authority Evira

- [Tiešsaite] [skatīts 2019.g. 12.dec.] Pieejams:
<https://orgprints.org/24525/2/24525p.pdf>
14. Ladygienė R., Orentienė A., Pilkytė L. Skripkienė A., Žukauskaitė V., Kievinas R. (2010) Radiological investigation of wood used for combustion **In: Ekologija**. Vol. 56 No.3-4. p. 87-93
 15. Ladygienė R., Orentienė A., Pilkytė L. Skripkienė A., Žukauskaitė V., Kievinas R. (2010) Radiological investigation of wood used for combustion **In: Ekologija**. Vol. 56 No.3-4. p. 87-93
 16. Lamers F., Cremers M., Matschegg D., Schmidl C., Hannam K., Hazlett P., Madrali S., Dam B. P., Roberta Roberto R., Mager R., Davidsson K., Bech N, Feuerborn H. J., Saraber A. (2018) Options for increased use of ash from biomass combustion and co-firing, IEA Bioenergy, Task 32 Biomass Combustion and Cofiring, p. 61
 17. Lazdina D., Bardule A., Lazdins A., Stola J. (2011) Use of waste water sludge and wood ash as fertiliser for Salix cultivation in acid peat soils. **In: Agronomy Research** No. 9 (1– 2), p. 305–314,
 18. Lickacz J. (2002) Wood Ash - An Alternative Liming Material for Agricultural Soils, Pulse and Oilseed Unit, Agrifcts, p. 6
 19. Lindvall E., Gustavsson A., Samuelsson R., Magnusson T., Palmborgi C. (2015) Ash as a phosphorus fertilizer to reed canary grass: effects of nutrient and heavy metal composition on plant and soil, *GCB Bioenergy*, Vol. 7, Issue 3, p. 553–564
 20. Maltas A., Sinaj S. (2014) Les cendres de bois: un nouvel engrais pour l'agriculture suisse. *Recherche Agronomique Suisse* No. 6, p. 232–239
 21. Merino A., Otero V., Omil B., Lastra B., Piñeiro V., Gallego P. G. (2006) Application of wood ash compared with fertigation for improving the nutritional status and fruit production of kiwi vines. *Journal Plant Nutrition Soil Science* Volume 169, p. 127–133
 22. Merino A., Omil B., Hidalgo C., Etchevers J. D., Balboa M. A. (2017) Characterization of the organic matter in wood ash from biomass power plants in relation to the potential use as amendments in agriculture. *Land Degradation and Development* No. 28 p. 2166-2175 [Tiešsaite] [skatīts 2020. g. 9.jan.] Pieejams: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ldr.2743>
 23. Ozolinčius R., Varnagirytė, I. (2005) Effects of wood ash application on heavy metal concentrations in soil, soil solution and vegetation in a Lithuanian Scots pine stand. *Forestry Studies* Volume 42, p. 66–73
 24. Park, B.B., Yanai, R.D., Sahm, J.M. (2004) Wood Ash Effects on Soil Solution and Nutrient Budgets in A Willow Bioenergy Plantation. **In: Water, Air, & Soil Pollution** No.159, p. 209-224
 25. Pogulis A. (2017) Koksnes pelnu un vermikomposta ietekme uz zirņu “Lāsma” sēklu ražu un kvalitāti **No: Līdzsvarota lauksaimniecības**. Zinātniski praktiskās konferences raksti, Jelgava: LLU, 158.-161. lpp.
 26. Radiācija koksne [Tiešsaite] [skatīts 2019. g. 3.dec.] Pieejams:
<https://www.dozimeters.lv/lv/katalogs/radiacija-koksne>
 27. Rancāne S., Kārklīšs A., Lazdiņa D. (2015) Daudzgadīgo zālaugu biomasas raža un pelnu saturs, lietojot dažādu mēslojumu un pļaušanas režīmu **No: Ražas svētki “Vecauce-2015”**: Lauksaimniecības zinātne reorganizācijas laikā. Zinātniskā semināra rakstu krājums. Jelgava: LLU, 62.-65. lpp.
 28. Risse M., Gaskin J. (2010) Best management practices for wood ash as agricultural soil amendment. The University of Georgia and Ft. Valley State

- University, the U.S. Department of Agriculture and counties of the state cooperating. Bulletin 1142, p. 4 [Tiešsaite] [skatīts 2019.g. 6.dec.] Pieejams: https://www.researchgate.net/publication/278007526_Best_management_practices_for_wood_ash_as_agricultural_soil_amendment
29. Schiemenz K., Eichler-Löbermann B. (2010) Biomass ashes and their phosphorus fertilizing effect on different crops *In: Nutrient Cycling in Agroecosystem* No. 87: p. 471 - 482
 30. Serafimova E., Mladenov M., Mihailova I., Pelovski Y. (2011) Study on the characteristics of waste wood ash. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, Volume 46, 1, p. 31-34
 31. Zariņš D. (2011) Rekomendācijas radioaktīvā piesārņojuma kontroles sistēmas Klasteru attīstības programmas projekta „Latvijas Elektronikas un elektrotehnikas nozares klastera attīstības projekts” ietvaros (LR Ekonomikas ministrijas līdzfinansējuma līgums Nr. Līg.– 2011/08) prezentācija [Tiešsaite] [skatīts 2019.g. 6.dec.] Pieejams: https://www.letera.lv/wp-content/uploads/2017/12/prezent_seminar_letera_1.pdf
 32. Vetikko V., Rantavaara, A., Moilanen M. (2010) Uptake of ¹³⁷Cs by berries, mushrooms and needles of Scots pine in peatland forests after wood ash application. *In: Journal Environmental Radioactivity* No. 101, p. 1055–1060.
 33. Wójcik M., Stachowicz F., Masłoń, A. (2020) The Use of Wood Biomass Ash in Sewage Sludge Treatment in Terms of Its Agricultural Utilization. *In: Waste Biomass Valor* No. 11, p. 753–768
 34. Wójcik M., Stachowicz F. (2018) The application of biomass ashes in sewage sludge management – a SWOT analysis, *Web of Conferences* No. 44 p. 1-8, [Tiešsaite] [skatīts 2019.g. 18.dec.] Pieejams: https://www.researchgate.net/publication/326150087_The_application_of_biomass_ashes_in_sewage_sludge_management_-_a_SWOT_analysis

Literatūra 5. nodaļai

- [1] Munde, H., Svedberg, B., Mácsik, J., Maijala, A., Lahtinen, P., Ekdahl, P., and Nerén, J. (2006). Handbok; Flygaska i mark och vägbyggnad, Grusvägar. (Manual; Fly ash in civil engineering. Gravel roads.) Värmeforsk Rapport 954 Stockholm [In Swedish with English summary];
- [2] Tyllgren, P. (2008); Handbok. Slaggrus för sammansatta obundna material i väg- och anläggningsbyggande (”Slag gravel for combined unbound materials in roads and ground works - Handbook”) (in Swedish), Värmeforsk report 1054, Stockholm;
- [3] Punta, E., Lovgren, L. (2012). Ash is useful chemical substance – it is registered in the European Chemical Register. ASH 2012. Stockholm, Sweden, January 25 – 27;
- Vanhanen, H., Dahl, O., & Joensuu, S. (2014). Utilization of wood ash as a road construction material - Sustainable use of wood ashes. *Sustainable Environment Research* 24(6), 457-465;

Karltun, E., A. Saarsalmi, M. Ingerslev, M. Mandre, S. Andersson, T. Gaitnieks, R. Ozolincius and I. Varnagiryte-Kabasinskiene, (2008). Wood ash recycling - Possibilities and risks. In: D. Röser, A. Asikainen, K. Raulund-Rasmussen and I. Stupak (Eds.). Sustainable Use of Forest Biomass for Energy: A synthesis with focus on the Baltic and Nordic region. Springer, Dordrecht, Netherlands;

Pitman, R.M., (2006) Wood ash use in forestry - A review of the environmental impacts. *Forestry*, 79(5), 563-588;

Lahtinen, P., (2001). Fly Ash Mixtures as Flexible Structural Materials for Low-Volume Roads. Finnish Road Administration, Helsinki, Finland;

Brännvall, E. (2013). Suitability of fly ash for construction and land applications. Luleå: Luleå tekniska universitet. (Doctoral thesis / Luleå University of Technology);

Bjarte O. (2012). Wood ash as raw material for Portland cement. Paper presented at Ash Utilisation 2012, Stockholm, Sweden;

Kjellsen, K.O. (2008) TKT 4215 Concrete Technology 1, Ch. 5 – Cement. Compendium, NTNU;

Ronkainen, M.; Pototski, A.; Puhkim, H.; Lahtinen, P.; Niemelin, T. (2013). OSAMAT - Utilisation of Oil Shale Ashes in Road Construction. In: The XXVIII International Baltic Road Conference: The XXVIII International Baltic Road Conference, Vilnius, Lithuania, 26-28 August 2013. Vilnius, Lithuania;

Mácssik, J., Erlandsson, Å. and Wexell, B.-A. (2009) Flygaska-grönlutslamstabiliserad skogsbilväg –Fallstudie Iggesund ("Fly ash and green liquor as binder in gravel road stabilization –Pilot study at Iggesund") (in Swedish), Värmeforsk report 1101, Stockholm;

Mácssik, J., Edeskär, T., Rogbeck, Y., & Ribbing, C. (2012). Stabilization of road structures with fly ash as binder component: through demo projects to full scale use. Paper presented at Ash Utilisation 2012, Stockholm, Sweden;

Bundes - Abfallwirtschaftsplan (2006). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. ISBN 3-902 010-70-3. [skatīts 2020.gada 20. februārī]. Pieejams: <http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/>

OSAMAT (2011) LIFE + project OSAMAT [skatīts 2020.gada 20. februārī]. Pieejams: <http://osamat.ee/en/>

J. Forsman, H. Jyrävä, P. Lahtinen, T. Niemelin, and I. Hyvönen, "Mass stabilization manual," 2015.

Zinātniskajā periodikā publicēto starptautiski citējamo rakstu saraksts

- Callesen, I., Clarke, N., Lazdiņš, A., Varnagiryte-Kabasinskiene, I., Raulund-Rasmussen, K. **Nutrient release capability in Nordic and Baltic forest soils determined by dilute nitric acid extraction – Relationships with indicators for soil quality, pH and sustainable forest management.** (2019) *Ecological Indicators*, 96, pp. 540-547.
- Petaja, G., Okmanis, M., Makovskis, K., Lazdiņa, D., Lazdiņš, A. **Forest fertilization: Economic effect and impact on GHG emissions in Latvia.** (2018) *Baltic Forestry*, 24 (1), pp. 9-16.
- Lazdiņa, D., Bebre, I., Dūmiņš, K., Skranda, I., Lazdiņš, A., Jansons, J., Celma, S. **Wood ash – Green energy production side product as fertilizer for vigorous forest plantations.** (2017) *Agronomy Research*, 15 (2), pp. 468-477.
- Kļaviņa, D., Pennanen, T., Gaitnieks, T., Velmala, S., Lazdiņš, A., Lazdiņa, D., Menkis, A. **The ectomycorrhizal community of conifer stands on peat soils 12 years after fertilization with wood ash.** (2016) *Mycorrhiza*, 26 (2), pp. 153-160.
- Polmanis, K., Miežīte, O., Baumanis, I., Lazdiņš, A. **Impact of Needle cast damage on sanitary condition in young *Pinus sylvestris* stands in central Latvia.** (2016) *Research for Rural Development*, 2, pp. 41-47.
- Okmanis, M., Skranda, I., Lazdiņš, A., Lazdiņa, D. **Impact of wood ash and potassium sulphate fertilization on growth of Norway spruce stand on organic soil.** (2016) *Research for Rural Development*, 2, pp. 62-68.
- Bārdule, A., Lazdiņš, A., Sarkanābols, T., Lazdiņa, D. **Fertilized short rotation plantations of hybrid Aspen (*Populus tremuloides* Michx. × *Populus tremula* L.) for energy wood or mitigation of GHG emissions.** (2016) *Engineering for Rural Development*, 2016-January, pp. 248-255.
- Rancāne, S., Karkliņš, A., Lazdiņa, D., Berziņš, P., Bārdule, A., Butlers, A., Lazdiņš, A. **The evaluation of biomass yield and quality of phalaris arundinacea and festulolium fertilised with bio-energy waste products.** (2016) *Agronomy Research*, 14 (1), pp. 198-210.
- Kļaviņa, D., Muižnieks, I., Gaitnieks, T., Nikolajeva, V., Lazdiņa, D., Lazdiņš, A., Bārdule, A., Menkis, A. **Fungal communities in roots of scots pine and Norway spruce saplings grown for 10 years on peat soils fertilized with wood ash.** (2016) *Baltic Forestry*, 22 (1), pp. 25-33.
- Kļaviņa, D., Lazdiņš, A., Bārdule, A., Nikolajeva, V., Okmanis, M., Skranda, I., Gaitnieks, T., Menkis, A. **Fine root development and mycorrhization in Norway spruce stands one year after fertilization with potassium sulphate and wood ash.** (2016) *Journal of Forest Science*, 62 (1), pp. 17-23.
- Lazdiņa, D., Bārdulis, A., Bārdule, A., Lazdiņš, A., Zeps, M., Jansons, Ā. **The first three-year development of ALASIA poplar clones AF2, AF6, AF7, AF8 in biomass short rotation coppice experimental cultures in Latvia.** (2014) *Agronomy Research*, 12 (2), pp. 543-552.
- Kalēja, S., Grīnfelds, A., Lazdiņš, A. **Economic value of wood chips prepared from young stand tending.** (2013) *Research for Rural Development*, 2, pp. 66-72.
- Gruduls, K., Bārdule, A., Zālītis, T., Lazdiņš, A. **Characteristics of wood chips from logging residues and quality influencing factors.** (2013) *Research for Rural Development*, 2, pp. 49-54.

Lazdiņš, A., Miezīte, O., Bārdule, A. **Characterization of severe damages of spruce (*Picea abies* (L.) H.Karst.) stands in relation to soil properties.** (2011) Research for Rural Development, 2, pp. 22-28.

Lazdiņa, D., Bārdule, A., Lazdiņš, A., Stola, J. **Use of waste water sludge and wood ash as fertiliser for *Salix* cultivation in acid peat soils.** (2011) Agronomy Research, 9 (1-2), pp. 305-314.

Okmanis, M., Kalvis, T., Lazdiņa, D. **Initial evaluation of impact of evenness of spreading wood ash in forest on additional radial increment.** (2018) Engineering for Rural Development, 17, pp. 1902-1908.

Okmanis, M., Petaja, G., Lupiķis, A. **Productivity of mechanized wood ash application in forest.** (2017) Research for Rural Development, 1, pp. 62-68.