

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

**ORGANISKO VIELU SASTĀVS UN ĪPAŠĪBAS SAUSO  
BOREĀLO MEŽU AUGSNĒS LATVIJĀ  
MAGISTRA DARBS**

Autore: **Zane Žīgure**

Stud. apl. nr.: zz10036

Darba zinātniskais vadītājs:

Prof. Dr.geogr. Oļģerts Nikodemus

RĪGA 2015

## SATURS

SATURS.....	2
ANOTĀCIJA.....	3
ABSTRACT.....	4
APZĪMĒJUMU UN SAĪSINĀJUMU SKAIDROJUMI.....	5
IEVADS.....	6
1. LITERATŪRAS APSKATS.....	8
1.1. Meža augšņu organiskās vielas.....	8
1.2. Augsnis organiskā materiāla ietekmējošie faktori.....	16
1.3. Humusa formas ausieņu mežos.....	19
1.4. Antropogēnās ietekmes raksturojums.....	25
2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODES.....	28
2.1. Pētījuma materiāls.....	28
2.2. Lauka darbu metodes.....	33
2.3. Laboratorijas analīžu metodes.....	33
2.4. Datus statistiskā apstrāde.....	34
3. PARAGLAUKUMU RAKSTUROJUMS.....	36
3.1. Pētāmo Latvijas augšņu vispārējs raksturojums.....	36
3.2. Vecāku augšņu vispārējs raksturojums.....	43
3.3. Mežaparka augšņu vispārējs raksturojums.....	46
3.4. Organisko vielu daudzums un īpašības sausieņu tipa mežu augsnēs.....	51
4. REZULTĀTU INTERPRETĀCIJA UN DISKUSIJA.....	57
4.1. Organisko vielu daudzuma un īpašību novērtējums sausieņu tipa mežu augsnēs.....	57
4.2. Organisko vielu daudzuma un īpašību salīdzinājums dabisko meža ekosistēmu un Mežaparka sausieņu tipa mežu augsnēs.....	62
SECINĀJUMI.....	65
IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	66

## ANOTĀCIJA

Maģistra darbs ir par meža augšņu organiskajām vielām (kopējais ogleklis, slāpeklis, humusvielām, humīnskābām, fulvoskābām, humifikācijas indeksu) un to ietekmējošiem faktoriem, kā arī humusa formām sausieņu meža tipos Latvijā. Pētījumā noskaidrota sausieņu mežu organisko vielu sastāva un īpašību izmaiņas antropogēnās iedarbības rezultātā. Pētīta arī biotisko un abiotisko faktoru ietekme uz organisko vielu daudzumu, sastāvu un to īpašībām boreālajos sausieņu mežos Latvijā.

Pētījums parādīja, ka pastāv statistiski būtiskas un vērā ņemamas atšķirības sausieņu mežu augšņu organisko vielu sastāvā starp dabiskām mežu ekosistēmām un antropogēnās darbības ietekmētām teritorijām.

**Atslēgas vārdi:** humusa formas, humusvielas, humifikācijas indekss, antropogēnā ietekme.

## ABSTRACT

Master's thesis is about forest soil organic matter (total carbon, nitrogen, humic substances, humic acids, fulvic acids, humification index) and factors affecting it, as well as humus forms of semi-arid forest types of Latvia are examined. Also the changes of semi-arid forest organic content composition and properties due to anthropogenic exposure are determined. The impact of biotic and abiotic factors on the amount, compositions and characteristics of organic material in semi-arid boreal forests of Latvia is studied as well.

The study reveals that there are statistically significant and considerable differences in semi-arid forest soil organic matter of the natural forest ecosystems and anthropogenic affected areas.

**Keywords:** humus forms, humic substances, humification index, anthropogenic influence.

## APZĪMĒJUMU UN SAĪSINĀJUMU SKAIDROJUMI

Dm – damaksnis

EHRB – Eiropas humusa formu klasifikators (*European Humus Forms Reference Base*)

FAO – pārtikas un lauksaimniecības organizācija (*Food and Agriculture Organization*)

FS –fulvoskābes

Gr - gārša

HIX – humifikācijas indekss

HS – humīnskābes

HV – humusvielas

Ln – lāns

maA (E, AE, EA) – minerālais horizonts ar izteiktu augsnes makrostruktūru

meA (E, AE, EA) – minerālais horizonts ar izteiktu augsnes mezostruktūru

miA (E, AE, EA) – minerālais horizonts ar izteiktu augsnes mikrostruktūru

Mr – mētrājs

OF – nedzīvās zemsegas horizonta fermentācijas slānis

OF<sub>NOZ</sub> – nedzīvās zemsegas horizonta fermentācijas slānis, kurā organiskās vielas ne vairāk kā 10% ir pārveidotas augsnes dzīvnieku darbības rezultātā

OF<sub>ZO</sub> – nedzīvās zemsegas horizonta fermentācijas slānis, kurā organiskās vielas ne mazāk kā 10% ir pārveidots augsnes dzīvnieku darbības rezultātā

OH – nedzīvās zemsegas horizonta humifikācijas slānis

OL – nedzīvās zemsegas horizonta nobiru slānis, vāji sadalījies materiāls ne mazāk kā 90% no tilpuma

OL<sub>n</sub> – nedzīvās zemsegas horizonta nobiru slānis, n – jaunas nobiras

OV – organiskās vielas

sgA (E, AE, EA) – minerālais horizonts bez izteiktas struktūras

Sl – sils

TN – kopējais slāpeklis (*total nitrogen*)

TOC - kopējais organiskais ogleklis (*total organic carbon*)

Vr – vēris

## IEVADS

Mūsdienās pasaulē aizvien aktuālāka kļūst informācija par organisko vielu sastāvu un to īpašībām dažādās vidēs, tajā skaitā arī meža augsnēs, arī organisko vielu (OV) saturu augsnē Eiropas, valsts vai reģionālā līmenī. Tas skaidrojams ar pieaugošajām bažām par vides problēmām, piemēram, organisko vielu un augu barības vielu daudzuma samazināšanos, augsnes paskābināšanos, pārtuksnešošanos un klimata pārmaiņām (Rusco et al., 2001). Tieši no klimatiskajiem apstākļiem ir atkarīgi augsnes organiskā oglekļa krājumi. Mainoties klimatam (garāka veģetācijas sezona, augstāka temperatūra) sagaidāms, ka straujāk noritēs arī augsnes mineralizācijas procesi – ātrāk noārdīsies augsnē esošās organiskās vielas, ko veidojušas augu atliekas. Tas nozīmē, ka mainīsies līdzsvars starp ogļskābās gāzes piesaisti augu biomasā un ogļskābās gāzes atbrīvošanos organisko vielu noārdīšanās procesā dažādās augsnēs (Lazdiņa, bez dat.).

Organiskajām vielām augsnē ir svarīga nozīme, jo tās piedalās stabilu augsnes agregātu veidošanā (Beare et al., 1994), kā arī Zemes pedosfērā veido lielākos oglekļa krājumus (Wershaw, 2004). Eiropas augsnes ir milzīga oglekļa krātuve, kurā ir aptuveni 75 mljrd. tonnu organiskā oglekļa. Pasaules augsnēs kopumā ir aptuveni divas reizes vairāk oglekļa nekā atmosfērā un trīs reizes vairāk nekā visā augu valstī (Vanhala et al., 2008). Tās ir viens no svarīgākajiem augsnes komponentiem, un būtiski ietekmē augsnes īpašības, kā arī ir ārkārtīgi svarīgas visos augsnes procesos (Nikodemus u.c., 2008).

Maģistra darbā sevišķa uzmanība ir pievērsta arī humusvielām. Tās ir vienas no noturīgākajām un nozīmīgākajām dabiskas izcelsmes organiskajām vielām. Tās var uzskatīt par visbiežāk sastopamo organisko vielu grupu uz Zemes (Wershaw, 2004). To kopējie krājumi ir  $2-3 \times 10^{10}$  t (Jones and Bryan, 1999). (Stevenson) (1994) ir uzsvēris, ka humusvielu veidošanās ir viens no visintriģējošākajiem un vismazāk saprastajiem humusvielu ķīmijas aspektiem.

Darba aktualitāte saistāma ar to, ka klimata izmaiņu rezultātā neapšaubāmi palielinās CO<sub>2</sub> izmešu daudzums atmosfērā, kas ir saistīts ar augsnes mineralizācijas procesiem. Nozīmīgs CO<sub>2</sub> piesaistes avots ir mežs, un galvenā organisko vielu, it sevišķi oglekļa, krātuve mežā ir augsne. Atkarībā no antropogēnās darbības, meža tipa, augsnes tipa un citiem ietekmējošiem faktoriem ir atkarīgs organisko vielu, tai skaitā oglekļa uzkrāšanās daudzums un sadalīšanās ātrums augsnē. Boreonemorālā dabas zonā līdz šim nav pietiekoši veikti pētījumi par organisko vielu krājumiem meža augsnēs un to ietekmējošiem faktoriem, taņī skaitā vides piesārņojuma ietekmi uz to, kas dotu iespēju nākotnē prognozēt oglekļa krājumu izmaiņas. Tas arī nosaka maģistra darba aktualitāti.

Maģistra **darba mērķis** izriet no tēmas aktualitātes un tas ir: noskaidrot organisko vielu daudzumu, sastāvu un ķīmiskās īpašības atkarībā no augsnes humusa formas dabiskās meža ekosistēmās un pilsētas mežos sausajos boreālajos meža tipos.

**Darba uzdevumi:**

1. veikt zinātniskās literatūras analīzi par mežu augsnes organiskajām vielām un to ietekmējošiem faktoriem;
2. ievākt augsnes paraugus, vienlaikus nosakot humusa formas dabiskos mežos un Rīgas pilsētas mežaparkos, augšņu organisko vielu izpētei un raksturošanai;
3. veikt ievākto augsnes paraugu analīzes, nosakot organisko vielu ķīmisko sastāvu (kopējais ogleklis, slāpeklis, pH, humusvielas, humīnskābes, fulvoskābes, humifikācijas indekss);
  - 3.1. noskaidrot abiotisko un biotisko faktoru, kā arī antropogēnās darbības ietekmi uz organisko vielu daudzumu, sastāvu un to īpašībām;
  - 3.2. noskaidrot atšķirības kopējā oglekļa un slāpekļa saturā, kā arī pH izmaiņas un humusvielu ķīmiskās īpašības dabiskās meža ekosistēmās un pilsētas mežos.

Maģistra darbs aptver laika posmu no 2014. gada aprīļa līdz 2015. gada maijam. Pētījumi tika izdarīti 23 Eiropas meža monitoringa I līmeņa parauglaukumos un Pierīgas teritorijā - 20 parauglaukumi Mežaparka un 5 parauglaukumi Vecāķu sausieņu mežos. Darba autore piedalījies paraugu ievākšanā, laboratorijas analīžu veikšanā, datu statistiskajā apstrādē un iegūto rezultātu interpretācijā.

Maģistra darbs sastāv no 4 nodaļām. Pirmajā nodaļā ir sistematizēta informācija par sausieņu mežiem, meža augsnēm, organiskajām vielām, to īpašībām un ietekmējošajiem faktoriem, kā arī par humusa formām. Otrajā nodaļā ir pamatoti etalonteritoriju atlases principi un aprakstītas izvēlētās pētījumu metodes. Trešā nodaļa sastāv no pētījumu rezultātiem un parauglaukumu raksturojumiem. Ceturtajā nodaļā iztirzāti pētījuma rezultāti un veikta to interpretācija.

Maģistra darba kopējais apjoms ir 70 lapaspuses. Darbā ir 19 attēli, 12 tabulas un 4 pielikumi. Bakalaura darba izstrādei izmantots 91 literatūras avots.

# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. Meža augšņu organiskās vielas

Latvijas mežos izveidojusies ļoti liela augšņu daudzveidība. Tā radusies, ilgstošā laikposmā savstarpēji iedarbojoties septiņiem augsni veidojošiem faktoriem: klimatam, cilmiežiem, bioloģiskajiem faktoriem, reljefam, ūdens režīmam, augsnes vecumam un cilvēka saimnieciskajai darbībai (Meža enciklopēdija, 2003).

Pēc mitruma režīma augsnes iedala 3 klasēs – automorfās, pushidromorfās un hidromorfās augsnes. Maģistra darba ietvaros autore aplūkoja automorfās augsnes, kas veidojušās normālos mitruma apstākļos reljefa pacēlumos vai līdzenumos, kur ir laba dabiskā notece, gruntsūdens atrodas dziļi, un mitrums rodas no nokrišņiem kapilārās pacelšanās un kondensācijas ceļā augsnes virsējos horizontos. Pie šīs klases pieder 6 augšņu tipi: velēnu karbonātaugsnes, brūnaugsnes, podzolaugsnes, podzoli, nepilnīgi izveidotās augsnes un antropogēnās augsnes (Meža enciklopēdija, 2003).

Augsnes ir pakļautas temperatūras un mitruma izmaiņām, kas var izraisīt augšņu fizikālās un ķīmiskās izmaiņas. Vairāki pētījumi (Field et al., 2007 and Zheng et al., 2009) liecina, ka oglekļa mineralizācija palielinās līdz ar temperatūras paaugstināšanos, un relatīvais pieaugums ir atkarīgs no standarta temperatūras. Arī izpratne par to, kā ūdens klātbūtne ietekmē oglekļa un slāpekļa pārveidošanu ir būtiska, lai varētu prognozēt augsnes organisko vielu dinamiku un novērtēt augiem pieejamo barības vielu daudzumu, jo īpaši slāpekli (Harrison-Kirk et al., 2013).

Augsnes īpašības, piemēram, organiskā oglekļa un kopējā slāpekļa saturs, pH mainās atkarībā no koku sugām. Tas skaidrojams ar to, ka atšķiras skuju un lapu nobiru ķīmiskais sastāvs (Kasparinskis, 2012). Piemēram, 2015. gada pētījumā Polijā „Novērtējums C:N attiecībai kā indikatoram organisko vielu degradācijai meža augsnēs”, kurā 26 augsnes profili bija skujkoku mežos un 22 augsnes profili – skuju – lapu koku mežos, tika konstatēts, ka vidējais augsnes organiskā oglekļa saturs skujkoku augšņu organiskajos horizontos bija augstāks nekā skuju – lapu koku mežos. Turpretī vidējais slāpekļa saturs augsnes organiskajos horizontos skujkoku un skuju – lapu koku mežos bija līdzīgs. Tāpēc arī C:N attiecība augsnes organiskajos horizontos augstāka bija skujkoku mežos nekā skuju – lapu koku mežos (Ostrowska and Porebska, 2015).

Arī 2014. gadā N. Cools u.c. veiktais pētījums, kas aptvēra 4000 parauglaukumus Eiropas mežos, parādīja, ka C:N attiecība ir atkarīga no koku sugām (Cools et al., 2014).

Svarīgs augsnē noritošo procesu rādītājs ir audzes ikgadējais augu barības vielu patēriņš un nobirās atgrieztais barības vielu daudzums. Ne mazāk svarīgs ir slāpekļa un minerālvielu

daudzums nobirās. Svarīga augu loma izpaužas arī tajā ziņā, ka augiem piemīt bioloģisko vielu uzņemšana. Augu saknes neuzsūc ķīmiskos elementus tādās attiecībās, kādā tie atrodas apkārtējā vidē, bet gan citās. Tāpēc augsnes humusa kārtā vielu bioloģiskajā apritē uzkrājas C, N, P, S, K un citi elementi, kas nepieciešami augu augšanai (Mežals, 1980). Boreālajos mežos organiskās vielas uz augsnes virsmas visbiežāk uzkrājas kā *mor* humuss (Ponge, 2003).

Organisko vielu sajaukšanās ātrums ar minerālaugšni samazinās relatīvi skābās skuju koku mežaudzes augsnēs, jo augsnes fauna ir mazāk aktīva, salīdzinot ar lapu koku audzēm, kur ir augstāka bioloģiskā aktivitāte, kas nodrošina organisko vielu degradāciju un humifikāciju (Thuile and Schulze, 2006).

Ar terminu „augšnes organiskās vielas” apzīmē visus augu un dzīvnieku cilmes organiskos materiālus – gan sadalītus, gan arī nesadalītus, taču ne pašus dzīvus organismus (Kārklīšs, 2008). Augšnes organiskās vielas ir nozīmīgs augsnes struktūras elements, kas palīdz veidot stabilus augsnes agregātus (Beare et al., 1994).

Augsnes organiskās vielas ir viens no svarīgākajiem augsnes komponentiem, un tās būtiski ietekmē augsnes īpašības un tajā notiekošos procesus (Nikodemus u.c., 2008).

Organisko vielu daudzums augsnē var mainīties no 0,5% līdz 5% minerālajās augsnēs un līdz pat 100% ar organiskajām vielām bagātās augsnēs (Nikodemus u.c., 2008), tomēr lielākā daļa augsnes satur 2-10% organiskās vielas, kas pat nelielos daudzumos ir ļoti svarīgas (FAO, 2005). Organisko vielu samazināšanās augsnē notiek tāpēc, ka humusa lielākā daļa šķīst augsnes šķīdumā, veidojot augu barības vielas (Nikodemus u.c., 2008).

Augsnes organiskās sastāvdaļas (augšnes organiskās vielas) sastāda lielāko oglekļa daudzumu Zemes virsmā (Wershaw, 2004). Organiskās vielas ir augsnes mikroorganismu enerģijas avots. Ja augsnē nebūtu organisko vielu, tad bioķīmiskā aktivitāte būtu niecīga (Jones et al., 2003). Organisko vielu sadalīšanās ātrums un enerģijas aprīte meža ekosistēmā ir atkarīga no augsnes tipa. Turklāt organisko vielu daudzums augsnē ir atkarīgs no augsnes virsējo slāņu organiskās vielas samazināšanās un palielināšanās funkcijas, ko pavada degradācijas process, līdz ar to minerālaugsnes A horizonta veidošanās ir atkarīga no veģetācijas (Kasparinskis, 2012).

Organiskās vielas ietekmē augsnes fizikālos apstākļus vairākos veidos. Tās palīdz aizsargāt augsni no lietus, vēja un saules ietekmes (FAO, 2005), kā arī pasargā augsni no pārāk straujām pH izmaiņām (Wershaw, 2004). Augu pārpalikumi, kas aptver augsnes virsmu, aizsargā augsni no sablīvēšanās, tādējādi uzlabojot lietus ūdens iesūkšanos un noteces samazināšanos. Palielināts organisko vielu daudzums netieši veicina augsnes porainību. Svaigas organiskās vielas stimulē augsnes makrofaunas, piemēram, slieku aktivitāti. Organiskās vielas un augsnes organismi spēlē svarīgu lomu augsnes īpašību saglabāšanā un

uzlabošanā, kas ir saistīta ar augsnes noturību (FAO, 2005). Lielā mērā no organisko vielu daudzuma augsnē ir atkarīgas arī augsnes raksturīgās īpašības, piemēram, bufer spēja, metālu saistīšanas spēja, augsnes struktūra, kā arī ūdens aiztures spēja (Wershaw, 2004).

Sekmīgu mirušā materiāla sadalīšanos un organisko daļiņu pārveidošanos, kā rezultātā veidojas sarežģītākas organiskās vielas – humus (no latīņu valodas „*humus*” – zeme, augsne), sauc par humifikāciju (1.1. attēls) (Juma, 1998).



1.1. attēls. **Organisko vielu transformācijas evolūcija – humifikācija** (Purmālis un Šīre, 2013)

Humifikācijas procesa ātrumu raksturo vairāki parametri:

1. vides apstākļi (temperatūra, vides reakcija, u.c.),
2. materiālu daudzums, kas tiek iesaistīts humifikācijas procesā,
3. heterotrofisko organismu kopienas, kuras pārtiek no organiskajām atliekām (Purmālis un Šīre, 2013).

Organisko vielu transformācijas laikā jeb humifikācijas procesā mikroorganismi noārda un patērē metabolismam lielāko daļu no organisko atlieku sastāvā esošo ogļhidrātu, lipīdu, nukleīnskābju un olbaltumvielu. Dažas no šīm vielām, piemēram, cukuri un ciete, ir vieglāk sadalāmas, bet celuloze un hemiceluloze mikroorganismu darbības ietekmē noārdās grūtāk. Visnoturīgākie pret bioloģisko degradāciju ir lignīns, tauki un vaski (Ziechmann, 1994). Lai humifikācijas process noritētu pietiekami enerģiski, un mežaudzēs uzkrātos daudz aktīvā trūda, kas nodrošina augstas bonitātes audzes veidošanos, ir jārada optimāls hidrotermiskais un gaisa režīms (Mežāls, 1980). Būtiskākā nozīme oglekļa saturam augsnes humusā ir augsnes mitruma apstākļiem - paaugstināti mitruma apstākļi kavē organisko vielu sadalīšanos, līdz ar to veicina oglekļa akumulāciju (Žīgure, 2013).

Augsnes organiskās vielas var iedalīt divās lielās grupās: nehumificētās vielas un humificētās (Schnitzer and Khan, 1972). Nehumificētās vielas, piemēram, ogļhidrāti, peptīdi, aminoskābes, lipīdi, u.c., veido savienojumi ar zemu molekulmasu, kuru uzturēšanās laiks ir relatīvi īss un mikroorganismi var relatīvi ātri sadalīt. Humificētās vielas jeb humusvielas ir lielmolekulāri organiski savienojumi, kuriem raksturīga augsta molekulmasa un noturīgums vidē (Aiken et al., 1985).

Humusa forma meža ekosistēmā ataino gan notiekošos procesus, gan arī ietekmē tos. Tiek uzskatīts, ka humusa formām ir ļoti svarīga nozīme bioloģiskās daudzveidības nodrošināšanā sauszemes ekosistēmās. Attiecībās starp humusa formu un augu bioloģisko daudzveidību var atrast sakarību starp barības vielu pieejamību (vai augsnes skābumu) un bioloģisko daudzveidību. Salīdzinot platlapju mežu audzes, augu sugu skaits samazinās no *mull* humusa, kurā ir aktīva slieku darbība, uz *moder*, un novērotais samazinājums ir lineāra funkcija ar humusa indeksu (Ponge, 2013).

Augu atlieku sadalīšanās un humusa veidošanās dabiskos meža apstākļos ir ļoti sarežģīta. Atlieku sadalīšanās, humifikācija, kā arī humusa mineralizācijas procesi notiek ne vien tiešā mikroorganismu un augsnes faunas iedarbībā, bet arī gaisa skābekļa, ūdens, temperatūras, vides reakcijas, augu atlieku un augsnes ķīmiskā sastāva ietekmē. Straujāka augu atlieku sadalīšanās notiek tur, kur augu atliekās ir vairāk slāpekļa un kalcija, kā arī atbilstoši mitruma, gaisa un temperatūras apstākļi (Mežals, 1980). Arī smagie metāli augsnē izraisa būtiskas izmaiņas, jo, pārveidojot bioķīmiskus procesus, var iedarboties uz bioloģisko aktivitāti. Tā kā smago metālu joniem ir tieksme saistīties ar organiskiem savienojumiem, tad liela to uzkrāšanās var aizkavēt organisko vielu noārdīšanos meža augsnēs (Gianfreda and Bollag, 1996).

Sausieņu mežu humusa formās organiskā oglekļa saturs parasti samazinās līdz ar augsnes dziļumu, respektīvi, OL: 20 - 45%, OF: 25 - 40%, OH: 20 - 35%, A: 1 - 20%. C:N attiecība arī samazinās par pusi savas vērtības no organiskā līdz organo - minerālajam horizontam, piemēram, no 30% organiskajā līdz 15% organo – minerālajā horizontā (Zanella et al., 2011).

2014. gada pētījumā Čehijā tika izraudzīti 26 parauglaukumi – 13 skujkoku mežos un 13 lapu koku mežos. Rezultāti pierādīja, ka veģetācijas ietekme uz biomasu, mineralizēšanās ātrums un augsnes organismu fizioloģija visizteiktākā ir OF horizontā, un tā samazinās līdz ar dziļumu. Šajā pētījumā augstāka organiskā oglekļa koncentrācija tika konstatēta skujkoku mežu augsnēs (OF, OH) nekā lapu koku, kur bija arī biezāks organiskais horizonts. OF un OH horizontā organiskā oglekļa koncentrācija augstāka bija skujkoku mežos, kamēr veģetācijas ietekme uz kopējo slāpekļa saturu bija statistiski nozīmīga tikai OH horizontā. Spēcīga negatīva saistība starp pH un organisko oglekli tika konstatēta abos organiskajos horizontos. Atšķirībā no organiskajiem horizontiem, meža tipam un pH nebija saskatāma ietekme uz organisko oglekli un kopējo slāpekli 0-10 cm slānī. Šie rezultāti apstiprināja vispārējo uzskatu, ka mikroorganismu aktivitātes palielinās līdz ar pH, tomēr vēl ir nepieciešami dati, lai saprastu augsnes mikroorganismu atšķirīgās lomas barības vielu aprites ciklā skābās un kaļķainās augsnēs (Maly et al., 2014).

Meža augsnēs slāpekļis atrodas augsnes organiskajās vielās, it sevišķi humusā, kurā tas atkarībā no reakcijas un aktīvā kalcija satura aizņem 3,5 – 5,5% no humusa, bet kopējais slāpekļa daudzums minerālaugšņu virsējos horizontos sastāda 0,05 - 0,85%. Kopējā slāpekļa koncentrācija Eiropas meža zemsegā variē no 5 līdz 20 g kg<sup>-1</sup> (Lazdiņš, 2008).

### 1.1.1. Augsnes humusvielas

Augsne sastāv no organiskajām un neorganiskajām vielām, kā arī dzīvjiem mikroorganismiem. Dabā sastopamo organisko vielu galvenās sastāvdaļas ir humusvielas. Tieši humusvielas ir vienas no visvairāk izplatītākajām organiskajām vielām (Aiken et al., 1985). Tās sastāv no humīnskābēm, fulvoskābēm un humīniem (1.2. attēls). Humusvielas veidojas, sadaloties dzīvjiem organismiem (Wershaw, 2004).



1.2.attēls. Augsnes organisko vielu sastāvdaļas (izstrādājusi autore, izmantojot Wershaw, 2004)

Par humusvielu uzbūvi, izcelsmes avotiem, īpašībām un nozīmi dažādās vidēs zinātnieku vidū vēl joprojām nav vienota uzskata. Humusvielu nomenklatūras un terminoloģijas izstrādi sarežģī tas, ka tās nav viendabīgi bioķīmiski savienojumi, kurus līdz ar to nevar aprakstīt kā precīzi definētu struktūru vai pēc noteiktām funkcijām vidē (Aiken et al., 1985). Literatūrā humusvielām ir atrodamas daudz un atšķirīgas definīcijas (Stevenson, 1982; Aiken et al., 1985; Hayes et al., 1989; u.c.), kurās tās tiek aprakstītas pēc to izdalīšanas vai frakcionēšanas metodēm, kā arī ķīmiskajām īpašībām. Tomēr visbiežāk lietotās un sastopamās ir Aikena un Stīvensona definīcijas. Aikens un līdzautori humusvielas apraksta kā galvenās dabīgi sastopamās, biogēnās un heterogēnās organisko vielu daļas, kurām raksturīga dzeltenbrūna krāsa, augsta molekulmasa un noturīgums vidē (Aiken et al., 1985). Turpretī Stīvensons humusvielas aprakstījis kā fizikāli un ķīmiski heterogēnus organiskos savienojumus ar plašu krāsu spektru (no dzeltenas līdz melnai) un relatīvi augstu molekulmasu (Stevenson, 1982).

Tās ir nozīmīgs augsnes komponents un ietekmē augsnes fizikālās un ķīmiskās īpašības, kā arī uzlabo augsnes auglību (Wershaw, 2004). Humusvielu loma neapšaubāmi ir nozīmīga, jo tās veido galvenos sauszemes oglekļa krājumus, kas ir būtiski organiskā oglekļa globālajā aprites ciklā. Humusvielu formās atrodas aptuveni 60 – 70 % no augsnes kopējā organiskā oglekļa (Aiken et al., 1985).

Humusvielas ir specifiskas vielas, kas veido humusa masas lielāko un svarīgāko daļu (melnzemēs – 80 - 90%, podzolētajās augsnēs – 40 - 50%). Raksturīga humusvielu sistēmas īpašība ir tās daudzveidība un spēja saistīt dažādus humifikācijas stadijas komponentus. Humusvielas veido heterogēnu sistēmu, kam raksturīga tās komponentu daudzo īpašību dinamiskā izmaiņa un spēja sadalīties vairākās frakcijās, kurām relatīvi vienāds uzbūves tips, bet atšķirīgs ķīmiskais sastāvs, daļiņu lielums, migrācijas spējas un nozīme augsnes veidošanās procesā (Mežals, 1980). Tās ir vielas ar relatīvi lielu molekulu masu, no dzeltenīgas līdz melni krāsotai vielu sistēmai (Wershaw, 2004).

Viens no faktoriem, kas var ietekmēt piesārņojuma likteni vidē ir mijiedarbība ar dabiskajām organiskajām vielām (Schnitzer and Khan, 1972). Humusvielas ir galvenā organisko vielu grupa, un tām ir būtiska loma vides piesārņojuma līmeņa veidošanā un migrācijā, kā arī piesārņojošo vielu transformācijas procesā, kas skaidrojams ar humusvielu spēju veidot stabilus kompleksus ar metālu joniem, toksiskām organiskajām vielām un izmainīt to kustīgumu vidē (Lassen, 1995).

Vidē humusvielas raksturo augsts noturīgums. To stabilitāte var pieaugt, ja tās saistās ar augsnes minerālo fāzi. Tieši augstais noturīgums vidē tās atšķir no individuālām identificējama sastāva organiskajām vielām. Humusvielām ir ļoti sarežģīta struktūrformula, jo tās sastāv no heterogēna sastāvdaļu maisījuma (Weber, 1997).

Humusvielas var veidoties dažādās vidēs – šādām humusvielām ir autohtona izcelsme, vai arī tās var tikt ienestas no saistītām vidēm - allohtona izcelsme (Aiken et al., 1985).

Nestabilāko savienojumu sabrukšana humusvielās veido struktūras, kas vidē ir bioloģiski noturīgas, tieši tāpēc humusvielu vecums var sasniegt pat vairākus desmitus tūkstošus gadu (Eglīte, 2007).

Runājot par humusvielu sastāvu, procentuāli lielāko daļu veido ogleklis (40 - 60%), skābeklis (30 – 35%), slāpeklis (0,8 – 3%) un ūdeņradis (4 – 6%). To savstarpējo attiecību nosaka humīnskābju, fulvoskābju un humīna attiecība, kā arī organisko vielu humifikācijas pakāpe (Nikodemus u.c., 2008).

Tiek uzskatīts, ka humusvielas var savstarpēji pārvērsties humifikācijas gaitā. Dzīvo organismu atliekām sadaloties, veidojas mazākas molekulas (fulvoskābes), bet tālākā humifikācijas procesa gaitā tās var savstarpēji reaģēt un veidot lielākas molekulas

(humīnskābes). Savukārt humīnskābes, tām sadaloties, var atkal veidot fulvoskābes, kurām ir maza molekulmasa, bet augsta aromātisko grupu koncentrācija (Eglīte, 2007).

Vidē humusvielas pilda vairākas svarīgas funkcijas:

1. *akumulatīvā funkcija* – augsnē uzkrājas ar humusvielām saistītie dzīvo organismu barošanās elementi: 90–99% N, ievērojama daļa P un S, kā arī K, Ca, C, Mn, Fe un gandrīz visi mikroelementi;
2. *regulējošā funkcija* – nosaka daudzus vidē norisošos procesus, piemēram, augsnes struktūru un fizikālo īpašību veidošanos, augu barošanos, augsnes siltuma režīma regulēšanu, u.c.;
3. *fizioloģiskā funkcija* – galvenokārt izpaužas kā humusvielu tieša fizioloģiskā iedarbība uz augiem un mikroorganismiem;
4. *aizsargfunkcija* – darbojas kā „ģeoķīmiskā barjera”, piemēram, aizsargā augsni no sausuma un pārmērīga mitruma, pasargā augsni no erozijas un deflācijas;
5. *transporta funkcija* – uzlabo barības vielu apriti gan augos, gan dzīvniekos (Purmālis un Šīre, 2013).

Pēc sastāva, veidošanās apstākļiem, šķīdības pakāpes ūdenī un īpašībām brīvās humusvielas iedala šādi:

1. humīnskābes (tumšas),
2. fulvoskābes (gaišas),
3. humīns (Aiken et al., 1985).

Humusskābes, kas sastāv no humīnskābēm un fulvoskābēm, ir augsnes humusa vissvarīgākais komponents. Abas humusskābju grupas ir ļoti heterogēnas kā pēc molekulsvāra, tā arī pēc sastāva un īpašībām (Mežals, 1980). Humīnskābes (HS) un fulvoskābes (FS) elementsastāvu par 98 -100% veido: C, H, O, N, S un P (neieskaitot pelnu saturu). Pie tam humīnskābes satur 50-60% C, 30-35% O, 4-6% H, 2-4% N, bet fulvoskābes raksturo mazāks C (40-50%) un lielāks O (~40%) saturs, salīdzinot ar humīnskābēm (1.1. tabula) (Wershaw, 2004).

Humusskābes var uzlabot augsnes struktūru, paaugstināt un saglabāt augsnes barības vielas un mainīt augsnes vidi (Zhang-Jun et al., 2014).

**Humīnskābju un fulvoskābju elementsastāvs** (Wershaw, 2004).

Humusvielas	C, %	H, %	N, %	S, %	O,%	Pelni, %
<b>Humīnskābes</b>	56,4	5,5	4,1	1,1	32,9	0,9
<b>Fulvoskābes</b>	49,5	4,5	0,8	0,3	44,9	2,4

Otrs nozīmīgs humusvielu uzbūves un īpašību raksturlielums ir funkcionālo grupu sastāvs (1.2. tabula).

**Humīnskābju un fulvoskābju funkcionālo grupu vidējās vērtības (meq g<sup>-1</sup>)** (Weber, 1997).

Funkcionālās grupas	Humīnskābes	Fulvoskābes
<b>Kopējais skābums</b>	6,7	10,3
<b>COOH</b>	3,6	8,2
<b>Fenolu OH</b>	3,9	3,0
<b>Spirtu OH</b>	2,6	6,1
<b>Karbonilgrupas (C = O)</b>	2,9	2,7
<b>Metoksigrupas (OCH<sub>3</sub>)</b>	0,6	0,8

**Humīnskābes** (*HS*) ir lielmolekulāras slāpekli saturošas cikliskas uzbūves organiskas skābes ar līdzīgām vispārējām īpašībām un ķīmisko struktūru, bet nedaudz atšķirīgu sastāvu (Mežals, 1980). Tās ir galvenais komponents, kas tiek izdalīts no augsnes humusvielām. Humīnskābes ir humusvielu frakcija, kas nešķīst ūdenī skābā vidē (pH<2), bet šķīst pie augstākām pH vērtībām. To krāsa svārstās no tumši brūnas līdz melnai (Weber, 1997). Tīrā veidā humīnskābes ir melns, spīdīgs amorfs pulveris (Meža enciklopēdija, 2003).

Humīnskābēs atrodas biogēnie elementi: C, H, O un N. To procentuālais sastāvs mainās pa augšņu zonām atbilstoši augšņu tipam, augu atlieku ķīmiskajam sastāvam, humifikācijas apstākļiem un klimatam (Mežals, 1980), tomēr vidēji humīnskābes satur 3,5 – 5% slāpekļa (Meža enciklopēdija, 2003). Humīnskābes satur arī minerālvielas – Ca, K, P, S, Fe, Al un Si (Mežals, 1980).

Visas humīnskābes veidotas no vairākiem aromātiskiem un cikliskiem savstarpēji savienotiem gredzeniem. To kodola sastāvā galvenokārt ir benzola, furāna, pirola, piridīna atvasinājumi ar aminoskābju, ogļhidrātu un citām sānrindām. Humīnskābes viegli savienojas ar divvērtīgiem un trīsvērtīgiem katjoniem, koagulējas un veido ūdenī nešķīstošus humātus. Turpretī savienojumā ar nātriju viegli šķīst un izskalojas no augsnes. Humāti savieno atsevišķas augsnes daļiņas un veido augsnes struktūru (Meža enciklopēdija, 2003).

Humīnskābju saturs tieši nosaka augsnes auglības līmeni, un tās mijiedarbojas ar organisko un neorganisko piesārņotāju (Zhang-Jun et al., 2014).

**Fulvoskābes** (*FS*) ir lielmolekulāras oksikarbonskābju grupas slāpekli saturošas organiskās skābes, humusa sastāvdaļa (Mežals, 1980), kuru vidējā ķīmiskā formula ir  $C_{135}H_{182}O_{95}N_5S_2$ . To nosaukums atvasināts no latīniskā *fulvus*, norādot uz to dzeltenu krāsu. Ūdeņraža – oglekļa attiecība ir lielāka par 1:1, kas norāda uz mazāk aromātisku raksturu (mazāk benzola gredzenu struktūra), savukārt skābekļa – oglekļa attiecība ir lielāka par 0,5:1, kas norāda uz vairāk skābu raksturu nekā citās humusa organiskajās frakcijās, piemēram, humīnskābēs, kā arī citos skābajos polimēros, ko var iegūt no humusa (Encyclopædia Britannica, 2014).

Atšķirībā no humīnskābēm fulvoskābes ir humusvielu frakcija, kas šķīst ūdenī pie jebkura pH (Weber, 1997), kā arī spirtos, skābēs un sārmos. Fulvoskābes paliek šķīdumos arī tad, kad pēc paskābināšanas tiek izdalītas humīnskābes. Fulvoskābju krāsa variē no gaiši dzeltenas līdz dzeltenai brūnai (Weber, 1997). Tie ir koloidāli šķīdumi ar stipri skābu reakciju (pH 2,6 – 2,8) (Mežals, 1980), ir īpatnēja smarža (Meža enciklopēdija, 2003).

Fulvoskābes augsnes šķīdumos atrodas brīvā veidā un kompleksos ar humīnskābēm, bet to aktivitāte atkarīga no brīvo fulvoskābju daudzuma augsnes šķīdumā un šķīduma koncentrācijas (Mežals, 1980). Ar vienvērtīgiem un divvērtīgiem katjoniem tās veido ūdenī šķīstošus sāļus - fulvātus (alumīnija un dzelzs fulvāti ūdenī nešķīst). Fulvoskābju šķīdumi veicina augsnes minerālās daļas noārdīšanos. Ieskalojoties augsnē, fulvoskābes kopā ar trīsvērtīgajiem katjoniem veido kompleksus savienojumus, kas izgulsnējas augsnes iluviālajā horizontā (Meža enciklopēdija, 2003).

Ķīmiskā sastāva ziņā fulvoskābes atšķiras no humīnskābēm ar lielāku karboksilgrupu, metoksilgrupu un fenolhidroksilgrupu skaitu, kā arī augstāku disociācijas pakāpi. Fulvoskābēs ir vairāk skābekļa nekā humīnskābēs, bet mazāk oglekļa un slāpekļa (Mežals, 1980). Fulvoskābes ir mazāk aromātiskas (Eglīte, 2007).

## **1.2. Augsnes organiskā materiāla ietekmējošie faktori**

Kopumā meži aizņem mazāk nekā vienu trešdaļu no Zemes sauszemes virsmas, tomēr tie nodrošina 52-72% no pasaules primārās biomasas ražošanas un satur apmēram 80% no virszemes oglekļa daudzuma (Melillo et al., 1993), kur kā galvenie vides un edafiskie faktori, kas kontrolē augsnes biotas aktivitāti un līdz ar to līdzsvaru starp organisko vielu uzkrāšanos un sadalīšanos jāmin:

- temperatūra,
- augsnes mitrums,

- granulometriskais sastāvs,
- topogrāfija,
- cilmiezis,
- augsnes reakcija,
- veģetācija.

## **Temperatūra**

Vairāki lauka pētījumi ir pierādījuši, ka temperatūra ir viens no galvenajiem faktoriem, kas kontrolē augu atlieku sadalīšanās ātrumu. Vēsāka klimata apstākļos parasti augsnē ir vairāk organisko vielu, jo ir lēnāka mineralizācija (FAO, 2005). Temperatūras un nokrišņu daudzumu izmaiņām, kuras tiek prognozētas saistībā ar globālajiem klimata pārmaiņas scenārijiem, būs milzīga ietekme uz sugu daudzveidību un meža produktivitāti, kā rezultātā būs novērojamas arī kvalitatīvas un kvantitatīvas izmaiņas augsnes detritā. Šīs izmaiņas var ietekmēt augsnes organisko vielu sadalīšanās ātrumu, tādējādi mainot organiskās vielas saturu un dinamiku augsnē (Carillo et al., 2010). Tāpat ar gaisa temperatūras izmaiņām skaidrojams tas, ka organisko vielu līmenis ir augstāks nogāzes ziemeļu pusē, nekā uz dienvidiem vērstajām nogāzēm (Quideau, 2002). Klimatam ir tieša un netieša ietekme uz augsnes veidošanās procesiem. Tiešā ietekme izpaužas siltuma un nokrišņu sadalīšanās. Klimata netieša ietekme izpaužas augu valsts attīstībā, kas savukārt būtiski ietekmē augšņu veidošanās procesu attīstību (Mežals, 1980).

## **Augsnes mitrums**

Organisko vielu saturs augsnē parasti palielinās līdz ar vidējo nokrišņu daudzuma pieaugumu. Augsnes bioloģiskajai aktivitātei ir nepieciešams gaiss un mitrums. Optimālā mikrobioloģiskā aktivitāte notiek pie augsnes kapacitātes, kad augsnes poras ir pildītas ar 60% ūdens (Linn and Doran, 1984). No otras puses ūdens pārbagāti periodi augsnē izraisa sliktu aerāciju. Lielākajai daļai augsnes organismu ir nepieciešams skābeklis, un tādējādi, samazinoties skābekļa daudzumam augsnē, samazinās arī mineralizācijas ātrums, jo šie organismi kļūst neaktīvi vai pat iet bojā. Daži procesi kļūst anaerobi, kas var radīt bojājumus augu saknēm (FAO, 2005). Vietās, kur ūdens nav ierobežojošais faktors, temperatūra ir viens no galvenajiem abiotiskajiem faktoriem bioloģiskajā aktivitātē. Tomēr augsnes mitrums samazinās arī saistībā ar iztvaikošanu un sausumu. Temperatūra un augsnes mitrums var mijiedarboties, tāpēc to ietekmi nevar viegli atdalīt (Pronk et al., 2013).

## **Augsnes granulometriskais un minerālu sastāvs**

Augsnes organisko vielu daudzumam ir tendence palielināties līdz ar māla satura pieaugumu. Šis pieaugums atkarīgs no diviem mehānismiem. Pirmkārt, saites starp māla daļiņām un organiskajām vielām kavē sadalīšanās procesu. Otrkārt, augsnes ar augstāku māla saturu palielina potenciālās iespējas augsnes agregātu veidošanā. Makroagregāti fiziski aizsargā augsnes organiskās vielas no turpmākas mineralizācijas, kas saistāms ar mikroorganismu „uzbrukumu” (Prasad and Power, 1997). Piemēram, kaolinītam – galvenajam mālu minerālam daudzās kalnu augsnēs tropos ir daudz mazāka īpatnējā virsma un barības vielu apmaiņas spēja nekā lielākajā daļā citu māla minerālu. Tādējādi kaolinīta augsnes satur ievērojami mazāk māla humusa kompleksu (Uehara un Gilman, 1981).

## **Topogrāfija**

Topogrāfija nosaka vielu, šķīdumu un enerģijas sadalīšanu pa augšņu virsmu. Uz dažādiem tā elementiem nokļūst atšķirīgs ūdens, siltuma un minerālvielu daudzums. Tas viss būtiski ietekmē augu un dzīvnieku darbību, bet galvenais – augšņu veidošanās procesu un organisko vielu uzkrāšanās tempu un attīstības virzienu (Mežals, 1980). Organisko vielu uzkrāšanās bieži ir labvēlīgāka kalna piekājē. Galvenais iemesls organisko vielu uzkrāšanai: kalna piekājē augsnes apstākļi ir mitrāki nekā vidusdaļā vai virsotnē, un organiskās vielas tiek transportētas uz zemāko punktu reljefā noteces un erozijas rezultātā (Quideau, 2002).

## **Cilmiezis**

Cilmiezis ietekmē organisko vielu uzkrāšanos ne tikai ar tā ietekmi uz augsnes tekstūru. Augsnes, kas attīstās no bagāta materiāla, piemēram, bazalta ir auglīgākas nekā augsnes, kas veidotas no granīta materiāla un satur mazāku daudzumu minerālvielu (FAO, 2005). Augsnes cilmiezim nav vērojama tieša ietekme uz augsnes organisko vielu daudzumu, tomēr tas ietekmē vairākus citus faktorus. Visbiežāk mālaines augsnes satur vairāk organisko vielu nekā smilšainas augsnes. Tas skaidrojams ar mitruma daudzumu, jo mazāks mitruma daudzums un labāka aerācija veicina straujāku organisko vielu oksidāciju (Jones et al., 2003).

## **Augsnes reakcija**

Sāļums, toksiskums un galējības augsnes pH (skābs vai sārmais) pasliktina biomasas veidošanos un tādējādi samazina turpmāko organisko vielu daudzuma palielināšanos augsnē. Piemēram, pH ietekmē humusa veidošanos divos veidos: sadalīšanos un biomasas produkciju. Stipri skābā vai ļoti sārmainā augsnē augšanas apstākļi mikroorganismiem ir nabadzīgi, rezultātā ir zema organisko vielu bioloģiskā oksidēšanās. Augsnes skābums ietekmē arī augu

barības vielu pieejamību un tādējādi netieši regulē biomasas ražošanu un pieejamo barības vielu daudzumu augsnes biotai. Skābos augsnes apstākļos sēnes ir mazāk jūtīgas nekā baktērijas (FAO, 2005). Atkarībā no augsnes paskābināšanās pakāpes pieaug vai samazinās organisko vielu sadalīšanās procesa ātrums, kas skaidrojams ar ietekmi uz mikrofloras metabolismu. Lielāko daļu organisko savienojumu transportu podzola augsnēs kavē paskābināšanās, taču tā palielina slāpekļa savienojumu apriti (Baath et al., 1980).

## **Veģetācija**

Augsnes organisko vielu uzkrāšanās līmenis lielā mērā ir atkarīgs no organisko vielu ievades daudzuma un kvalitātes. Augu sakņu daudzums arī sastāda nozīmīgu papildinājumu augsnes humusam un tādējādi ir svarīgs oglekļa piesaistē. Mežā lielākā daļa organiskā materiāla ir no virspusējām nobirām, salīdzinot ar zālāju ekosistēmām, kur līdz 2/3 no organiskā materiāla tiek uzņemts caur satrudējušām saknēm (FAO, 2005). Dažādas cenozes atšķirīgi ietekmē augsnes izveidošanos, bet uz dažādām augsnēm izveidojas dažādas augu cenozes (Mežals, 1980). Organisko vielu sadalīšanās ātrumu nosaka to ķīmiskais sastāvs, piemēram, oglekļa un slāpekļa attiecības, kā arī nepakļāvīgo savienojumu saturs, piemēram, lignīns (Taylor et al., 1989). Priežu un egļu audzes veido podzolētās augsnes. Tās dod skābas meža nobiras (pH 3,5 – 4,5), ko sadala galvenokārt sēnes, veidojot fulvoskābes. Lapu nobiras ievērojami uzlabo augšņu īpašības, jo tajās daudz sārmezemju un citu ķīmisko elementu (Mežals, 1980).

### **1.3.Humusa formas sausieņu mežos**

Pēc 2011. gadā izstrādātā Eiropas humusa formu klasifikatora (EHRB), kurā klasifikācija balstās uz morfoģenētiskām pazīmēm un ģenētiskajiem horizontiem, tās iedala 2 lielās grupās atkarībā no augsnes hidroģenētiskajiem apstākļiem – sauszemes (*terrestrial*) un hidromorfās (*semiterrestrial*) augsnes humusa formas (Zanella et al., 2011).

Uz maģistra darbā aplūkotajiem boreālajiem sausieņu mežiem ir attiecināmas sauszemes humusa formas, kuras nekad nav iegremdētas ūdenī un/vai piesātinātas ar ūdeni tikai dažas dienas gadā. Šo mežu augšņu organominerālajiem horizontiem (A, AE) nav vērojamas hidromorfiskas pazīmes (Zanella et al., 2011).

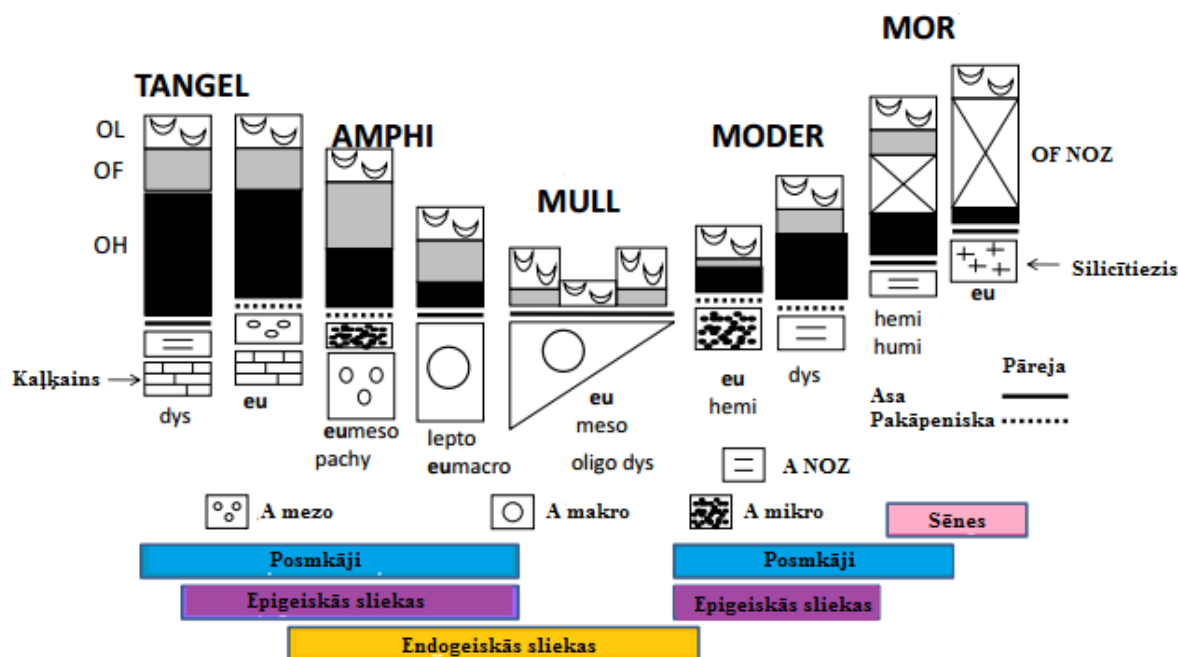
Sauszemes humusa formas tiek iedalītas sīkāk - terroformās, entiformās un paraformās (Zanella et al., 2011).

**Terroformas** ir tipiskākās sauszemes humusa formas. Saknes un trūdošā koksne tās neietekmē būtiskā apmērā. Tās nav izveidojušās tieši uz pamatieža vai cilmieža (Zanella et al., 2011).

**Entiformām** ir raksturīgs plāns organiskais horizonts ( $OH+OF<5\text{cm}$ ) un/vai organominerālais horizonts ( $A<3\text{cm}$ ), kas atrodas tieši uz cieta, fragmentēta pamatieža vai smilšaina cilmieža (Zanella et al., 2011).

**Paraformas** ir netipiskas humusa formas, kurās saknes un trūdošā koksne būtiski ietekmē augsnes virskārtas bioloģisko transformāciju (Zanella et al., 2011).

Balstoties uz organisko un organominerālo horizontu īpašībām, sauszemes humusam tiek noteiktas 5 augsnes humusa formas – *mull*, *moder*, *amphi*, *mor*, *tangel* (1.3. attēls) (Zanella et al., 2011), kur Latvijas apstākļiem raksturīgākās ir *mull*, *moder* un *mor* humusa formas (Žīgure, 2013).



1.3.attēls. Humusa formas sausieņu mežos (Ponge et al., 2010)

**Mull** jeb mīkstajam humusam ir plāns organiskais un dziļš organominerālais horizonts (Salmo et al., 2006). Parasti sastopams mērena klimata apstākļos, visbiežāk uz karbonātiskiem vai arī bāziskiem cilmiežiem (Zanella et al., 2011). *Mull* humuss visbiežāk veidojas lapkoku mežu zemsegā, kur ir vairāk kalcija, magnija un kālija, kas straujāk sadalās (Meža enciklopēdija, 2013). Raksturīgākās īpašības: nav OH horizonta, A horizonts ir ar izteiktu augsnes biomakro vai biomeso struktūru, ļoti strauja pāreja starp O un A horizontiem.  $C:N<30$  (Zanella et al., 2011), tāpēc organiskās vielas ātri sadalās un augsnes fauna (slietas) to nepārtraukti sajauc ar minerālaugsnī (Mežals, u.c., 1970). *Mull* humuss ir saistāms ar visvairāk auglīgajām augsnēm, kurās ir daudzveidīgs augu slānis, kas piedalās barības vielām bagātīgas augsnes uzturēšanā. Straujš barības vielu cikls, jo norisinās ātra barības vielu sadalīšanās. Galvenie organismi, kas piedalās organisko vielu biodegradācijā, ir baktērijas un

sliēkas, kas nodrošina ātru iestrādi minerālaugsnē (Ponge, 2003). Latvijā *mull* humuss visbiežāk veidojas auglīgās lapu koku audzēs ar pietiekamu kalcija daudzumu. Tāpēc arī lapu nobirumi uz minerālaugsnēm ilgi nepastāv, bet ātri humificējas (Mežals, u.c., 1970).

**Moder** jeb pusrupjais humuss parasti veidojas uz skāba substrāta. Tam raksturīga lēna biodegradācija (2 līdz 7 gadi), ogleklis vienlīdzīgi uzkrājas O un A horizontos. Raksturīgas īpašības: ir izveidojies OH horizonts, OF nav veidojies sēņu darbības rezultātā, nav krasa pāreja starp O un A horizontiem (Zanella et al., 2011). *Moder* humusā ir mazāka makrofaunas daudzveidība, salīdzinot ar *mull* humusu. *Moder* humusa formas galvenokārt atrodamas lapu koku mežos (ozols, dižskābardis) un skujkoku mežos. Biodegradācijā galvenā nozīme ir posmkājiem, sliēkām un arī sēnēm (Ponge, 2003). Latvijā pusrupjais humuss galvenokārt sastopams lapu koku un skuju koku mežos. Tas uzskatāms kā pārejas stadija no *mor* uz *mull* humusu. Aktīvi darbojas augsnes fauna, kas daļēji vai pilnīgi sajauc humusu ar minerālaugsnī. Augsnēs, kurās karbonāti atrodas sekli, organiskās atliekas ātri un labi sadalās, tādēļ šeit pusrupjajam humusam iespējams izdalīt tikai vienu horizontu (Mežals, u.c., 1970).

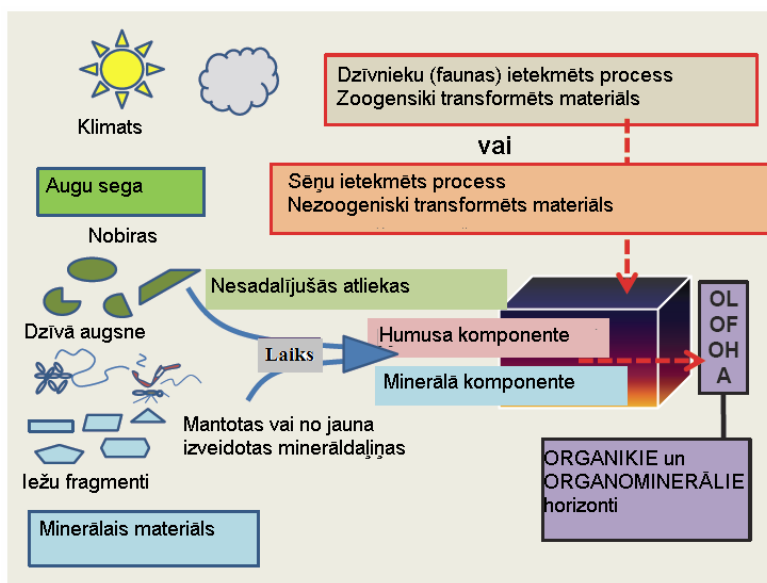
**Amphi** humus veidojas specifiskākos apstākļos – mainīgā klimatā, kad ir sausas vasaras un slapji rudenī. Svarīgākais faktors tā izveidē ir cilvēka darbība, kas izpaužas kā mākslīga veģētācijas nomaiņa, kad viegli degradējamās platlapju nobiras ( $C:N < 20$ ) aizstāj skuju koku nobiras ( $C:N > 40$ ). Tas parasti veidojas uz karbonātiska vai dolomītiska substrāta. Nobiru bioloģisko sadalīšanu organiskajā horizontā veic posmkāji, sliēkas un sēnes; organominerālajā horizontā - pārsvarā tikai sliēkas. *Amphi* humusā nobiru degradācija notiek salīdzinoši lēni (2 līdz 7 gadi). Gan organiskajos, gan organominerālajos horizontos ir augsts oglekļa saturs (Zanella et al., 2011).

**Mor** jeb jēlhumuss veidojas uz skāba, smilšaina substrāta vēsa klimata apstākļos (Zanella et al., 2011). Skābā reakcija veicina augsnes minerālās daļas noārdīšanos un dažu elementu izskalošanos no augsnes virsējiem horizontiem. Tā rezultātā sākas podzolēšanās process, kas raksturīgs visiem skujkoku mežiem (Meža enciklopēdija, 2013). Nobiras parasti vāji degradējamās ( $C:N > 40$ ). Degradācija ir lēna – virs 7 gadiem. Ogleklis uzkrājas organiskajā horizontā (Zanella et al., 2011). Nobiru bioloģisko degradāciju galvenokārt nodrošina mikorizas sēnes. Tipiskākā veģētācija ir ķērpji, sūnas un virsaugi. Salīdzinot ar *mull* un *moder* humusu, organisko vielu uzkrāšanai ir vislabvēlīgākie apstākļi, bet barības vielu atbrīvošana ir minimāla (Ponge, 2003). *Mor* humusa veidošanās nav stingri saistīta ar noteiktām koku sugām, tomēr mūsu mežos tas galvenokārt rodas zem skuju koku audzēm. Zemsegas sadalīšanos aizkavē vēsais klimats, kā arī pašu organisko atlieku ķīmiskais sastāvs – tās satur daudz organisko skābju, miecvielu, darvvielu un sveķu, bet maz bāzisko vielu, kas varētu neitralizēt radušās trūdkābes (Mežals, u.c., 1980).

*Tangel* humusa forma veidojas alpīna klimata apstākļos uz kaļķakmeņa vai dolomīta. Degradācija norisinās lēni. Nobiru bioloģiskajā sadalīšanās procesā piedalās sliēkas, posmkāji un sēnes. Ogleklis uzkrājas organiskajā horizontā (Zanella et al., 2011).

### 1.3.1. Humusa formu veidošanās ietekmējošie faktori

Humusa formu veidošanās ietekmē gan biotiskie, piemēram, veģetācija, augsnes organismi, gan abiotiskie - pH, klimats, cilmiezis, gan antropogēnie faktori - cilvēka darbība, piemēram, izcirsti meži, piesārņota vide. Humusa forma ir kā šo faktoru mijiedarbības rezultāts (1.4. attēls) (Zanella et al., 2011).



1.4. attēls. Humusa formu veidošanās un to ietekmējošie faktori (Zanella et al., 2011)

Humusa formu morfoloģiskā uzbūve galvenokārt ir atkarīga no līdzsvara starp nedzīvās zemsegas horizontu un organiskā materiāla sadalīšanās ātrumu. Nedzīvo zemsegas horizontu veido virszemes organiskās vielas, tas ir, koku lapas un skuju un apakšzemes komponenti – viengadīgo augu saknes un mikoriza. Sadalīšanās ātrumu ietekmē nedzīvās zemsegas fizikālais un ķīmiskais stāvoklis, augsnes faunas aktivitāte un darbības veids, augsnes mikroklimats (temperatūra un mitrums), aerācija un augsnes minerālmēslojums (Amhe and Langohr, 2003). Zemsega bieži ir galvenais humusa un humusskābju veidošanās avots (Mežals, 1980).

Kā viens no biotiskajiem faktoriem, jāmin veģetācija. Konkrētajā vietā augošās koku sugas ietekmē gan virszemes, gan zem tās esošās nedzīvās zemsegas slāņu sastāvu. Augi īpaši ietekmē viegli biodegradējamu substrātu, tātad organisko vielu sadalīšanās ātrums humusa formās ir dažāds (Niemi et al., 2007). Jāatzīmē arī, ka pētījumos Francijas mežos 2011. gadā tika apstiprināta hipotēze, ka sakarības starp veģetāciju un humusa formu darbojas tikai mazā mērogā, bet reģionālā vai kontinentālā mērogā lielāka nozīme ir klimatiskajiem un

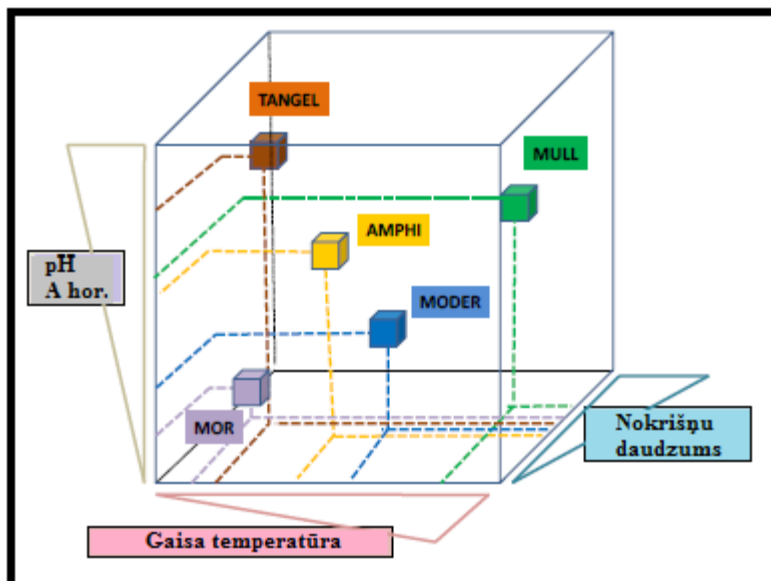
ģeoloģiskajiem apstākļiem. Būtiski augsnē ienesto oglekļa daudzumu iespaido mežaudzes tips un vecums, kā arī valdošā koku suga, jo atkarībā no koku sugām mainās ienestā oglekļa daudzums. Piemēram, parastās egles (*Picea abies*) audzes vidēji ienes 9 tonnas oglekļa uz hektāru pirmajos 30 augšanas gados, turpretī ozols (*Quercus robur*) apmēram tikai 2 tonnas oglekļa uz hektāru (Sanborn, 2001). Arī 2001. – 2005. gada projektā „Oglekļa – slāpekļa mijiedarbība mežu ekosistēmās” iegūtie dati par parasto priedi (*Pinus sylvestris*) pierādīja koku vecuma ietekmi uz organiskā slāņa veidošanos. Kopējais organiskā oglekļa daudzums, kā arī slāpekļa saturs meža zemsegā nozīmīgi korelēja ar koku vecumu, kas atainoja lineāru, pozitīvu sakarību starp koku vecumu un organiskā oglekļa daudzumu (Gundersen et al., 2006). Bez tiešas ietekmes uz augsnes organisko vielu sadalīšanās ātrumu veģetācija nosaka arī vidē ienākošo organisko vielu daudzumu. Latvijā priežu mežu ekosistēmās vidējais ikgadējais nobiru daudzums var sasniegt 4,7 t ha<sup>-1</sup>, bet egļu audzē pat 6,2 t ha<sup>-1</sup> (Nikodemus u.c., 2008).

Nozīmīga loma ir arī augsnes faunai un tās aktivitātei (Ponge, 2003). Augšņu dzīvnieki un mikroorganismi pārveido organiskās vielas. Milzīga ir slieku nozīme, kas ne tikvien pārveido augu atliekas, bet arī uznes minerālos savienojumus no dziļākajiem horizontiem virskārtā. Pa vertikālām slieku ejām noplūst virsūdeņi. Gadā sliekas pārstrādā līdz 25 t/ha augsnes (Mežals, 1980). Piemēram, *mull* humusa fauna sastāda augstu biomasu un tajā ir liela sugu bagātība – megafauna (kurmji), makrofauna (sliekas), mezofauna (enhitreīdas), mikrofauna (nematodes). Daudzu organismu ietekmes rezultātā, ieskaitot augu saknes, norisinās strauja barības vielu iekļaušana kopējā aprites ciklā. Turpretī *mor* humusā novērojama ļoti slikta bioloģiskā aktivitāte, tāpēc arī šajā humusa formā veidojas biežākais humusa slānis (Ponge, 2003).

Nozīmīgs abiotiskais faktors, kas atstāj ietekmi uz organiskā materiāla sadalīšanos un humusa formu veidošanos ir pH, kas iespaido mikrobu aktivitāti. Ja ir augsts pH līmenis, tad ietekme ir pozitīva, ja zems – negatīva. Piemēram, pazeminoties augsnes skābumam, samazinās mikrobu un augsnes faunas aktivitāte, kas izraisa organiskā materiāla uzkrāšanos – organisko vielu daudzums paaugstinās augsnes virsējos slāņos (Andersson and Nilsson, 2011).

Klimats, kas skatāms siltuma un ūdens pieejamības kontekstā (1.4. attēls), ietekmē abiotisko un biotisko procesu ātrumu, kas nozīmē, ka tiek ietekmēts arī organisko vielu sadalīšanās un minerālu dēdēšanas ātrums (De Deyn et al., 2008). Tam ir arī izšķiroša nozīme barības vielu pārvietošanā no cilmieža uz ekosistēmu un oglekļa piesaistē ekosistēmā (Ponge et al., 1998). Korelācija starp klimatu un cilmiezi bieži ir novērota kalnu vidē, kur ģeoloģija, temperatūra un nokrišņu daudzums svārstās atkarībā no augstuma (Roe, 2005). Kopumā

mērenā platuma grādos, arī Latvijā, humuss ir pakļauts sezonālajām pārmaiņām, ko izraisa laikapstākļu un veģetācijas maiņa, kā arī gadalaikiem, jo no tiem ir atkarīga dzīvnieku aktivitāte (Niemi et al., 2007).



**1.4. attēls. Humusa formu hipotētiska attīstība atkarībā no 3 būtiskākajiem ietekmējošajiem abiotiskajiem faktoriem (Zanella et al., 2011)**

Cilmieža veids ir būtisks (it īpaši tā mineralogiskais sastāvs), jo no tā veida ir atkarīgs kādā ātrumā barības vielas (P, Ca, Mn, Fe, Si, Al, u.c.) var tikt pārnestas uz ekosistēmu (Augusto et al., 2000).

Humusa formu ietekmē arī orogrāfiskie faktori (Salmon et al., 2008). Tie ir reljefa radīti ekoloģiskie apstākļi, kas ietekmē ekosistēmas struktūru un darbību, piemēram, augstums virs jūras līmeņa. Līdz ar augstumu virs jūras līmeņa pastiprinās Saules radiācija, pazeminās gaisa temperatūra un gaisa spiediens. Arī paugura ekspozīcija (vērsums pret debespusēm) dažādo vides apstākļus. Tiek ietekmēti klimatiskie un edafiskie faktori, jo ziemeļu puslodē pret dienvidiem vērstās nogāzes saņem vairāk Saules enerģijas, fenoloģiskais pavasaris tur iestājas agrāk, veģetatīvais periods ir garāks, kā arī gaiss un augsne sasilst stiprāk (Meža enciklopēdija, 2003). Dienvidu nogāzēs paaugstinātas enerģijas pieplūdes dēļ biodegradācijas procesi būs intensīvāki nekā ziemeļu nogāzēs (Salmon et al., 2008). Teritorijās, kur augsnes ir pakļautas erozijas riskam vai arī pauguru virsotnēs, organisko vielu daudzums un organiskā slāņa biezums būs mazāks nekā paugura nogāzē, bet vislielākais organisko vielu daudzums uzkrāsies piekāvē (Kolli et al., 2010).

Humusa formu veidošanās procesu iespaido arī antropogēnā ietekme, piemēram, skuju un lapu ķīmisko sastāvu maina gaisa piesārņojums. Tā rezultātā vērojamas izmaiņas arī augsnes virsējā slāņa ķīmiskajā sastāvā, kas paaugstinātā slāpekļa daudzuma dēļ, samazina

organisko vielu trūdēšanas ātrumu. Tātad ilgtermiņā tas ir kaitīgs, jo samazina organisko vielu sadalīšanās ātrumu un līdz ar to barības vielu apriti (Vanmechelen et al., 1997). Turpretī organisko vielu sadalīšanās ātrums var pieaugt mežizstrādes laikā, kad cilvēki izmaina meža mikroklimatu. Tā rezultātā sākotnējais meža *moder* humuss pēc mežizstrādes iegūst *mull* humusa īpašības, kas meža atjaunošanās laikā atkal pāriet *moder* tipa humusā (Salmon et al., 2008).

#### 1.4. Antropogēnās ietekmes raksturojums

Lielā virsmas laukuma dēļ mežs ir galvenais piesārņojuma uztvērējs (Ulrich and Pankrath, 1983), tomēr visā pasaulē aizvien vairāk meža zemju platības tiek pārveidotas par mākslīgo vidi. Attiecībā uz mežu ainavām, floras un faunas daudzveidību un gaisa piesārņojuma novēršanu, pilsētas mežos ir būtiska koku atjaunošana. Turklāt pilsētas mežu augsnēs ir raksturīga augsta barības vielu pieejamība, ko izraisījusi N, S un citu antropogēno elementu nogulsnešanās, kā arī dažādi mehāniskie traucējumi, piemēram, nobradāšana, kas samazina pilsētas boreālo mežu spēju atjaunoties. Piemēram, 2011. gadā veiktajā pētījumā Somijā par pilsētas mežu atjaunošanos tika noskaidrots, ka šī reģiona augsnēs slāpekļa saturs nav mazinājies par spīti faktam, ka ir samazinājušās rūpnieciskās emisijas pēdējo desmit gadu laikā. Biezais humusa slānis un leknās veģetācijas pilsētas mežu teritorijās norāda uz organisko vielu uzkrāšanos, kas satur lielu daudzumu bioloģiski saistītā slāpekļa (Tarvainen et al., 2011).

Kopš 19. gs antropogēno emisiju piesārņojumu atmosfērā ir izraisījis paaugstināts industrializācijas līmenis (Galloway, 1995). Augsnes piesārņojums veidojas cilvēka saimnieciskās darbības rezultātā. Nozīmīgākie piesārņojuma avoti ir rūpniecība, enerģētika un transports. Lielākā daļa piesārņojuma, kas nonāk augsnē, ietekmē augšņu procesus un tās auglību (Nikodemus u.c., 2008). Pilsētvides galvenie piesārņotāji ir smagie metāli, jonizējoša radiācija, radionukleīdi, herbicīdi un pesticīdi, dažāda veida putekļi, kā arī gāzveida savienojumi (James, 1973), kur kā galvenais antropogēnā piesārņojuma avots jāmin rūpniecība (Stolte et al., 1993). Rezultātā ir palielinājusies negatīvā iedarbība uz ūdens un sauszemes ekosistēmām, piemēram, paskābināšanās, ko izraisa sēra un slāpekļa nogulsnešanās. Tā ir viena no pazīstamākajām un labi pētītajām vides problēmām (Galloway, 1995). SO<sub>2</sub> un Nox emisijas atmosfērā kopš industriālās revolūcijas sākuma ir izraisījuši augšņu un virszemes ūdens ekosistēmu paskābināšanos. Vairāki pētījumi skaidri ir pierādījuši paskābināšanās kaitīgo ietekmi (Rizvi et al., 2012). SO<sub>2</sub> un NO<sub>2</sub> oksidācijas rezultātā rodas skābie nokrišņi, kas veido sērskābi un slāpekļskābi. Organiskās skābes nonāk arī mežu ekosistēmās nokrišņu, gāzu un tvaiku veidā (Fowler et al., 1999).

Metāns (CH<sub>4</sub>) un slāpekļa oksīds (N<sub>2</sub>O) ir svarīgākās siltumnīcefekta gāzes. Sauszemes augsnes darbojas kā atmosfēras CH<sub>4</sub> krātuve. Tās tiek uzskatītas arī kā galvenais N<sub>2</sub>O avots caur nitrifikāciju un denitrifikāciju (Borken et al., 2002). Jāmin, ka pēdējo 20 gadu laikā ievērojami ir pieaugusi gaisa piesārņojuma ietekme uz mežiem, tomēr tieši šīs piesārņojošās vielas, kas veicina klimata pārmaiņas, apgrūtina ietekmes novērtēšanu (Paloetti et al., 2010).

Pēdējās desmitgadēs acīmredzami ir palielinājies nitrofilo sugu daudzums augu slānī daudzās mērenā klimata meža ekosistēmās. Piemēram, balstoties uz 2002. gada veikto pētījumu, izmaiņas var attiecināt uz:

- a) paaugstinātu skābekļa un citu skābo vielu nogulsnešanos,
- b) izmaiņām apgaismojumā (Hofmeister et al., 2002).

Pēdējo desmit gadu laikā līdzīgas izmaiņas tika novērotas arī Čehijā aizsargājamo ainavu apvidū, kur ievērojami pieaudzis ķeraīņu madaru (*Galium aparine*), pilsētas bitenes (*Geum urbanum*) un citu nitrofilo sugu daudzums (Hofmeister et al., 2002).

Ir pierādīts, ka atmosfēras slāpekļa savienojumi veicina ne tikai paskābināšanos, bet arī eitrofikāciju. Augsnēs eitrofikācija norāda uz ekosistēmas produktivitātes pieaugumu, kam seko barības vielu nelīdzsvarotība un neatbilstība augiem un sliktākajā gadījumā to iznīkšana vai aizvietošanu ar cita veida veģetāciju, kura ir labāk pielāgota jaunajiem vides apstākļiem (Rodriguez and Macias, 2006). Atmosfēras piesārņojumam ir divu vidu ietekmes – tieša un netieša. Tiešā ietekme izpaužas uz augu lapām, bet netiešā – uz saknēm, kur akumulējas dažādi savienojumi (De Vries et al., 2003).

Jāmin arī, ka paaugstinātu eitrofikāciju, paskābināšanos un nitrifikāciju var izraisīt temperatūras pieaugums (Akselsson et al., 2013).

Eiropā galvenais instruments, ko izmanto, lai noteiktu meža ekosistēmu jutīgumu uz atmosfēras piesārņotājiem ir kritiskā slodze. Eitrofikācijā slāpekļa kritiskā slodze ir definēta kā „augstākais slāpekļa savienojumu daudzums, kā rezultātā kaitīgā ietekme ekosistēmas struktūrā un funkcijās nenotiek saskaņā ar esošajām zināšanām” (Rodriguez and Macias, 2006).

Pilsētas mežos saglabāt koku dinamisku atjaunošanos ir svarīgi attiecībā uz ainavu, meža biotas bioloģisko daudzveidību un gaisa piesārņojuma novēršanu. Turklāt, pilsētas mežu augsnēm ir raksturīga augsta barības vielu pieejamība no antropogēnajām slāpekļa, sēra un citu elementu nogulsnēm, kā arī no dažādiem mehāniskiem traucējumiem. Tā rezultātā samazinās pilsētas mežu atjaunošanās spēja (Rodriguez and Macias, 2006).

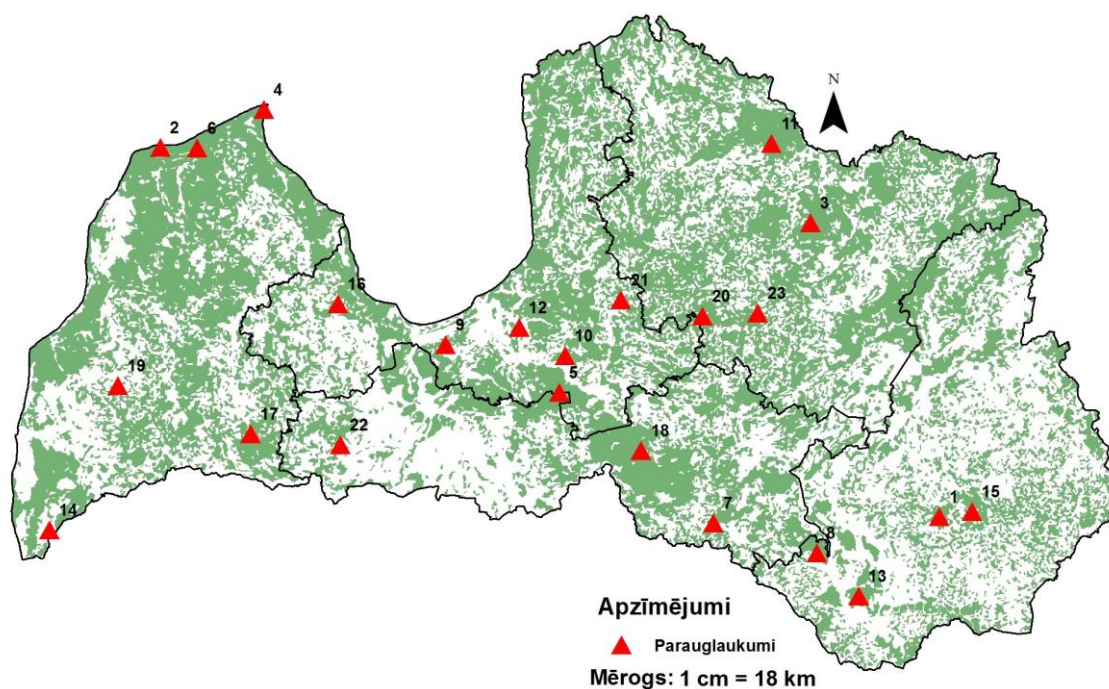
Pašreiz galvenās bažas attiecībā uz augsnes saglabāšanu ir saistībā ar augsnes eroziju, sablīvēšanos, pārtuksnešošanos, kā arī ķīmisko degradāciju organisko un smago metālu piesārņojuma dēļ un eitrofikāciju (Rodriguez and Macias, 2006).

Piemēram, Mežaparkā eitrofikācijas (augtenes bagātināšanās ar barības vielām) ietekmes rezultātā attīstās auglīgākiem meža tipiem raksturīga veģetācija. Platlapju izplatību tiem nepiemērotās vietās – kāpu smiltājos – veicinājuši arī 20. gs. pirmajā pusē un vidū veiktie mākslīgie stādījumi. Pirmajā kokaudzes stāvā sastopamas tikai boreāla meža koku sugas vai arī tās dominē, bet mazākumā ir platlapju sugu piemistrojums. Otrajā stāvā, pamežā un zemsedzē boreālo meža sugu sajaukums ar platlapju mežu, invazīvām un zālāju sugām (liepu, kļavu, ķekaraino korinti, spožo klinteni, podagras gārsu u.c.) (Jakovičs, 2011).

## 2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODES

### 2.1. Pētījuma materiāls

Maģistra darba izstrādei pirmie lauka darbi tika veikti bakalaura darba ietvaros laika posmā no 2012. gada augusta līdz 2012. gada novembrim, ka tika apsekoti 14 Eiropas meža monitoringa I līmeņa parauglaukumi sausieņu mežos. Šajos parauglaukumos tika noteiktas humusa formas un ievākti augsnes paraugi ķīmisko analīžu veikšanai. Lai izraudzītie parauglaukumi pēc iespējas pilnīgāk atspoguļotu Latvijā sastopamo sausieņu mežu un to augšņu īpašības, 2015. gada pavasarī tika veikti otrie lauka darbi un ievākti vēl deviņi augsnes paraugi no Eiropas meža monitoringa I līmeņa parauglaukumiem turpmākai analīžu veikšanai. Dabiskajos sausajos boreālajos mežos kopumā tika ievākti paraugi no 23 parauglaukumiem (2.1. attēls).



2.1.attēls. Apsekoto parauglaukumu izvietojums Latvijas teritorijā (izstrādājusi autore, izmantojot programmas „Forest Focus 2006” ..., 2008)

Vecākos, kas ir Rīgas pilsētas apkaime ziemeļu daļā pie Rīgas jūras līča un pa sauszemi robežojas ar Trīsciema, Vecdaugavas un Mangaļsalas apkaimēm, organisko vielu sastāva un īpašību noteikšanai un to salīdzināšanai sausajos boreālajos mežos, tika izraudzītas un apsektas piecas etalonteritorijas, kas atrodas starp Trīsciema apkaimi un dzelzceļa līniju Zemitāni – Skulte.

Vecāku teritorijā galvenie faktori, kas atstāj ietekmi uz faunu un floru, ir antropogēnā ietekme - piesārņojums no netālu esošās Zemitāni – Skulte dzelzceļa līnijas. Piesārņojumu

rada arī apkārtējā teritorijā izveidojušās dārziņu kolonijas un vasarnīcu ciemati, kas sekmē augsnes eroziju, veģetācijas postījumus un biogēno piesārņojumu, kā arī netālu esošās pludmales vasarā apmeklē lielas pilsētnieku masas. Tomēr kopumā ietekme uz gaisa kvalitāti un augsni teritorijā ir niecīga un būtiskus piesārņojuma draudus nerada.



**2.2.attēls. Apsēkoto parauglaukumu izvietojums Vecāķos (izstrādājusi autore, 2015)**

Pilsētvides ietekmes novērtēšanai uz mežu ekoloģisko stāvokli Rīgā laika posmā no 2014. gada jūnija līdz 2014. gada augustam tika veikti pētījumi Rīgas pilsētas teritorijā – Mežaparkā. Mežaparkā, kas atrodas nedaudz uz ZA no Rīgas centrālās daļas, Ķīšezera krastā, tika izraudzītas un apsektas 20 etalonteritorijas, kas vienmērīgi nosedz visu Mežaparka teritoriju. Pa sauszemi teritorija robežojas ar Mīlgrāvja, Sarkandaugavas, Brasas un Čiekurkalna apkaimēm, bet pa ūdeni Ķīšezera pretējā krastā tai ir robežas ar Jaunciema apkaimi (2.3. attēls).



2.3.attēls. Apsekoto parauglaukumu izvietojums Mežaparkā (izstrādājusi autore, 2015)

Mežaparks atrodas Rīgas ziemeļaustrumu daļā bijušās Rīgas superfosfāta rūpnīcas (RSFR) tiešās ietekmes zonā, un tur prieku audzes jau kopš agras jaunības augušas piesārņotā vidē. Rūpnīcas ražošanas un līdz ar to vides piesārņojuma intensitāte laika gaitā bijusi mainīga līdz 1967. gada jūlijam, kad tā slēgta kā sevišķi kaitīga piesārņojuma avots. Tomēr izmešu kvantitatīvais sastāvs, kur galvenie gaisa piesārņojuma komponenti bija amonjaks, sēra un slāpekļa oksīdi, RSFR darbības laikā netika mērīts, tomēr netieši šo gaisa piesārņojuma dinamiku raksturo ražošanas apjoma izmaiņas. Meža masīvam raksturīga augsta sinantropizācijas pakāpe, kas liecina par ilgstošu antropogēno slodzi (Liepa u.c. 2003)

Šobrīd Mežaparka apkārtnē, konkrētāk Sarkandaugavas un Čiekurkalna rajonos, atrodas vairāki desmiti ražošanas uzņēmumi. Tie veic dažādas piesārņojošas darbības, taču pārsvarā to produkcijas apjoms nav liels. Vairākiem uzņēmumiem Sarkandaugavā izveidotas katlu

mājas, kur kā kurināmais tiek izmantots sēru saturošs kurināmais (mazuts, dīzeļdegviela, izlietotās eļās), līdz ar to rajonā raksturīgas NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> un tvana gāzes emisijas (Pīrāga, 2013).

Mežaparkā galvenais piesārņojuma avots ir autotransports Viestura prospektā, kas nepārsniedz šai vietai Ministru kabineta 2009. g. 3. novembra noteikumos Nr. 1290 „Noteikumi par gaisa kvalitāti” noteikto gada vidējo apakšējo sliekšni cilvēka veselības aizsardzībai - 26 µg/m<sup>3</sup>, bet nedaudz pārsniedz pieļaujamos robežlielumus ekosistēmu aizsardzībai, jo Latvijā noteiktā gada robežlieluma apakšējais sliekšnis NO<sub>x</sub> ir 19,5 µg/m<sup>3</sup> (LRMK noteikumi, 2009), bet Mežaparkā gada vidējā koncentrācija variē robežās 5 - 20 µg/m<sup>3</sup>, kas par 0,5 µg/m<sup>3</sup> pārsniedz robežlielumu (SIA „Grupa93”, 2013).

Jāmin, ka Mežaparka teritorijā ir arī 2 stacionārie gaisa piesārņojuma avoti:

1. katlu māja Dziesmu svētku estrādē,
2. vietējā siltumapgādes sistēma Rīgas Nacionālajā zooloģiskajā dārzā (10 apkures katli).

Kā kurināmo Dziesmu svētku estrādē izmanto sašķidrināto gāzi, bet Rīgas Nacionālajā zooloģiskajā dārzā - dabas gāzi. Stacionāro avotu ietekme uz gaisa kvalitāti teritorijā ir niecīga (SIA „Grupa93”, 2013).

Mežaparka teritorijā atrodas bijusī Mīlgrāvja naftas bāze SIA „Vudisona termināls” 22 ha platībā. Bāzē ir notikušas regulāras apkārtnei piesārņojošas naftas produktu noplūdes (SIA „Vides konsultāciju birojs”, 2012). Tomēr, ņemot vērā hidroģeoloģiskos apstākļus, naftas bāzes teritorija nerada piesārņojuma draudus pārējai Mežaparka teritorijai (SIA „Vides konsultāciju birojs”, 2011).

Augsnes uzrāda vēsturisko piesārņojumu, kas Mežaparka kontekstā attiecināms uz ilgstošu Rīgas superfosfāta un Sarkandaugavas rūpnīcu darbības laikā. Rīgas superfosfāta rūpnīca tika dibināta 1892. gadā un līdz 1967. gadam pakāpeniski palielināja ražošanas jaudu, līdz ar to kopējā piesārņojuma intensitāti. Kā galvenās izejvielas Rīgas supersfosfāta rūpnīcas darbības laikā izmantoja apatītu koncentrātu, kolčedanu, fosforītu miltus, ogles, kaļķakmeni un vārāmo sāli. Pēc superfosfāta rūpnīcas slēgšanas tās vietā 27 gadus darbojās uzņēmuma „Latvibithim” sadzīves ķīmijas izstrādājumu rūpnīca. Vēlāk uz tās bāzes dibināts uzņēmums AS „B.L.B. Baltijas Termināls”. Tas nodarbojās ar naftas produktu saņemšanu, īslaicīgu uzglabāšanu un nosūtīšanu ar kopējo apgrozījumu līdz 5,1 miljonu tonnu gadā (Pīrāga, 2013).

Līdz 90-to gadu sākumam Mežaparka pieguļošajā teritorijā atradās arī citi rūpniecības uzņēmumi. Sarkandaugavas rajonā atradās naftas pārstrādes un ķīmiskās rūpnīcas, piemēram, stikla fabrika „Sarkandaugava” un Rīgas elektropuldžu rūpnīca, kā arī papīra un celulozes rūpnīcas, kas atmosfērā emitēja svīnu, fluorīdu, slāpekļa, sēra u.c. savienojumus (Vallero, 2008).

Mežaparka meža teritorijas platība ir 374,6 ha. No tiem sausieņu meži aizņem 370,3 ha (99% no mežaudžu platības). Priežu jaunaudžu teritorijā nav. No 374,6 ha meža zemju 1,4 ha – sils, 114,4 ha – mētrājs, 205,7 ha – lāns, 11,7 ha aizņem damaksnis, 4,3 ha - niedrājs, bet 37,1 ha – teritorijas bez meža tipa (Jakovičs, 2011).

Mežaparkam raksturīgs samērā liels vecu priežu mežu īpatsvars. No teritorijas kopējās mežaudžu platības gandrīz pusi (185 ha) veido 120 – 220 gadu vecas priežu audzes. No šīm platībām 73,2 ha dominē 180 – 220 gadus vecas priedes, tas ir, 19% no meža kopējās platības. Jāatzīmē, ka praktiski visi nogabali ar vecu priežu mežu ir vairāk vai mazāk saimnieciskās darbības ietekmēti (Jakovičs, 2011).

Caurmērā Mežaparkā ir vāji – vidēji podzolētās smilts augsnes uz smilts cilmieža. Nelielu teritorijas daļu aizņem velēnu vāji – vidēji podzolētās smilts augsnes uz smalka smilts cilmieža. Podzola un iluviālā horizonta izpausmes pakāpe ir atšķirīga un mainās atkarībā no novietojuma (SIA „Grupa93”, 2013).

Kopumā apsektie parauglaukumi ietver piecu sausieņu meža tipus – silu, mētrāju, lānu, damaksni un vēri. Parauglaukumu skaits etalonteritorijās dots 2.1. tabulā.

2.1.tabula

**Parauglaukumu skaits dažādos meža augšanas tipos** (izstrādājusi autore, izmantojot programmas „Forest Focus 2006”..., 2008)

Meža tips	Parauglaukumu skaits
<b>Latvija</b>	
Sils	3
Mētrājs	3
Lāns	6
Damaksnis	6
Vēris	5
<b>Mežaparks</b>	
Mētrājs	6
Lāns	10
Damaksnis	4
<b>Vecāķi</b>	
Sils	2
Mētrājs	3
<b>KOPĀ:</b>	<b>48</b>

Laika posmā no 2006. līdz 2010. gadam Eiropas pirmā līmeņa meža monitoringa ES programmas (*Forest Focus*) un starptautiskā projekta „Meža augšņu inventarizācija un bioloģiskās daudzveidības novērtēšana” (*BioSoil*) ietvaros tika veikti pētījumi 95 parauglaukumos. Projekta laikā iegūtā un publiski pieejamā informācija tika izmantota maģistra darba izstrādē.

## 2.2.Lauka darbu metodes

Paraugu ievākšanai augsnes analīzēm un humusa formu noteikšanai tika veidots līdz 40 cm dziļš augsnes rakums. Parauglaukumi humusa formu aprakstīšanai tika ierīkoti raksturīgā meža biotopa centrālajā daļā, t. i., vieta izvēlēta tur, kur ir raksturīgākie ekoloģiskie vides apstākļi, kuri ir loģiskā saistībā ar mikroreljefu un augsnes mitruma režīmu. Humusa formas tika aprakstītas atbilstoši Eiropas humusa formu klasifikatoram (EHRB) (Zanella, et al., 2011).

Pēc rakuma izveidošanas tika veikta organisko un minerālo horizontu aprakstīšana. Augsnes virskārtas diagnostiskajiem horizontiem tika noteikta nobiru sadalīšanās pakāpe, minerālo horizontu struktūra, granulometriskais sastāvs, bioloģiskās pazīmes, horizontu dziļumi, augsnes tips un humusa forma. Visiem augsnes profiliem tika veikta arī to fotofiksācija.

Parauglaukumos, kas ierīkoti Rīgas pašvaldības teritorijā, tika izdarīts augsnes dziļrakums. Pēc dziļrakuma izdarīšanas tika aprakstīti augšņu profili pēc atslēgveida diagnosticējošajiem horizontiem un noteiktas diagnosticējošās pazīmes atbilstoši FAO WRB klasifikācijai (IUSS Working Group WRB, 2007), kā arī augsnes horizontu biezums, krāsa, granulometriskais sastāvs un struktūra.

Pēc augsnes aprakstīšanas no katra horizonta laboratorijas analīžu veikšanai tika ievākti līdz vienam kilogramam smagi augsnes paraugi. Paraugi katrā parauglaukumā tika ievākti trijos atkārtojumos.

## 2.3.Laboratorijas analīžu metodes

Maģistra darba ietvaros tika analizēti 48 augsnes paraugi ar trim atkārtojumiem katra rādītāja noteikšanai. Laboratorijas rezultāti tika uzskatīti par ticamiem, ja starpība starp noteiktajām vērtībām mazāka par  $\pm 5\%$ . Paraugiem tika noteikti šādi parametri:

- kopējais slāpekļa saturs;
- kopējais oglekļa saturs;
- $\text{pH}_{\text{KCl}}$

Izdalītajām humusvielām tika noteikts:

- kopējais, organiskais un neorganiskais oglekļa saturs humīnskābēs un fulvoskābēs;
- humifikācijas indekss.

Visiem paraugiem tika aprēķināta C:N attiecība un tilpummasa.

Laboratorijas analīzēm augsnes paraugi tika izžāvēti gaissausi, pēc tam minerālie paraugi izsijāti caur 2 mm sietu, bet organiskais materiāls – caur 4 mm un sagatavoti tālākai analīžu veikšanai.

Kopējā slāpekļa un oglekļa saturs tika noteikts, izmantojot *EuroVector EA 3000* analizatoru. Metode ir balstīta uz *TurboFlash* degšanas tehnoloģiju, kad augstas temperatūras apstākļos (980°C) tiek veiktas pirolītiskas skābekļa un ūdeņraža elementu un izotopu noteikšanas analīzes. Elementu koncentrācijas diapozons var būt noteikts no 0,2 – 100%.

Augsnes  $pH_{KCl}$  noteikts 1M KCl šķīdumā (masas/tilpuma attiecība – 1:2,5), izmantojot pH – metru *WTW inoLab* ar stikla elektrodu.

Visiem paraugiem tika veikta humusvielu (HV) izdalīšana. No humusvielām tika atdalītas humīnskābes (HS) un fulvoskābes (FS).

Humusvielas tika izdalītas, atbilstoši starptautiskās humusvielu savienības (IHSS) ieteiktajai metodei (Tan, 2005), tās no augsnes ekstrahējot ar 0,1 M NaOH šķīdumu; šķīduma – augsnes attiecība bija 10:1. Nešķīstošās augsnes daļiņas tika atdalītas, izmantojot filtrpapīru. Kopējais organiskais ogleklis (TOC  $mg\ L^{-1}$ ) tika noteikts sārma ekstraktā, izmantojot kopējā oglekļa elementanalizatoru (angl. – *total organic carbon (TOC)*) – *Shimadzu TOC-Vcsn*.

Humīnskābju atdalīšanai no humusvielām tika izmantots augsnes 0,1M NaOH ekstrakts, kas tika paskābināts ar koncentrētu  $H_2SO_4$  līdz  $pH_{KCl} < 2$ . Pēc 24h izgulsnēšanās tās tika atdalītas, izmantojot filtrpapīru. Lai noteiktu humīnskābju īpašības, tika veiktas infrasarkanās spektroskopijas analīzes.

Pēc humīnskābju izdalīšanas esošajam fulvoskābju filtrātam koncentrācija tika noteikta, izsakot to kā TOC ( $mg\ L^{-1}$ ) ar kopējā oglekļa elementanalizatoru – *Shimadzu TOC-Vcsn*.

Organisko vielu humifikācijas pakāpes noteikšanai (HIX) tika lietota fluorescences spektrometrija. Kā humifikācijas indekss tiks ņemta fluorescences intensitātes attiecība starp mazāku, tas ir, 460 nm un lielāku - 510 nm viļņu garumu ( $I_{510}/I_{460}$ ) (Kalbitz et al., 1999; Kalbitz, Geyer 2001). Tādēļ visiem iegūtajiem šķīdumiem ar fluorescento spektrofotometru „*Perkin Elmer Fluorescence Spectrometer LS 55*” tika reģistrēti fluorescences emisijas spektri.

## 2.4.Datu statistiskā apstrāde

Laboratorijas analīzēs iegūtie ķīmisko analīžu rezultāti tika izmantoti datu statistiskajā apstrādē, analīzē un interpretācijā. Izmantojot *Microsoft Excel 2013* programmu, tika veikta vidējo aritmētisko vērtību un standartnoviržu aprēķināšana.

Varianču analīzei tika izmantota *SPSS PASW Statistic 18* programma. Izmantojot vienfaktora dispersijas analīzi (*One-way ANOVA*), tika salīdzināts organisko vielu sastāvs un

īpašības starp sausieņu tipa mežu augsnēm dabiskās mežu ekosistēmās un antropogēnās ietekmes skartajām teritorijām Mežaparkā.

Datu statistiskai analīzei tika izmantota programmatūra *PC ORD 5.10*, kurā tika veikta datu principiālā komponentu analīze.

### 3. PARAUGLAUKUMU RAKSTUROJUMS

#### 3.1. Pētāmo Latvijas augšņu vispārējs raksturojums

Silā (*Cladinosa – callunosa*), kas ir viens no sausieņu meža augšanas apstākļu tipiem labi aerētās minerālaugsnes, no visām apsekotajām teritorijām atrodas trīs parauglaukumi (1., 2. un 3.) (2.1. attēls). Pirmais un trešais parauglaukums atrodas uz tipiskā podzola augsnes, bet pirmais – iluviālā dzelshumusa podzola. Nedzīvo zemsegas horizontu visos parauglaukumos veido *mor* humusa forma. Parauglaukumos raksturīgs E horizonts ar izteiktu augsnes mikrostruktūru otrajā parauglaukumā; pirmajā un trešajā parauglaukumā augsnei nav izteiktas struktūras. Pirmajā un trešajā parauglaukumā organiskais horizonts plāns – caurmērā nepārsniedz trīs centimetrus. Visos parauglaukumos organisko vielu sadalīšanās norisinās augsnes sēņu ietekmē. Vidējais kopējā oglekļa saturs parauglaukumos ir 36,39%, slāpekļa – 1,14%. Zemākā C:N attiecība ir pirmajā parauglaukumā (1:29), kur organiskajā horizontā ir augstākais  $pH_{KCL}$  ( $pH_{KCL}=4,2$ ), augstākā C:N attiecība - trešajā parauglaukumā, kurā ir zemākā augsnes reakcija ( $pH_{KCL}=3,5$ ) (3.1. tabula).

Silā esošajos parauglaukumos humusvielu humifikācijas indekss ir robežās no 66 – 86. Humusvielu daudzums minerālajā horizontā svārstās no 63 – 70%. Augsts fulvoskābju īpatsvars vērojams otrajā parauglaukumā, kur  $C_{HA}:C_{FA}$  attiecība ir 0,17, bet augstākā  $C_{HA}:C_{FA}$  attiecība, kas liecina par zemu fulvoskābju saturu, ir pirmajā parauglaukumā – 2,57 (3.1. tabula).

Latvijā trīs (4., 5., 6.) no apsekotajiem parauglaukumiem atrodas mētrājā (*Vacciniosa*) (2.1. attēls), kuros augsnes tips ir tipiskais podzols. Nedzīvo zemsegas horizontu visos parauglaukumos veido *mor* humusa forma. Atšķirībā no sila humusa formām, mētrājā parauglaukumos vairs nav minerālie horizonti bez izteiktas augsnes struktūras. Ceturtajā, piektajā un sestajā parauglaukumā minerālajam horizontam ir izteikta augsnes mikrostruktūra. Kopējais organiskā oglekļa saturs ir ļoti augsts - sestajā parauglaukumā – 46,00%, ceturtajā un piektajā parauglaukumā nedaudz zemāks – attiecīgi 39,48% un 40,07%. Kopējais slāpekļa saturs organiskajos horizontos salīdzinoši zems – robežās no 0,88 – 0,94%, līdz ar to ir augsta C:N attiecība augsnes organiskajos horizontos. Galvenās organisko vielu noārdītājas ir sēnes. Organiskajos horizontos  $pH_{KCL}$  vērtība tikai līdz 3,9 (3.2. tabula).

Piektajā un sestajā parauglaukumā ļoti augsts humusvielu humifikācijas indekss, attiecīgi 91 un 92, ceturtajā parauglaukumā zemāks – 82. Liels humusvielu daudzums ir piektajā parauglaukumā - 93%; ceturtajā un sestajā parauglaukumā zemāks - attiecīgi 76% un 75%. Visos parauglaukumos humīnskābju/fulvoskābju īpatsvars zem 0,50, kas liecina par augstu fulvoskābju saturu (3.2. tabula).

Sila augšņu rasturojums (izstrādājusi autore, 2015)

Sils (SI)												
Paraugl. nr.	Augsnes tips	Humusa forma	Horizonts		C, (%)	N, (%)	C/N	pH	HIX	C <sub>hs</sub> /C <sub>org</sub> , %	C <sub>HA</sub> :C <sub>FA</sub>	Tilpummasa, kg/m <sup>3</sup>
			Apzīmējums	Dziļums, (cm)								
1	Iluviālais dzelzshumusa podzols	mor	O (OF <sub>NOZ</sub> )	0 - 2.5	37.52±0.98	1.31±0.04	1:29	4.2				289
			sg E (Ah)	2.5 - 7.5	1.22±0.36	0.06±0.02		5.3	86	63	2.57	1152
2	Tipiskais podzols	mor	O (OF <sub>NOZ</sub> + OH)	0 - 6	35.32±0.31	1.09±0.03	1:32	3.9				156
			miE	6 - 19	0.28±0.02	0.01±0.00		4.6	68	70	0.17	1159
3	Tipiskais podzols	mor	O (OL + OF <sub>NOZ</sub> +OH)	0 - 3	36.34±0.51	1.03±0.07	1:35	3.5				132
			sgE	3 - 9	0.35±0.23	0.05±0.01		4.1	66	68	0.45	1198

Mētrāja augšņu raksturojums (izstrādājusi autore, 2015)

Mētrājs (Mr)												
Paraugl. nr.	Augsnes tips	Humusa forma	Horizonts		C, (%)	N, (%)	C/N	pH	HIX	C <sub>hs</sub> /C <sub>org</sub> , %	C <sub>HA</sub> :C <sub>FA</sub>	Tilpummasa, kg/m <sup>3</sup>
			Apzīmējums	Dziļums, (cm)								
4	Tipiskais podzols	mor	O (OF <sub>NOZ</sub> + OH)	0 - 8	39.48±0.53	0.94±0.08	1:42	3.6				144
			miE	8 - 12	0.32±0.00	0.01±0.00		4.0	82	76	0.50	809
5	Tipiskais podzols	mor	O (OL+OF <sub>NOZ</sub> +OH)	0 - 6.1	40.07±0.50	0.88±0.08	1:46	3.7				220
			miAhE	6.1 - 11	0.77±0.02	0.03±0.00		4.5	91	93	0.47	938
6	Tipiskais podzols	mor	O (OF <sub>NOZ</sub> + OH)	0 - 4	46.00±1.67	0.93±0.13	1:50	3.9				111
			miE	4 - 14	0.70±0.15	0.02±0.00		4.8	92	75	0.33	1039

Apsekotajās pētījuma teritorijās seši parauglaukumi (7., 8., 9., 10., 11., 12.) (2.1.attēls) atrodas lānā. Četros parauglaukumos (7., 9., 10., 12.) ir tipiskais podzols, 11. parauglaukumā – velēnu podzolaugsne, bet 8. parauglaukumā – tipiskā vāji podzolētā augsne. Nedzīvajā zemsegas horizontā visos parauglaukumos ir *mor* humusa forma, tikai 10. un 12. parauglaukumā - *moder* humuss. 8. un 9. parauglaukumā minerālo A un EA horizontu veido augsnes bez izteiktas struktūras; 7., 10. un 12. parauglaukumā ir minerālais horizonts ar izteiktu augsnes mikrostruktūru, toties 11. parauglaukumā trūdvielu akumulācijas AhE horizonta augsnei ir raksturīga mezostruktūra. Organiskie horizonti ir vidēji līdz pieci centimetri biezi. Tajos vērojams augsnes sēņu micēlijs,  $pH_{KCL} < 4$ . Visās humusa formās nedzīvās zemsegas horizontā ir augsts kopējā oglekļa un kopējā slāpekļa saturs. Vidējais oglekļa saturs ir 37,14%, slāpekļa – 1,12%. Lānā gan *mor*, gan *moder* humusā ir salīdzinoši augsta C:N attiecība, tā svārstās no 1:30 līdz 1:36 (3.3 tabula).

Humusvielu humifikācijas indekss ir plašā intervālā no 67 (8. parauglaukums) līdz pat 94 (11. parauglaukums). Humusvielu daudzums svārstās no 45% 10. parauglaukumā līdz 82% 11. parauglaukumā un 83% 8. parauglaukumā. Augstākā humīnskābju/fulvoskābju attiecība ir 10. un 12. parauglaukumā, tas ir, 0,78 un 0,74.; viszemākā – 11. parauglaukumā (0,16) (3.3. tabula).

No visiem apsekotajiem parauglaukumiem damaksnis ir sastopams sešās etalonteritorijās. 13. parauglaukumā iluviālā dzelzshumusa podzola augsnē veidojas *mor* humusa forma ar plānu organisko fermentācijas horizontu un bezstruktūras minerālo horizontu. 18. parauglaukumā *mull* humusa forma izveidojusies velēnu podzolaugsnei. Tai raksturīgs plāns organiskais fermentācijas horizonts un trūdvielu akumulācijas horizontā augsnei raksturīga mezostruktūra. Arī 14. parauglaukumā *mull* humusu raksturo plāns organiskais horizonts un trūdvielu akumulācijas horizonts ar augsnes mezostruktūru. 15. parauglaukumā, kur ir izskatotā velēnu karbonātaugsne, iespējams, augsnes rupjā granulometriskā sastāva dēļ (vidēja smilts; rupja smilts), ir trūdvielu akumulācijas horizonts ar neizteiktu augsnes struktūru. 16. parauglaukumu arī raksturo plāns organiskais horizonts, bet dziļš minerālais horizonts. Turpretī 17. parauglaukumā ir biezs organiskais horizonts (līdz 14 cm) un biezs minerālais AhE horizonts. Vidējā kopējā oglekļa koncentrācija organiskajā horizontā ir 31,20%, vidējā slāpekļa koncentrācija – 1,15%. Damaksnī organiskajos horizontos  $pH_{KCl}$  kopumā vairs nav tik skābs – 13., 14., 15. un 18. parauglaukumā  $pH_{KCL} > 4$ , tomēr 16. parauglaukumā  $pH_{KCL} = 3,0$  un 17. parauglaukumā  $pH_{KCL} = 2,7$  (3.4. tabula).

Humusvielu humifikācijas indekss damaksnā augsņu parauglaukumos ir no 66 (14. parauglaukums) līdz 89 (16. parauglaukums). Humusvielu daudzums svārstās no 15%

izskalotajā velēnu karbonātaugsnē līdz 93% velēnu podzolaugsnē. Augstākā humīnskābju/fulvoskābju attiecība ir 13., 18. un 17. parauglaukumā (>1); zemākā – 15., 14. un 16. parauglaukumā (<1) (3.4. tabula).

Apsekotajās pētījuma teritorijās pieci parauglaukumi (19., 20., 21., 22. un 23.) (2.1. attēls) atrodas vērī. Velēnpodzolētajā augsnē 19. un 21. parauglaukumā ir *mull* humusa forma ar ļoti plānu organisko horizontu (tikai līdz diviem centimetriem). 20. parauglaukumā *mull* humusa forma raksturīga velēnu karbonātaugsnei un organiskais horizonts ir līdz desmit centimetrus biezs. 22. un 23. parauglaukumā ir velēnu podzolaugsne. 22. parauglaukumā izveidojusies *moder* humusa forma, kur organiskais horizonts ir seši centimetri biezs, un tajā izšķirams OL un OF apakšhorizonts. 23. parauglaukumā - *mull* humusa forma ar trīs centimetrus plānu organisko horizontu. 19. parauglaukumā ir minerālais Ah horizonts ar izteiktu augsnes mezostruktūru, pārējos parauglaukumos Ah horizonts ar augsnes makrostruktūru. Visām *mull* humusa formām ir augsts kopējais slāpekļa saturs organiskajos horizontos (virs 1,5%) un arī oglekļa saturs ir augsts - vidēji tas ir 38%. Zems  $pH_{KCl}$  organiskajā horizontā ir tikai 22. parauglaukumā ( $pH_{KCl}=3,4$ ) (3.5. tabula).

Humusvielu humifikācijas indekss visos parauglaukumos ir līdzīgs no 66 – 78. Augstākais tas ir 22. parauglaukumā (HIX=78). Humusvielu daudzums ir zems, tas ir no 29% 20. parauglaukumā līdz 38% 19. parauglaukumā. Humīnskābju/fulvoskābju attiecība virs 1, izņemot 22. parauglaukumu, kur tā ir tikai 0,34 (3.5. tabula).

## Lāna augšņu raksturojums (izstrādājusi autore, 2015)

Lāns (Ln)												
Paraugl. nr.	Augsnes tips	Humusa forma	Horizonts		C, (%)	N, (%)	C/N	pH	HIX	C <sub>hs</sub> /C <sub>org</sub> , %	C <sub>HA</sub> :C <sub>FA</sub>	Tilpummasa, kg/m <sup>3</sup>
			Apzīmējums	Dziļums, (cm)								
7	Tipiskais podzols	mor	O (OF <sub>ZO</sub> )	0 - 5	39.61±0.42	1.13±0.06	1:35	3.3				119
			miAE	5 - 9	1.64±0.19	0.09±0.00		3.0	82	43	0.25	1240
8	Tipiskā vāji podzolētā augsne	mor	O (OF <sub>NOZ</sub> )	0 - 4.5	33.61±1.31	1.05±0.04	1:32	3.5				120
			sgA	4.5 - 10	0.97±0.01	0.36±0.01		4.3	67	83	0.33	1694
9	Tipiskais podzols	mor	O (OL+OF <sub>NOZ</sub> +OH)	0-9	40.87±0.16	1.37±0.06	1:30	3.8				150
			sgEA	9-16	2.98±0.39	0.13±0.01		3.9	92	54	0.49	976
10	Tipiskais podzols	moder	O (OF <sub>ZO</sub> )	0-5	35.64±0.21	1.09±0.11	1:33	4.1				168
			miEh	5-14	1.35±0.23	0.25±0.01		4.5	72	45	0.78	1290
11	Velēnu podzolaugsne	mor	O (OL+OF <sub>zo</sub> +OH)	0-10	35.94±0.3	1.04±0.02	1:35	3.4				165
			meAhE	10-22	1.68±0.21	0.25±0.01		3.9	94	82	0.16	1260
12	Tipiskais podzols	moder	O (OF <sub>ZO</sub> )	0 - 6	37.18±1.79	1.04±0.03	1:30	3.9				138
			miEA	6 - 13	1.06±0.04	0.13±0.00		4.5	82	59	0.74	1314

**Damakšņa augšņu raksturojums (izstrādājusi autore, 2015)**

Damakšnis (Dm)												
Paraugl. nr.	Augsnes tips	Humusa forma	Horizonts		C, (%)	N, (%)	C/N	pH	HIX	C <sub>hs</sub> /C <sub>org</sub> , %	C <sub>HA</sub> :C <sub>FA</sub>	Tilpummasa, kg/m <sup>3</sup>
			Apzīmējums	Dziļums, (cm)								
13	Iluviālais dzelzshumusa podzols	mor	O (OF <sub>NOZ</sub> )	0 - 3	32.75±1.12	0.98±0.50	1:33	4.4				241
			sgE	3 - 19	1.17±0.08	0.06±0.00		4.8	77	89	1.84	733
14	Velēnu podzolaugsne	mull	O (OL+OF <sub>ZO</sub> )	0 - 3	27.58±0.83	1.09±0.10	1:25	4.0				210
			meAh	3 - 15	1.24±0.07	0.09±0.00		4.5	66	45	0.36	782
15	Izskaloātā velēnu karbonātaugsne	mull	O (OL+OF <sub>ZO</sub> )	0 - 4.5	29.11±0.68	0.98±0.08	1:30	5.6				505
			sgAh	4.5 - 12.5	3.54±0.24	0.20±0.01		6.3	76	15	0.20	1293
16	Velēnu podzolaugsne	moder	O (OL+OF)	0-4	33.50±0.58	1.13±0.02	1:30	3.0				366
			meEAh	4-12	0.53±0.06	0.03±0.00		3.3	89	93	0.78	833
17	Velēnu podzolaugsne	mor	O (OL+OF <sub>ZO</sub> )	0-4	36.51±1.02	1.32±0.01	1:28	2.7				158
			meAh	4-14	1.31±0.02	0.28±0.03		3.2	75	46	1.27	1005
18	Velēnu podzolaugsne	mull	O (OF <sub>ZO</sub> )	0 - 2	27.74±0.25	1.45±0.19	1:19	4.1				312
			meA	2-18	2.81±0.46	0.41±0.06		4.9	79	66	1.62	715

## Vēra augšņu raksturojums (izstrādājusi autore, 2015)

Vēris (Vr)												
Paraugl. nr.	Augsnes tips	Humusa forma	Horizonts		C, (%)	N, (%)	C/N	pH	HIX	C <sub>hs</sub> /C <sub>org</sub> , %	C <sub>HA</sub> :C <sub>FA</sub>	Tilpummasa, kg/m <sup>3</sup>
			Apzīmējums	Dziļums, (cm)								
19	Velēnpodzolētā augsne	mull	O (OLn)	0 - 1	36.86±0.32	1.72±0.21	1:21	4.5				93
			meAh	1 - 35	1.72±0.27	0.11±0.00		5.6	66	38	1.21	913
20	Velēnu karbonātaugsne	mull	O (OL + OF <sub>ZO</sub> )	0 - 3	43.85±0.33	1.81±0.18	1:24	4.4				124
			maAh	3-12	4.50±0.07	0.68±0.11		4.7	68	29	1.25	769
21	Velēnpodzolētā augsne	mull	O (OL)	0 - 2	39.18±0.22	1.80±0.12	1:22	6.1				84
			maAh	2 - 17	3.95±0.41	0.75±0.15		6.7	74	30	1.27	939
22	Velēnu podzolaugsne	moder	O (OL + OF <sub>ZO</sub> )	0-6	34.14±0.45	1.07±0.05	1:32	3.4				96
			maAh	6-12	4.93±0.04	0.42±0.06		4.1	78	32	0.34	1090
23	Velēnu podzolaugsne	mull	O (OF <sub>ZO</sub> )	0-3	37.15±0.68	1.45±0.13	1:26	5.4				220
			maAh	3-11	1.50±0.19	0.72±0.05		5.7	68	36	1.28	1220

### 3.2. Vecāku augšņu vispārējs raksturojums

Šajās teritorijās dominē tipisks smilšains akumulatīvs Piejūras zemienu līdzenums. Visos piecos apsekotajos parauglaukumos (1., 2., 3., 4., 5) (2.2. attēls) raksturīgs tipiskais podzols, kas veidojies uz smilts cilmiežiem. Lielākoties Vecāku apkaimes teritorija klāta ar priežu mežu, kur galvenie meža augšanas tipi ir sils, mētrājs un damaksnis. Apsekotajos parauglaukumos divi no parauglaukumiem atrodas silā, trīs – mētrājā. Nedzīvo zemsegas horizontu visos piecos parauglaukumos veido *mor* humusa forma, kurā ir visi trīs nedzīvās zemsegas horizonti - OL (koku lapas un skuju), OF (nepilnīgi sadalījušās organiskās vielas), OH (pilnīgi sadalījušās organiskās vielas). Parauglaukumos virsējo minerālo horizontu veido E horizonts ar izteiktu augsnes mikrostruktūru. Otrajā un piektajā parauglaukumā ir izveidojies salīdzinoši biezs zemsegas horizonts (attiecīgi 7,4 cm un 7,0 cm), kas skaidrojams ar traucētu mikrobioloģisko darbību skābās augsnes reakcijas dēļ:  $pH_{KCL}$  no 3,1 organiskajā horizontā līdz 4,7 profila minerālajos horizontos. Kopējais oglekļa daudzums svārstās salīdzinoši nelielās robežās no 33,84% silā esošajā otrajā parauglaukumā līdz 39,85% mētrājā esošajā piektajā parauglaukumā. Kopējais slāpekļa saturs kā augsne vērtējams pirmajā, trešajā un piektajā parauglaukumā (virs 1,17%), attiecīgi otrajā un ceturtajā zemāks kā iepriekš minētajos (zem 1%) (3.6.tabula).

Veicot sīkāku humusvielu izpēti, tika noskaidrots, ka humusvielu humifikācijas indekss HIX ir robežās no 64 līdz 73. Humusvielu īpatsvara saturs augsnes minerālajā daļā ir robežās no 54% - 69%.  $C_{HA}:C_{FA}$  attiecība svārstās no 0,56 līdz 0,86 (3.6. tabula).

## Vecāku augšņu organisko vielu raksturojums (izstrādājusi autore, 2015)

Sils (Sl)											
Paraugl. nr.	Augsnes apakštīps	Humusa forma	Horizonts		C, (%)	N, (%)	C/N	pH <sub>KCL</sub>	HIX	C <sub>hs</sub> /C <sub>org</sub> , %	C <sub>HA</sub> :C <sub>FA</sub>
			Apzīmējums	Dziļums, cm							
1	Tipiskais podzols	mor	O (OL+ OF <sub>NOZ</sub> + OH)	0-4.8	35.46±0.22	1.41±0.16	1:25	3.4			
			miE	4.8-9.8	0.55±0.11	0.13±0.01		4.0	67	63	0.79
2	Tipiskais podzols	mor	O (OL+ OF <sub>NOZ</sub> + OH)	0-7.4	33.84±0.16	0.77±0.09	1:44	3.4			
			miE	7.4-19.4	3.27±0.30	0.15±0.01		3.7	73	54	0.86
Mētrājs (Mr)											
3	Tipiskais podzols	mor	O (OL+ OF <sub>NOZ</sub> + OH)	0-5.1	33.91±0.19	1.17±0.13	1:29	3.5			
			miE	5.1-7.1	0.08±0.10	0.16±0.02		4.6	64	58	0.64
4	Tipiskais podzols	mor	O (OL+ OF <sub>NOZ</sub> + OH)	0-5.3	37.80±0.34	0.95±0.05	1:40	3.4			
			miE	5.3-8.8	0.63±0.21	0.15±0.01		4.3	68	64	0.56
5	Tipiskais podzols	mor	O (OL+ OF <sub>NOZ</sub> + OH)	0-7.0	39.85±0.38	1.19±0.18	1:34	3.1			
			miE	7.0-11.2	0.09±0.01	0.16±0.02		4.7	67	69	0.68



### 3.3.Mežaparku augšņu vispārējs raksturojums

Mežaparkā seši (2., 3., 6., 10., 15., 17) (2.3. attēls) no apsekotajiem parauglaukumiem atrodas mētrājā. Tā kā teritorijā pārsvarā sastopamas vāji – vidēji podzolētās augsnes uz smilts cilmieža, tad arī mētrājā trijos no parauglaukumiem ir velēnu podzolaugsne un trijos – tipiskais podzols. Nedzīvo zemsegas horizontu visos parauglaukumos veido *moder* humusa forma. Organiskais horizonts plāns, caurmērā nepārsniedz trīs līdz piecu centimetru biezumu. 2., 3. un 10. parauglaukumā minerālajam Ah horizontam ir augsnes mezostruktūra. Minerālais horizonts ar augsnes mikrostruktūru ir 6., 15. un 17. parauglaukumā. Kopējais organiskā oglekļa saturs ir mainīgs – no ļoti augsta 2. parauglaukumā (38,76%) līdz salīdzinoši zemam 17. parauglaukumā (29,60%). Pārējos mētrājā esošajos parauglaukumos oglekļa saturs svārstās ap vidējo, tas ir, 32,54%. Arī visos minerālajos horizontos – vidēji ap 1,62%. Šajos sešos parauglaukumos arī kopējais slāpekļa saturs augsts - organiskajos horizontos vidēji 1,15%. C:N attiecība zem 30, kas liecina par strauju organiskā materiāla sadalīšanos un sajaukšanos ar minerālaugsnī. 3. parauglaukumā, kas atrodas R daļā pie Viestura prospekta, ir viens no augstākajiem  $pH_{KCl}$  līmeņiem organiskajā horizontā  $pH_{KCl}=4,35$ ; minerālajā horizontā  $pH_{KCl}=4,44$  (3.7. tabula).

Mētrājā esošajos parauglaukumos humusvielu humifikācijas indekss ir robežās no 63 – 74. Humusvielu daudzums svārstās no 51-88%. Augsts fulvoskābju īpatsvars vērojams 2. un 10. parauglaukumā, kas ir virs 2, bet zemākā  $C_{HA}:C_{FA}$  vērtība ir 17. parauglaukumā – 0,16 (3.7. tabula).

Puse no visiem apsekotajiem parauglaukumiem (1., 4., 5., 7., 8., 9., 12., 13., 14., 18.) (2.3. attēls) atrodas lānā, kas veidojušies uz mālsmilts vai smilšmāla cilmiežiem un dominējošais augsnes apakštīps ir velēnu podzolaugsne; tikai 12. parauglaukumā ir tipiskais podzols. Pieciem jeb pusei no lānā esošajiem parauglaukumiem nedzīvo zemsegas horizontu veido *mull* humusa forma, kas liecina par strauju barības vielu aprites ciklu; otrai pusei parauglaukumu - *moder* humusa forma. Straujās organisko vielu aprites dēļ parauglaukumos ar *mull* humusa formu organiskais horizonts ir ļoti plāns – tas nepārsniedz vienu centimetru. *Moder* humusa formā nedzīvās zemsegas horizonts ir līdz pat seši centimetri biezs. Minerālo horizontu veido mikrostruktūras, mezostruktūras un makrostruktūras A un Ah horizonts. Visās *mull* humusa formās ir salīdzinoši augsts oglekļa saturs gan organiskajā, gan minerālajā horizontā. Organiskajā horizontā vidēji tas ir 35,39%; minerālajā – 2,20%. *Moder* humusa formās vidējais oglekļa daudzums organiskajā horizontā ir 29,71%. (3.8. tabula).

Lānā sastopamajos parauglaukumos humusvielu humifikācijas indeksam ir neliels intervāls, tas ir robežās no 66 – 69. Humusvielu daudzums ir no 31% līdz 56%. Augstākais

fulvoskābju saturs ir 4. un 5. parauglaurumā, zemākais – 14., 8., un 13. parauglaurumā (3.8. tabula).

Damaksnī atrodas četri parauglaurumi (11., 16., 19., 20.) (2.3. attēls), kur nedzīvo zemsegas horizontu veido *mull* humusa forma, kas veidojusies uz velēnu podzolaugsnis, izņemot 20. parauglaurumā, kas atrodas pie Rīgas Zooloģiskā dārza, ir kultūraugsne. Visās *mull* humusa formās ātrās organisko vielu aprites dēļ ir tikai OL horizonts. 11. un 19. parauglaurumā ir Ah horizonts ar augsnes mezostruktūru, 16. parauglaurumā A horizontam raksturīga augsnes mikrostruktūra, bet 20. parauglaurumā A horizonts ir ar izteiktu augsnes makrostruktūru. Organiskais horizonts plāns – tikai līdz diviem centimetriem, minerālais A un Ah horizonts līdz 13,5 cm (11. parauglaurums). Vidējais oglekļa daudzums organiskajā horizontā ir 33, 96%; minerālajā – 3,26%. Nedzīvās zemsegas horizontā slāpekļa saturs - vidēji 1,23%. C:N attiecība <30, kas ir raksturīga *mull* humusa formai un tā ātrajai organisko vielu aprītei (3.9. tabula).

Humusvielu humifikācijas indekss ir robežās no 72 – 78. Humusvielu īpatsvars salīdzinoši zems – no 32 – 56%. Augstākā humīnskābju/fulvoskābju attiecība 10. parauglaurumā – 3,02; lielākais fulvoskābju saturs ir 16. parauglaurumā (3.9. tabula).

Mežaparka mētrāja augšņu organisko vielu raksturojums (izstrādājusi autore, 2015)

Mētrājs (Mr)												
Paraugl. nr.	Augsnes tips	Humusa forma	Horizonts		C, (%)	N, (%)	C/N	pH	HIX	C <sub>hs</sub> /C <sub>org</sub> , %	C <sub>HA</sub> :C <sub>FA</sub>	Tilpummasa, kg/m <sup>3</sup>
			Apzīmējums	Dziļums, (cm)								
2	velēnu podzolaugsne	moder	O (OL,OF,OH)	0-4	38.76±0.90	1.51±0.03	1:26	3.82				119
			meAh	4-9	1.23±0.08	0.08±0.01		4.24	67	70	2.22	1198
3	tipiskais podzols	moder	O (OL,OF,OH)	0-3	32.15±0.72	1.24±0.07	1:26	4.35				130
			meAh	3-7	1.88±0.26	0.12±0.01		4.44	74	56	0.74	1381
6	velēnu podzolaugsne	moder	O (OL,OF)	0-2	29.98±0.85	1.22±0.03	1:25	4.03				200
			miAh	2-10	1.69±0.20	0.12±0.02		4.21	73	51	0.45	964
10	tipiskais podzols	moder	O (OF,OH)	0-7.5	31.34±0.73	0.80±0.12	1:30	4.25				248
			meAh	7.5-10.5	1.85±0.20	0.12±0.01		4.27	73	64	2.00	1663
15	velēnu podzolaugsne	moder	O (OL,OF,OH)	0-6	33.41±1.27	1.62±0.09	1:21	4.35				238
			miA	6-10	0.51±0.07	0.04±0.01		4.22	63	81	1.02	1256
17	tipiskais podzols	moder	O (OL,OF,OH)	0-4.3	29.60±1.16	1.21±0.33	1:25	3.82				491
			miAE	4.3-5.3	1.45±0.01	0.04±0.01		4.08	74	88	0.16	1314

Mežaparka lāna augšņu organisko vielu raksturojums (izstrādājusi autore, 2015)

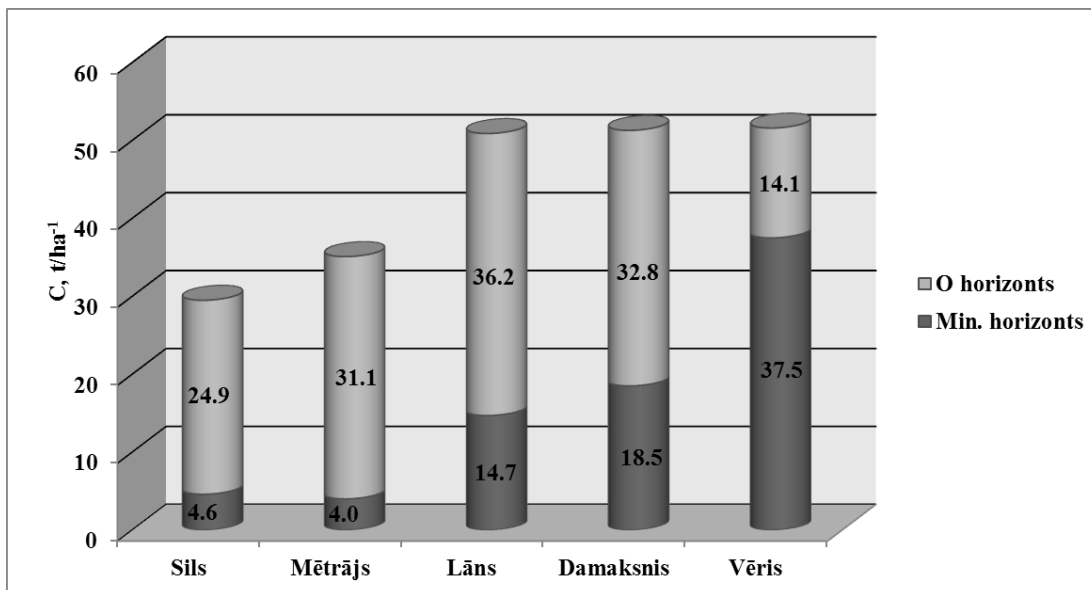
Lāns (Ln)												
Paraugl. nr.	Augsnes tips	Humusa forma	Horizonts		C, (%)	N, (%)	C/N	pH	HIX	C <sub>hs</sub> /C <sub>org</sub> , %	C <sub>HA</sub> :C <sub>FA</sub>	Tilpummasa, kg/m <sup>3</sup>
			Apzīmējums	Dziļums, (cm)								
1	velēnu podzolaugsne	mull	O (OL)	0-1	40.62±1.58	1.20±0.12	1:34	3.99				166
			meAh	1-8	2.60±0.56	0.15±0.03		4.29	69	31	0.47	1159
4	velēnu podzolaugsne	moder	O (OL, OF, OH)	0-6	41.07±0.62	1.50±0.07	1:27	4.37				195
			maAh	6-12	1.26±0.03	0.03±0.00		4.29	66	56	0.26	1759
5	velēnu podzolaugsne	mull	O (OL)	0-1	39.08±0.09	1.58±0.19	1:25	4.19				264
			meAh	1-6	2.16±0.48	0.13±0.02		4.35	66	52	0.27	565
7	velēnu podzolaugsne	moder	O (OL, OF, OH)	0-2	21.60±0.89	0.90±0.19	1:24	4.25				283
			meAh	2-6	1.06±0.05	0.03±0.01		4.17	68	40	0.69	1228
8	velēnu podzolaugsne	mull	O (OL)	0-1	35.17±0.43	1.17±0.16	1:30	4.07				89
			meAh	1-6	2.61±0.41	0.18±0.03		4.26	68	30	1.74	665
12	tipiskais podzols	moder	O (OL, OF)	0 - 2	28.75±0.28	1.06±0.12	1:27	4.11				654
			miA	0.3-4.3	2.67±0.29	0.37±0.10		4.09	69	38	0.45	1607
13	velēnu podzolaugsne	mull	O (OL)	0-1	24.47±1.21	0.91 ±0.12	1:27	4.12				194
			meA	1-10	1.23±0.09	0.07±0.01		4.26	67	53	1.27	1609
14	velēnu podzolaugsne	moder	O (OL, OF)	0-2	27.43±1.08	1.08±0.25	1:25	4.34				125
			miA	2-9	3.23±0.70	0.28±0.04		4.19	66	31	2.17	470
18	velēnu podzolaugsne	mull	O (OL)	0-0.5	26.69±0.24	1.12±0.03	1:24	3.91				250
			miA	0.5-8.5	2.42±0.05	0.17±0.00		4.23	66	41	0.45	1124

Mežaparka damaksnā augšņu organisko vielu raksturojums (izstrādājusi autore, 2015)

Damaksnis (Dm)												
Paraugl. nr.	Augsnes tips	Humusa forma	Horizonts		C, (%)	N, (%)	C/N	pH	HIX	C <sub>hs</sub> /C <sub>org</sub> , %	C <sub>HA</sub> :C <sub>FA</sub>	Tilpummasa, kg/m <sup>3</sup>
			Apzīmējums	Dziļums, (cm)								
11	velēnu podzolaugsne	mull	O (OL)	0-0.5	35.65±0.41	1.25±0.05	1:30	4.20				214
			meAh	0.5-13.5	2.89±0.05	0.11±0.01		4.27	76	32	1.22	363
16	velēnu podzolaugsne	mull	O (OL)	0-1	34.02±0.70	1.36±0.05	1:25	4.29				211
			miA	1-12	3.68±0.21	0.24±0.01		4.10	72	39	0.82	523
19	velēnu podzolaugsne	mull	O (OL)	0-2	36.19±1.24	1.26±0.14	1:29	4.24				200
			meAh	2-12	6.26±0.58	0.34±0.04		3.98	78	38	3.02	267
20	kultūraugsne	mull	O (OL)	0-0.5	29.97±0.82	1.10±0.03	1:27	4.22				230
			maA	0.5-10.5	1.20±0.02	0.07±0.01		4.19	77	56	1.67	1098

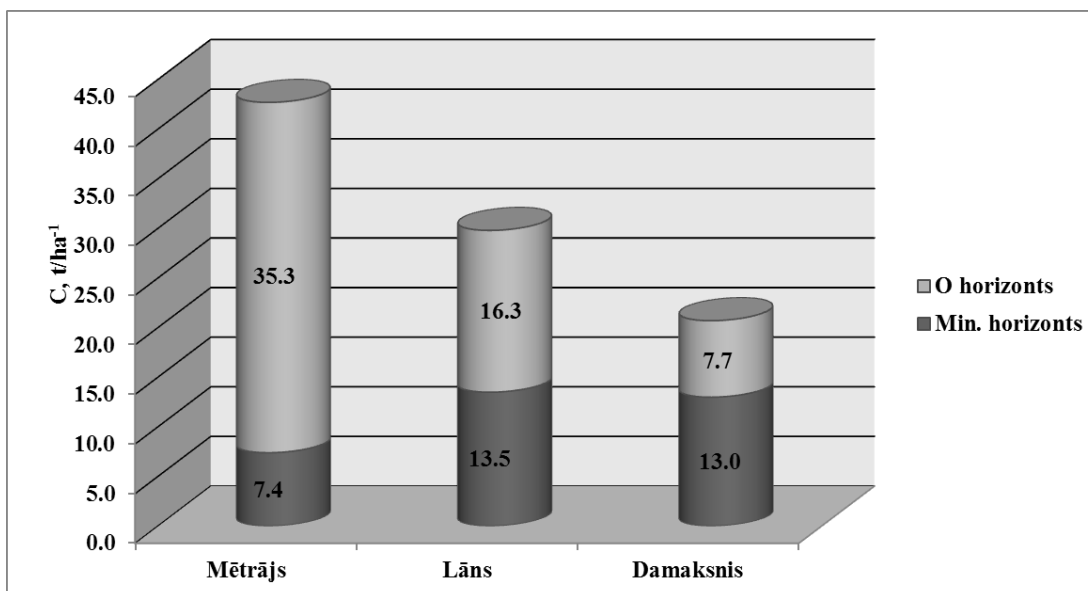
### 3.4. Organisko vielu daudzums un īpašības sausieņu tipa mežu augsnēs

No 23 apsekotajiem parauglaukumiem Latvijas dabiskajās meža ekosistēmās zemākais oglekļa daudzums ir silā un mētrājā. Silā tas ir 29,5 C t /ha<sup>-1</sup>, kur lielākā daļa uzkrājas organiskajā horizontā (24,9 C t /ha<sup>-1</sup>), bet minerālajā horizontā tiek uzkrāts apmēram piecas reizes mazāks oglekļa daudzums – 4,6 C t /ha<sup>-1</sup>. Mētrājā minerālajā horizontā ir līdzīgs oglekļa daudzums, bet organiskajā horizontā tas pieaug līdz 31,1 C t /ha<sup>-1</sup>, kopā veidojot 35,1 C t /ha<sup>-1</sup> lielu oglekļa daudzumu. Lāns, damaksnis un vēris veido, apmēram, vienādu kopējo oglekļa krāju – attiecīgi 50,9 C t /ha<sup>-1</sup>, 51,3 C t /ha<sup>-1</sup>, 51,6 C t /ha<sup>-1</sup>. Būtiska atšķirība šajos meža tipos ir starp horizontiem, kuros ogleklis tiek uzkrāts, jo lānā organiskajā horizontā ir lielākais oglekļa daudzums (36,2 C t /ha<sup>-1</sup>). Damaksnī organiskajā horizontā uzkrājas nedaudz mazāks oglekļa daudzums (32,8 C t /ha<sup>-1</sup>), bet tā pieaugums vērojams minerālajā horizontā. Vēri situācija ir krasi atšķirīga. Tur minerālajā horizontā ir tikai 14,1 C t /ha<sup>-1</sup>, jo lielākais oglekļa daudzums (37,5 C t /ha<sup>-1</sup>) uzkrājas tieši minerālajā horizontā. Kopumā vidējā oglekļa krāja pieaug virzienā sils – vēris.



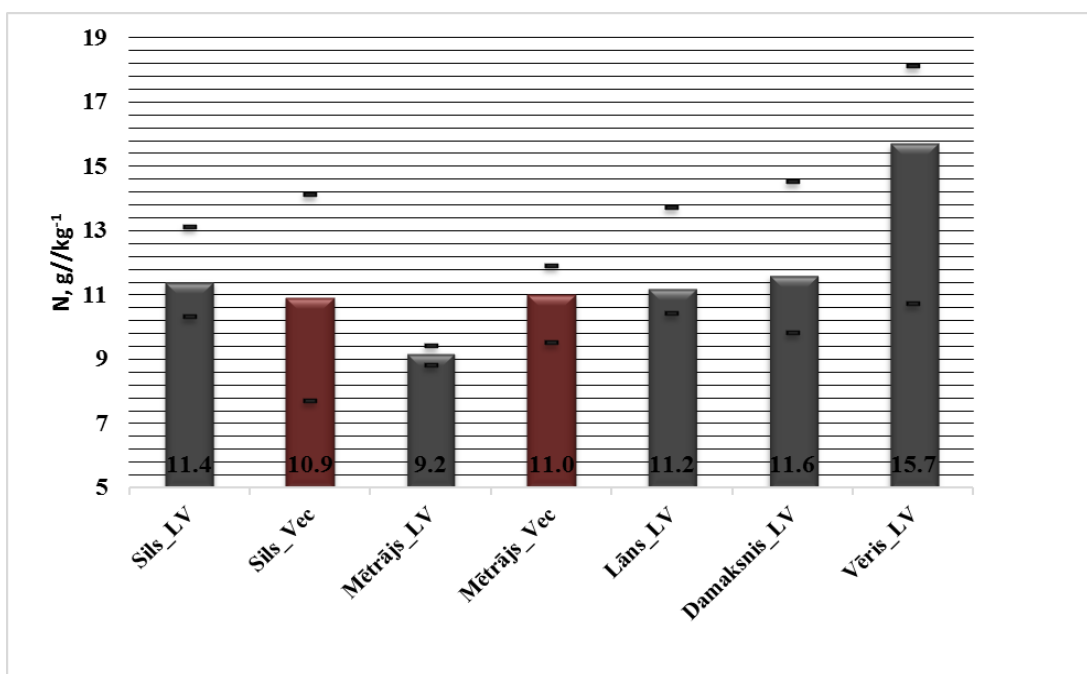
3.1.attēls. Vidējais C, t/ha<sup>-1</sup> daudzums sausieņu meža tipos Latvijā (izstrādājusi autore, 2015)

Mežaparkā apsekotajos parauglaukumos lielākais oglekļa daudzums ir mētrājā, kur tā kopējā krāja ir 42,7 C t /ha<sup>-1</sup>. Līdzīgi kā Latvijas teritorijā, arī Mežaparkā mētrāja minerālajā horizontā oglekļa daudzums ir piecas reizes mazāks (7,4 C t /ha<sup>-1</sup>), salīdzinot ar organisko horizontu (35,3 C t /ha<sup>-1</sup>). Damaksnī ir zemākā kopējā oglekļa krāja - 20,7 C t /ha<sup>-1</sup>, kur vairāk nekā puse no kopējā oglekļa daudzuma (13,0 C t /ha<sup>-1</sup>) ir uzkrāts minerālajā horizontā. Lānā oglekļa krāja sastāda 29,8 C t /ha<sup>-1</sup>. Mežaparkā vidēji organiskajā horizontā tiek uzkrātas apmēram 20,0 C t /ha<sup>-1</sup>.



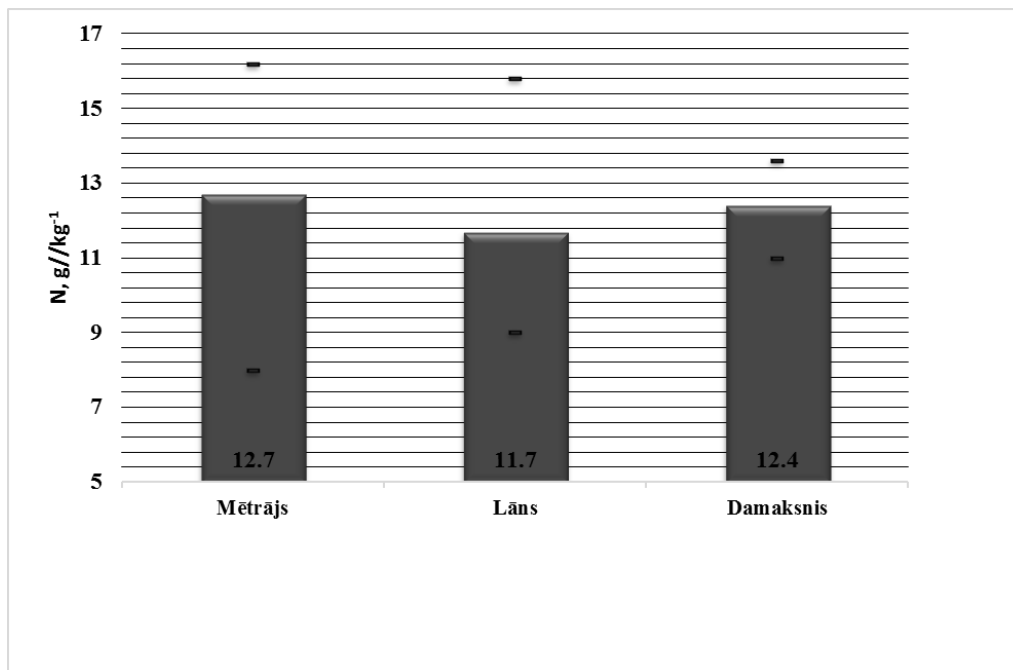
3.2.attēls. Vidējais C, t/ha<sup>-1</sup> daudzums sausieņu meža tipos Mežaparkā (izstrādājusi autore, 2015)

No pieciem apsekotajiem sausieņu meža tipiem vidējais slāpekļa saturs organiskajā horizontā augstākais un būtiski atšķirīgākais ir vēri – 15,7 g/kg<sup>-1</sup>. Vēri augstākā slāpekļa koncentrācija vienā parauglaukumā sasniedz pat 18,0 g/kg<sup>-1</sup>, kur arī pH<sub>KCl</sub> ir izteikti augsts – 6,1, ko ietekmējušas šajā parauglaukumā esošās lapu koku sugas. Pārējos meža tipos Latvijā, izņemot mētrāju, tam nav būtiskas atšķirības un tas ir līdzīgs – robežā no 11,2 – 11,5 g/kg<sup>-1</sup>. Pierīgas apsekotajos parauglaukumos, salīdzinot ar Latvijas teritoriju, slāpeklim ir līdzīga koncentrācijā – tas ir robežās no 10,9 līdz 11,0 g/kg<sup>-1</sup>.



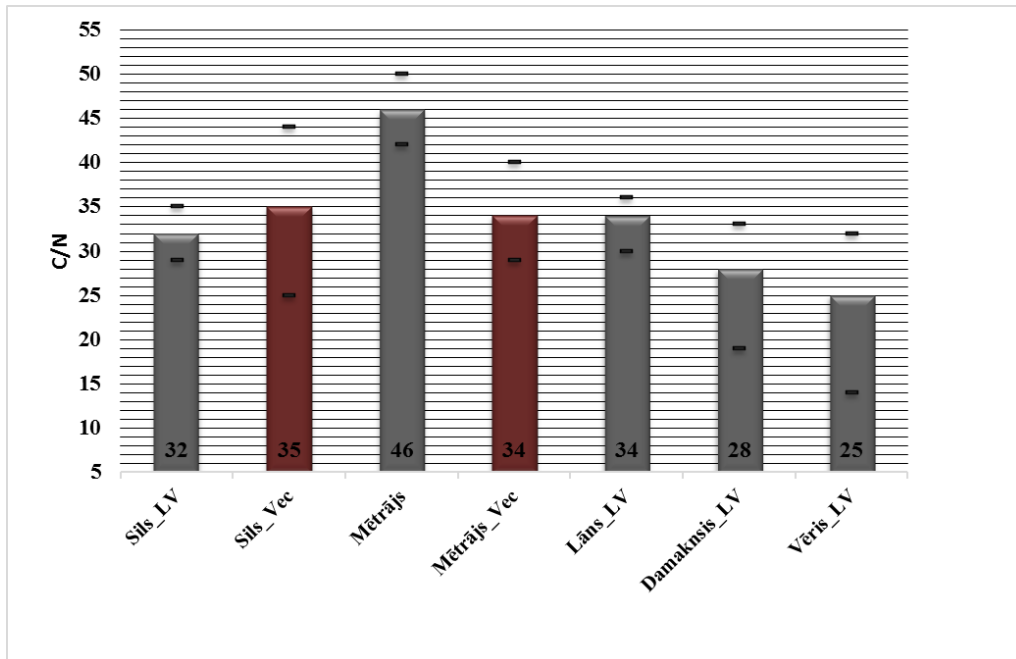
3.3.attēls. Vidējais N, g/kg<sup>-1</sup> daudzums sausieņu meža tipos Latvijā un Vecāķos (izstrādājusi autore, 2015)

Mežaparkā augstākā slāpekļa koncentrācija ir novērojama mētrājā - 12,7 g/kg<sup>-1</sup>. Mētrājā maksimālā vērtība ir 16,2 g/kg<sup>-1</sup>, kas vērojama parauglaukumos ar augstāko pH<sub>KCl</sub> (pH<sub>KCl</sub>=4,35), minimālā – 8,0 g/kg<sup>-1</sup>. Lānā vidējā slāpekļa vērtība ir 11,7 g/kg<sup>-1</sup>. Lānā divos parauglaukumos konstatēts zems slāpekļa daudzums – 9,0 un 9,1 g/kg<sup>-1</sup>. Damaksnī vidējā slāpekļa koncentrācija ir 12,4 g/kg<sup>-1</sup>.



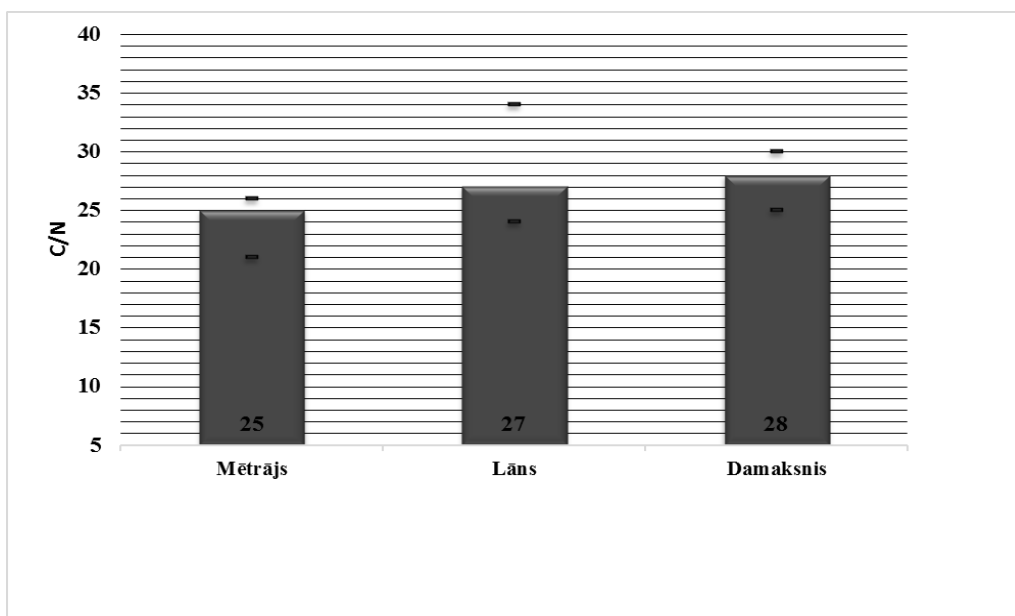
3.4.attēls. Vidējais N, g/kg<sup>-1</sup> daudzums sausieņu meža tipos Mežaparkā (izstrādājusi autore, 2015)

Augstākā C:N attiecība novērojama mētrājā (vidēji 46), zemākā – silā (vidēji 32). Mētrāja augstā C:N attiecība skaidrojama ar visos parauglaukumos sastopamo zemo slāpekļa daudzumu (3.3. attēls). Sākot ar lānu, kur C:N attiecība ir 34, tā samazinās līdz 25 vērtī esošajos parauglaukumos. Vērtī vērojamas lielas C:N attiecības svārstības. Zemākā C:N sasniedz pat 14, kas skaidrojams arī ar augsto pH<sub>KCl</sub> – 6,1 un liecina, ka nobiras ir viegli un ātri biodegradējamās. Vecāžu parauglaukumos silā un mētrājā ir savstarpēji līdzīgas C:N koncentrācijas – 35 un 34.



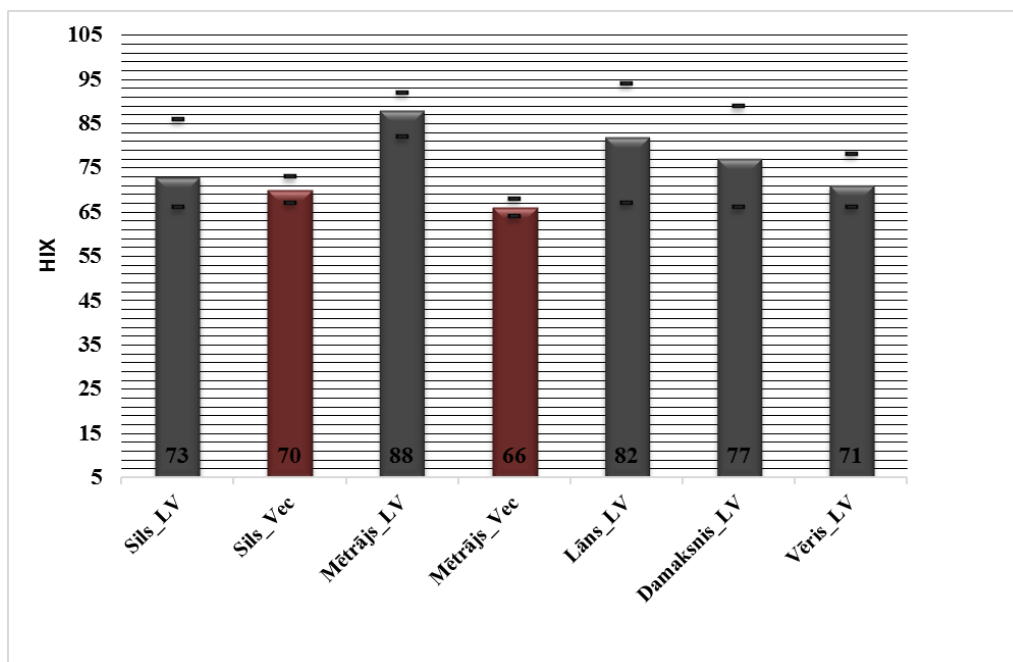
3.5.attēls. Vidējā C:N attiecība sausieņu meža tipos Latvijā (izstrādājusi autore, 2015)

Mežaparkā C:N attiecības svārstības ir nelielas, taču kopumā tās ir zemas. Zemākā C:N attiecība ir 25, kas raksturo Mežaparka mētrāja augsnes, bet augstākā 28, kas ir raksturīgas Mežaparka damakšņa augsnēm.



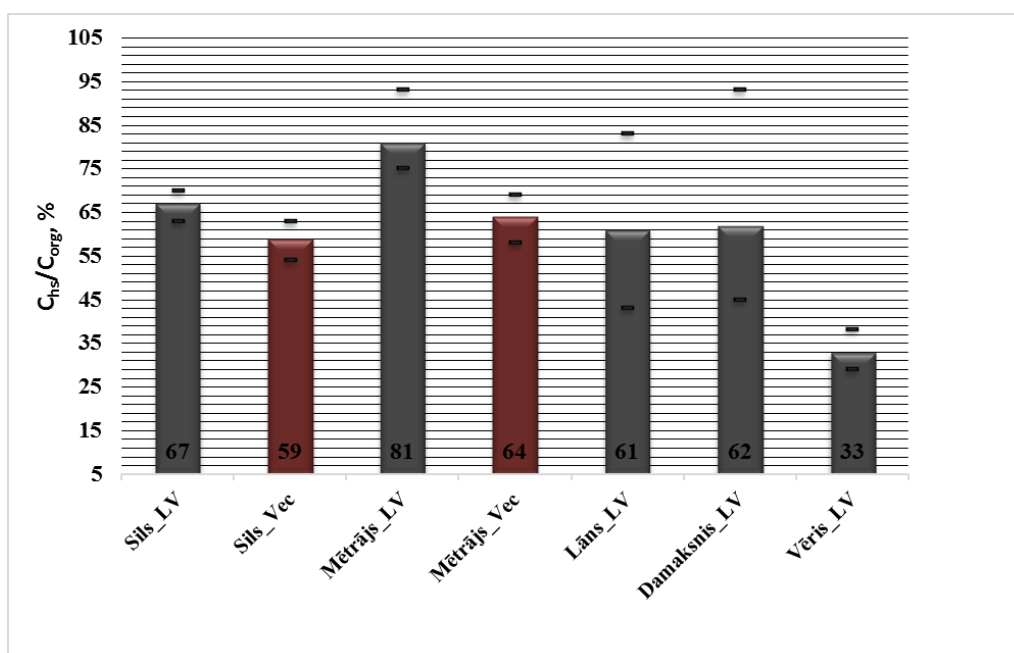
3.6. attēls. Vidējā C:N attiecība sausieņu meža tipos Latvijā (izstrādājusi autore, 2015)

Vidējais humusvielu humifikācijas indekss (HIX) ir robežās no 71% līdz 88%, kur mētrājā tas saniedz 88%, lānā – 82%, damaksnī – 77%, silā – 73%, bet vērī 71%. Vecāku sila augsnēs humusvielu humifikācijas indekss ir 70%, mētrājā – 66%.



3.7.attēls. Vidējais HIX sausieņu meža tipos Latvijas teritorijā un Vecāķos (izstrādājusi autore, 2015)

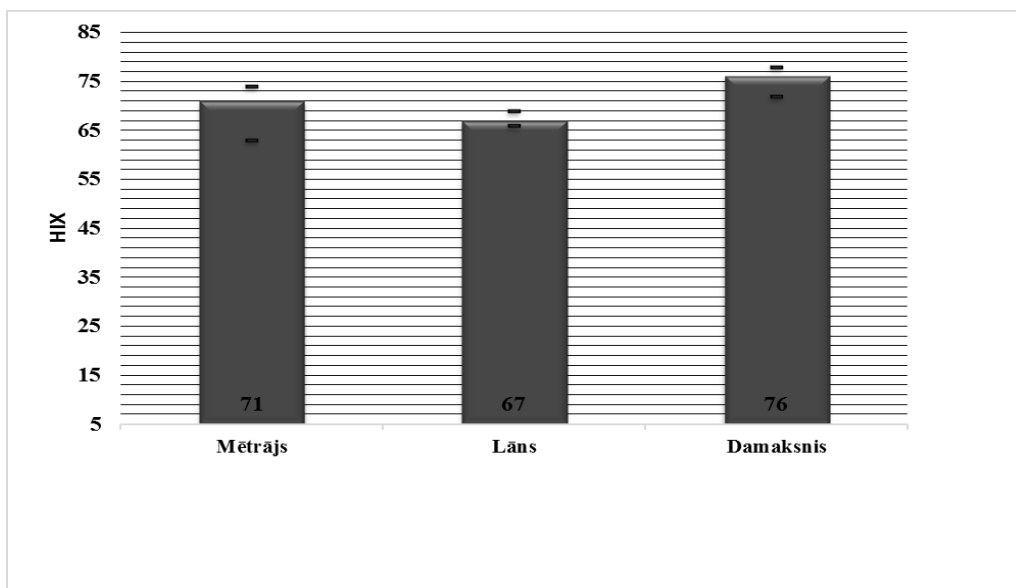
$C_{hs}/C_{org}$  attiecība neietekmētajās meža ekosistēmās un daļēji ietekmētajās Vecāķos ir dažāda, un vidējā vērtība variē robežās no 33% vēra augsnēs līdz 81 % mētrāja augsnēs. Vecāķu teritorijas sila augsnēs humusvielās esošā oglekļa īpatsvars ir 59%, mētrājā – 64%.



3.8.attēls. Vidējais  $C_{hs}/C_{org}$ , % sausieņu meža tipos Latvijas teritorijā un Vecāķos (izstrādājusi autore, 2015)

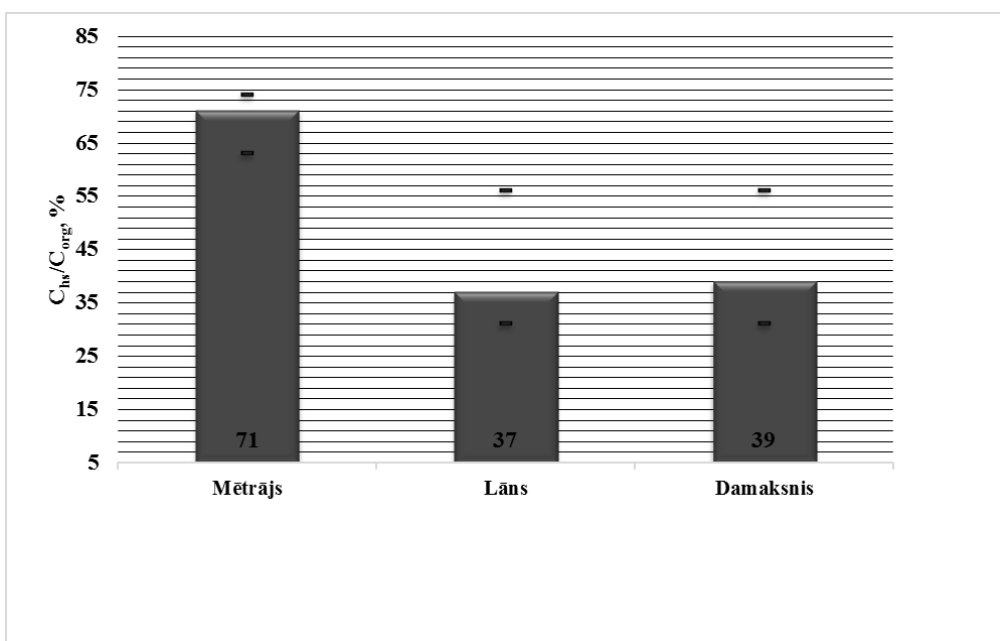
Mežaparkā augstākais humusvielu humifikācijas indekss (HIX) ir damaksnī, kur tā vērtība ir 88. Humusvielu humifikācijas indekss, kas raksturo mētrāja augsnes ir 71, bet lāna

augšnes – 67. Jo augstāka organisko vielu humifikācijas pakāpe, jo labāki augšnes organisko vielu humificēšanās apstākļi.



3.9.attēls. Vidējais HIX Mežaparka sausieņu meža tipos (izstrādājusi autore, 2015)

Mežaparkā apsekotajos parauglaukumos augstākais humusvielu īpatsvars ir mētrājā – 71%. Lāna un damakšņa augšnes raksturo ievērojami zemāka  $C_{hs}/C_{org}$  attiecība - lāna augsnēs tas ir 37%, bet damakšņa augsnēs 39%.



3.10. attēls. Vidējais  $C_{hs}/C_{org}$ , % Mežaparka sausieņu meža tipos (izstrādājusi autore, 2015)

## 4. REZULTĀTU INTERPRETĀCIJA UN DISKUSIJA

### 4.1. Organisko vielu daudzuma un īpašību novērtējums sausieņu tipa mežu augsnēs

Augsnes īpašības, piemēram, organiskais ogleklis un kopējais slāpeklis, arī pH mainās atkarībā no koku sugām. Tas skaidrojams ar to, ka atšķiras skuju un lapu nobiru ķīmiskais sastāvs (Kasparinskis, 2012), kā arī no koku vecuma, jo vairāki pētījumi liecina, ka augsnes organiskā oglekļa krājumu veidošanās un meža zemsegas oglekļa krājumi ir atkarīgi no kokaudzes vecuma (Vesterdal et al., 2002). Savukārt, no meža tipa ir atkarīgs organisko vielu sadalīšanās ātrums un enerģijas aprīte mežu ekosistēmās (Birkeland, 1984), kur šis process atspoguļojas augsnes organiskajā horizontā (Jabiol et al., 2011).

Līdz šim gan Latvijā, gan pasaulē liela uzmanība pievērsta pētījumiem par oglekļa akumulāciju meža ekosistēmu gan virszemes, gan sakņu biomasā. Pēc veikto pētījumu datiem Eiropas mērenā klimata joslā katrs hektārs meža uzkrāj ap 110 t organiskā oglekļa ( $C_{org}$ ), savukārt apmēram 65 t  $C_{org}$  no šī daudzuma uzkrājas mežu augsnēs (Bārdule un Lazdiņš, 2010). Latvijas meža augšņu organiskajā horizontā noteiktais vidējais  $C_{org}$  saturs ir 21 t  $ha^{-1}$  (Bārdule u.c., 2009). Maģistra darba pētījuma rezultāti arī ataino, ka  $C_{org}$  daudzums un sadalīšanās ātrums ir atšķirīgs dažādos meža tipos. Tā kopējais daudzums pieaug no oligotrofiskajām augtenēm uz mezoeitrofiskajām. Mazākais oglekļa daudzums ir silā (29,5 C, t/ha<sup>-1</sup>). Vērī ir vienas no barības vielām bagātākajām augsnēm un tur, salīdzinot ar silu, uzkrājas apmēram divas reizes vairāk oglekļa – 51,6 C, t/ha<sup>-1</sup> (3.1. attēls).

Kopumā silā, mētrājā, lānā un damaksnī organiskā oglekļa izvietojums augsnes profilā ir nevienmērīgs. Salīdzinot ar augsnes minerālo daļu, krietni augstāks oglekļa saturs ir augsnes nobiru slānī. Piemēram, silā organiskajā horizontā uzkrājas apmēram piecas reizes vairāk oglekļa nekā minerālajā. Turpretī vērī, kur ir barības vielām bagātas augsnes, aktīva augsnes faunas darbība, un organisko vielu aprīte norisinās ļoti strauji, vērojama atšķirīga situācija. Vērī lielāks oglekļa daudzums ir tieši minerālajā horizontā, kur tas ir apmēram 2,5 reizes lielāks nekā organiskajā horizontā (3.1. attēls). Tas skaidrojams ar to, ka organisko vielu sajaukšanās ātrums ar minerālaugsnī samazinās relatīvi skābās skuju koku mežaudzes augsnēs, jo augsnes fauna ir mazāk aktīva, salīdzinot ar lapu koku audzēm, kur ir augstāka bioloģiskā aktivitāte, kas nodrošina organisko vielu degradāciju un humifikāciju (Thuile and Schulze, 2006). Arī labvēlīgo vides apstākļu dēļ organisko augu atlieku mineralizācijas process straujāk norisinās eitrofos meža tipos, tāpēc vērī augsnes virsējā minerālā slānī ir vairāk  $C_{org}$ , salīdzinot ar mezotrofiem un oligotrofiem meža tipiēm (Kasparinskis, 2012).

Citās valstīs, piemēram, Nīderlandē  $C_{org}$  saturs organiskajā horizontā variē ļoti plašās robežās - no 13 līdz 51 t C  $ha^{-1}$  (Schulp et al., 2008). Runājot par minerālajiem horizontiem,

Latvijas meža augšņu minerālajos horizontos 0 - 80 cm dziļumā vidējais  $C_{org}$  ir  $195 \text{ t C ha}^{-1}$  (Bārdule et al., 2009). Norvēģijā meža augšņu inventarizācijas pētījumos konstatētais vidējais  $C_{org}$  saturs minerālaugsnēs 0 - 100 cm dziļumā ir  $140 \text{ t C ha}^{-1}$  (De Wit et al., 2006).

Pētījumi globālā mērogā ir parādījuši, ka no kopējā augsnes profilā esošā organiskā oglekļa daudzuma apmēram puse atrodas augsnes virskārtas 30 cm biežā slānī, bet otra puse – 30–100 cm slānī (Batjes, 1996). Taču krājumu sadalījums starp virskārtu un dziļākiem slāņiem ir atkarīgs no veģetācijas tipa, zemes lietošanas veida un daudziem citiem faktoriem (Līpenīte un Kārklīšs, 2011).

Tomēr pētījumi liecina, ka starp dažādām koku sugām  $C_{org}$  satura atšķirības minerālaugsnē nav būtiskas. Būtiskas atšķirības ir vērojamas starp oglekļa saturu organiskajā horizontā (Vesterdal et al., 2008).

Līdz šim pasaulē veikti daudzi plaši vielu aprites pētījumi. Vairāk uzmanības veltīts tieši slāpeklim – kā ekoloģiski nozīmīgākajam biogēnajam elementam (Indriksons, 2007). (Schachtschabel et al.) (1998) atzīmē, ka organiskā slāpekļa ( $N_{kop}$ ) daudzums augsnē atrodas ciešā sakarībā ar oglekļa ( $C_{org}$ ) saturu. Tas skaidrojams ar to, ka meža augsnēs ogleklis un slāpekļi akumulējas kopā, un līdz ar to šī procesa dinamika ir cieši saistīta (Gundersen et al., 2006). Kopējā slāpekļa koncentrācija Eiropas mežu augsnes nedzīvās zemsegas horizontā ir  $5 - 20 \text{ g kg}^{-1}$  (Vanmechelen et al., 1997). (Laiviņš u.c.) (1993) savos pētījumos noskaidrojis, ka meža monitoringa parauglaukumos priežu mežu organiskajā horizontā vidējā slāpekļa koncentrācija ir  $11 \text{ g kg}^{-1}$ , egļu mežos –  $12 \text{ g kg}^{-1}$ . Runājot par minerālo horizontu, (Stevenson) (1982) ir uzsvēris, ka slāpekļa saturs augsnes minerālajā daļā ir ļoti niecīgs. Augsnes virskārtā 90-95% no slāpekļa ir saistīts organiskajā vielā, tas ir aminoskābju polimērajā formā (30-40%), aminocukuros (5-10%) un savienojumos ar heterociklisku gredzenu struktūru.

Maģistra darba pētījuma rezultātos vidējais kopējā slāpekļa daudzums organiskajā horizontā antropogēnās darbības neietekmētajos mežos visaugstākais ir vērī - vidēji tas ir  $17,7 \text{ g kg}^{-1}$  (3.3. attēls). Arī (Bārdule u. c.) (2009) skaidro, ka kopējo slāpekļa saturu mežaudzes organiskajā horizontā galvenokārt nosaka sugu sastāvs un augsnes substrāts. Silā, mētrājā un lānā ir zemākas slāpekļa koncentrācijas, jo organiskās vielas ir maz pārveidotas, tādēļ tām ir zemāka slāpekļa pieejamība (Vanmechelen et al., 1997). Veiktajā pētījumā cilvēka darbības neietekmētajās meža ekosistēmās zemākās slāpekļa koncentrācijas varētu skaidrot ar zemo augsnes  $pH_{KCl}$  ( $pH_{KCL}=3,6 - 3,9$ ), kas līdz ar to samazina slāpekļa iesaistīšanu kopējā aprites ciklā. Turpretī meža tipos, kur vairs nav tik skābs un mikroorganismu aktivitāte ir lielāka, arī slāpekļis kļūst pieejamāks.

Starp oglekli un slāpekli ir saskatāma savstarpējā saistība un atkarība (3.1. un 3.3. attēls), piemēram, vērī ir izteikti augsta gan oglekļa, gan slāpekļa koncentrācija, salīdzinot ar citiem meža tipiem. Tāpat arī damaksnī ir otra augstākā oglekļa un slāpekļa attiecība no apsekotajiem sausieņu meža tipiem. Kopumā  $C_{org}$  saturam līdzīgi arī  $N_{kop}$  saturs ir zems sausieņu oligotrofo meža tipu, piemēram, sila un mētrāja, kā arī lāna augsnēs. Lielāks  $N_{kop}$  daudzums ir eitrofo meža tipu, piemēram, vēra augsnēs. Arī Eiropas pirmā līmeņa meža monitoringa ES programmas (*Forest Focus*) un starptautiskā projekta „Meža augšņu inventarizācija un bioloģiskās daudzveidības novērtēšana” (*BioSoil*) veiktajā pētījumā tika pierādīts, ka starp kopējo slāpekli un oglekli ir linerāri pozitīva korelācija (Bārdule u.c., 2009).

Vecāku teritorijā kopumā slāpekļa daudzumam nav būtiskas atšķirības starp antropogēnās darbības neskartajām meža ekosistēmām. Vidēji tas ir  $11,0 \text{ g/kg}^{-1}$ . Šāds slāpekļa daudzums skaidrojams ar raksturīgi skābo pH tipiskajam podzolam, kā arī ar piejūras barības vielām nabadzīgajām augsnēm, jo šajā teritorijā dominē tipisks smilšains akumulatīvs piejūras zemes līdzenums.

Japānas lauksaimniecības lektors Sakura (2012) savā pētījumā ir atzinis, ka C:N attiecība ir viens no efektīvākajiem organiskā materiāla trūdēšanas un humifikācijas rādītājiem meža ekosistēmas augsnēs.

2014. gadā veiktais pētījums, kas aptvēra 4000 parauglaukumus Eiropas mežos, atainoja, ka 95% gadījumu C:N attiecība ir starp 16 un 44, un sausieņu mežos šī attiecība samazinās līdz ar dziļumu (Cools et al., 2014).

Ļoti plaša C:N attiecība ir augsnēs ar augstu nesadalītās augu atlieku daudzumu: podzolētājās augsnēs tā ir 25 – 35. Latvijas apstākļos tas ir silā, mētrājā un lānā (Indriksons, 2007).

C:N attiecība regulē pieejamo slāpekļa daudzumu un kopējo organisko vielu saturu (Vanmechelen et al., 1997). Parauglaukumos Latvijas teritorijā izteikti viszemākā C:N attiecība (C:N= 23) ir vērī, kas nozīmē, ka organiskās vielas un slāpekļi brīvi tiek iesaistīti kopējā vielu apritē. Silā, lānā un damaksnī tā ir savstarpēji līdzīga. Visos 5 sausieņu meža tipos vidējā C:N attiecība ir 33. Arī (Vanmechelen et al.) (1997) veiktajā pētījumā par meža augsnes apstākļiem Eiropā vidējā C:N attiecība bija 30.

Pierīgas teritorijā nav vērojamas būtiskas atšķirības starp C:N attiecību. Gan silā, gan mētrājā tā ir līdzīga (vidēji – 35) (3.5. attēls), kas nozīmē, ka nobiras ir salīdzinoši grūti biodegradējamās. Kopumā C:N attiecība zemāka par 25 tiek uzskatīta par labu slāpekļa mineralizācijai, savukārt C:N attiecība virs 30 – slāpekļa imobilizācijai (Vanmechelen et al., 1997).

Fulvoskābes un humīnskābes, kā arī citas augsnes organiskās vielas veido lielāko oglekļa daudzumu augsnē (Arevalo et al., 2009).

Veicot sīkāku humusvielu izpēti minerālaugsnes virskārtā gan antropogēnās darbības neietekmētajos parauglaukumos Latvijā, gan daļēji ietekmētajos Vecāķos, tika noskaidrots, ka kopumā humīnskābju/fulvoskābju īpatsvars meža augsnēs ir mainīgs, tomēr smilšainās augsnēs, kur parasti ir izveidojušās priežu audzes, minerālaugsnes virskārtā ir augstāks humusvielu sastāvā esošā oglekļa īpatsvars (3.8. attēls). Kopumā silā un mētrājā augstāks  $C_{hs}/C_{org}$  skaidrojams ar pH izmaiņām un tam sekojošām augsnes meso- un mikroorganismu sabiedrības izmaiņām (Ponge et al., 1998), kā arī zemāku TOC saturu, kas nozīmē lielāku humusvielu īpatsvaru  $C_{hs}/C_{org}$  (Ponge et al., 1998; Cerli et al., 2008). Iespējams arī, ka augsnē samazinās sajaukšanās nabadzīgās faunas dēļ, kā rezultātā vāji sadalījusies un mazāk humificētā organisko vielu daļa tiek mazāk ienesta minerālaugsnē (Cerli et al., 2008).

Arī K. Krūmiņš (1929) atzīmē, ka organisko vielu izejmateriāla pH būtiski ietekmē augu atlieku sadalīšanos un arī humifikācijas procesu, jo mainoties augsnes pH, mainās mikroorganismu daudzums. Piemēram, svaigu egļu un priežu skuju pH reakcija ir apmēram 3,5-4,5, bet lapu koku atlieku pH reakcija 5-6,5. Pie stipri skābas reakcijas sadalīšanās gaita ir lēnāka, jo te baktēriju darbība ir stipri aizkavēta, tāpēc visvairāk fulvoskābes rodas skujkoku mežos, sadaloties atliekām, kurās maz bāzisko vielu. Tas savukārt veicina augsnes virsējo kārtu pastiprinātu izskalošanos (podzolēšanos).

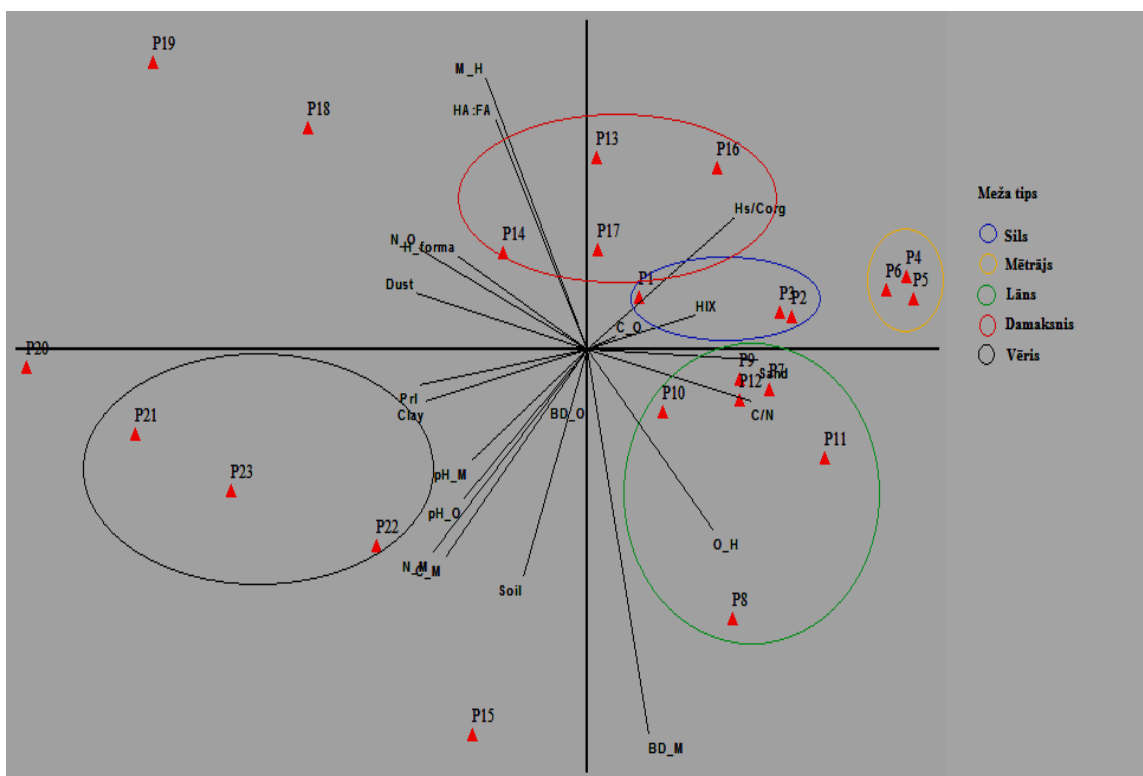
Veicot principiālo komponentanalīzi, Latvijā apsekoto 23 augsnes parauglaukumu izvietojumam koordinātu plaknē atkarībā no augsni raksturojošajiem rādītājiem dažādos sausieņu meža tipos (4. pielikums), tika konstatēts, ka ar pirmo asi, kas izskaidro 42, 87%, ir konstatēta būtiska pozitīva korelācija starp organiskā horizonta biezumu ( $r = 0,63$ ), C/N attiecību ( $r = 0,82$ ), smilts daļiņu saturu ( $r = 0,85$ ),  $C_{hs}/C_{org}$  attiecību ( $r = 0,68$ ). Turpretim šiem rādītājiem pastāv negatīva sakarība ar minerālā horizonta biezumu ( $r = -0,60$ ), oglekļa daudzumu minerālajā horizontā ( $r = -0,78$ ), slāpekļa daudzumu gan organiskajā ( $r = -0,86$ ), gan minerālajā horizontā ( $r = -0,73$ ), arī pH gan organiskajā ( $r = -0,60$ ), gan minerālajā horizontā ( $r = -0,55$ ), kā arī humusa formu ( $r = -0,64$ ), putekļu daļiņu ( $r = -0,85$ ) un māla saturu ( $r = -0,78$ ).

Tiek uzskatīts, ka augsnes smalko daļiņu (māls, putekļi) daudzums ir viens no nozīmīgākajiem faktoriem, kas ietekmē augsnes organiskā oglekļa saglabāšanu. Turklāt augsnes minerālo daļiņu lielums un sastāvs būtiski ietekmē augsnes organiskās vielas mineralizāciju, daudzumu un izplatību (Kasparinskis, 2012). Organiskā oglekļa izmaiņas augsnes virsējā minerālā slānī nosaka mežaudzē dominējošās koku sugas un humifikācijas intensitāte (Vesterdal et al., 2008)

Savukārt, ar otro asi, kas izskaidro 13,60%, ir konstatēta būtiska pozitīva sakarība ar 3 no faktoriem. Tie ir organiskā horizonta blīvums ( $r = 0,81$ ) un augsnes tips ( $r = 0,70$ ), bet negatīva sakarība ar oglekļa daudzumu organiskajā horizontā ( $r = -0,83$ ).

Trešā ass izskaidro 8,84% un tai ir konstatēta negatīva korelācija ar diviem faktoriem – pH organiskajā horizontā ( $r = -0,54$ ) un blīvumu minerālajā horizontā ( $r = -0,60$ ).

4.1. attēlā redzama sausieņu meža tipu grupēšanās atkarībā no augsni raksturojošajiem rādītājiem. Attiecībā pret pirmo asi redzama sila, mētrāja un lāna grupēšanās ass labajā pusē, kur ir augstāka C/N attiecība, lielāks organiskā horizonta biezums un augsnes granulometrisko sastāvu galvenokārt veido smilts. Virzienā uz ass centru palielinās minerālā horizonta biezums, humīnskābju/fulvoskābju attiecību un augsnēs pieaug māla un putekļu daļiņu saturs, līdz ar to ass centrālajā daļā vērojama damaksnā grupēšanās. Ass kreisajā pusē, kur augsnes vairs nav tik skābas, jo ir augstāks pH gan organiskajā, gan minerālajā horizontā, kā arī augsnē vērojams liels māla daļiņu īpatsvars, un augsta oglekļa krāja minerālajā horizontā, grupējas eitrofie meža tipi – vēris.



4.1. attēls. Principiālā komponentu analīze. Sausieņu meža tipu izvietojums (izstrādājis autore, 2013)

## 4.2. Organisko vielu daudzuma un īpašību salīdzinājums dabisko meža ekosistēmu un Mežaparka sausieņu tipa mežu augsnēs

Dabā ir nepieciešams līdzsvars, lai tur norisošie procesi varētu normāli un harmoniski funkcionēt. Tieši tāpat tas ir arī mežā, kur ļoti svarīgs ir līdzsvars starp organiskajām un neorganiskajām vielām, kā arī starp dzīvajiem organismiem (Vesterdal et al., 2008).

Tomēr meža ekosistēmas nepārtraukti tiek pakļautas ievērojamām dabiskām un antropogēnām ietekmēm, kas izmaina gan organisko vielu sastāvu, gan īpašības. Meža zemsegā šīs piesārņojošās vielas un barības vielu elementi nonāk, galvenokārt 3 ķīmisko vielu plūsmu rezultātā: ar meža nobirām, ar nokrišņiem, kas izgājuši caur koku vainagiem, un ar nokrišņiem, kas notecējuši gar stumbru (Hansen et al., 2009).

Veicot datu statistisko analīzi, tika konstatēts, ka pastāv statistiski ticamas atšķirības starp organisko vielu sastāvu un īpašībām dabiskajās meža ekosistēmās un antropogēnās darbības skartajās teritorijās mētrāja, lāna un damakšņa augsnēs.

Statistiski ticamākā atšķirība ir vērojama starp organiskā horizonta biezumu gan lāna, gan arī damakšņa augsnēs (2., 3. pielikums). Neietekmētās meža ekosistēmās lānā vidējais organiskā horizonta biezums ir  $6,6 \pm 1,0$  cm, bet Mežaparkā organiskais horizonts ir tikai  $1,8 \pm 0,6$  cm, kas liecina par ļoti strauju organisko vielu apriti. Jāsecina, ka Mežaparkā lāna organiskā horizonta biezums ir līdzīgs dabiskās meža ekosistēmas vēra augšņu nedzīvās zemsegas horizonta biezumam. To varētu skaidrot ar to, ka Mežaparka mežaudzes apdraud eitifikācija (Pīrāga, 2013), kā rezultātā norisinās ātra organisko vielu aprite. Arī damakšņī vērojama būtiska atšķirība starp nedzīvās zemsegas horizonta biezumu (3. pielikums), kur cilvēka darbības neietekmētajās teritorijās tas ir  $3,4 \pm 0,4$  cm biezs, bet Mežaparkā –  $1,0 \pm 0,4$  cm. Starp minerālo horizontu biezumiem statistiski būtiskas atšķirības nebija vērojamas.

Statistiski ticama atšķirība starp oglekļa daudzumu vērojama arī mētrāja organiskajā horizontā, kur Mežaparkā tas ir zemāks ( $32,5 \pm 1,4$  cm), salīdzinot ar antropogēnās darbības neskartajām augsnēm ( $41,9 \pm 2,1$  cm). Zemāku oglekļa daudzumu Mežaparka augšņu organiskajā horizontā, salīdzinot ar dabiskajām mežu ekosistēmām, izskaidro zemā C:N attiecība, kas liecina, ka organiskās vielas ātri sadalās un augsnes faunas ietekmē tiek iesaistītas kopējā vielu aprites ciklā (Mežals u.c., 1970).

Būtiska atšķirība starp C:N attiecību tika novērota mētrājā un lānā. Salīdzinot dabiskās meža ekosistēmas ar Mežaparku, Mežaparka parauglaukumos C:N attiecība ir zema. Zemā C:N attiecība mētrājā (C:N=25) un lānā (C:N=27) Mežaparkā var tikt saistīta ar palielinātu N<sub>2</sub> emisiju daudzumu, jo, piemēram, novērojumi liecina, ka zemas C:N koeficienta vērtības ir Ziemeļatlantijā un subatlantiskajos reģionos, kas daļēji tika izskaidrotas ar augstu slāpekļa

daudzumu atmosfērā šajā Eiropas daļā (Vanmechelen et al., 1997). Arī (Bārdule un Lazdiņš) (2010) skaidro, ka C:N attiecības samazināšanās skaidrojama ar atmosfēras N<sub>2</sub> izsēšanos.

Kaut arī datu analīze neliecina par statistiski ticamu slāpekļa atšķirību (2. pielikums), tomēr aprēķinot vidējās vērtības, augstāka slāpekļa koncentrācija Mežaparkā ir vērojama gan mētrājā (3,5 g/kg<sup>-1</sup>), gan lānā (0,5 g/kg<sup>-1</sup>), gan damaksnī (0,8 g/kg<sup>-1</sup>) (3.3., 3.4. attēls). Kopējo slāpekļa (N<sub>kop</sub>) saturu meža augsnēs galvenokārt nosaka audzes sugu sastāvs, augsnes substrāts un atmosfēras slāpekļa piesārņojums (Vanmechelen et al., 1997; Laiviņš et al., 1993; Bārdule et al., 2009). Tomēr tā kā augsnes uzrāda arī vēsturisko piesārņojumu (Brūmelis et al., 2001), tad paaugstinātā slāpekļa koncentrācija varētu būt skaidrojama ar ilgstošas Rīgas superfosfāta un Sarkandaugavas rūpnīcu darbības laiku, jo Mežaparka priežu audzes no 19. gadsimta sākuma līdz 20. gadsimta beigām veidojušās ilglaicīga intensīva antropogēna piesārņojuma apstākļos (Pīrāga, 2013).

Paaugstināts slāpekļa daudzums var radīt ietekmi uz kopējo mežu ekosistēmu, jo ar slāpekli piesātinātās meža ekosistēmās, kur slāpekļis nav limitējošais faktors mikrobu augšanai, papildus slāpekļa daudzums varētu kavēt augsnes elpošanu un sevišķi vēlākajos posmos organisko vielu sadalīšanos (Cools et al., 2014.) Kopumā 69 % Eiropas mežu augšņu organisko vielu horizontos, kas atrodas reģionos ar paaugstinātu slāpekļa piesārņojumu, slāpekļa koncentrācija ir lielāka (Vanmechelen et al., 1997).

Arī starp pH organiskajā horizontā lāna mežu augsnēs konstatētas statistiski ticamas atšķirības, kur augsnes reakcija Latvijas teritorijā ir skābāka (pH<sub>KCL</sub>=3,7) nekā Mežaparkā (pH<sub>KCL</sub>=4,2). Skābāka augsnes reakcija tiek novērota audzēs ar lielāku priežu īpatsvaru (Bārdule u.c., 2009), tāpēc Mežaparkā augstāks augsnes pH varētu būt skaidrojams ar lielāku lapu koku piejaukumu, jo Mežaparka mežaudzes apdraud eitrofikācija, kuras rezultātā attīstās auglīgākiem meža tipiem raksturīga veģētācija (Pīrāga, 2013), kā arī Mežaparkā dažos nogabalos atrodas 20. gadsimta pirmajā pusē un vidū veidotie lapu koku stādījumi, piemēram, parastā liepa *Tilia cordata*, parastā apse *Populus tremula* un parastā kļava *Acer platanoides* (SIA „Grupa93” 2013).

Tomēr nav iespējams precīzi novērtēt piesārņojuma ietekmi uz augsnes pH, jo būtisks faktors, kas ir arī jāņem vērā, ir mēslošana. Tā veikta visā Mežaparka teritorijā divos periodos - gan no 1976. līdz 1895. gadam, gan 1986. līdz 1995. gadam, kas nozīmē, ka notikusi ievērojama iejaukšanās augsnes auglības uzlabošanā (Andersone, 1988). Lai precīzi novērtētu augsnes pH izmaiņas, jāņem vērā arī augsnes bufersistēmas mehānismi (Blake et al., 1999), tādēļ mērījumus jāveic ilgstošā laika periodā.

Mētrājā un lānā statistiski ticama atšķirība ir arī starp humusvielu humifikācijas indeksu, kas ir lielāks cilvēka darbības neskartajā teritorijā. Tas ļauj secināt, ka starp humifikācijas pakāpi un organisko oglekli pastāv cieša savstarpēja atkarība, kas savukārt norāda, ka humifikācija ir sarežģīts process, kas atkarīgs no organisko vielu izejmateriāla kvalitātes un vides apstākļiem, kādos tas notiek (Apsīte, 1999).

## SECINĀJUMI

1. Dabiskās meža ekosistēmās dažādos sausieņu mežu tipos ir atšķirīgas organisko vielu sastāvs un īpašības. Būtiskas atšķirības ir vērojamas starp eitrofo (vēris), oligotrofo (sils, mētrājs) un mezotrofo (lāns, damaksnis) mežu augsnēm.
2. Eitrofiem mežiem raksturīga mull humusa forma ar plānu organiskā horizonta biezumu, lielu oglekļa krāju minerālajā horizontā, augstu pH un slāpekļa saturu, bet zemu C:N un  $C_{hs}/C_{org}$  attiecību.
3. Oligotrofiem mežiem raksturīga mor humusa forma un biezs organiskais horizonts ar lielu oglekļa krāju tajā. Tiem ir zems pH un slāpekļa koncentrācija, bet augsta C:N attiecība un fulvoskābju saturs.
4. Starp antropogēni ietekmētām teritorijām un dabisko mežu ekosistēmu augšņu organiskajām vielām pastāv statistiski būtiskas atšķirības. Antropogēnā piesārņojuma rezultātā samazinās organiskā horizonta biezums un oglekļa krāja tajā, kā arī C:N attiecība un humusvielu humifikācijas indekss, bet paaugstinās augsnes reakcija.
5. Piepilsētas teritoriju mežu augsnēs ar nelielu antropogēno ietekmi, salīdzinot ar dabisko mežu ekosistēmu mežu augsnēm, augšņu augšņu organisko vielu sastāvam un īpašībām organiskajos un minerālajos horizontos nav būtiskas un vērā ņemamas atšķirības.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

### Publicētā literatūra:

- Aiken, G. R., Mcknight, D.M., Wershaw, R.L., Maccarthy, P. 1985. Isolation and concentration techniques for aquatic humic substances. *Humic substances in soil, sediments and water*. N.Y.: Wiley
- Akselsson, C., Hultberg, H., Karlsson, P. E., Karlsson, G. P., Hellsten, S. 2013. Acidification trends in south Swedish forest soils 1986 – 2008. Slow recovery and high sensitivity to sea-salt episodes. *Science of total Environment*. (444), 271-287.
- Andersone, L. 1988. *Mežaparka ģeoekoloģiskais vērtējums*. Maģistra darbs. Rīga, P. Stučkas Latvijas Valsts universitāte, 141.
- Andersson, S., Nilsson, S. I. 2001. Influence of pH and temperature on microbial activity, substrate availability of soil-solution bacteria and leaching of dissolved organic carbon in a *mor* humus. *Soil Biology & Biochemistry*. (33), 1181-1191.
- Apsīte, E. 1999. *Organisko vielu plūsmu izmaiņas Latvijas un Zviedrijas virszemes ūdeņos mainīgas antropogēnas slodzes apstākļos*. Promocijas darbs, Rīga.
- Arevalo, C.B.M., Bhatti, J.S., Chang, S.X., Sidders D. 2009. Ecosystem carbon stocks and distribution under different land-uses in north central Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management*. (257), 1776 – 1785.
- Baath, E., Berg, B., Lohm, U., Lundgren, B., Lundkvist, H., Rosswall, T., Söderström, B., Wirén, A. 1980. Effects of experimental acidification and liming on soil organisms and decomposition in a Scots pine forest. *Pedobiologia*. (20), 85-100.
- Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*. (47), 151–163.
- Bārdule, A., Bāders, E., Stola, J., Lazdiņš, A. 2009. Forest soil characteristic in Latvia according results of the demonstration project BioSoil. *Forest Science*. (53), 105-124.
- Bārdule, A., Lazdiņš, A. 2010. Oglekļa un slāpekļa piesaiste minerālaugsnēs baltalkšņa (*Alnus incana* (L.) Moench) audzēs apmežojušās lauksaimniecības zemēs. *Mežzinātne*. (21), 95-109.
- Beare, M.H., Hendrix, P.H. and Coleman, D.C. 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Society of America Journal*. (58), 777-786.
- Birkeland, P.W., 1984. *Soils and Geomorphology*. Oxford university press, New York, 372.
- Blake, L., Goulding, K. W. T., Mott, C. J. B., Johnston, A. E. 1999. Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under woodland and grass at Rothamsted Experimental Station, UK. *European Journal of Soil Science*. (5), 401-412.
- Borken, W., Beese, F., Brumme, R., Lamersdorf, N. 2002. Long-term reduction in nitrogen and proton inputs did not affect atmospheric methane uptake and nitrous oxide emission from a German spruce forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*. (34), 1815 - 1819.
- Cerli, C., Celi, A., Kaiser, K., Guggenberger, G., Johansson, M.-B., Cignetti, A., Zanini, E. 2008. Changes in humic substances along an age sequence of Norway spruce stands planted on former agricultural land. *Organic Geochemistry*. (39), 1269 – 128.
- Cools, N., Vesterdal, L., De Vos, B., Vanguelova, E., Hansen, K. 2014. Tree species is the major factor explaining C:N ratios in European forest soils. *Forest Ecology and Management*. (311), 3-16.
- De Deyn, G.B., Cornelissen, J.H.C., Bardgett R.D. 2008. *Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes Ecology Letters*. (11) 516–531.
- De Vries, W., Reinds, G. J., Posch, M., Sanz, M. J., Krause, G. H. M., Calatayud, V., Renaud, J. P., Dupouey, J. L., Sterba, H., Vel, E. M., Dobbertin, M., Gundersen, P., Voogd, J. C. H. 2003. *Intensive monitoring of forest ecosystems in europe: technical report*. Brussels: forest intensive monitoring coordinating institute, 162.

- De Wit, H. A., Palosuo, T., Hylen, G., Liski, J. 2006. A carbon budget of forest biomass and soils in southeast Norway calculated using a widely applicable method. *Forest Ecology and Management*. (225), 15-22.
- Eglīte, L. 2007. *Humusvielas, to mijiedarbība ar augsni veidojošiem komponentiem un humusvielu imobilizācija*. LU Akadēmiskais apgāds, Rīga.
- Encyclopædia Britannica. 2014. *Fulvic acid*. Item: 89405410.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005. *The importance of soil organic matter*. Rome, FAO, 78.
- Fowler, D., Cape, J. N., Coyle, M., Flechard, C., Kuylenstierna, J., Hicks, K., Derwent, D., Johnson, C., Stevenson, D. 1999. The global exposure of forests to air pollutants. *Water, Air, and Soil Pollution*. (116), 5-32.
- Galloway, J.N. 1995. Acid deposition: perspectives in time and space. *Water Air Soil Pollut*, (85), 15–24.
- Gianfreda, L., Bollag, J. M. 1996. Influence of natural and anthropogenic factors on enzyme activity in soil. *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker, 123-193.
- Gundersen, P., Berg, B., Currie, W. S., Dise, N.B., Emmett, B.A., Gauci, V., Holmberg, M., Kjønnaas, O.J., Mol-Dijkstra, J., van der Salm, C., Schmidt, I.K., Tietema, A., Wessel, W.W., Vestgarden, L.S., Akselsson, C., De Vries, W., Forsius, M., Kros, H., Matzner, E., Moldan, F., Nadelhoffer, K. J., Nilsson, L.-O., Reinds, G.J., Rosengren, U., Stuanes, A.O., Wright, R.F. 2006. Carbon-Nitrogen interactions in forest ecosystems – final report. *Forest&Landscape*. (17), 63.
- Hansen, K., Vesterdal, L., Schmidt, K. I., Gundersen, P., Sevel, L., Bastrup-Birk, Bille-Hansen, J. 2009. Litterfall and nutrient return in five tree species in a common garden experiment. *Forest Ecology and Management*. (257), 2133-2144.
- Hofmeister, J., Mihaljevic, M., Hošek, J., Sadlo, J. 2002. Eutrophication of deciduous forests in the Bohemian Karst (Czech Republic): the role of nitrogen and phosphorus. *Forest Ecology and Management*. (169), 213 – 230.
- Indriksons, A. 2007. Pārskats par meža attīstības fonda pasūtīto pētījumu. „Meža ūdensregulējošās īpašības intensīvas mežsaimniecības apstākļos”. LVMI „Silava”.
- Jakovičs, A. 2011. *Kultūras un atpūtas parka „Mežaparks” bioloģiskā daudzveidība un dendroloģiskās vērtības*. Biedrība VAK mantojums.
- James, P. W. 1973. The effect of air pollutants other than hydrogen fluoride and sulphur dioxide on lichens. *Air Pollution and Lichens*. 143-175.
- Jones, M. N., Bryan, N. D. 1999. *Colloidal properties of humic substances*. Adv. Colloids Int. Sci. (78), 1-48.
- Jones, R.J.A., Rusco, R.H.E., Loveland, P.J., Montanarella, L. 2003. *The map of organic carbon in topsoils in Europe*. European Commission Directorate generale, Joint Research Centre.
- Juma, N.G. 1998. *The pedosphere and its dynamics. A systems approach to soil science*. Edmonton, Canada, Quality Color Press Inc. 315.
- Kasparinskis, R. 2012. *Latvijas meža augšņu daudzveidība un to ietekmējošie faktori*. Rīga, Latvijas Universitāte.
- Kārklīšs, A. (red.) 2008. *Augsnes diagnostika un apraksts*. Jelgava, Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
- Kolli, R., Ellermae, O., Kauer, K., Koster, T. 2010. Erosion-affected soils in the Estonian landscape: Humus status, patterns and classification. *Archives of Agronomy and Soil Science*. (2), 149 – 164.
- Krūmiņš, K. 1929. Reakcijas noteikšanas metodes un Latvijas augšņu reakcija. Rīga, Laiviņš, M., Sīpols, M., Riekstiņa, D. 1993. Reģionālais meža monitorings Latvijā. Latvijas Vides aizsardzības komiteja, pētījumu centrs, 149.

Lassen, P. 1995. *On the possible role of humic substances in the environmental fate of pollutants*. PhD thesis. Ministry of environmental and energy, national environmental Research institute, 15.-28.

Lazdiņš, A. 2008. *Pārskats par meža attīstības fonda atbalstīto pētījumu.* "Silava".

Liepa, I., Galaktionova, D., Pospelova, G., Ramans, K., Nikodemus, O. 2003. Rīgas superfosfāta rūpnīcas ietekme uz priežu mežaudzēm un antropogēnā stresa dinamika pēc rūpnīcas slēgšanas, *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes raksti*. (9), ISSN 1407-4427, Jelgava.

Linn, D.M., Doran, J.W. 1984. Effect of water-filled pore space carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (48), 1267–1272.

Līpenīte, I., Kārklīšs, A. 2011. Augsnes kvalitāte zemes izmantošanas maiņas kontekstā. *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes raksti*, (321), ISSN 1407-4427, Jelgava.

Melillo, J.M., Mcguire, A. D., Kicklighter, D. W., Moore, B. I., Vorosmarty, C. J., A.L. Schloss, A.L. 1993. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature*. (363), 234–240.

*Meža enciklopēdija*. 2003. Autoru kolektīvs. Rīga, „Zelta Grauds”.

Mežals, G., Skujāns, U., Freivalds, V., Bambergis, K. 1970. *Augsnes zinātne*. Rīga, Zvaigzne ABC.

Mežals, O. 1980. *Meža augsnes zinātne*. Rīga, „Zelta grauds”.

Niemi, R.M., Vepsalainen, M., Erkomaa, K., Ilvesniemi, H. 2007. Microbial activity during summer in humus layers under *Pinus silvestris* and *Alnus incana*. *Forest Ecology and Management*. (242), 314-323

Nikodemus, O., Kārklīšs, A., Kļaviņš, M. u.c. 2008. *Augsnes ilgtspējīga izmantošana un aizsardzība*. Rīga, Latvijas Universitāte.

Pīrāga, D. 2013. Maģistra darbs. "Vides piesārņojums un priežu mežaudžu stāvoklis Mežaparkā, Rōgā 21. gs. sākumā". Latvijas Universitāte.

Ponge, J. F. 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. *Soil Biology & Biochemistry*. (35), 935–945.

Ponge, J.F. 2013. Plant–soil feedbacks mediated by humus forms: A review. *Soil Biology and Biochemistry*. (57), 1048-1060.

Ponge, J.F., Andre, J. O., Zackrisson, O., N., Bernier, N., Nilsson, M.C., Gallet, C. 1998. The forest regeneration puzzle: biological mechanisms in humus layer and forest vegetation Dynamics. *Bioscience*. (48), 523–530.

Ponge, J.F., Zanella, A., Sartori, G., Jabio, B. 2010. *Terrestrial humus forms: ecological relevance and classification*. HAL, id: hal-00521337.

Prasad, R. & Power, J.F. 1997. *Soil fertility management for sustainable agriculture*. New York, SA, Lewis Publishers. 356.

Pronk, G.J., Heister, K., Kögel-Knabner, I. 2013. Is turnover and development of organic matter controlled by mineral composition? *Soil Biology and Biochemistry*. (67), 235–244.

Purmalis, O., Šīre, J. 2013. *Humusvielas un to izmantošanas iespējas*. SIA „Latgales druka”.

Quideau, S.A. 2002. Organic matter accumulation. *In: Encyclopedia of soil science*. New York, USA, Marcel Dekker Inc, 891–894.

Rizvi, S.H., Gauquelin, T., Gers, T., Guerold, F., Pagnout, C., Baldy, V. 2012. Calcium–magnesium liming of acidified forested catchments: Effects on humus morphology and functioning. *Applied Soil Ecology*. (62), 81-87.

Rodriguez, L., Macias, F. 2006. Eutrophication trends in forest soils in Galicia (NW Spain) caused by the atmospheric deposition of nitrogen compounds. *Chemosphere*. (63), 1598–1609.

Roe, G.H. 2005. Orographic precipitation. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. (33), 645–67

- Rusco, E., Jones, R., Bidoglio, G. 2001. Organic matter in the soils of Europe: present status and future trends. *European soil bureau, soil and waste unit institute for environment and sustainability*.
- Salmon, S., Artuso, N., Frizzera, L., Zamperdi, R. 2008. Relationships between soil fauna communities and humus forms: Response to forest dynamics and solar radiation. *Soil Biology and Biochemistry*. (40), 1707 – 1715.
- Salmon, S., Mantel, J., Frizzera, L., Zanella, A., 2006. Changes in humus forms and soil animal communities in two development phases of Norway spruce on an acidic substrate. *Forest Ecology and Management*. (237), 47-56.
- Sanborn, P. 2001. Influence of broadleaf trees on soil chemical properties: A retrospective study in the Sub-Boreal Zone, British Columbia, Canada. *Plant and Soil*, (236), 75-81.
- Schnitzer, M., Khan, S.U. 1972. *Humic Substances in the Environment*. Marcel Dekker. Inc., New York, 328.
- Schulp, C. J. E., Nabuurs, G. J., Verburg, P. H., de Waal, R. W. 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management*. (256), 482-490.
- SIA „Grupa93”. 2013. *Kultūras un atpūtas parka „Mežaparks” lokālplānojums*. Rīga, 98.
- SIA „Vides Konsultāciju Birojs”, 2011. *Grunts un gruntsūdens piesārņojuma izpēte. Kultūras un atpūtas parka „Mežaparks” detālplānojuma izstrādei*. Rīga, 34.
- SIA „Vides Konsultāciju Birojs”, 2012. *Rīgas brīvostas vides pārskats 2011. gadam*. Rīga, 49.
- Stevenson F. J. 1982. *Humus Chemistry – Genesis, Composition, Reactions*. N.Y.: John Wiley and Sons.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reaction*. Wiley, New York.
- Stolte, K. W., Mangis, D., Doty, R., Tonnessen, K., Huckaby, L. S. 1993. *Lichens as bioindicators of air quality*. Denver: U.S. Government printing office, 131.
- Harrison-Kirk, T., Beare, M.H., Meenken, E.D., Condon, L.M. 2013. Soil organic matter and texture affect responses to dry/wet cycles: Effect on carbon dioxide and nitrous oxide emissions. *Soil Biology and Biochemistry*. (57), 43-55.
- Tarvainen, O., Strommer, R., Markkola, A. 2011. Urban forest regeneration: responses of scots pine seedlings to partial humus removal in mid-boreal N-enriched forests. *Landscape and Urban Planning*. (102), 209 – 214.
- Taylor, B.R., Parkinson, D., Parsons. W.F. 1989. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology*. (70), 97–104.
- Uehara, G. & Gilman, G. 1981. *The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays*. Boulder, USA, Westview Press. 170.
- Ulrich, B., Pankrath, J. 1983. *Effects of accumulation of air pollution in forest ecosystems*. Dordrecht, Springer, 389.
- Vallero, D. 2008. *Fundamentals of air pollution*. Sandiego: Elsevier, 968.
- Vanhala, P., Karhu, K., Tuomi, M. et. al. 2008. Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in southern and recent coastal dune ecosystems in Belgium and northern France. *Catena*. (54), 363–383.
- Vanmechelen, L., Groenemans, R., Van Ranst, E. 1997. *Forest soil condition in Europe, results of large - scale soil survey*.
- Vesterdal, L., Ritter, Gundersen, P. 2002. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. *Forest ecological management*. (169), 137-147.
- Vesterdal, L., Schmidt, I.K., Callesen, I., Nilsson, L.O., Gundersen, P. 2008. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *Forest Ecology and Management*. (255), 35-48.

Wershaw, R.L. 2004. *Evaluation of Conceptual Models of Natural Organic Matter (Humus) from a Consideration of the Chemical and Biochemical Processes of Humification*. US Geological Survey Scientific Investigation Report, 2004-5121.

Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J.F. et al. 2011. *European humus forms reference base*.

Zhang-Jun, S., Yu-peng, W., Qing – Ye, S., Wei, W. 2014. Effect of vegetation succession on organic carbon, carbon of humus acids and dissolved organic carbon in soils of copper mine tailings sites. *Pedosphere*. (24), 271 – 279.

Ziechmann, W. 1994. Dissolved humic substances: interactions with organisms. *Biogeochemistry of inland waters*. Mannheim: BI Wissenschafts Verlag

Žīgure, Z. 2013. Bakalaura darbs. „Augsnes humusa formas Latvijas mežu ekosistēmās”. Latvijas Universitāte.

#### **Elektroniskie resursi:**

Weber, J. 1997. *Properties of humic substances*, Wroclaw University of Environmental and Life Sciences, [skatīts 26.02.2010]. Pieejams: <http://www.ar.wroc.pl/~weber/kwasy2.htm>

*Noteikumi par gaisa kvalitāti*. LR MK noteikumi Nr. 1290, 03.11.2009. Latvijas Vēstnesis, Nr. 182 (4168) Pieejams: <http://likumi.lv/doc.php?id=200712>

## **PIELIKUMI**

1.pielikums. Datu statistiskā analīze mētrāja augsnēm starp dabiskām mežu ekosistēmām un Mežaparku (izstrādājusi autore, 2015)

Independent Samples Test										
		Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	the Difference	
									Lower	Upper
O_H	Equal variances assumed	.045	.838	1.107	7	.305	1.56667	1.41522	-1.77980	4.91314
	Equal variances not assumed			1.107	4.093	.329	1.56667	1.41500	-2.32721	5.46054
M_H	Equal variances assumed	.775	.408	1.155	7	.286	2.13333	1.84726	-2.23475	6.50142
	Equal variances not assumed			1.019	3.076	.382	2.13333	2.09391	-4.43857	8.70524
C_O	Equal variances assumed	.088	.775	3.841	7	.006	9.31000	2.42373	3.57879	15.04121
	Equal variances not assumed			3.736	3.818	.022	9.31000	2.49181	2.25974	16.36026
C_M	Equal variances assumed	1.041	.342	-2.605	7	.035	-.83833	.32187	-1.59944	-.07723
	Equal variances not assumed			-3.314	6.987	.013	-.83833	.25295	-1.43669	-.23997
N_O	Equal variances assumed	2.493	.158	-2.045	7	.080	-.35000	.17113	-.75466	.05466
	Equal variances not assumed			-2.964	5.248	.030	-.35000	.11808	-.64926	-.05074
N_M	Equal variances assumed	8.784	.021	-2.801	7	.027	-.06667	.02380	-.12296	-.01038
	Equal variances not assumed			-3.907	6.121	.008	-.06667	.01706	-.10822	-.02512
CN	Equal variances assumed	.212	.659	9.074	7	.000	20.40667	2.24891	15.08883	25.72450
	Equal variances not assumed			8.280	3.299	.003	20.40667	2.46452	12.95010	27.86323
pH_O	Equal variances assumed	3.201	.117	-2.321	7	.053	-.37000	.15942	-.74697	.00697
	Equal variances not assumed			-2.752	6.351	.031	-.37000	.13447	-.69468	-.04532
pH_M	Equal variances assumed	5.812	.047	1.132	7	.295	.19000	.16784	-.20689	.58689
	Equal variances not assumed			.798	2.168	.503	.19000	.23812	-.76218	1.14218
BD_O	Equal variances assumed	.668	.441	-.950	7	.374	-79.33333	83.50620	-276.79412	118.12746
	Equal variances not assumed			-1.241	6.967	.255	-79.33333	63.93243	-230.65317	71.98650
BD_M	Equal variances assumed	.668	.441	-2.551	7	.038	-367.33333	143.98578	-707.80560	-26.86107
	Equal variances not assumed			-3.195	6.917	.015	-367.33333	114.97381	-639.86411	-94.80256
HIX	Equal variances assumed	.103	.758	5.131	7	.001	17.66667	3.44342	9.52427	25.80906
	Equal variances not assumed			4.787	3.463	.012	17.66667	3.69083	6.76133	28.57201
Chs_Corg	Equal variances assumed	.646	.448	1.389	7	.207	13.00000	9.35796	-9.12806	35.12806
	Equal variances not assumed			1.575	5.709	.169	13.00000	8.25564	-7.45261	33.45261
HA_FA	Equal variances assumed	6.586	.037	-1.326	7	.227	-.66500	.50164	-1.85118	.52118
	Equal variances not assumed			-1.923	5.230	.110	-.66500	.34587	-1.54244	.21244

2.pielikums. Datu statistiskā analīze starp lāna augsnēm dabiskās mežu ekosistēmās un Mežaparkā (izstrādājusi autore, 2015)

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	the Difference	
									Lower	Upper
O_H	Equal variances assumed	2.288	.154	4.632	13	.000	4.75000	1.02541	2.53474	6.96526
	Equal variances not assumed			4.314	8.345	.002	4.75000	1.10114	2.22891	7.27109
M_H	Equal variances assumed	.854	.372	1.116	13	.285	1.30556	1.17030	-1.22272	3.83383
	Equal variances not assumed			1.016	7.660	.341	1.30556	1.28554	-1.68199	4.29310
C_O	Equal variances assumed	13.526	.003	1.720	13	.109	5.48833	3.19031	-1.40391	12.38058
	Equal variances not assumed			2.029	10.795	.068	5.48833	2.70536	-.47998	11.45665
C_M	Equal variances assumed	.447	.516	-1.318	13	.210	-.52444	.39795	-1.38417	.33528
	Equal variances not assumed			-1.333	11.295	.209	-.52444	.39333	-1.38740	.33851
N_O	Equal variances assumed	1.621	.225	-.463	13	.651	-.04889	.10564	-.27711	.17933
	Equal variances not assumed			-.520	12.673	.612	-.04889	.09398	-.25246	.15468
N_M	Equal variances assumed	.004	.951	.784	13	.447	.04500	.05742	-.07904	.16904
	Equal variances not assumed			.800	11.609	.440	.04500	.05624	-.07800	.16800
CN	Equal variances assumed	.231	.639	4.297	13	.001	6.54333	1.52262	3.25392	9.83275
	Equal variances not assumed			4.639	12.948	.000	6.54333	1.41037	3.49515	9.59151
pH_O	Equal variances assumed	8.109	.014	-4.005	13	.001	-.48333	.12068	-.74404	-.22263
	Equal variances not assumed			-3.501	6.611	.011	-.48333	.13805	-.81370	-.15296
pH_M	Equal variances assumed	10.257	.007	-1.169	13	.263	-.22000	.18812	-.62640	.18640
	Equal variances not assumed			-.944	5.124	.387	-.22000	.23297	-.81453	.37453
BD_O	Equal variances assumed	3.439	.086	-1.264	13	.229	-89.44444	70.78722	-242.37094	63.48205
	Equal variances not assumed			-1.557	8.375	.156	-89.44444	57.45882	-220.91854	42.02965
BD_M	Equal variances assumed	6.332	.026	.543	13	.596	119.44444	219.93146	-355.68859	594.57748
	Equal variances not assumed			.624	11.969	.544	119.44444	191.32369	-297.53231	536.42120
HIX	Equal variances assumed	11.891	.004	4.052	13	.001	14.27778	3.52359	6.66552	21.89004
	Equal variances not assumed			3.267	5.100	.022	14.27778	4.37092	3.10772	25.44783
Chs_Corg	Equal variances assumed	3.255	.094	2.759	13	.016	19.66667	7.12825	4.26702	35.06632
	Equal variances not assumed			2.471	7.217	.042	19.66667	7.95753	.96396	38.36938
HA_FA	Equal variances assumed	6.413	.025	-1.349	13	.200	-.40500	.30016	-1.05346	.24346
	Equal variances not assumed			-1.588	10.891	.141	-.40500	.25501	-.96696	.15696

3.pielikums. Datu statistiskā analīze starp damakšņa augsnēm dabiskās mežu ekosistēmās un Mežaparkā (izstrādājusi autore, 2015)

		Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	of the Difference	
									Lower	Upper
O_H	Equal variances assumed	.900	.371	4.432	8	.002	2.41667	.54526	1.15929	3.67404
	Equal variances not assumed			4.692	7.696	.002	2.41667	.51505	1.22074	3.61259
M_H	Equal variances assumed	5.009	.056	.341	8	.742	.66667	1.95434	-3.84005	5.17338
	Equal variances not assumed			.402	6.905	.700	.66667	1.65664	-3.26164	4.59497
C_O	Equal variances assumed	1.167	.312	-1.423	8	.192	-2.90917	2.04378	-7.62214	1.80381
	Equal variances not assumed			-1.481	7.401	.180	-2.90917	1.96493	-7.50488	1.68655
C_M	Equal variances assumed	.867	.379	-1.709	8	.126	-1.74083	1.01849	-4.08947	.60780
	Equal variances not assumed			-1.510	4.209	.202	-1.74083	1.15303	-4.88031	1.39864
N_O	Equal variances assumed	2.132	.182	-.796	8	.449	-.08417	.10576	-.32805	.15972
	Equal variances not assumed			-.893	7.910	.398	-.08417	.09425	-.30193	.13360
N_M	Equal variances assumed	.106	.753	-.182	8	.860	-.01667	.09140	-.22743	.19409
	Equal variances not assumed			-.187	7.112	.857	-.01667	.08917	-.22685	.19351
CN	Equal variances assumed	1.316	.285	-.058	8	.955	-.15250	2.63660	-6.23250	5.92750
	Equal variances not assumed			-.067	7.318	.948	-.15250	2.26967	-5.47246	5.16746
pH_O	Equal variances assumed	4.723	.062	-.510	8	.624	-.27083	.53120	-1.49579	.95412
	Equal variances not assumed			-.637	5.021	.552	-.27083	.42523	-1.36256	.82089
pH_M	Equal variances assumed	4.248	.073	.619	8	.553	.36500	.58925	-.99381	1.72381
	Equal variances not assumed			.770	5.174	.475	.36500	.47386	-.84084	1.57084
BD_O	Equal variances assumed	6.234	.037	1.326	8	.221	84.91667	64.03128	-62.73972	232.57305
	Equal variances not assumed			1.650	5.146	.158	84.91667	51.44940	-46.21449	216.04783
BD_M	Equal variances assumed	.906	.369	1.782	8	.113	330.75000	185.57179	-97.17931	758.67931
	Equal variances not assumed			1.599	4.439	.178	330.75000	206.90975	-222.01628	883.51628
HIX	Equal variances assumed	.997	.347	.319	8	.758	1.25000	3.91811	-7.78517	10.28517
	Equal variances not assumed			.379	6.674	.716	1.25000	3.29583	-6.62130	9.12130
Chs_Corg	Equal variances assumed	2.327	.166	2.089	8	.070	25.91667	12.40817	-2.69662	54.52996
	Equal variances not assumed			2.295	8.000	.051	25.91667	11.29042	-.11931	51.95264
HA_FA	Equal variances assumed	.159	.701	-1.314	8	.225	-.67083	.51067	-1.84843	.50676
	Equal variances not assumed			-1.216	4.976	.278	-.67083	.55158	-2.09076	.74909

4.pielikums. **Principiālā komponentu analīze parauglaukumiem Latvijā** (izstrādājusi autore, 2013)

Cross-products matrix contains CORRELATION COEFFICIENTS among Prl

VARIANCE EXTRACTED, FIRST 10 AXES

-----				
Broken-stick				
AXIS	Eigenvalue	% of Variance	Cum.% of Var.	Eigenvalue
-----				
1	9.004	<b>42.877</b>	42.877	3.645
2	2.856	<b>13.602</b>	56.479	2.645
3	1.857	<b>8.841</b>	65.321	2.145

FIRST 6 EIGENVECTORS, each scaled to its standard deviation These are sometimes called V vectors, and, when applied to

PCA of a correlation matrix, are the same as the correlation coefficient between scores for rows in the main matrix and the column variables.

-----						
Prl	Eigenvector					
	1	2	3	4	5	6
-----						
Prl	<b>-0.8414</b>	0.0665	0.1579	0.2708	0.2463	0.1301
O_H	<b>0.6329</b>	-0.2009	-0.2200	0.4474	0.2798	0.1782
M_H	<b>-0.5964</b>	0.0256	0.3401	-0.2899	-0.1425	0.3980
C_O	0.1490	<b>-0.8288</b>	-0.2969	0.1391	-0.3536	-0.1029
C_M	<b>-0.7758</b>	-0.0180	-0.4176	0.4050	0.0615	0.0179
N_O	<b>-0.8627</b>	-0.3165	-0.0259	0.0142	-0.0793	0.0230
N_M	<b>-0.7318</b>	-0.1309	-0.3857	0.1770	0.1942	-0.0115
C/N	<b>0.8183</b>	-0.2214	-0.1393	0.0770	-0.2151	-0.0216
pH_O	<b>-0.6022</b>	0.2849	<b>-0.5380</b>	-0.0416	-0.3689	0.2353
pH_M	<b>-0.5456</b>	0.3601	-0.4701	-0.1701	-0.4764	0.2095
BD_O	-0.0257	<b>0.8144</b>	0.0842	0.3593	-0.0574	-0.2439
BD_M	0.3943	0.1235	<b>-0.5972</b>	-0.3371	0.3938	-0.1279
Sand	<b>0.8481</b>	0.3448	-0.1212	0.0051	-0.0267	0.2578
Dust	<b>-0.8508</b>	-0.2935	0.2577	-0.0244	0.0678	-0.1604
Clay	<b>-0.7835</b>	-0.3859	-0.0676	0.0205	-0.0291	-0.3674
HIX	0.4841	-0.0503	0.0012	0.7457	-0.3031	0.0535
Hs/Corg	<b>0.6801</b>	0.2785	0.2939	0.1621	-0.1615	-0.1452
HA:FA	-0.4578	0.1327	0.2420	-0.0181	-0.5520	-0.3275
H_forma	<b>-0.6404</b>	0.3604	0.2123	0.1704	0.0218	0.3163
Soil	-0.3271	<b>0.6965</b>	-0.2622	-0.0121	0.1176	-0.4353

