

EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maehitusinstituut
Metsakasvatuse osakond



Hardo Becker

**LÄMMASTIKU VOOD JA VARUD HALL-LEPIKUS JA
LAGERAIE JÄRGSELT**

Magistritöö metsamajanduse erialal

Juhendaja dotsent Veiko Uri

Tartu 2012

Olen koostanud töö iseseisvalt. Kõik töös kasutatud teiste autorite tööd ning andmeallikad on viidatud.

Käesolevaga kinnitan, et annan lõputöö tulemuste suhtes oma intellektuaalomandi varalised õigused üle Eesti Maaülikoolile.

.....
kuupäev /nimi / allkiri /

Juhendaja

.....
kuupäev /nimi / allkiri /



Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Hardo Becker		Õppekava: Metsamajandus	
Pealkiri: Lämmastiku vood ja varud hall-lepikus ja lageraie järgselt			
Lehekülgi: 41	Jooniseid: 10	Tabeleid: 6	Lisasid: -
Osakond:	Metsakasvatus		
Uurimisvaldkond:	Metsakasvatus		
Juhendaja(d):	Veiko Uri		
Kaitsmiskoht ja aasta:	Tartu 2012		
<p>Töö peamiseks eesmärgiks oli hinnata hall-lepiku majandamisega kaasnevaid võimalikke keskkonnanariske läbi erinevate lämmastikuringe komponentide. Hinnati lageraiejärgselt lämmastiku netomineralisatsioonis toimuvaid muutusi, samuti temperatuuri mõju netomineralisatsiooni intensiivsusele, hall-lepiku biomassis ja produktsioonis seotud lämmastikku ning koostati osaline lämmastikubilanss.</p> <p>Töös püstitati hüpotees, et hall-lepiku lageraie järgselt intensiivistub lämmastiku netomineralisatsioon, kuna raiesmikul mullatemperatuur tõuseb. Samas ökosüsteemi lämmastikunõudlus on oluliselt vähenenud (suurimad N tarbijad on puud), mis võib viia vaba mineraalse lämmastiku leostumiseni mulla nõrgvee kaudu.</p> <p>2011. aasta mai kuus rajati kahe proovitükiga katseala 30 aastasesse hall-lepikusse, millest ühel teostati lageraie ja teine jäi kontrollalaks. Lämmastiku netomineralisatsiooni hindamiseks kasutati maetud kilekottide meetodit (Eno 1960).</p> <p>Hall-lepikus ja lageraie alal oli kõige intensiivsem lämmastiku netomineralisatsioon juulis, mis oli ka kõrgeima keskmise õhu- ja mullatemperatuuriga kuu. Kuue kuu summaarne N netomineralisatsioon ülemises 20 cm tuseduses mullakihi oli hall-lepikus 120,0 kg ha⁻¹ ja lageraie alal 124,4 kg ha⁻¹. Antud puistu maapealse osa biomass oli 116,1 t ha⁻¹, millest tüvemass moodustas 99,0 t ha⁻¹ ehk tagavarana 250 m³ ha⁻¹. Puistu maa-aluse osa biomass oli hinnanguliselt 22,1 t ha⁻¹. Aastane tüvepuidu jooksev juurdekasv oli 6,0 t ha⁻¹ ja maa-aluse jämeda osa aastaseks keskmiseks juurdekasvuks hinnati 1,5 t ha⁻¹.</p> <p>Jooksva aastase produktsiooni põhjal hinnatud maapealse ja maa-aluse osa N nõudlus oli kokku 156,7 kg ha⁻¹. Sügisene lämmastiku retranslokatsioonivoog lehtedest oli 20,2 kg ha⁻¹ aastas ja mulla nõrgvee kaudu leostuvat vaba mineraalset lämmastiku voogu hinnati hall-lepikus 1,42 kg ha⁻¹ ning lageraie alal 1,18 kg ha⁻¹.</p> <p>Püstitatud hüpotees kinnitust ei leidnud, kuna lageraie alal lämmastiku netomineralisatsioon ei intensiivistunud ning ka lämmastiku leostumine mulla nõrgvee kaudu osutus väga väikeseks. Kuigi katsealade arv on piiratud ja andmeid on veel vähe, võib siiski töö tulemuste põhjal järeldada, et hall-lepikute lageraie ei kujuta potentsiaalset keskkonnanariski lämmastikuringe seisukohast. Antud teema vajaks kindlasti edasi uurimist, et saaks teha suuremaid üldistusi hall-lepikute majandamise mõjust erinevatele aineringetele, sealhulgas süsinikuringele.</p>			
Märksõnad: hall-lepik, <i>Alnus incana</i> , lämmastiku netomineralisatsioon, lageraie, leostumine, retranslokatsioon.			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Hardo Becker		Speciality: Forest management	
Title: Nitrogen fluxes and storages in grey alder stand and after clearcut			
41 pages	10 figures	6 tables	- appendixes
Department:	Silviculture		
Field of research:	Silviculture		
Supervisor(s):	Veiko Uri		
Place and date:	Tartu, 2012		
<p>The main objective of present study was to estimate the potential environmental risks through the different storages and fluxes of nitrogen cycle associated with grey alder management. The changes in net nitrogen mineralization (NNM) after clear-cut were estimated. The effect of temperature on NNM intensity; nitrogen fixation in grey alder biomass and N usage on biomass production were estimated and summarized in a partial N balance of the 30-year-old grey alder stand growing on <i>Aegopodium</i> site type. The present study tested following hypothesis: as the result of the increased soil temperature on the clearings after the clearcut NNM intensifies. At the same time nitrogen demand of the ecosystem is substantially reduced as the largest N consumers (trees) were felled, which can lead to free mineral nitrogen leaching through the soil water.</p> <p>In May 2011 the test area with two sample plots was established – one plot on the cutting area and the other one on the uncut control area. NNM was evaluated using the buried polyethylene bags method (Eno 1960).</p> <p>On both areas NNM was the largest in July, which also had the highest average monthly soil and air temperatures. The total values of the NNM in the upper 20 cm soil during the six month study period were 120.0 kg ha⁻¹ and 124.4 kg ha⁻¹ on the control plot and in clear-cut area, respectively. Grey alder stands above-ground biomass was evaluated 116.1 t ha⁻¹, of which stem-mass was accounted for 99 t ha⁻¹ (250 m³ ha⁻¹). The total below-ground biomass of the alder trees was 22.0 t ha⁻¹. The current stemwood and below-ground part increments were 6.0 t ha⁻¹ and 1.5 t ha⁻¹, respectively.</p> <p>The total annual N demand for below- and above ground part production was 156.7 kg N ha⁻¹. Nitrogen retranslocation from the leaves was 20.2 kg ha⁻¹ y⁻¹. The leaching in grey alder control plot and in clearcut area was 1.42 kg ha⁻¹ y⁻¹ and 1.18 kg ha⁻¹ y⁻¹, respectively.</p> <p>The tested hypothesis was not confirmed as the NNM did not intensify on clearcut area; also the nitrogen leaching was low on both sites. Based on the results of the current study we can suggest that the clearcut of grey alder stand does not constitute a potential environmental risk. The topic requires further investigations in order to make greater recommendations for grey alder management and its impact on different nutrient circulations, including the carbon cycle.</p>			
Keywords: grey alder, <i>Alnus incana</i> , net nitrogen mineralization, clearcut, leaching, retranslocation			

Sisukord

Sissejuhatus	6
1 Metoodika ja materjal	9
1.1 Katseala	9
1.2 Muld	9
1.3 Lämmastiku netomineralisatsiooni katse	11
1.4 Mulla- ja õhutemperatuur	13
1.5 Puistu aastane lämmastiku nõudlus	14
1.6 Mullavesi	15
1.7 Varis	15
1.8 Statistiline analüüs	16
2 Tulemused ja arutelu	17
2.1 Lämmastiku netomineralisatsioon	17
2.2 Temperatuuri mõju lämmastiku netomineralisatsioonile	22
2.3 Biomass ja produktsioon	24
2.4 Lämmastiku akumulatsioon biomassis	26
2.4.1 Puistu maapealne osa	26
2.4.2 Puistu maa-alune osa	27
2.5 Varis	28
2.6 Mullavesi	30
2.7 Lämmastiku bilanss	31
Kokkuvõte	33
Kasutatud kirjandus	35

Sissejuhatus

Järjest suurenev nõudlus energiapuidu järele muudab aktuaalsemaks kiirekasvuliste puude kasvatamise ja majandamise Eestis. Üheks kiirekasvulisemaks ning vastupidavamaks puuks meie looduses on hall lepp (*Alnus incana* (L.) Moench) (Uri 2000), mis on perspektiivne puuliik ka lühikese raieringiga metsanduse seisukohalt. Hetkel on Eestis kasvavate hall-lepikute tagavara 31 miljonit m³ (Aastaraamat Mets 2010) ja see ressurss on tugevalt alamajandatud. Kahanev fossiilsete kütuste varu maailmas ja suurenev nõudlus bioenergia järele lubavad oletada, et alternatiivina pika raieringiga puistutele hakatakse lähitulevikus Eestis hall-lepikuid senisest rohkem majandama. Biomassi, sealhulgas puidu kasutamine energia tootmiseks võimaldab oluliselt vähendada CO₂ emissiooni ja seeläbi leevendada ka võimalikke kliimamuutusi. Euroopa Liit on seadnud aastaks 2020 energia sektorile eesmärgiks suurendada taastuvenergia kasutamist 20%-ni (Directive 2009/28/EC).

Sellest tulenevalt võib lähitulevikus oodata ulatuslikumat hall-lepikute raiet, mis eeldab aga paremaid teadmisi nende puistute majandamise mõjust keskkonnale, eelkõige lämmastikuringele, sest tegemist on lämmastikku (N) sümbiontselt siduva puuliigiga.

Hall-lepp on heakasvuline nii mineraalsetel, kui ka turvasmuldadel (Saarsalmi 1995, Granhall ja Verwijst 1994). Ka on ta väga vastupidav puuliik, teda ohustavad vaid vähesed haigused ja putukad (Hubbes 1983) ning tänu oma võimele paljuneda kännu- ja juurevõsust ei pea peale raiumist tegema kulutusi metsauuendamiseks (Saarsalmi *et al.* 1991). Vitaalse pioneerpuuliigina asustas hall lepp vahepealsetel aastatel intensiivselt ka mahajäetud põllumaid Eestis (Uri *et al.* 2009) ja Lätis (Liepins *et al.* 2008). Ka Soomes (Saarsalmi 1995) ja Rootsis (Granhall ja Verwijst 1994) on uuritud selle liigi kasvatamise võimalusi endistel põllumaadel.

Kõik lepa perekonna esindajad on võimelised siduma atmosfäärset lämmastikku tänu sümbioosile aktinomütseediga *Frankia* ja seeläbi on lepikute mõju mullatekkeprotsessidele, eriti mulla lämmastikuvarudele väga oluline. Lepad võivad katta suure osa oma aastasest lämmastikuvajadusest sümbiontsel teel saadud lämmastikuga (Lõhmus *et al.* 2002, Rytter *et al.* 1991, Uri *et al.* 2011). Samas on hemiboreaalses kliimavöötmes, sh. ka Eesti metsades lämmastik üks enim puude juurdekasvu limiteerivaid toitaineid. Peamiseks mineraalse e. taimedele omastatava lämmastiku allikaks muldades on netomineralisatsiooni protsess, mille käigus nii ammonifitseerivad, kui nitrifitseerivad bakterid viivad mullas leiduva orgaanilise lämmastiku mineraalsesse vormi (Miidla 1984). Lämmastiku mineraliseerumise kiirus on oluline produktsiooniprotsessi mõjutaja, kuna taimed omastavad põhiliselt nitraat- ja ammooniumlämmastikku. Mineralisatsiooniprotsessi mõjutavad peamiselt kolm keskkonnategurit: temperatuur, mulla niiskusesisaldus ja mulla pH (Tietema *et al.* 1992).

Samas on õhulämmastiku sidumine puude jaoks energeetiliselt kulukas, 1 g lämmastiku fikseerimiseks kulub 18,8 g glükoosi (Bormann ja Gordon 1984). Seega, kui lepik seob aasta jooksul lämmastiku 100 kg ha⁻¹, kulutatakse selleks ca 2 t ha⁻¹ potentsiaalset kuivmassi toodangut. Seega omastavad lepad võimaluse korral mullast eelkõige vaba mineraalset lämmastiku ning hall-lepikute puhul on lämmastiku netomineralisatsioon sümbiontse lämmastikusidumise kõrval olulisemaid lämmastikuallikaid (Uri *et al.* 2008, 2011, Lõhmus *et al.* 2002).

Lämmastikuringe jagatakse sisemiseks ja välimiseks ringeks (Gundersen ja Bashkin 1994). Välimises ringes toimub lämmastiku lisandumine, kas märg- või kuivdepositsiooniga ja õhulämmastiku sümbiontsel sidumisel või vähenemine erosiooni, ammoniaagi lendumise, leostumise ning denitrifikatsiooni tagajärjel (Mander *et al.* 1997).

Eestis on varem uuritud lämmastiku netomineralsiastsiooni aastast dünaamikat endisele põllumaale rajatud hall-lepikus (Uri *et al.* 2001, 2003a) ning võrreldud mineralisatsiooni dünaamikat endise põllumaa kaasikus ning metsastumata alal (Uri *et al.* 2008). Samuti

on Eestis uuritud hall-lepikute biomassi ja kasvudünaamikat (Uri *et al.* 2002, 2009, 2010). Esimesed ja seni ainukesed Eestis koostatud hall-lepikute kasvukäigutabelid pärinevad aastast 1930 (Raukas 1930).

Käesoleva töö peamiseks eesmärgiks oli selgitada muutusi lämmastiku netomineralisatsiooni intensiivsuses hall-lepiku lageraie järgselt. Samuti hinnati temperatuuri mõju lämmastiku netomineralisatsiooni intensiivsusele, hall-lepiku biomassis ja produktsioonis seotud lämmastikku ning koostati osaline lämmastiku bilanss. Selleks leiti kogu puistu aastane lämmastiku nõudlus, lämmastiku leostumine mulla nõrgvee kaudu, lämmastiku retranslokatsioon ning kasutati varasemaid lämmastiku depositsiooni hinnanguid.

Antud töös püstitati hüpotees, et hall-lepikus suureneb lageraie järgselt lämmastiku netomineralisatsioon, kuna raiejärgselt mullatemperatuur tõuseb. Samas ökosüsteemi lämmastikunõudlus on oluliselt vähenenud (peamised tarbijad on puud), mis võib viia vaba mineraalse lämmastiku leostumiseni mulla nõrgvee kaudu.

Käsitletud teema on uudne, sellist katset hall-lepikutes pole varem Eestis läbi viidud ja ka maailma teaduskirjanduses on sellesisulisi uurimistulemusi väga vähe.

1 Metoodika ja materjal

1.1 Katseala

Et hinnata muutusi lämmastikuringes hall-lepiku lageraiejärgselt, sealhulgas lageraie mõju lämmastiku netomineralisatsiooni intensiivsusele, rajati 2011. aasta mais katseala Järvelja õppe-ja katsemetskonda (kvartal 330 eraldis 8, Agali küla). Hall-lepikusse rajati kaks ühesuurust proovitükki (20x35m), millest üks raiuti lagedaks ja teine jäi kontrollalaks, st. kaks katsevarianti ühes korduses. Enne raiet mõlemad alad takseeriti, raie käigus mõõdeti kõrgused ja diameetrid kahekümnel puul kõrguskõvera koostamiseks. Puistu keskmine diameeter oli 14,9 cm, keskmine kõrgus 17,7 m, tagavara 249,7 tm ha⁻¹ ning vanus 30 aastat.

1.2 Muld

Kuna aladele paigaldati lüsimetrid (10 tk. kummalegi), siis on kumbki ala kirjeldatud 10 mullakaevega. Keemiliseks analüüsiks võeti mullapuuriga kummaltki alalt mullaproove 15 punktist, kolmelt sügavuselt (0-10; 10-20; 20-30 cm), mis koondati viie kaupa koondproovideks (Tabel 1). Et arvutada toitainete ja süsiniku tagavara mullas, võeti erinevatest sügavuskihtidest ka mulla lasuvustiheduse proove (silinder mahuga 50 cm³), need kuivatati absoluutkuiva kaaluni 105 °C juures ja arvutati mahukaal.

Tabel 1. Mulla pH, peamiste toitainete ning orgaanilise aine sisaldus katsevariantides

Sügavuskiht, cm	pH _{KCl}	N %	Pmg/kg (AL)	Kmg/kg (AL)	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Org.aine %
lage							
0-10	5,8	0,315	12,29	67,21	1733,07	295,3	6,54
10-20	5,9	0,26	8,04	44,17	1606,97	277,43	5,15
20-30	6,0	0,213	5,52	28,93	1373,23	250,77	4,34
lepik							
0-10	5,9	0,364	9,42	59,12	1907,6	325,69	7,48
10-20	6,0	0,292	5,19	40,49	1723	304,12	5,88
20-30	6,0	0,229	3,59	26,41	1456,53	264,6	4,82

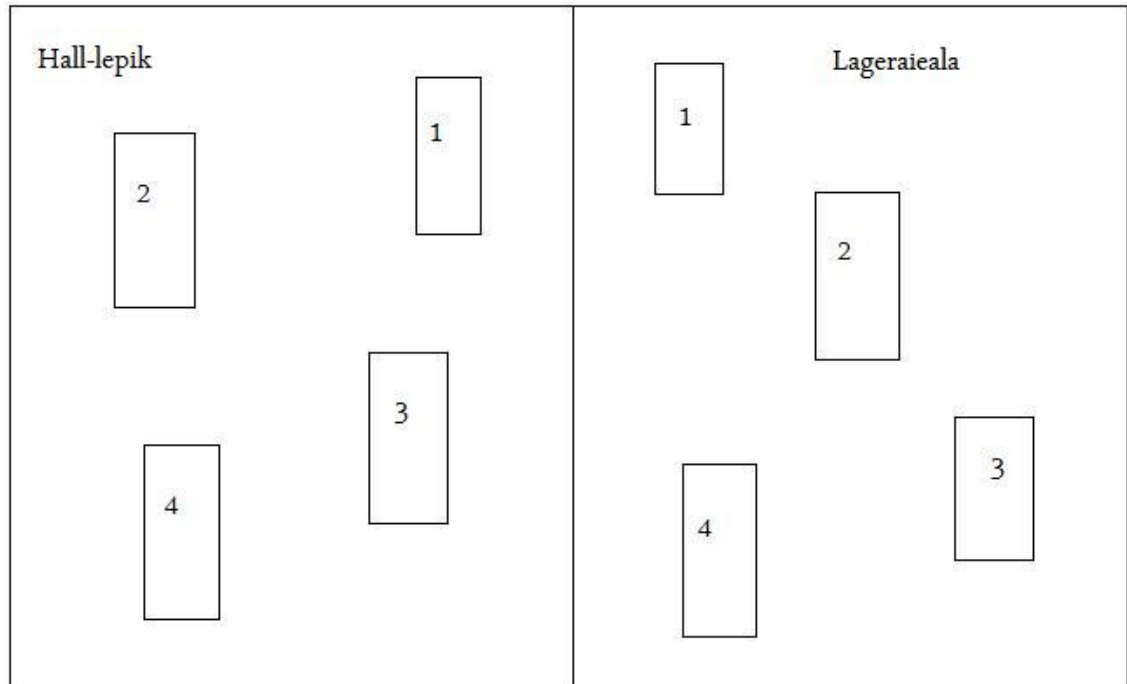
Mullastikuliselt on ala üsna varieeruv. Kuna katseala asub nõrgal ida-läänesuunalisel kallakul, tingib see erinevusi mulla veerežiimis. Kui kõrgemal osal on tegemist heleda näivleetunud mullaga, siis reljeefi madalamas osas küllastumata gleistunud mullaga. Mulla lähtekivimiks on kogu ala ulutuses kunagise Peipsi liivasetted. Iseloomulik on varieeruv A horisondi түsedus, mis mõnes punktis ulatus 60 cm–ni, jäädes enamasti siiski vahemikku 20-40 cm. Katseala asend maastikul, samuti mullaprofiil lubavad oletada, et tegemist on endisele põllumajandusmaale tekkinud puistuga. Lepikuid, mis kasvavad endistel põllumajandusmaadel on hinnatud väga produktiivseteks (Granhall ja Verwijst 1994, Saarsalmi 1995, Telenius 1999, Uri *et al.* 2009).

Puistu ja lageraieala mullad ei erine mullareaktsiooni ega peamiste toitainete (NPK), samuti orgaanilise aine sisalduse poolest (Tabel 1), seega on mullaomadused homogeenised ning lämmastiku netomineralisatsioonikatse tulemused võrreldavad (lage *versus* lepik).

1.3 Lämmastiku netomineralisatsiooni katse

Lämmastiku netomineralisatsiooni voo hindamiseks kasutati maetud kilekottide meetodit, mis on üsna vana, kuid lihtne, kindel ja laialt kasutatav meetod (Eno 1960). Kummalegi katsevariandile rajati transekt, mis koosnes 4 punktist (Joon. 1). Igas punktis inkubeeriti 6 proovi, seega kokku 24 proovi katsevariandi kohta, samal ajal võeti ka 24 lähteproovi. Proovid inkubeeriti polüetüleenkilekottidesse, (Eno 1960, Uri *et al.* 2008). Kasutatava kile paksus oli 18 µm mis tagab läbilaskvuse gaasidele (O₂, CO₂, N₂), kuid samas väldib mullalahuse leostumise ning hoiab ära mineraalse lämmastiku lisandumise mullalahuse poolt ja äratarvitamise taimejuurte poolt.

Esimesed proovid inkubeeriti 2011. aasta juunis, samal ajal võeti ka esimesed lähteproovid. Proove võeti 2011. aasta juunist kuni 2011. aasta novembrini kuu ajalise intervalliga kuni maapinna külmumiseni. Proovide edasist võtmist alustatakse kui maapind on uuesti sulanud. Kuu on sagedasem ajavahemik, mille jooksul toimuvad nitraat- ja ammooniumlämmastiku kontsentratsioonides mõõdetavad muutused (Adams *et al.* 1989). Igast transektipunktist võetud kuus proovi koondati kolme kaupa koondproovideks. Kuna nii nitraat-, kui ammooniumlämmastiku sisaldus on mullas väga kiiresti muutuv, toimetati mullaproovid kohe samal päeval laborisse (Eesti Maaülikooli Taimebiokeemia Laboratoorium). Kõik proovid võeti ülemisest 10 cm mullakihist, kasutades aheneva südamikuga mullapuuri (d=4,8 cm), et mitte rikkuda mullastruktuuri. Mulla struktuuri rikkumine, mulla segamine mõjutavad oluliselt mineralisatsiooni kiirust (Raison *et al.* 1987, Stenger *et al.* 1995).



Joonis 1. Proovitransektide paiknemine katsealal

Lähte- ja inkubeeritud proovide mineraalse lämmastikusisalduse vahena leiti igakuine lämmastiku netomineralisatsiooni intensiivsus. Mulla lasuvustiheduse põhjal arvutati mulla ülemises 10 cm kihis mineraliseerunud lämmastik. Et leida kogu 0-20 cm mullakihis mineraliseerunud N kasutati varasemalt leitud suhet, kus 10-20 cm mullakihis olev mineraliseerunud N moodustas 0-10 cm mullakihist olevast mineraliseerunud lämmastikust 68% (Uri *et al.* 2003a).

Allpool on esitatud kasutatud valemid (valemid 1-3)

Kui inkubeerimis periood on $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$, siis

$$\Delta N_{MIN} = \Delta NH_4^+ - N_i + \Delta NO_3^- N_i \quad (1)$$

$$\Delta NH_4^+ - N_i = NH_4^+ - N_{i+1} - NH_4^+ - N_i \quad (2)$$

$$\Delta NO_3^- - N_i = NO_3^- - N_{i+1} - NO_3^- - N_i \quad (3)$$

$NH_4^+ - N_i$ - on lähteproovi ammooniumlämmastiku sisaldus,
 $NH_4^+ - N_{i+1}$ - on inkubeeritud proovi ammooniumlämmastiku sisaldus inkubatsiooniperioodi lõpuks,
 $NO_3^- - N_i$ - on lähteproovi nitraatlämmastiku sisaldus,
 $NO_3^- - N_{i+1}$ - on inkubeeritud proovi nitraatlämmastiku sisaldus inkubatsiooniperioodi lõpuks,
 $\Delta NH_4^+ - N_i$ - on netoammonifikatsioon perioodil $t_{i+1} - t_i$,
 $\Delta NO_3^- - N_i$ - on netonitrifikatsioon perioodil $t_{i+1} - t_i$,
 $\Delta NMIN$ - on netomineralisatsioon perioodil $t_{i+1} - t_i$.

Aastane lämmastiku netomineralisatsioon arvutati erinevate kuude voogude summana.

1.4 Mulla- ja õhutemperatuur

Selgitamaks temperatuuri mõju lämmastiku netomineralisatsioonile mõõdeti katsealadel temperatuuri. Nii lageraie alale kui hall-lepikusse paigaldati mullatemperatuuri ja mullaniiskuse andurid koos andmekogujatega (*dataloggerid*), mis mõõtsid temperatuuri 2011. aasta juunist kuni 2011. aasta novembrini. Mõõdeti mulla temperatuuri ja mulla niiskust mulla ülemises 10 cm kihis, samuti õhutemperatuuri maapinnalähedases kihis. *Loggerid* salvestasid andmeid iga tunni tagant. Kuna temperatuuri andmed salvestati Fahrenheiti skaalal, siis esmalt teisendati saadud andmed vastavaks Celsiuse skaalale kasutades valemit (4):

$$^{\circ}\text{C} = \frac{(^{\circ}\text{F} - 32) \times 5}{9} \quad (4)$$

kus, $^{\circ}\text{C}$ - temperatuur Celsiuse kraadides

$^{\circ}\text{F}$ - temperatuur Fahrenheit'i kraadides

Edasiste arvutuste puhul leiti kuude keskmised mullatemperatuurid nii hall-lepikus kui lageraie alal ja neid võrreldi kuude keskmiste lämmastiku netomineralisatsiooni intensiivsustega.

1.5 Puistu aastane lämmastiku nõudlus

Jooksva aasta N nõudluse hindamine põhineb biomassi produktsioonil. Katsealal hinnati puistu maapealse osa biomassi mudelpuude meetodil (Bormann ja Gordon 1984). Langetatud mudelpuude erinevad fraktsioonid kaaluti, eraldati alamproovid, mis viidi laborisse ja kuivatati temperatuuril +70 °C püsiva kaalu saavutamiseni. Saadud kuivainesuhete põhjal arvutati puistu maapealse osa kuivmass.

Tüvepuidu aastase produktsiooni leidmiseks mõõdeti aastarõngaste laius kuue mudelpuu analüüsiketastelt. Langetatud mudelpuud valiti puistust vastavalt diameetrite sagedusjaotusele. Kettad võeti neljast tüvesektsioonist: juurekaelalt, 1,3 m kõrguselt, tüve keskelt ja elusvõra algusest. Esimesel kettal mõõdeti ära kõikide aastarõngaste laiused ja ülejäänud kolmel kettal viimase kolme aasta aastarõnga laiused. Aastarõngaste mõõtmiseks kasutati 0,001 mm täpsusega mõõtvat programmi (TSAP-Win Version 0.53 (Copyright © 2003 Frank Rinn, Heidelberg, Rinn Tech)).

Saadud andmete põhjal leiti eraldi mudelpuudele aastase juurdekasvu protsent iga sektsiooni kohta ja selle protsendi põhjal arvutati kogu puu aastane produktsioon. Kuue mudelpuu andmete põhjal koostati regressioonivõrrand, mille rakendamisel leiti kogu puistu aastane tüvepuidu juurdekasv. Tüvemassi teisendamisel tagavaraks kasutati varasemalt leitud Eestis kasvavate hall-lepikute kuivmassil põhinevat puidutihedust 396 kg m³ (Aosaaar *et al.* 2011).

Keemilisteks analüüsideks võeti proovid keskmise mudelpuu erinevatest fraktsioonidest (lehed, jooksva aasta võrsed, oksad, koor ja puit). Elusvõra jagati kolmeks võrdse pikkusega kihiks ja keemilisteks analüüsideks võeti proovid erinevatest kõrguskihtidest. Tüvi jagati neljaks kõrguskihiks, igast kihist võeti puidu ja koore proovid.

Erinevate fraktsioonide kuivamasside ja N kontsentratsioonide põhjal arvutati puistu maapealses biomassis akumulunud N kogus. Aastase biomassi produktsiooni põhjal leiti puistu maapealse osa N nõudlus. Kuna N sisaldus sama fraktsiooni erinevates kõrguskihtides oli erinev, siis kasutati arvutustes kaalutud keskmist N kontsentratsiooni.

Puistu maa-aluses osas akumulunud N hindamiseks kasutati varem läbi viidud uurimustöö (Uri *et al.* 2009, 2011) tulemusi. Hall-lepikutes moodustas maa-aluse osa biomass maapealsest biomassist 19% (Uri *et al.* 2009, Lõhmus *et al.* 1996). Uuritavale puistule arvatati hinnanguline maa-aluse osa kuivmass, kasutades maapealse- ja maa-aluse biomassi suhet (19%). Kuna maa-aluse osa erinevate fraktsioonide lämmastiksisaldus erines, arvatati N akumulatsioon fraktsioonide kaupa (Tabel 4). Aastase N nõudluse ja juurdekasvu arvutamiseks (Tabel 3) kasutati maapealse puitunud biomassi ja produktsiooni suhet, võttes aluseks maapealse osa puitunud biomassi aastase produktsiooni osatähtsuse kogu puitunud biomassist.

1.6 Mullavesi

Mullavee ja sealt leostuva lämmastiku hindamiseks paigaldati katsealale lüsimeetrid. Kokku paigaldati nii hall-lepikusse, kui lageraiealale 10 lüsimeetrit, kus 10 lüsimeetri vett koguv pind oli kokku 0,627 m². Lüsimeetrid paigaldati 40 cm sügavusele ja ühendati kogumisnõudega (plastkanistrid) silikoonvoolikute abil. Kanistritesse kogunenud nõrgvesi pumbati välja kord kuus spetsiaalse vaakumpumba abil. Vett koguti augustis, septembris, oktoobris ja novembris. Veeproovid analüüsiti EMÜ Taimebiokeemia Laboratooriumis. Lüsimeetrite kogumispindala, leostunud mullavee koguse ja analüüsitud lämmastiksisalduse põhjal arvatati erinevate lämmastikuvormide leostumine.

1.7 Varis

Vegetatsiooniperioodi alguses (2011. mai) paigaldati hall-lepikusse 10 varisekogujat, ühe varisekoguja kogumispind oli 0,53 m². Varist korjati kogujatest suvel kord kuus ja sügisel intensiivsel lehtede varisemise perioodil keskmiselt üle kahe nädala. Varis fraktsioneeriti: eraldati lepalehed, lepakäbid, oksad ja teiste puuliikide lehed. Eraldatud fraktsioonid kuivatati temperatuuril 70 °C kuni püsiva kaalu saavutamiseni ja kaaluti. Proovidest määrati EMÜ Taimebiokeemia Laboratooriumis lämmastiku (N) ja süsiniku

(C) sisaldus. Arvutati läbi varise mulda jõudev lämmastiku ja süsiniku voog. Lämmastiku retranslokatsioon arvutati roheliste lehtede ja lehevarise N kontsentratsioonide vahena.

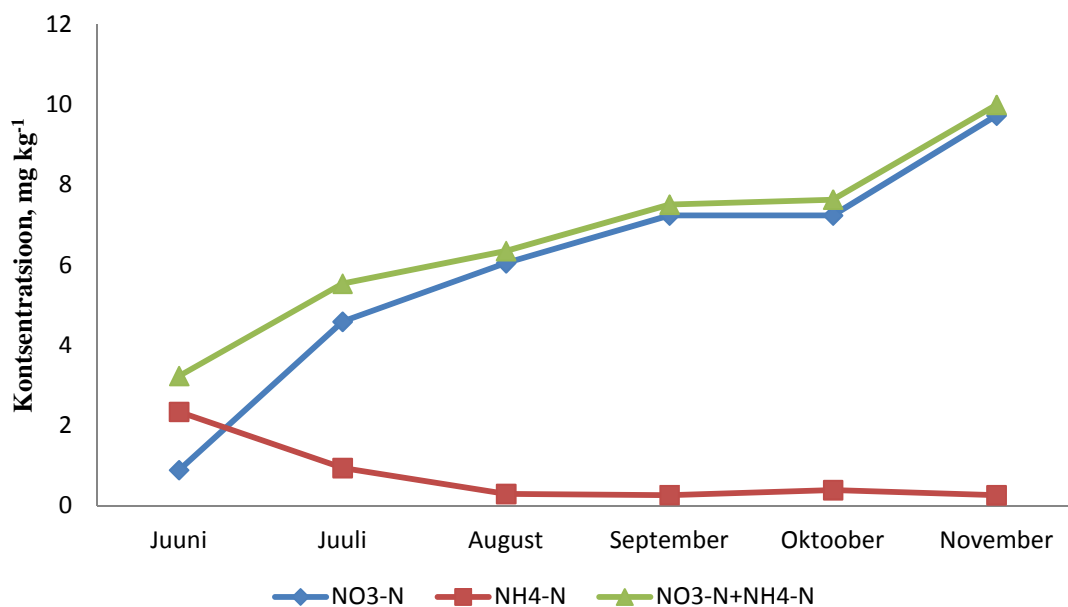
1.8 Statistiline analüüs

Normaaljaotusele vastavust tunnuste puhul kontrolliti χ^2 -testiga, kus väiksemate jaotuste puhul kasutati Kolmogorov-Smirnovi testi. T-testi kasutati tunnuste võrdlemisel ja ühefaktorilist dispersioonanalüüsi faktori mõju olulisuse hindamiseks. Regressioonanalüüsi kasutati omavaheliste seoste leidmiseks. Kõikide kasutatud meetodite puhul oli olulisuse nivoo $p < 0,05$.

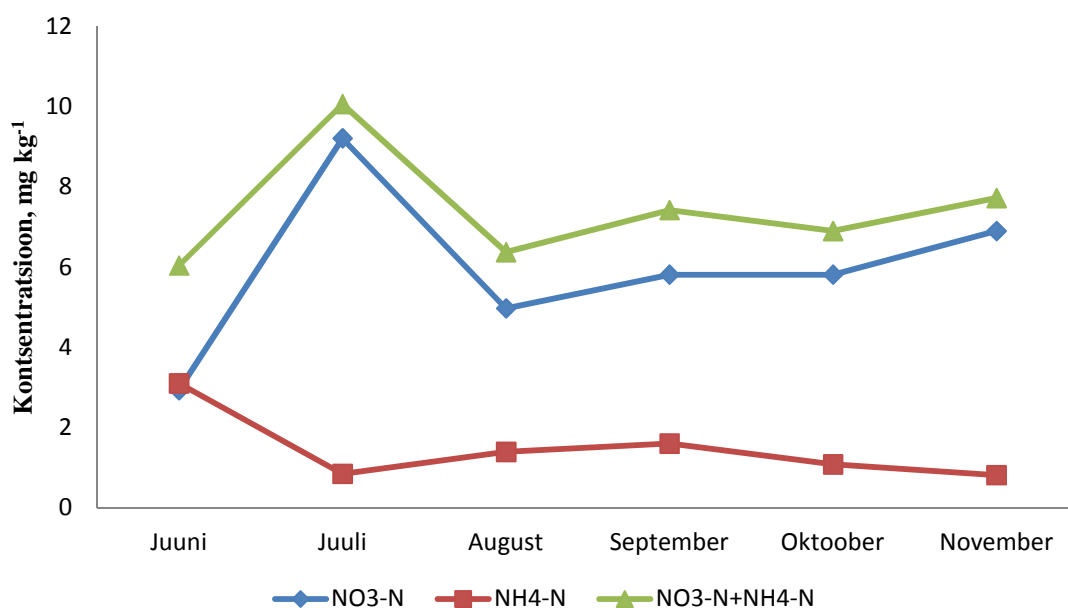
2 Tulemused ja arutelu

2.1 Lämmastiku netomineralisatsioon

Võrreldes hall-lepiku ja lageraieala mineraalse lämmastiku sisalduse dünaamikat mullas on näha, et kontsentratsioonid kuude lõikes on üsna sarnased. Hall-lepikus kõigub nitraatlämmastiku (NO_3^-N) sisaldus mullas vahemikus $0,89 \text{ mg kg}^{-1}$ kuni $9,73 \text{ mg kg}^{-1}$. Lageraie ala puhul jäid vastavad väärtused vahemikku $2,94 \text{ mg kg}^{-1}$ kuni $9,22 \text{ mg kg}^{-1}$ (Joon. 2 ja 3). Kogu mineraalse lämmastiku ($NO_3^- - N + NH_4^+ - N$) sisalduse võrdlev dünaamika mulla ülemises 10 cm tõeseduses kihis erinevates katsevariantides on toodud joonisel 4.

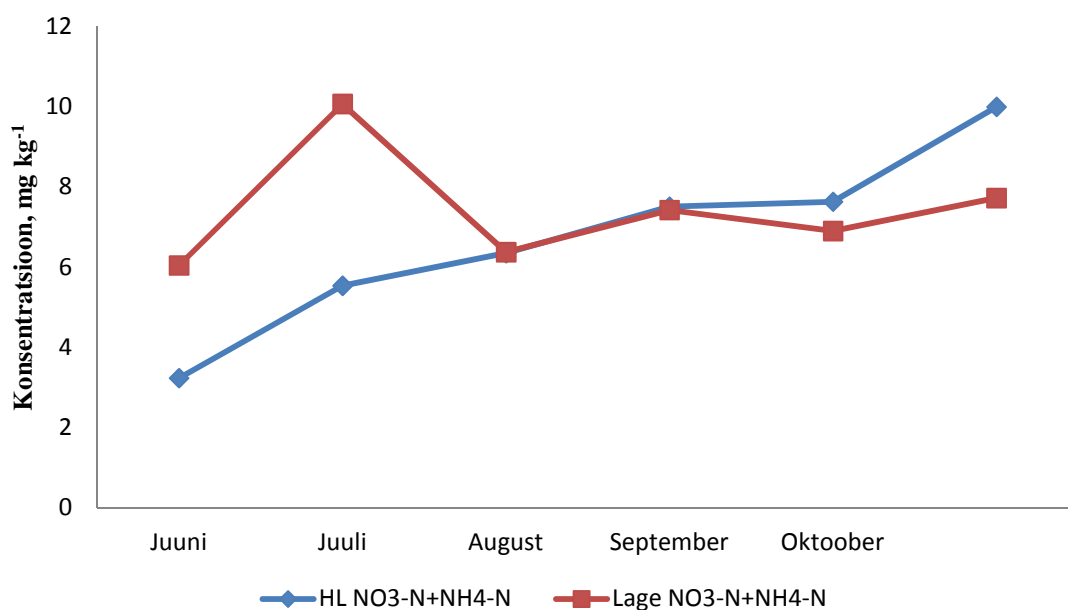


Joonis 2. Nitraat- ja ammooniumlämmastiku dünaamika hall-lepiku mullas



Joonis 3. Nitraat- ja ammooniumlämmastiku dünaamika lageraieala mullas

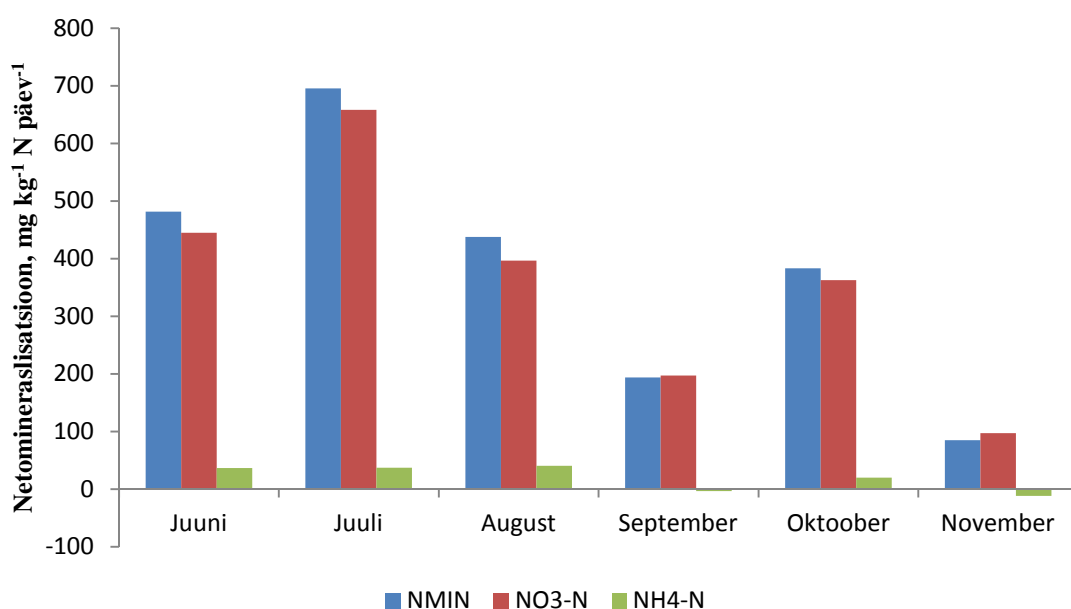
Ammooniumlämmastiku ($NH_4^+ - N$) tase mullas oli mõlemal alal madal ning põhiosa vabast mineraalsest lämmastikust moodustas nitraatlämmastik ($NO_3^- - N$). See pole kooskõlas varasemate selleteemaliste tulemustega (Uri *et al.* 2003a), kus leiti, et põllumaa hall-lepikus oli vaba ammooniumlämmastiku sisaldus mullas suurem kui nitraatlämmastiku sisaldus. Lageraieala kõrget nitraatlämmastiku taset juulis võib seletada raiejärgsete keskkonnatingimuste muutustega. Kuna lageraie toimus mais, siis ei olnud rohhtaimestik veel arenenud, puistu raiuti ja vaba mineraliseerunud lämmastikku ei kasutatud taimede poolt ära ning see tõi kaasa lühiajalise kontsentratsiooni tõusu mullas. Hiljem olid nii lageda ala, kui ka hall-lepiku lämmastiku kontsentratsioonid ligikaudu samal tasemel nelja viimase kuu vältel. Kuna ka oktoober ja november olid suhteliselt soojad kuud (kuu keskmised mullatemperatuurid vastavalt 7,5-8,0 °C ja 5,1-5,5 °C) (Tabel 2), siis ei langenud mineraalse lämmastiku tase mullas oluliselt ka oktoobris ning novembris on isegi näha vähest mineraalse lämmastiku tõusu mullas.



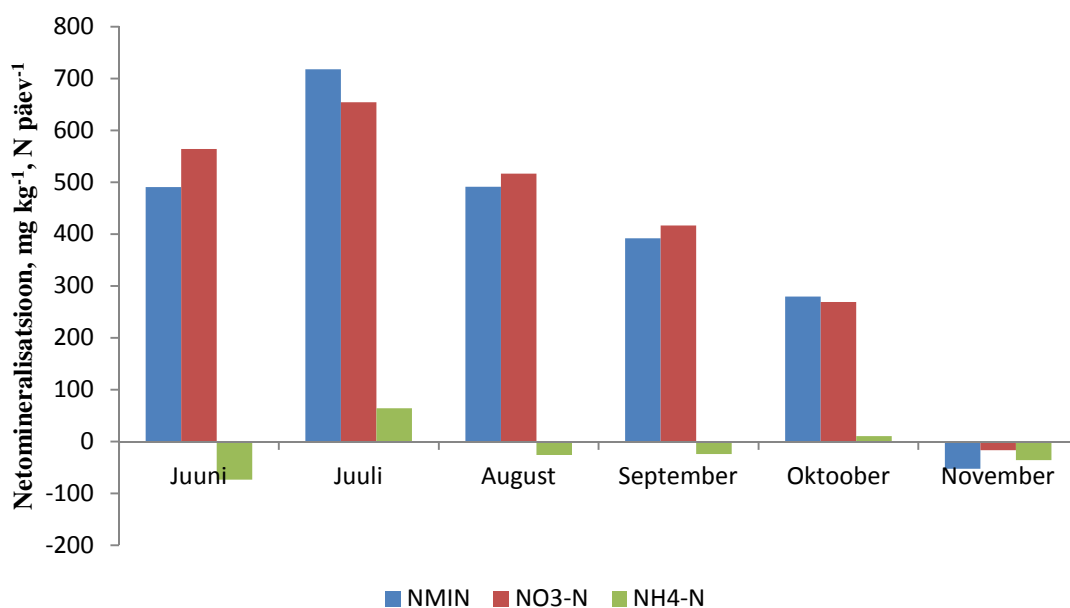
Joonis 4. Hall-lepik ja lageraieala, nitraat- ja ammooniumlämmastik summeerituna

Endisel põllumaal kasvavas lepikus (Uri *et al.* 2003a) oli kõrgeim ammooniumlämmastiku tase oktoobris (22,05 mg kg⁻¹), mis on oluliselt kõrgem, kui käesolevas töös leitu (Joon. 2). Uri *et al.* (2003a) tulemused erinevad oluliselt ka nitraatlämmastiku osas, mis oli keskmiselt kuni neli korda väiksem artiklis toodud ammooniumlämmastiku tasemest. Ühe võimalusena võib erinevusi põhjustada puistute erinev vanus; käesolevas töös on tegemist juba 30 aastase lepikuga ja puude aastane juurdekasv on langenud ning kogu vaba nitraatlämmastikku ei kasutata ära. Lagedal alal raiejärgselt intensiivselt toitaineid kasutatav taimestik puudub, see mõjutab vaba mineraalse lämmastiku sisaldust mullas. Kuna endisel põllumaal oli tegemist 5 aastase lepikuga, siis tänu intensiivsele juurdekasvule kasutati seal kogu vaba mineraalne lämmastik puude kasvuks ära. Teiseks võib rolli mängida ka kasvukoht, värskelt metsastatud põllumaal toimuvad suured muutused lämmastikuringes, kuna põllumaaökosüsteem asendub metsaökosüsteemiga (Uri *et al.* 2008). Et puitunud biomassis salvestub igal aastal teatud kogus lämmastikku, toetavad puud risosfääriprotsesside kaudu mineraliseerivate mullamikroobide aktiivsust, et tagada produktsiooniks vajalik mineraalne lämmastik mullas (Uri *et al.* 2008, Lõhmus *et al.* 2006).

Vaadates lämmastiku netomineralisatsiooni tulemusi, toimub intensiivsem mineralisatsioon nii hall-lepiku kui ka lageraieala puhul juulis, kusjuures peamise osa mineraalsest lämmastikust moodustas nitraatlämmastik (Joon. 5 ja 6). Kuna inkubeeritud proovidest ei saa taimed vaba nitraatlämmastikku kätte, siis selle lämmastikuvormi tase tõuseb. Ammooniumlämmastiku negatiivset taset proovides mõnel kuul võib seletada mikroobse immobilisatsiooni või denitrifikatsiooniga (Uri *et al.* 2003a). Võrreldes omavahel lämmastiku netomineralisatsiooni keskmisi kuuintensiivsusi hall-lepikus ja lageraie alal, siis need ei erine oluliselt. Suurim on erinevus novembrikuus, kui kõikide lämmastikuvormide sisaldus proovides oli lageraie ala puhul väiksem lähteproovidest, samas kui hall-lepiku puhul oli negatiivne ainult ammooniumlämmastiku sisaldus. Erinevused ilmnevadki peamiselt ammooniumlämmastiku osas, kus lagedal alal oli juunis, augustis, septembris ja novembris mineraliseerunud proovides sisaldus väiksem lähteproovide omast. Hall-lepiku puhul oli ammooniumlämmastiku sisaldus negatiivne ainult septembris ja novembris (Joon. 5 ja 6). Lämmastiku netomineralisatsiooni intensiivsuse erinevused kahe ala vahel ei olnud siiski kuude lõikes statistiliselt olulised ($p>0,05$).



Joonis 5. Kuude keskmised mineralisatsiooni intensiivsused hall-lepikus. NMIN - netomineralisatsioon, NO₃-N - nitrifikatsioon ja NH₄-N – ammonifikatsioon



Joonis 6. Kuude keskmised mineralisatsiooni intensiivsused lageraialal. NMIN - netomineralisatsioon, NO₃-N - nitrifikatsioon ja NH₄-N ammonifikatsioon

Arvutati kuue kuu (juuni-november 2011) summaarne lämmastiku netomineralisatsioon lageraie alal ja hall-lepikus. Hall-lepiku kuue kuu summaarne lämmastiku netomineralisatsioon 0-10 cm mullakihis oli 71,5 kg ha⁻¹ ning 0-20 cm mullakihis 120,0 kg ha⁻¹, millest nitrifikatsiooni osa oli 94,1%. Lagedal alal oli kuue kuu summaarne netomineralisatsioon 0-10 cm mullakihis 74 kg ha⁻¹ ja 0-20 cm mullakihis 124,4 kg ha⁻¹ ning sellest nitrifikatsiooni määr oli 100%, ehk siis kogu ammooniämmastik nitrifitseerus edasi nitraatämmastikuks. Saadud tulemused on heas kooskõlas varasemate uuringutega endise põllumaa hall-lepikus (Uri *et al.* 2003a), kus aastane lämmastiku netomineralisatsioon ülemises 0-10 cm mullakihis oli 84,0 kg ha⁻¹ ja 0-20 cm mullakihis kokku 141,2 kg ha⁻¹. Arvestama peab ka asjaoluga, et käesolevas töös pole hinnatud kogu aastast tsüklit. Kui lisanduvad veel 2012. aasta kahe-kolme kuu andmed, mis käesolevas töös ei kajastu, siis suureneb tegelik mineraliseerunud lämmastiku kogus veelgi.

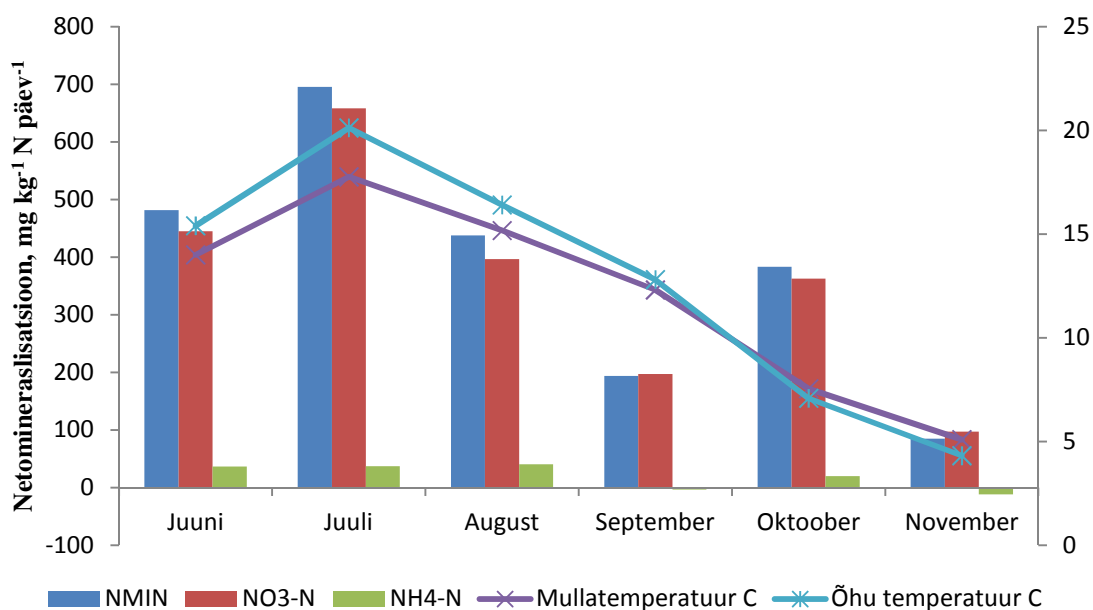
2.2 Temperatuuri mõju lämmastiku netomineralisatsioonile

Paljudes varasemates töödes on märgitud, et lämmastiku netomineralisatsiooni intensiivsust mõjutab suurel määral mullaniiskus ja temperatuur (Tietema *et al.* 1992, Tietema ja Verstraten 1992, Goncalves ja Carlyle 1994). Õhutemperatuuri puhul (mõõdetuna 10 cm kõrguselt maapinnalt) ei olnud alade vahel suuri erinevusi, kuu keskmiste temperatuuride suurim erinevus ei ületanud 1 °C. Kõige soojem kuu oli juuli, kus keskmine õhutemperatuur mõlemal alal oli üle +20 °C. Mullatemperatuuri erinevused alade vahel ulatusid kuni 2,2 °C, kusjuures hall-lepikus oli mullatemperatuur madalam. Kuni oktoobrini oli muld niiskem lageraie alal, mida võib seletada vähese taimkatte ja sellest tuleneva tagasihoidliku transpiratsioonivooga. Kõik mõõdetud temperatuuride ja mullaniiskuse kuu keskmised väärtused on esitatud tabelis 2.

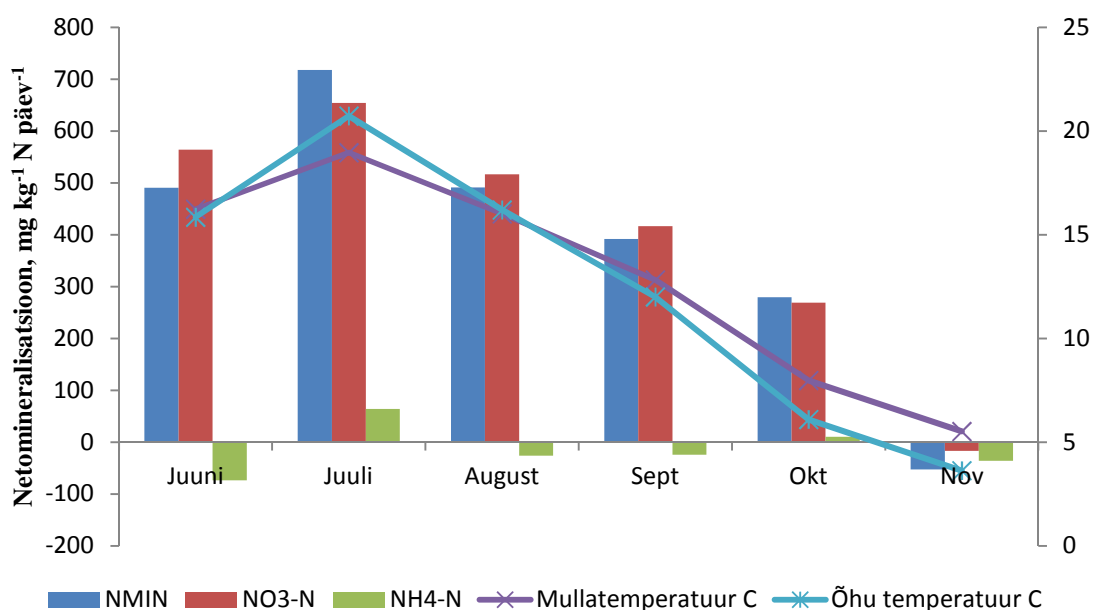
Tabel 2. Kuu keskmine mullatemperatuur, mullaniiskus ja õhutemperatuur hall-lepikus ja lageraiealal

Kuud	Mullatemperatuur °C		Mulla niiskus kPa		Õhu temperatuur °C	
	puistu	raiestik	puistu	raiestik	puistu	raiestik
Juuni	14,0	16,2	21,8	13,2	15,4	15,8
Juuli	17,8	19,0	38,0	16,3	20,1	20,7
August	15,2	16,0	38,7	19,9	16,4	16,2
Sept	12,3	12,8	52,0	24,5	12,8	12,0
Okt	7,5	8,0	28,3	24,7	7,1	6,1
Nov	5,1	5,5	35,2	31,4	4,3	3,6

Nii lageraiealal, kui ka hall-lepikus ilmneb selgelt õhu- ja mullatemperatuuri mõju lämmastiku netomineralisatsiooni intensiivsusele (Joon. 7 ja 8).



Joonis 7. Õhu- ja mullatemperatuur ja lämmastiku netomineralisatsiooni vaheline seos hall-lepikus



Joonis 8. Õhu- ja mullatemperatuuri ja lämmastiku netomineralisatsiooni vaheline seos lageraialal

Mõlema ala puhul oli kõige intensiivsem lämmastiku mineralisatsioon juulis, kui temperatuurid olid kõrged. Järgnevatel kuudel kuu keskmine temperatuur langes ja sellega koos langes ka netomineralisatsiooni intensiivsus. Saadud tulemus on heas kooskõlas seniste tulemuste ja seisukohtadega (Uri *et al.* 2003a, 2008).

2.3 Biomass ja produktsioon

Puistus akumulatsioon toitaineid sh. lämmastikuvaru on otseses seoses puistu biomassi või tagavaraga ning aastane lämmastikunõudlus jooksva aastase juurdekasvuga. Katsealal kasvava hall-lepiku maapealse osa biomassiks hinnati 116,1 t ha⁻¹, sellest moodustas tüvemass 101,4 t ha⁻¹ ehk tagavarana 250 m³ ha⁻¹. Puude maa-alune biomass kuivainena oli hinnanguliselt 22,1 t ha⁻¹, ning sellest kõige suurema osa moodustasid kannud (40,4%), suur oli ka jämedate juurte (d>10mm) osakaal (35,1%). Uuritava hall-lepiku biomassi võib lugeda suhteliselt kõrgeks või keskmiseks. Eestis on hinnatud 40-aastase lepiku maapealse osa biomassiks 131,8 t ha⁻¹ (Lõhmus *et al.* 1996). Samas ühes paremakasvulises põllumaa hall-lepikus hinnati ligikaudu sama tüvemass (99,7 t ha⁻¹) juba 16-aastases puistus ning aastane tüvemassi juurdekasv ulatus seal 14,1 t ha⁻¹ (Uri *et al.* 2010).

Enamik hall-lepikute biomassi ja produktsiooni hinnanguid teaduskirjanduses on publitseeritud Skandinaavia või Baltimaade autorite poolt. Rootsis leiti 6-aastases hallilepa istanduse biomassiks 27 t ha⁻¹ ja keskmiseks aastaseks produktsiooniks 8,6 t ha⁻¹ (Telenius 1999). Eestis hinnati 6-aastases hall-lepikus maapealse osa biomassiks 50,9 t ha⁻¹ (Tullus *et al.* 1998). Veelgi nooremas, 5-aastases hallilepa istanduses Soomes saadi puistu maapealseks biomassiks 31 t ha⁻¹ ja keskmiseks aastaseks juurdekasvuks 8,5 t ha⁻¹ (Saarsalmi *et al.* 1985). Eestis on leitud 10-aastases hall-lepiku biomassiks 49,4 t ha⁻¹ (Uri *et al.* 2003a). Siit nähtub, et eriti kiire kasv on hall-lepikutel just noores eas. Ka Johansson (1999) on täheldanud kõige kiiremat kasvu just 5-10 aastastes hall-lepikutes. Katsealuse hall-lepiku vanus oli 30 aastat ja ilmselt seetõttu on ka jooksva aasta produktsioon hakanud langema. Samas mängivad kindlasti rolli ka kasvukohtade erinevused. Kuna hallilepa puhul on tegemist kiirekasvulise puuliigiga, siis peaks mahuküpsus e. raieküpsus saabuma suhteliselt varakult. Varasemalt on Eestis hinnatud, et aastane juurdekasv hakkab hall-lepikutes vähenema alates 15 aasta vanusest (Raukas 1930). Ka Rytter (1996) on hinnanud ligikaudu sama vanuseperioodi (13 aastat) hallilepa puhul aastase keskmise juurdekasvu tipuks.

Võrreldes saadud tulemusi erinevate kasvukäigutabelitega on uuritava hallilepiku tagavara suhteliselt suur või keskmine. Eesti hallilepa kasvukäigutabelis on hea

boniteediga kasvukohas pakutud 30 aastase hall-lepiku tagavaraks 270 m³ ha⁻¹ ning keskmiseks aastaseks juurdekasvuks 9 m³ ha⁻¹ (Raukas 1930). Teiste kasvukäigutabelite puhul võrreldi saadud tulemusi parima boniteedi vastavate väärtustega. Valgevene (Yurkevich) kasvukäigu tabeli järgi on hinnatud 30-aastases hall-lepikus tagavaraks 238 m³ ha⁻¹ ning Leedu (Jankauskas) kasvukäigutabelites on prognoositud 30-aastase hall-lepiku tagavaraks 268 m³ ha⁻¹ (Krigul 1971). Need tulemused on suhteliselt sarnased katsealuse hall-lepiku tagavaraga. Läti kasvukäigutabelite (Murnieks) väärtus (tagavara 307 m³ ha⁻¹) on meie poolt leitud tagavarast kõrgem, kuid erinevus on suhteliselt tagasihoidlik (Krigul 1971). Lätis on leitud, et 25-aastases lepikus on tagavara enamasti suurem kui 200 m³ ha⁻¹ (Miezite ja Dreimanis 2006).

Võrreldes saadud andmeid meist lõunapool kasvavate hall-lepikutega on katsealuse ja sealsete hall-lepikute hinnatud biomassid ja tagavarad suhteliselt sarnased. Skandinaaviamaades saadud tulemusi võiks aga lugeda meie katsealuse lepiku omast väiksemateks. Kesk-Rootsis on hinnatud 35-aastases hall-lepikus biomassiks 80 t ha⁻¹ ja 27-aastases hall-lepikus 54,3 t ha⁻¹ (Johannson 2000). Ka Norra keskosas on saadud samasuguseid tulemusi, kus 41-aastases hall-lepikus hinnati biomassi 124,6 t ha⁻¹ (Björklund ja Ferm 1982).

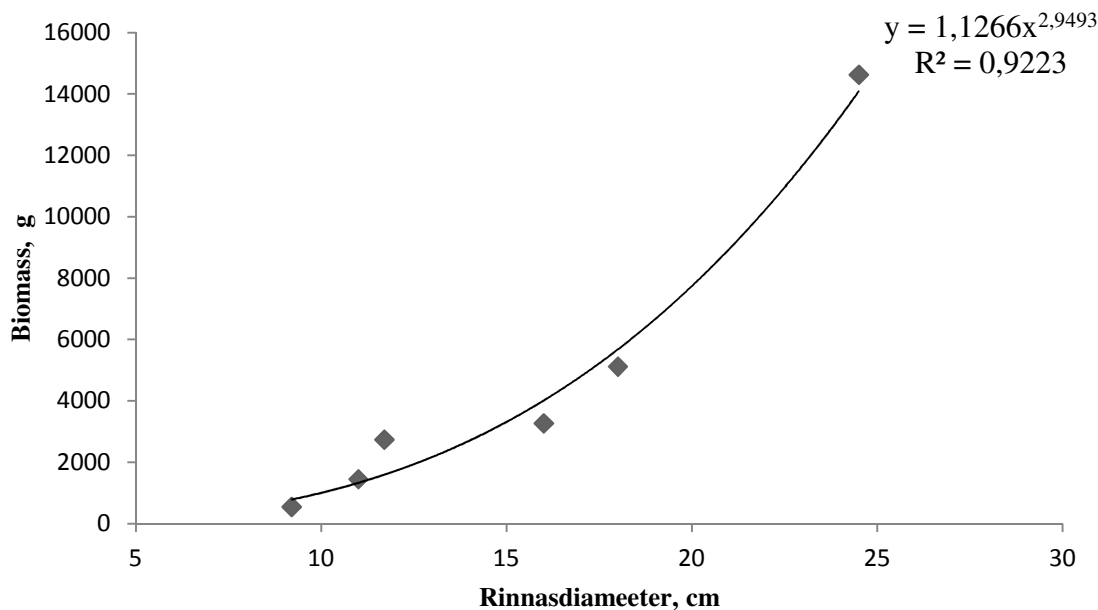
Tüvepuidu aastase jooksva produktsiooni leidmiseks kasutati allomeetrilist seost (5), (Joon. 9)

$$y = 1,127x^{2,949}, \quad (5)$$

kus y - on tüvepuidu aastane produktsioon, g

x – rinnasdiameeter, cm

R=0,96, p<0,001



Joonis 9. Tüvepuidu aastase jooksva juurdekasvu ja rinnasdiameetri vaheline seos 30-aastase hall-lepikus

Aastane tüvepuidu jooksev juurdekasv oli $6,0 \text{ t ha}^{-1}$, so. $15,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Tüvepuidu jooksva juurdekasvu kohta hall-lepikutes on andmeid kirjanduses suhteliselt vähe. Eestis on viimasel kümnendil avaldatud andmeid endisel põllumaal kasvava hall-lepiku kohta ja sarnane aastane juurdekasv ($6,7 \text{ t ha}^{-1}$) oli juba 4-aastases endise põllumaa hall-lepikus (Uri *et al.* 2003b). Kõrgeim Eestis hinnatud hall-lepikute aastane tüvemassi produktsioon oli $14,1 \text{ t ha}^{-1}$ ja kogu maapealse osas puitunud biomassi produktsioon (tüvi+oksad) $18,8 \text{ t ha}^{-1}$, mis leiti 16-aastases endisel põllumaal kasvavas hall-lepikus (Uri *et al.* 2010). Lätis on üle 10-aastastes puistutes hinnatud aastaseks produktsiooniks $4,5\text{-}7,6 \text{ t ha}^{-1}$ (Miezite ja Dreimanis 2006).

2.4 Lämmastiku akumulatsioon biomassis

2.4.1 Puistu maapealne osa

Puistu kogu maapealse osas oli akumulatsioon lämmastikku $756,6 \text{ kg ha}^{-1}$, millest suurim osa oli seotud tüvepuidus ja –koos. See oli tingitud nende fraktsioonide suurest

osakaalust, tüved moodustasid 87,3% kogu puistu maapealse osa biomassist. Puistu aastase maapealse osa produktsiooni põhjal arvatud N nõudlus oli 154,5 kg ha⁻¹. Kõige suurem osa aasta jooksul seotud lämmastikust talletati aga lehtedes (114,1 kg ha⁻¹), sellele järgnes puidus seotud N kogus (26,9 kg ha⁻¹) ja kooses seotud N (8,9 kg ha⁻¹) kogus (Tabel 3). Tulemused on võrreldavad varasemate analoogiliste töödega (Uri *et al.* 2011), kus 10-aastases hall-lepikus hinnati puude aastaseks N nõudluseks 149 kg ha⁻¹. Suurem osa lämmastikust seotakse lehtedes, kus on ka lämmastiku kontsentratsioon kõrgeim, ulatudes 3,5-4,5 %-ni (Uri *et al.* 2003, Uri *et al.* 2011, Saarsalmi 1995, Rytter 1990).

2.4.2 Puistu maa-alune osa

Puude maa-aluses osas akumulereus 150,6 kg lämmastikku hektari kohta, mis moodustas kogu puistu poolt seotud lämmastikust 16,6%. Puistu maa-aluse osa fraktsioonijaotus ja N nõudlus on toodud tabelites 3 ja 4.

Tabel 3. Hall-lepiku maapealse ja maa-aluse osa biomassis ning aastases produktsioonis seotud lämmastik

Fraktsioon	Biomass t ha ⁻¹	Aastane produktsioon t ha ⁻¹	Kogu akumuleerunud N kg ha ⁻¹	Aastane N nõudlus kg ha ⁻¹
Lehed	3,5	3,5	114,1	114,1
Jooksva aasta võrsed	1,1	1,1	0,9	0,9
Oksad	10,1	0,3	113,6	3,8
Tüvekoor	12,5	0,8	131,2	8,9
Tüvepuit	88,9	6,0	396,8	26,9
Juured+känd	22,1	1,5	150,5	2,1
Kokku	138,1	13,3	907,2	156,7

Tabel 4. Hall-lepiku maa-aluse osa fraktsioonijaotus ja selles akumulunud lämmastik

Fraktsioon	N%	Osakaal juurestikust %	Kokku N kg ha⁻¹
känd	0,41	40,4	36,5
juured d>10 mm	0,79	35,1	61,2
juured 5<d≤10 mm	0,91	10,7	21,4
juured 2<d≤5 mm	1,03	13,8	31,4
Kokku			150,6

Maa-aluse osa jämeda fraktsiooni keskmiseks aastaseks produktsiooniks hinnati 1,5 t ha⁻¹ ning selle põhjal saadi aastaseks N nõudluseks 2,1 kg ha⁻¹. Uri *et al.* (2011) on leidnud 10 aastases hall-lepikus maa-aluse osa N nõudluseks 6,6 kg N ha⁻¹. Võrreldes neid tulemusi katsealuse hall-lepikuga on katsealuse hall-lepiku maa-aluse osa N nõudlus väike.

2.5 Varis

Varist koguti nelja kuu jooksul (august-november) ning sellel perioodil jõudis maapinnale ligi 3,3 tonni varist hektari kohta. Varisekogujad olid paigutatud puistusse juhuslikult ja kogusid varist ühtlaselt, saadud varise kuivmass ei sõltunud varisekogujast (ANOVA, P>0,9). Varise massi ning selle keskmise süsiniku- ja lämmastikusisalduse põhjal jõudis mulda hinnanguliselt 80 kg ha⁻¹ lämmastikku ja 1632 kg ha⁻¹ süsinikku. Eraldi varises sisalduvate fraktsioonide (okste ja lehtede) mass ning varises seotud lämmastiku ja süsiniku kogused on esitatud tabelis 5.

Tabel 5. Varise voog hall-lepikus ja selles seotud N ja C kogused

Kuupäev	Varise mass		N C voog mulda	
	lehed kg ha ⁻¹	oksad kg ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹	C kg ha ⁻¹
8.08.2011	438,8	104,2	12,1	222,1
25.08.2011	277	84,2	7,5	140,2
7.09.2011	440,3	29,3	10,6	222,8
22.09.2011	627,3	85,3	16,1	317,5
11.10.2011	900,7	58,6	72,9	455,9
18.10.2011	242,6	5,8	6,5	122,8
14.11.2011	298,8	146,7	8	151,2
Kokku	3225,5	514,2	82,1	1632,4

Aastaseks lehtede lämmastiku retranslokatsiooniks hinnati 20,2 kg N hektari kohta, mis moodustas 17,7% roheliste lehtede lämmastiku sisaldusest. Võrreldes varasemate töödega oli uuritud lepikus lehelämmastiku retranslokatsioon suhteliselt suur, mitmed uurijad märgivad leppade madalat lehelämmastiku retranslokatsiooni määra (Dawson ja Funk 1981, Mander *et al.* 1997, Lõhmus *et al.* 2002, Uri *et al.* 2002). Käesolevas töös leitud varise kaudu mulda jõudev lämmastiku voog jääb aga kirjanduses esitatud tulemustega samasse suurusjärku. Nii hinnati 10-aastases lepikus aastase N retranslokatsiooni voo suuruseks 6,3 kg ha⁻¹ ja läbi varise tagasi mulda jõudvat lämmastiku koguseks 95,4 kg ha⁻¹ (Uri *et al.* 2011). Rytter *et al.* (1989) märgib, et kiiresti kasvavates hall-lepikutes võib umbes 100 kg N ha⁻¹ jõuda mulda läbi lehevarise. Veel on täheldatud, et leppade lehevaris on tänu suurele lämmastikusisaldusele kiiresti lagunev (Slapokas ja Granhall 1991). Suuremat retranslokatsiooni voogu käesolevas uurimuses võiks seletada puistu vanusega või ka selle aasta ilmastikutingimustega, kus suvi oli suhteliselt kuiv ja lehtedest viidi enim varisemist rohkem toitained puude teistesse osadesse tagasi. Olulist ilmastiku mõju leppade lehelämmastiku retranslokatsioonile on täheldatud varasemas uurimuses (Uri *et al.* 2011).

2.6 Mullavesi

Nelja kuu jooksul (august – november) kogunes nii hall-lepikus kui lageraiealal lüsimetritesse mulla nõrgvett suhteliselt vähe; lepikust saadi vett 4,94 liitrit ja lageraiealalt 3,56 liitrit. Erinevatest analüüsitud lämmastikuvormidest oli mõlema ala nõrgvees kõige rohkem nitraatlämmastikku, ehk siis lämmastik leostus põhiliselt nitraadina. Hall-lepikus leostus vaatlusaluse nelja kuu jooksul lämmastikku kokku 1,42 kg ha⁻¹ (Tabel 6) ning lagedal alal oli see ligilähedaselt samas suurusjärgus (1,18 kg ha⁻¹).

Tabel 6. Mulla nõrgveest analüüsitud erinevate lämmastikuvormide (ammoonium-, nitrit- ja nitraatlämmastiku) leostumine

Ala	NH ₄ leostumine kg ha ⁻¹	NO ₂ leostumine kg ha ⁻¹	NO ₃ leostumine kg ha ⁻¹	Orgaaniline N kg ha ⁻¹	Leostumine alalt kogu vee kohta kg ha ⁻¹
Hall-lepik	0,02	0	1,29	0,11	1,42
Lage	0,01	0,01	1,06	0,1	1,18

Nii lageraie alal kui hall-lepikus oli lämmastiku leostumine mullavee kaudu väga väike. Kuna lageraiejärgselt väheneb oluliselt toitainete sh. lämmastiku omastamine taimede poolt ja võrastiku puudumise tõttu suureneb mulda jõudva sademetevee voog, siis eeldati oluliselt suuremat lämmastiku leostumist lageraiealal. Mõningate allikate põhjal võib lepikus lämmastiku leostumine mullavee kaudu ulatuda kuni 50 kg ha⁻¹ (Binkley *et al.* 1992). Eestis on varasemalt leitud, et lepikus kogu lämmastiku leostumine mullavee kaudu on olnud 14,9 kg ha⁻¹ a⁻¹ (Uri *et al.* 2011) või kaldaäärsetes halli lepa puhvertsoonides jäänud vahemikku 9-13 kg ha⁻¹ a⁻¹ (Mander *et al.* 1997). Vähesese leostumise (nii hall-lepikus kui lageraiealal) üks põhjuseid võib olla ka suhteliselt sademetevaene suvi. Ka ei intensiivistunud oluliselt lagedal alal lämmastiku netomineralisatsioon, mis on aga potentsiaalselt leostuda võivate nitraatioonide peamiseks allikaks.

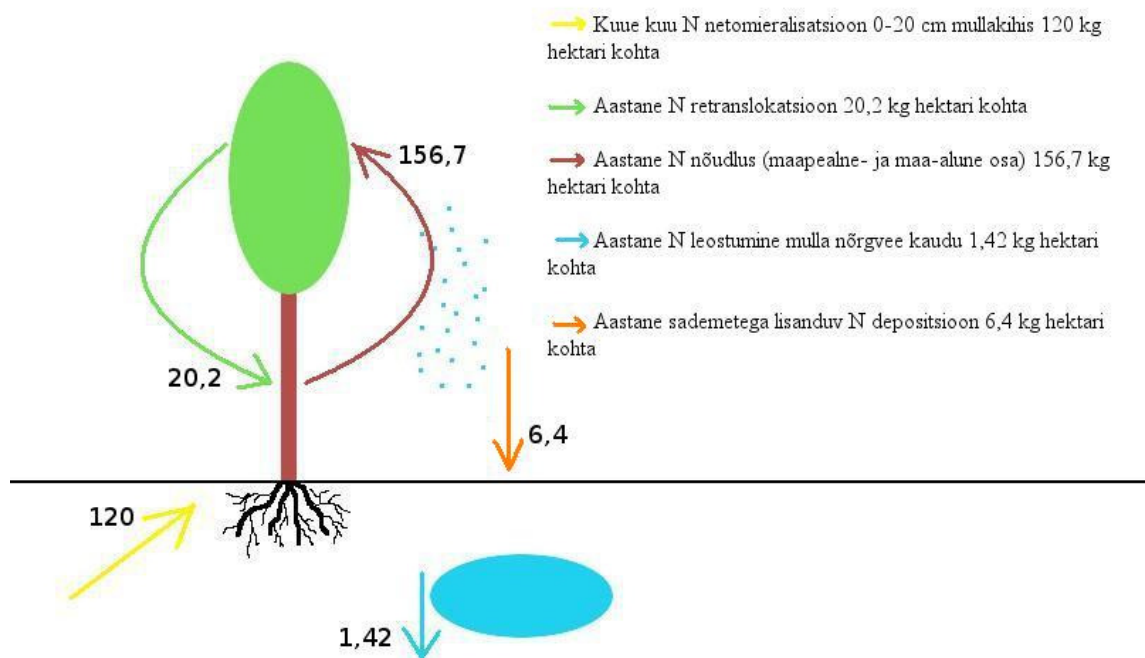
Seega ei toimunud lageraiejärgselt suuremaid või kestvaid muutusi olulistest lämmastikuvoogudes ja transformatsiooniprotsessides. Lämmastiku

netomineralisatsioon ja erinevate lämmastikuvormide leostumine mullavee kaudu jäi samasse suurusjärku hall-lepikus ja lageraiealal.

2.7 Lämmastiku bilanss

Kogu puistu maapealse ja maa-aluse osa lämmastikunõudlus oli kokku 156,7 kg ha⁻¹. Käesolevas töös ei hinnatud küll lämmastiku netomineralisatsiooni kogu aastast käiku, kuid uuritud kuue kuu jooksul oli hall-lepikus 0-20 cm mullakihis lämmastiku netomineralisatsioon 120,0 kg ha⁻¹. Aastane lämmastiku retranslokatsioon lehtedest oli 20,2 kg ha⁻¹ ja lämmastiku leostumine mulla nõrgvee kaudu 1,42 kg ha⁻¹ aastas. Uurimuses ei ole käsitletud lämmastiku gaasilise emissiooni voogusid, samuti alustaimestiku osa üldises lämmastikunõudluses, mis ei võimalda koostada täielikku lämmastikubilanssi.

Hall-lepiku lämmastiku bilansi peamisi voogusid-varusid iseloomustab joonis 10, kus on näidatud erinevad lämmastiku varud, vood ja transformatsioonid.



Joonis 10. Osaline lämmastiku bilanss hall-lepikus

Võttes ühelt poolt arvesse puistu aastase lämmastikuvajaduse (maapealne+maa-alune osa, 157 kg N ha^{-1}) ja teisalt sisendvood ja transformatsioonid, jääb uuritud perioodil katmata umbes 20 kg N ha^{-1} .

Kuna bilanss pole täielik, saab siinkohal vaid spekuloida ülejäänud voogude osas. Kindlasti katab väikese osa sademetega lisanduv lämmastik, mis Lõuna- ja Kagu-Eestis on suurusjärgus $6,4 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Mander *et al.* 1997). Arvestades varasemaid sarnastes metsades Eestis läbi viidud uuringute tulemusi, lisandub mais-juunis oluline osa mineraalset lämmastikku, sest kuna mullaniiskus ja temperatuur on soodsad, siis on netomineralisatsioon nendel kuudel intensiivne. Olulise osa puistu aastasest lämmastikunõudlusest võib katta ka sümbiontne lämmastiku sidumine. Eestis on hinnatud 10- aastase hall-lepiku aastaseks sümbiontselt seotud lämmastikuvoo suuruseks $151 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Uri *et al.* 2011), mis kattis 74% kogu metsaökosüsteemi aastasest N nõudlusest. Kaldaäärses 14- aastases hall-lepikus ulatus aastane sümbiontne N sidumine kuni $185 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, kuid 40- aastases sama kasvukoha puistus oli see vaid $28 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Siit ka ilmne seos puistu N sidumise ja vanuse vahel, mida toetavad ka mitmed teised autorid (Binkley 1981, Rytter 1989, Sharma *et al.* 2002). Tõenäoliselt jääb selle puistu aastane sümbiontne N sidumine piiridesse $30\text{-}50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Samas võib ka gaasiline N emissioon olla kogu puistu N bilansis väga arvestatav voog, ulatudes $75 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Uri *et al.* 2011).

Esialgsete tulemuste põhjal võib järeldada, et lageraiejärgselt ei intensiivistu oluliselt netomineralisatsioon, samuti ei põhjusta lageraie intensiivsemat lämmastikuvormide leostumist.

Kokkuvõte

Lämmastiku netomineralisatsiooni intensiivsus hall-lepikus ja lageraie alal oluliselt ei erinenud. Hall-lepikus oli 0-20 cm mullakihis lämmastiku netomineralisatsioon 120,0 kg ha⁻¹ ja lageraie ala puhul 124,4 kg ha⁻¹. Mõlemal alal oli lämmastiku mineralisatsiooni intensiivsus kõrgeim juulis, korreleerudes hästi keskmise õhu- ja mullatemperatuuriga, mis oli samuti kõrgeim juulis. Saadud tulemus on heas kooskõlas seni avaldatud töödega, kus märgitakse netomineralisatsiooni sõltuvust just keskmisest temperatuurist.

Lageraiealal suurenes vahetult peale raiet lühiajaliselt nitraatlämmastiku sisaldus mullas, mida võib seletada oluliselt vähenenud lämmastiku kasutamisega taimede poolt. Kuid mineraalse lämmastiku sisaldus mullas stabiliseerus kiiresti ja viimastel kuudel (august-november) oli mineraalse lämmastiku tase nii hall-lepiku kui ka lagedal alal praktiliselt sama. Seega oli lageraie mõju ühele väga olulisele lämmastikuvoole metsaökosüsteemis väga tagasihoidlik ja lühiajaline. Ka lämmastiku leostumine mõlema ala puhul oli kaduvväike, hall-lepikus 1,42 kg ha⁻¹ ja lageraie alal 1,18 kg ha⁻¹. Kuna lageraie alal puhul lämmastiku netomineralisatsioon ei intensiivistunud ja ka lämmastiku leostumine mulla nõrgvee kaudu osutus väikeseks, ei leidnud antud töös püstitatud hüpotees kinnitust.

Arvestades hall-lepiku aastast biomassi netoproduksiooni (6,0 t ha⁻¹) ja puistu aastast lämmastiku nõudlust (154,4 kg ha⁻¹) ning seda, et aastane lämmastiku netomineralisatsioon ei kata kogu lämmastikuvajadust, võib oletada, et ka 30-aastases hall-lepikus on sümbiontse lämmastikusidumise voog arvestatav.

Kindlasti ei saa antud uurimustöö põhjal teha suuremaid üldistusi, kuna katsealade arv on piiratud ning andmeid on vähe. Siiski võib antud töö tulemuste põhjal järeldada, et hall-lepikute majandamine (eelkõige lageraie) ei kujuta potentsiaalset keskkonnamiski lämmastikuringe seisukohast. Antud teema vajaks edasist uurimist, et saaks teha olulisemaid järeldusi hall-lepikute majandamise mõjust erinevatele aineringetele sealhulgas süsinikubilansile.

Kasutatud kirjandus

- Adams, M. A., Polglase, P. J., Attieill, M. P., Weston, C. J. 1989. In situ studies on nitrogen mineralization and uptake in forest soils: some comments on methodology. *Soil Biol. Biochem* 21 (39), 423-429.
- Aosaar J., Varik M., Lõhmus K., Uri V. 2011. Stemwood density in Young Grey Alder (*Alnus incana* (L.) Moench) and Hybrid Alder (*Alnus hybrida* A. Br.) Stands Growing on Abandoned Agricultural Land, *Baltic Forestry* 17(2): 256-261.
- Binkley, D. 1981. Nodule biomass and acetylene reduction rates of red alder and Sitka alder on Vancouver Island, B.C. *Can. J. For. Res.* 11, 281–286.
- Binkley, D., Sollins, P., Bell, R., Sachs, D., Myrold, D. 1992. Biogeochemistry of adjacent conifer and alder-conifer stands. *Ecology* 73 (6), 2022–2033.
- Björklund T, Ferm A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepan biomassa ja tekniset ominaisuudet. Summary: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. *Folia For.* 500:1-37.
- Bormann, B.T., Gordon, J.C. 1984. Stand density effects in young red alder plantations: productivity, photosynthate partitioning and nitrogen fixation. *Ecology* 2, 394-402.
- Dawson, J.O., Funk, D.T. 1981. Seasonal change in foliar nitrogen concentration of *Alnus glutinosa*. *For. Sci.* 27 (2), 239–243.

- Directive 2009/28/EC. On the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. 2009.04.23. Official Journal of the European Union 2009. 140:16-62.
- Eno, C. F. 1960. Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bags. In: Proceedings of the Soil Science Society of America 24, 277-279.
- Goncalves, J.L.M., Carlyle, J.C. 1994. Modeling the influence of moisture and temperature on net nitrogen mineralization in a forested sandy soil. Soil Biol. Biochem. 26, 1557-1564.
- Granhall, U., Verwijst, T. 1994. Grey Alder (*Alnus Incana*) – a N fixing tree suitable for energy Forestry. In Hall DO, Grassi G, Sheer H, editors. 7th E.C Conference, Biomass for energy and Industry. Cochum: Ponte Press, 409-413.
- Gundersen, P., Bashkin V. N. 1994. Nitrogen cycling.- In: B. Moldan, J. Cerny (Eds.) Biochemistry of small catchments: A tool for environmental research. Jhon Wiley & Sons Ltd, 255- 283.
- Hubbes, M. 1983. A review of the potential diseases of *Alnus* and *Salix* in energy plantations. Report No.5, International Energy Agency/FE Program Group B, Maple, ON, Canada, Ministry of Natural Resources. 35.
- Johansson, T. 1999. Site index curves for common alder and gray alder growing on different types of forest soil in Sweden. Scand. J. For. Res 14, 441-453.
- Johansson, T. 2000. Biomass equations for determining fractions of common and grey alders growing on abandoned farmland and some practical implications. Biomass Bioenerg. 18(2):147-59.

- Keskkonnateabe Keskus. Aastaraamat Mets 2010. Yearbook of Forest 2010. Tartu (Estonia): OÜ Paar; 2012.
- Krigul, T. 1971. Metsataksaatori teatmik. Eesti Põllumajanduse Akadeemia. 2nd ed. Tartu: EPA rotaprint.
- Liepins, K., Lazdins, A., Lazdina, D., Daugaviete, M., Miežite, O. 2008. Naturally afforested agricultural lands in Latvia – Assessment of available timber resources and potential productivity. In: 7th International Conference on Environmental Engineering, Vilnius, Lithuania, May 22-23, Vilnius Tech Univ, 1-3:194-200.
- Lõhmus, K., Mander, Ü., Tullus, H., Keedus, K. 1996. Productivity, buffering capacity and resources of grey alder forests in: Estonia. In: Perttu, K., Koppel, A. (Eds.), Short Rotation Willow Coppice for Renewable Energy and Improved Environment. Uppsala, pp. 95–105.
- Lõhmus, K., Kuusemets, V., Ivask, M., Teiter, S., Augustin, J., Mander, Ü. 2002. Budgets of nitrogen fluxes in riparian grey alder forests.- Archiv für Hydrobiologie 13 (3-4), 321-332.
- Lõhmus, K., Truu, M., Truu, J., Ostonen, I., Kaar, E., Vares, A., Uri, V., Alama, S., Kanal, A. 2006. Functional diversity of culturable bacterial communities in the rhizosphere in relation to fine-root and soil parameters in alder stands on forest, abandoned agricultural, and oil-shale areas. Plant Soil 283 (1–2), 1–10.
- Mander Ü., Kuusemets V., Lõhmus, K., Muring, T. 1997. Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments.- Ecological Engineering, 8, 299-324.

- Miežite, O., Dreimanis, A. 2006. Investigations of grey alder (*Alnus incana* L.Moench) biomass. Research Forest Rural Development, International Scientific Conference Proceedings, 271-275.
- Miidla, H. 1984. Taimefüsioloogia. Tallinn, 423 lk.
- Raison, R. J., Conell, M. J., Khanna, P. K. 1987. Methodology for studying fluxes of soil mineral-N in situ. Soil Biol. Biochem. 19, 521-530.
- Raukas, A. 1930. Pärnumaa talumetsad. Tartu Ülikooli Metsaosakonna toimetised. Tartu University, Tartu.
- Rytter, L. 1989. Distribution of roots and root nodules and biomass allocation in young intensively managed grey alder stands on a peat bog. Plant Soil 119, 71–79.
- Rytter, L., Slapokas, T., Granhall, U. 1989. Woody biomass and litter production of fertilized grey alder plantations on a low humified peat bog. Forest Ecology and Management 28: 161-176.
- Rytter, L. 1990. Biomass and nitrogen dynamics of intensively grown grey alder plantations on peatland. Dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Rytter, L., Arveby, A. S. and Granhall, U. 1991. Nitrification in organic and mineral soil layers in coniferous forests in response to acidity.-Environmental Pollution, 102, 377-383.
- Rytter, L. 1996. Grey alder in forestry: a review . Norwegian J. Agric. Sci. 24 , 65 – 84.
- Saarsalmi, A., Palmgren, K., Levula, T. 1985. Leppäviljelmän biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö . (In Finnish, with English summary). Folia For. 628 , 24 p.

- Saarsalmi, A., Palmgren, K., Levula, T. 1991. Harmaalepän vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö. Summary: Biomass production and nutrient consumption of the sprouts of *Alnus incana*. Folia For. 768:1-25.
- Saarsalmi, A. 1995. Nutrition of deciduous tree species grown in short rotation stands. University of Joensuu Faculty of Forestry, Research notes 37, 60 pp.
- Sharma, G., Sharma, R., Sharma, E., Singh, K.K. 2002. Performance of an age series of *Alnus-Cardamon* plantations in the Sikkim Himalaya: nutrient dynamics. Ann. Bot. 89 (3), 273–282.
- Slapokas T. Granhall U. 1991. Deposition of litter in fertilized short-rotation forests on a low humified peat bog Forest Ecology and Management 41: 143-165.
- Stenger, R., Priesack, E., Beese, F. 1995. Rates of netnitrogen mineralization in disturbed and undisturbed soils. Plant soil 171, 323-332.
- Telenius B.F. 1999. Stand growth of deciduous pioneer tree species on fertile agricultural land in southern Sweden. Biomass and Bioenergy 16: 13-23.
- Tietema, A., Verstraten, J.M. 1992. Nitrate cycling in an acid forest ecosystem in the Netherlands under increased atmospheric nitrogen input. Biogeochemistry, 15, 21-46.
- Tietema, A., Warmerdam, B., Lenting, E., Riemer, L. 1992. Abiotic factors regulating nitrogen transformations in the organic layer of acid forest soils: moisture and pH.-Plant and Soil, 147, 69-78.
- Tullus, H., Uri, V., Lõhmus, K., Mander, Ü., Keedus, K. 1998. Halli lepa majandamine ja ökoloogia. Management and ecology of grey alder. Tartu: PAAR.

- Uri, V. 2000. Halli ja hübriidlepakultuurid endisel põllumaal ja nende biomassi tootmine.- Metsanduslikud uurimused XXXII. Tartu, 78-89.
- Uri, V., Lõhmus, K., Tullus, H. 2001. Lämmastiku netomineralisatsioon halli lepa kultuuris endisel põllumaal.-Metsanduslikud uurimused XXXV, 156-163.
- Uri, V., Tullus, H., Lõhmus, K. 2002. Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. For. Ecol. Manage. 161 (1–3), 169–179.
- Uri, V., Lõhmus, K., Tullus, H. 2003a. Annual net nitrogen mineralization in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural.- Forest Ecology and Management, 167-176.
- Uri, V., Tullus, H., Lõhmus, K. 2003b. Nutrient allocation, accumulation and above-ground biomass in grey alder and hybrid alder plantations. Silva Fenn.;37(3):301-11.
- Uri, V., Lõhmus, K., Kund, M., Tullus, H., 2008. The effect of land use on net nitrogen mineralization on abandoned agricultural land: silver birch stand *versus* grassland. Forest Ecology and Management. 255, 226-233.
- Uri, V., Lõhmus, K., Kiviste, A., and Aosaar, J. 2009. The dynamics of biomass production in relation of foliar and root traits in grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. Forestry 82(1):61-74.
- Uri, V., Aosaar, J., Varik, M., Kund, M. 2010. Mõningate kiirekasvuliste lehtpuupuistute kasv ja tootmine endisel põllumaal, Metsanduslikud uurimused 52, 18-29.

Uri, V., Lõhmus, K., Mander, Ü., Ostonen, I., Aosaar, J., Maddisson, M., Helmisaari, H-S., Augustin, J. 2011. Long-term effects on nitrogen budget of a short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) forest in abandoned agricultural land. *Ecological Engineering* 37, 920-930.