

6. PROJEKTI KULUD KOKKU 144 600 eurot	
Kulurida	Kokku
Töötasud (põhitäitjad +abitööjõud)	60 629,95
Sotsiaalmaks	20 007,89
Töötuskindlustusmaks	718,23
Ostetud teenused	15 006,25
Lähetuskulud	3 360,56
Materjalid, tarvikud, masinad, seadmed	10 414,43
Muud kulud	20 002,69
Üldkululõiv	14 460,00
Kokku	144 600.00

7. PROJEKTI TULEMUSED (maksimaalselt 10 lehekülge)

7.1 Projekti lühikokkuvõte (maksimaalselt 500 tähemärki)

Selgitati kuusekändude juurimisel saadavat kännupuidu biomassi, tagavara ja selle energeetilist väärtust. Hinnati kändude juurimisega kaasnevat toitainete ja süsiniku kadu. Kuusekändude juurimine ei põhjustanud viljakatest kasvukohatüüpides (jk, jk.-ms, sl) olulist toitainete kadu. Samuti ei intensiivistanud see mullahingamist ja seeläbi mullasüsiniku kadu. Juurimise mõju lämmastiku netomineralisatsiooni intensiivsusele oli katsealade lõikes väga erinev, kuid lämmastiku leostumisele tagasihoidlik. Kuusekändude juurimise energeetiline bilanss oli positiivne.

7.2 Abstract (maksimaalselt 300 tähemärki)

Norway spruce stumps are a prospective additional available bioenergy resource in Estonian forests. Nutrient removal with stumps did not cause a significant nutrient or carbon depletion of the ecosystem owing to the high corresponding soil storages. Stump harvesting did not increase soil respiration intensity. The stump harvesting will need significantly less energy than available from stumps.

Projekt kavandati kompleksse uurimusena, selgitamaks erinevaid, kuid omavahel tihedalt seotud aspekte kändude juurimisel sh. ressursi hinnangut, juurimise keskkonnamõjusid, mõju metsa uuenemisele ning metsakaitsele. Erinevate küsimuste lahendamiseks kitsmates valdkondades kaasati projekti eriala spetsialistid, tagamaks sünergia uurimusrühmas ja tulemuste kvaliteedi. Kõik taotlused püstitatud eesmärgid projekti ellu viimisel täideti.

7.3 Tulemused.

7.3.1 Katsealad.

Projekt algas juulis 2011. a. ja vahetult peale lepingu sõlmimist alustati sobivate katsealade valikuga. Kokku valiti andmebaasist (2010/11 kuusikute lageraielad) 310 lageraielangi hulgast välja 80 raiesmikku, kõik need vaadati looduses ka üle. Neist omakorda valiti välja projekti läbiviimiseks 4 sobivat ala (arvestades juurdepääsu, kasvukohatüüpi, kuusekändude osakaalu jne.). Üks aladest asub Tartumaal (edaspidi „Elva“, üks ala Võrumaa (edaspidi „Rõuge“) ja kaks ala Lääne-Virumaal („Orguse“ ja „Viru“). Vastavalt taotluses esitatud meetodikale, jagati kõik alad neljaks proovitükiks (juuritud ja kontrollala, mõlemad kahes korduses). Allpool toodud tulemused on esitatud postitatud eesmärkide kaupa.

7.3.2. Hinnata kuusekändude juurimisel saadavat kändude massi, tagavara, niiskuse sisaldust ja energeetilist väärtust.

Juurimine katsealadel viidi läbi RMK poolt oktoobris 2011. Vahetult peale juurimist fraktsioneeriti raiesmikel mudelkännud, 6-9 mudelkändu ala kohta. Eraldatud proovide ja edasise analüüsi põhjal hinnati kändude biomassi, tagavara, tihedust, niiskusesisaldust, toitainete ning süsiniku sisaldust ja kütteväärtust.

Iga katseala kohta koostati allomeetriline mudel, mis kirjeldas juuritud kändude diameetri ning nende kuivmassi vahelist seost. Mudeli põhjal arvutati juurimisel saadav kändude biomass, mis oli katsealade lõikes varieeruv, jäädes vahemikku 26-55 t ha⁻¹.

Kõikide mudelkändude andmete (n=28) põhjal koostati üldine mudel (1), mis võimaldab hinnata kännu biomassi kännu diameetri põhjal.

$$BM = 0.016D^{2,398} \quad (1),$$

kus BM on juuritud kännu biomass (kuivaines), kg ja D on kännu diameeter, cm.

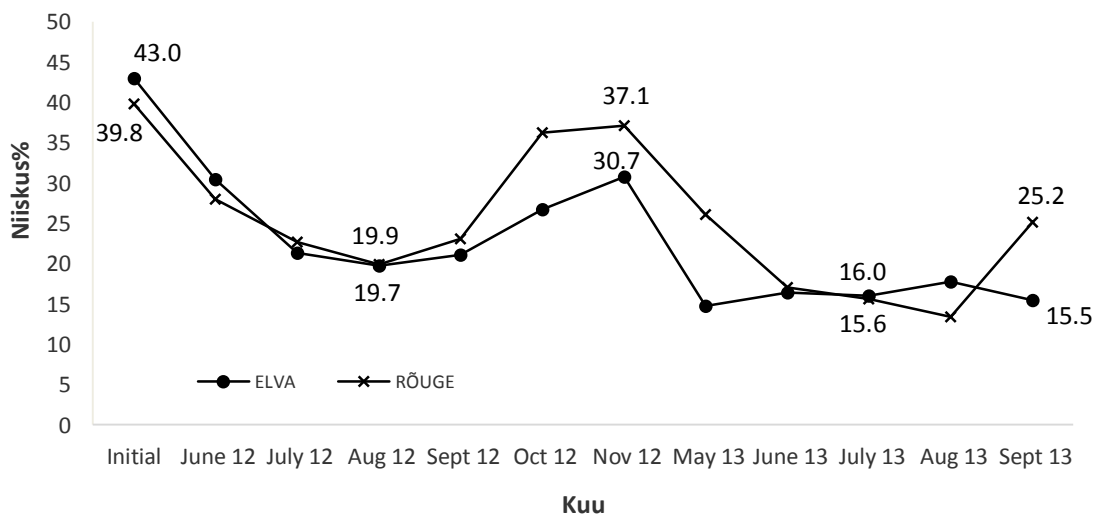
Saadud mudel kirjeldab kändude biomassi kännudiameetrist, kuid praktilises metsanduses on peamiseks kasutatavaks takseertunnuseks puude rinnasdiameeter. Eestis kasutusel olev valem (2) võimaldab tuletada kännudiameetri puude rinnasdiameetrist. Kasutades mudeleid (1) ja (2), on võimalik arvutada kuusikutest saadavat potentsiaalset kändude biomassi (kuivaines).

$$D_0 = 1.266D_{1,3} \quad (2)$$

kus, D_0 on kännu diameeter (cm) ja $D_{1,3}$ puu rinnasiameeter (cm).

Et teisendada saadud massiühikud metsanduses tavapärasteks mahuühikuteks, määrati erinevate kännufraktsioonide tihedused. Juuritud kändude kännupuidu tihedus ($427\text{--}431 \text{ kg m}^{-3}$) ei erinenud usaldusväärselt katsealade vahel ($p > 0,05$) ja keskmine juuritud kuusekändude tihedus on 430 kg m^{-3} . Juurimisel saadav kännupuidu kogus sõltub nii kändude arvust, kui ka keskmisest kändude diameetrist. Aga saadavat kännupuidu kogust mõjutavad ka mulla liik, samuti tüve- ning juuremädanike esinemine. Katsealadelt saadi kännupuitu vahemikus $62\text{--}131 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, kõige vähem Orguse ja rohkem Elva katsealalt. Elva alalt saadud kändude maht oli märkimisväärselt suur, sest üldiselt loetakse heaks tulemuseks juuritud kändude tagavara $75\text{--}100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Hakkila 2003, Lazdins and Zimelis, 2012). Ka Rõuge alal ületas juuritud kändude maht $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Juuritud kändude niiskusesisaldus vahetult peale juurimist jäi vahemikku 40-50%. Kännud virnastati ja kahe järgneva aasta jooksul võeti virnadest proove niiskusesisalduse määramiseks. Juurimisjärgse aasta suvel langes kändude keskmine niiskusesisaldus kuni 20%-ni. Sügisel ja talvel niiskuse sisaldus kändudes taas tõusis, kuid teise aasta suvel langes 15-16 protsendini (joon. 1.1). Seega kännupuidu kasutamisel tuleks kände virnas eelnevalt hoida vähemalt kaks aastat.



Joonis 1.1 Niiskuse sisalduse sessioone dünaamika virnastatud kändudes

Väiksem niiskusesisaldus tagab kännupuidu suurema kütteväärtuse, samuti väiksemad transpordikulud. Keskmine energiasisaldus kännu fraktsioonides ei erinenud ja jäi vahemikku $19,0\text{--}19,3 \text{ kJ g}^{-1}$ absoluutkuiva puidu kohta. Juuritud kändudest saadav potentsiaalne energia hulk ulatus kuni 294 MWh ha^{-1} (Elva alal). See on kõrge näitaja, seni avaldatud töödes (Hakkila 2004; Näslund et al., 2008) on saadud keskmiseks energia sisalduseks 130 MWh ha^{-1} kuni 250 MWh ha^{-1} . Tegelik saadav energia kogus on aga väiksem, sest kütteväärtust vähendavad nii kändude niiskusesisaldus, kui saaste (muld) esinemine. Selle allteema detailsem analüüs on käsikirjas (Uri et al, submitted) LISA 1.

7.3.3. Hinnata kändudega raiesmikult ära viidavat toitainete kogust ja selle võimalikku mõju mullaviljakusele.

Mudelkändude erinevatest fraktsioonidest määrati peamiste toitainete (NPK), samuti süsiniku (C) sisaldus. Juuritud kändude biomassi põhjal arvutati kändudega eemaldatav toitainete ja süsiniku kogus ning

võrreldi seda vastavate mullavarudega.

Toitainete ja C kontsentratsioonid samades kännufraktsioonides, kuid erinevatel katsealadel ei erinenud. Kuid väiksema diameetriga juurefraktsioonides oli toitainete sisaldus alati kõrgem, samas süsiniku sisaldus fraktsioonide vahel ei erinenud. Katsealadeks valiti viljaka mullaga kasvukohad, kuna nad on perspektiivsemad kändude juurimiseks. Et neil aladel on toitainete varud mullas suured, siis kändude eemaldamine ei põhjusta ala olulist vaesumist toitainetest. Uuritud katsealadelt eemaldati kändudega lämmastikku 79-167 kg ha⁻¹, mis moodustas vaid 1,2-4,4% mulla üldlämmastikuvarudest. Fosforit (P) viidi koos kändudega ära 6-13 kg ha⁻¹ ja see moodustas enamasti 6-8% mulla omastatava P varust. Kuid et omastatava e. laktaatlahustuva fosfori varu Rõuge katsealal oli madal (28 kg ha⁻¹), moodustas eemaldatav P kogus sellest arvestatava osa. Kuid arvestama peab, et reeglina moodustab laktaatlahustuva P varu vaid väikese osa mulla üldfosfori varust, seega ei põhjustanud kändude eemaldamine ka Rõuge katsealal P defitsiiti. Ka on omastatava P kontsentratsioon mullas sessioonelt muutuv ja sõltub suurel määral taimede juurtootumisest. Ka kaaliumi (K) puhul oli alalt kändudega eemaldatava kogus tagasihoidlik (6-13 kg ha⁻¹). Elva katseala mullas oli kaaliumi varu madalam ja suhtarvuna moodustas eemaldatav K mullavarust olulise osa. Kuid ka kaalium on äärmiselt liikuv element ja tema sisaldus mullas väga sessioonelt suurtes piirides muutuv.

Tuleb arvestada, et suurimad toitainete varud asuvad kuuskedel okastes ja okaste eemaldamine koos raidmetega avaldaks olulist mõju kasvukoha aineringle, kuid kõikidel uuritud aladel jäid tekkinud raidmed raiesmikule. Võrreldes okastes akumulunud toitainetega, on kändudes seotud NPK varud tagasihoidlikud.

Seega, kui juurimiseks valitakse viljakate muldadega kasvukohad (jk, jk-ms, sl), kus toitainete sisaldus mullas on kõrge, siis kändudega ära viidavad NPK kogused ei mõjuta mullaviljakust negatiivselt.

Süsinik

Juuritud kändude keskmine süsiniku (C) sisaldus oli 48% ja see ei erinenud erinevates kännufraktsioonides usaldusväärselt ($p > 0,05$). Känd ja puude maa-alune osa kokku moodustavad reeglina ca 20% puu biomassist ja raiejärgne kändude juurimine suurendab C kadu kasvukohast samas proportsioonis. Uuritud alade süsinikuvarust asus peamine osa mullas, C varu mulla ülemises 0-50 cm kihis jäi katsealadel vahemikku 81-170 t ha⁻¹. Kändudega viidi aladelt ära süsinikku 12,5-27 t ha⁻¹. Kuid kändude eemaldamisega põhjustatud orgaanilise C kadu ei ole keskkonnamõjuks, sest kändude lagunemisel eralduv C emiteerub hiljem CO₂-na ja mulla orgaanilise C varude täienduseks läheb sellest väga väike osa. Pigem kujutab endast riski võimalik konservatiivse mullasüsiniku kadu läbi intensiivistunud mullahingamise. Kuna kändude juurimisega kaasneb oluline mullahäiring, mulla segamine, st. mulla struktuuri muutus, siis võib intensiivistuda süsiniku mineralisatsiooni ja sellest tulenevalt suurened ka C kadu mullast läbi mullahingamise. Mullahingamise mõõtmist polnud projekti taotluses küll planeeritud, kuid kuna see on väga oluline aspekt juurimise keskkonnamõjude hindamisel, lülitati mullahingamise allteema projekti pisut hiljem ja võimalused vajalike vahendite installeerimiseks ning mullahingamise mõõtmiseks leiti olemasolevast eelarvest. Uue aspekti lisamine ei toonud kaasa olulisi muudatusi eelarves või planeeritud tööde mahus, küll aga võimaldas saada detailsemaid ja suurema üldistusvõimega tulemusi juurimise võimalikest keskkonnamõjudest ning seeläbi tõsta rakendusuuringu kvaliteeti. Mõõtmisi viidi läbi kahel alal (Elva ja Rõuge), katse ülesehituse ning kasutatud meetodika detailne kirjeldus on toodud artikli käsikirjas (Uri et al., submitted) (vt. Lisa 1).

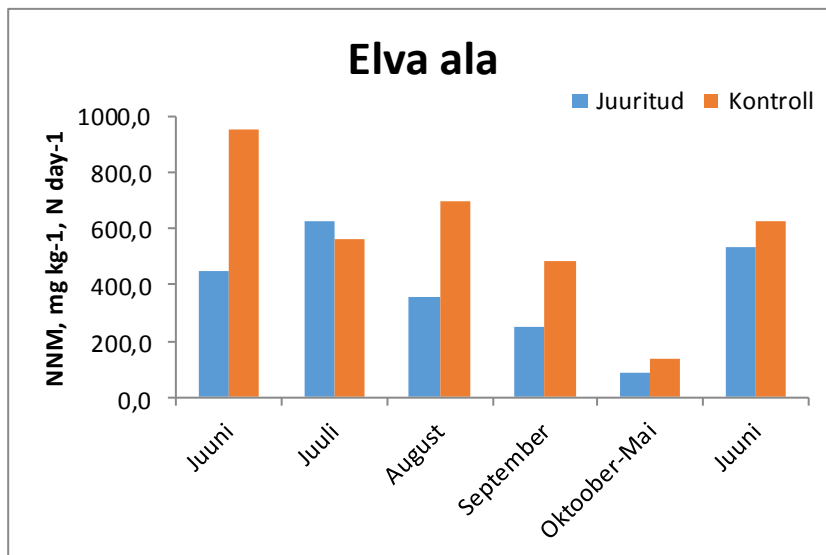
Elva katsealal ei erinenud kogu mullahingamine juuritud ala (4,9 t ha⁻¹ a⁻¹) ja kontrollala vahel (5,1 t ha⁻¹ a⁻¹) ning heterotroofse mullahingamise aastase voo suurus oli vastavalt 3,7 ja 3,9 t ha⁻¹ a⁻¹. Kändude juurimine ja mullakihtide segamine ei suurendanud mullahingamist. Rõuge alal oli heterotroofse mullahingamise voog suurem kontrollal (2,5 t ha⁻¹ a⁻¹) võrreldes juuritud alaga (1,8 t ha⁻¹ a⁻¹), kuid erinevus polnud statistiliselt oluline ($p < 0,05$). Võimalikku suuremat CO₂ voogu kontrollalt võib seletada suurema, laguneva orgaanilise aine kogusega (juured) mullas. Kuna juuritud alal on oluline osa juurtest eemaldatud, siis on seal ka lagunevat orgaanilist ainet vähem. Juurimise mõju mullahingamisele on vähe uuritud, kuid saadud tulemused on heas kooskõlas Rootsisis läbi viidud analoogilise tööga, kus aastaseks CO₂ vooks juuritud lageraialadelt hinnati 4-5 t ha⁻¹ a⁻¹ (Grelle et al., 2012).

7.3.4. Selgitada juurimise mõju toitainete transformatsiooniprotsessidele mullas, võimalikku toitainete leostumist ja seeläbi mõju mullaviljakusele.

Juurimisest põhjustatud ulatuslik mullastruktuuri muutmine võib oluliselt intensiivistada lämmastiku netomineralisatsiooni (NNM) (Raison et al., 1987; Stenger et al., 1995; Persson & Wiren, 1995), samas on NNM enamikes meie metsaökosüsteemides taimede peamine lämmastikuallikas. Käesoleva projekti üheks eesmärgiks oli hinnata juurimise mõju sellele lämmastiku transformatsiooniprotsessile. Kasutati inkubeeritud polüetüleenkilekottide meetodil (Eno, 1960; Adams et al., 1989; Hart et al., 1994; Uri et al., 2003; 2008), mis põhineb akumulunud mineraalse lämmastiku mõõtmisel keskkonnas, kus intaktsete juurte mõju on välistatud. Katsed installeeriti nii juuritud, kui juurimata aladele. Kasutatud meetodika on detailselt kirjeldatud töödes (Uri et al., 2003; Uri et al., 2008).

Elva ala

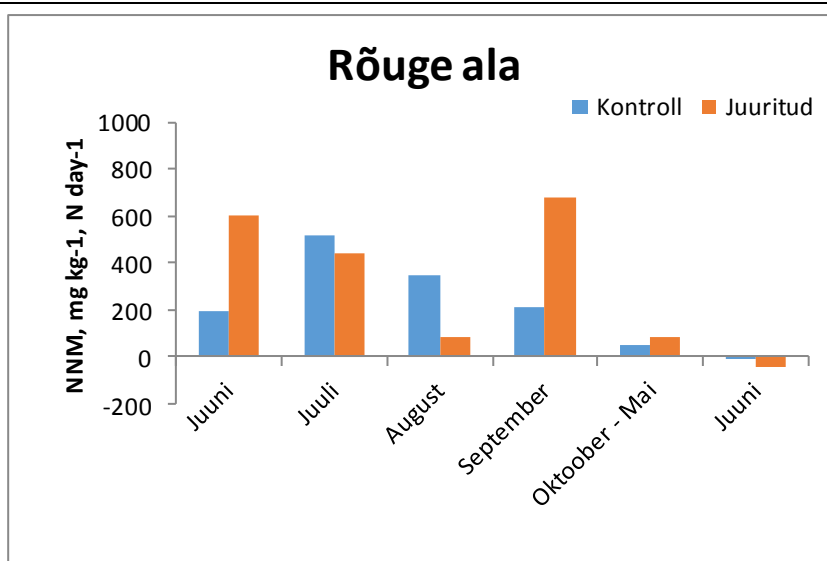
Kändude juurimine Elva katsealal (jänese kapsa kkt) vähendas lämmastiku netomineralisatsiooni (NNM) intensiivsust. Juuritud ala oli aastane NNM voog mulla ülemises 10 cm tõeseduses kihis 117 kg ha⁻¹ a⁻¹ ja kontrollalal 174 kg ha⁻¹ a⁻¹. Mulla tõesedamas kihis (0-20 cm) olid vastavad vood 158 ja 229 kg ha⁻¹ a⁻¹. Samas näitavad esialgsed tulemused, et erinevused katsevariantide vahel tasanduvad suhteliselt lühikese aja jooksul. Esimesel juurimisjärgsel aastal (2012. a.) oli juuniku NNM kontrollalal ligikaudu kaks korda suurem võrreldes juuritud alaga. Kuid ülejäämise aasta juunis (2013. a) polnud erinevus katsevariantide vahel enam usaldusväärne (joon. 3.1).



Joonis 3.1 Lämmastiku netomineralisatsiooni aastane dünaamika Elva katsealal

Rõuge ala

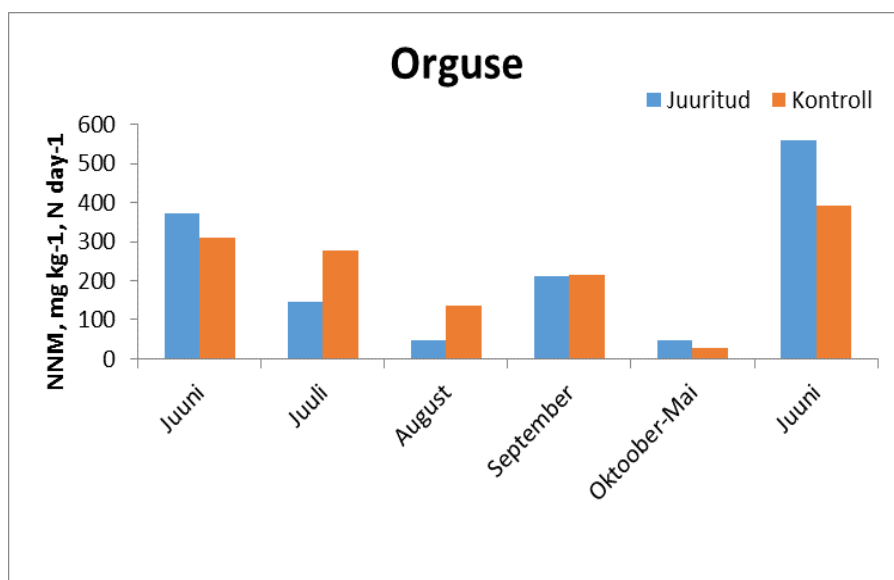
Rõuge katsealal (jk. - mustika kkt.) oli tulemus vastupidine Elva alal leitud. Kändude juurimine hoopis suurendas NNM intensiivsust. Juuritud alal oli aastane NNM voog mulla ülemises 10 cm tõeseduses kihis 83 kg ha⁻¹ a⁻¹ ja kontrollalal 36 kg ha⁻¹ a⁻¹. Mulla tõesedamas kihis (0-20 cm) olid vastavad vood 156 ja 54 kg ha⁻¹ a⁻¹. Samas olid tulemused kuude lõikes erinevad; kui juurimisjärgse aasta juunis oli NNM intensiivsus juuritud alal selgelt suurem, siis augustis oli olukord vastupidine (joon. 3.2). Ka oli oluline aasta mõju, 2013. a. juunis oli NNM negatiivne nii juuritud, kui kontrollalal.



Joonis 3.2 Lämmastiku netomineralisatsiooni aastane dünaamika Rõuge katsealal

Orguse ala

Orguse alal juurimine ei mõjutanud NNM aastast voogu, see oli nii juuritud, kui kontrollalal $57 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (mulla ülemises 10 cm kihis). Täiesti sarnane oli aastane NNM voog juuritud ja kontrollalal ka tusedamas mullakihis (0-20 cm), mõlemas $83 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.



Joonis 3.3 Lämmastiku netomineralisatsiooni aastane dünaamika Orguse katsealal

Kuna uuritud alade mullad on erinevad, siis see tõenäoliselt mõjutab ka NNM tulemusi. Elva katsealal (jk. kkt) on kuiv liivmuld (õhukeselt leetunud leetmuld), kus huumushorisont praktiliselt puudub, mulla üldlämmastiku tagavara $3,8 \text{ t ha}^{-1}$. Juurimine, st. mulla ülemiste kihtide segamine vähendas mineralisatsiooni intensiivsust ja juuritud aladel oli aastane NNM voog väiksem, kui kontrollalal.

Täiesti vastupidine oli tulemus Rõuge katsealal (jk.-mustika kkt), kus juurimisest tingitud mullahäiring suurendas aastast NNM voogu (vastavalt juuritud alal $83 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja kontrollalal $36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ mulla ülemises 10 cm tuseduses kihis). Selline erinevus on raskesti seletatav, põhjuseks võib olla alade erinev veereziim. Elva alal on kuiv liivmuld, Rõuge alal aga gleistunud leetunud muld (lõimis samuti liiv). Rõuge

ala mulla üldlämmastikuvaru $7,4 \text{ t ha}^{-1}$ ületas ligi kahekordselt Elva ala vastavat näitajat. Kuid suur osa sellest lämmastikust asub toorhuumuslikus (AT) horisondis. Kõrge orgaanilise aine sisaldusega toorhuumusliku horisondi segamine mulla mineraaliosaga tõenäoliselt intensiivistas lämmastiku mineralisatsiooni. Elva alal väga kuivas keskkonnas võib tõenäoliselt ka mulla niiskus olla mineralisatsiooni limiteeriv keskkonnategur. Mulla ülemiste kihtide segamine võib häirida kapillaarvee tõusu ja veelgi vähendada mulla niiskust ja seeläbi ka NNM-i.

Orguse katsealal on Eesti viljakaim, leostunud muld (mulla üldlämmastiku varu $6,4 \text{ t ha}^{-1}$) ja juurimine NNM-aastasele voole mitte mingit mõju ei avaldanud, nii kontrollalal, kui juuritud alal oli NNM mulla ülemises 10 cm kihis täiesti ühesugune ($57 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Kokkuvõtte: Juurimise mõju lämmastiku mineralisatsiooni voole on kasvukohast ehk mullast, st. **juurimise mõju NNM-ile on kasvukohaspetsiifiline.**

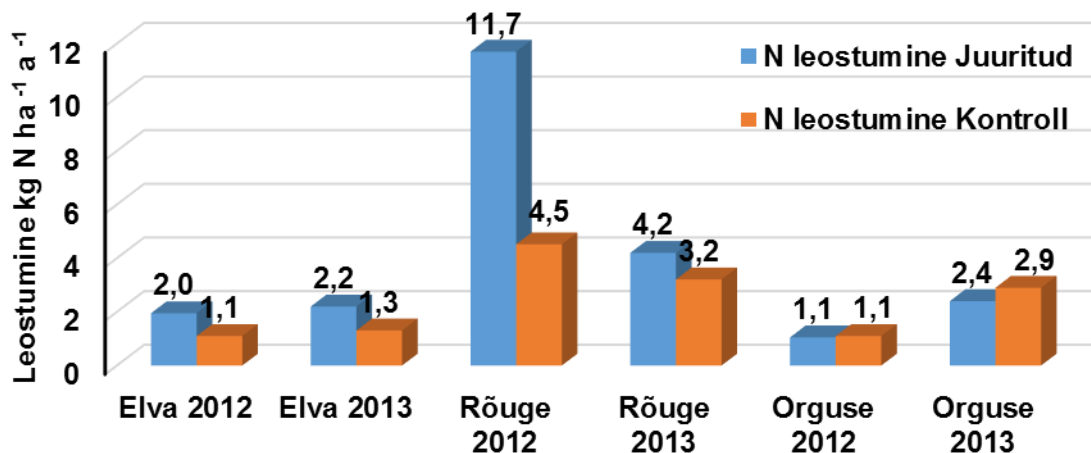
Leostumine

Üheks tööhüpoteesiks oli oletus, et juurimine intensiivistab NNM-i ja selle mõjul suureneb mullas nitraat- ja ammooniumlämmastiku sisaldus, mis on väga liikuvad lämmastikuvormid ning võivad põhjustada lämmastiku leostumist.

Uurimisaladele installeeriti roostevabast terasest plaatlüsimeetrid, veeproove koguti kuuajalise sammuga, need analüüsiti EMÜ Taimebiokeemia laboratooriumis.

Aastased lämmastiku leostumise vood Elva katsealal olid nii juuritud-, kui kontrollvariandis väikesed (joon. 3.4). Kuna tegemist on kuiva liivmullaga, siis mulla nõrgvee kogused olid tagasihoidlikud ja erinevatest lüsimeetritest kogutud vee kogus väga varieeruv.

Rõuge katseala oli ainuke, kus juurimisjärgsel aastal (2012. a.) oli juuritud alal leostunud lämmastiku kogus ($11,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) usaldusväärselt suurem leostumisest kontrollalal. Kuid leostumine suurenes vaid vahetult peale juurimist, juba 2013. a. usaldusväärselt erinevust juuritud ja kontrollala vahel enam polnud.



Joonis 3.4 Lämmastiku leostumise aastased vood uurimisaladel

Orguse katsealal juurimine lämmastiku leostumisele mõju ei avaldanud (joon. 3.4.).

Kõikidel aladel leostus lämmastik peamiselt nitraadina ja orgaanilise lämmastikuna, samuti leostus suur osa aastases voost kevadel (ca 80% kogu aastases voost), vahetult peale lume sulamist.

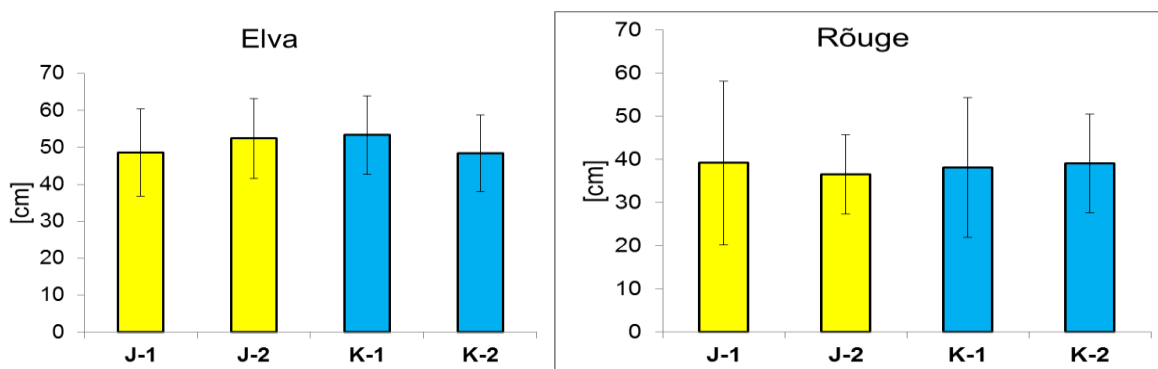
Kuna kahe aasta pikkune periood on üsna lühike suuremate üldistuste tegemiseks, jätkub katsealadel leostumise hindamine ka pärast käesoleva projekti lõppu. Selleks vajalikud vahendeid püütakse leida teistest finantsallikatest.

7.3.5. Selgitada kändude juurimise mõju hilisemale metsauuenduse tekkele ja kasvule, patogeenide levikule ja nakatumise iseärasustele.

Kändude juurimisel on üheks oluliseks kaasnevaks plussiks maapinna ettevalmistamine. Kuna juurimise käigus segatakse ülemised mullakihid ja eemaldatakse mullakamar, siis puudub juuritud raiesmikel vajadus täiendava maapinna ettevalmistamise järgi, seeläbi vähenevad kulud metsa uuendamisel. Põhjalik maapinna ettevalmistamine peaks tagama metsauuenduse eduka kasvu. Kirjanduse põhjal on taimede kasvamaminek juuritud alal edukam, kui kontrollalal (Menkis et al., 2010; Egnell ja Valinger, 2003; Sikström, 2004). Kuid on esitatud ka vastupidiseid seisukohti: pealmiste mullahorizontide segamise ja vaesumise tagajärjel võib osutada taimede säilivus ning edasine kasv tagasihoidlikumaks, võrreldes juurimata alaga (Proe et al., 1996; Walmsley et al., 2008).

Käesoleva projekti raames juuritud aladel olid mulla mikroreljeefi muutused juurimise järgselt tagasihoidlikud. Esiteks olid juuritud kuusekännud pindmise juurestikuga ning suuri auke juurimisel ei tekkinud. Teiseks tasandas operaator töö käigus tekkinud suuremad lohud juurimispeaga.

Juurimisjärgsel kevadel (2012.a.) uuendati katealad kuusega. Istutati 4 a. avamaataimi algtihedusega 3000 tk ha⁻¹. Rõuge katsealal oli eelnevalt (enne juurimist) tehtud ka maapinna ettevalmistamine, teistel aladel mitte. Kahel juurimisjärgse aasta sügisel inventeeriti katsealadele istutatud taimi, mõõdeti kõik istutatud kuused. Kasvamaminek oli väga edukas, nii juuritud, kui kontrollalal praktiliselt 100%, taimede kasvamaminekule juurimine mõju ei avaldanud. Samuti ei olnud taimede kõrguskasvus usaldusväärset erinevust juuritud ja kontrollala vahel (joon 4.1.).



Joonis 4.1. Taimede keskmine kõrgus esimesel istutusjärgsel aastal. J1 ja J2 juuritud variandid ja K1; K2 kontrollalad.

Ka teise istutusjärgse aasta sügisel oli tulemus praktiliselt sama: istutatud taimede kasvus polnud usaldusväärset erinevust kontrollala ja juuritud alade vahel.

Kuigi kärsakakahjustuste hindamine polnud otseselt projekti üheks eesmärgiks, hinnati esimese istutusjärgsel aastal taimede mõõtmise käigus Elva katsealal ka kärsakakahjustuste ulatust. Siin ilmnes selgelt juurimise positiivne mõju; kui kontrollalal oli kärsakate poolt rohkem või vähem kahjustatud ligikaudu 70% taimedest, siis juuritud alal oli see ca 50%. Juurimise positiivset mõju männikärsaka kahjustuste profülaktikas märgivad ka mitmed teised uurijad (Hakkila 2004, Walmsley and Goldbold 2010).

Juure- ja tüvemädanike levik

Et hinnata juuritud kändude nakatumise ulatust, analüüsiti kõikidelt katsealadelt võetud proove (kokku 28 prooviketast). Kõige enam oli analüüsitud kändudest nakatunud Viru katsealal (88%) ja kõige vähem Elva katsealal (56%). Orguse katsealal oli mädanikuga proovikände 80% ning Rõuge katsealal 67%. Prooviketastelt võeti mädanikukolletest proovid kasutades steriilset metallipuuri. Igal proovikettalt võeti alati topelt proov. Puuriga võetud saepuru pandi edasisteks analüüsideks eppendorf (MCT) tuubidesse ja säilitati temperatuuril -20°C. Mädanikuga prooviketastest määrati haigusetekiitaja 65% juhtudest, nendest

umbes pooltel oli tekitajaks juurepess ja ülejäänud juhtudel külmaseen. Ainult külmaseen mädaniku tekitajana tuvastati Elva ja Rõuge katsealadel ning Viru katsealalt leiti vaid juurepessu (kahel juhul kuuse-juurepessu ja kolmel juhul männi-juurepessu). Mõlemat (külmaseen, juurepess)t leiti Orguse katsealalt ja juurepessu tekitaja oli vaid männi-juurepess.

Mitmetes töödes on leitud, et juurimine võib vähendada juure- ja tüvemädanike levikut, nakatunud kändude eemaldamine vähendab patogeenide levikut mullas ja järgmise metsapõlvkonna nakatumist juurepessu tugevalt kahjustatud kuuseraiesmikel (Egnell ja Valinger, 2003; Vasaitis et al., 2008).

Et hinnata juurimise võimalikku mõju järgmise metsapõlvkonna nakatumisele, analüüsiti istutatud kuusetaimede juurestike aasta peale istutamist. Erinevatelt katsealadelt võeti 12 kuusetaimet ja nende juurestikelt määrati haigusetekitajaid nii visuaalselt, kui puhaskultuuri- ja molekulaarmedodil.

Hariliku kuuse taimede juured puhastati jooksva vee all. Steriilsete kääridega lõigati jämedamaid juuri ja peenjuuri, mis pandi eraldi MCT tuubidesse. Proovid (jämeh- ja peenjuured) võeti alates juuretipust taime juurekaela poole liikudes juhusliku valiku teel. Ühelt taimelt võeti juuri vähemalt neljast erinevast juure asukohast ja lõigati tükkideks ning ühelt puult pandi proov kokku kahte erinevasse MCT tuubi. Jämeh- ja peenjuured võeti eraldi analüüsi.

Saepurust ja juurtest eraldati DNA E.Z.N.A Fungal DNA Mini Kit-ga (Omega Bio-Tek Inc., Norcross, GA, USA). Eraldamisel järgiti spetsiaalset tootjapoolset protokollit ning eraldatud DNA säilitati kuni PCR segu valmistamiseni temperatuuril -20°C.

PCR segu valmistati vastavalt protokollile (Hantula ja Vainio, 2003). Segu valmistamiseks kasutati juurepessu tuvastamiseks mõeldud liigispetsiifilisi praimerid (Hantula ja Vainio, 2003).

PCR produkti kontrollimiseks valmistati 2% agarosgeel. Seejärel laeti geeli DNA Ladder, DNA fragmendi pikkusega vahemikus 100 – 1000bp (Naxo OÜ). Järgnes PCR-i produkti jooksutamine elektroforees 75 V pingel juures 55 min. Amplifitseeritud DNA lõigu olemasolu ja vastava lõigu pikkus geelil tehti kindlaks UV kiirte all vastava transillumiinatsiooniga Quantum ST4-3026/WL/25M (Vilber Lourmat SAS, Marne-la-Vallée, France). Geelipilti töödeldi tarkvaraga Quantum ST4 Express v16.04. Referentsidena kasutati juba varem kindlaks määratud männi- ja kuuse-juurepessu tüvesid.

2012. aasta sügisel analüüsitud istutatud kuusetaimedel, mis pärinesid Elva ja Rõuge katsealadelt ei tuvastatud ühelgi juhul juuremädaniku tekitajat. Juurtest määrati *Mycena*, *Pseudotomentella* ja *Laccaria* perekonna liike ning kaks viimast on tuntud mükoriisa moodustajad.

2013. aastal sügisel analüüsiti Viru katsealalt pärit kuusetaimede peen- ja jämehjuuri, kokku 8 proovi. Ühe taime (Viru J-1) peenjuurtest tuvastati männi-juurepess ja seda juba teisel aasta sügisel peale istutamist, mis võib tähendada, et tugeva nakkuskoormusega aladel on juurepessu nakkusohu istutatud taimedele juba teisel aastal peale istutamist. Jämehdatest juurtest mädaniku tekitajaid ei leitud.

Uuritud katsealadel ei olnud peamine mädaniku tekitaja juurepess, vaid märkimisväärne osa oli ka külmaseenel. Uue ja huvitava tulemusena selgus, et seni teadaolevalt kuusikute põhikahjustaja kuuse-juurepess ei olegi peamine kahjustaja, vaid pigem männi-juurepess, see on uus info võrreldes varasemate teadmistega.

Kuna kolmeaastane projekt on liiga lühike selleks, et ammendavalt selgitada juurimise mõju patogeenide levikule järgmises metsapõlvkonnas, siis jätkuvad sellesisulised uuringud ka käesoleva projekti lõppu, leides ka siin vajalikke finantsvahendeid teistest allikatest. Lõppenud projekti üheks suureks väärtuseks tuleb lugeda nende uuringutega alustamist, alates katsealade rajamisest ja juurimisjärgse olukorra fikseerimisest. Sellega on loodud eeldused pikaajalisteks uuringuteks ning adekvaatsete tulemuste saamiseks tulevikus.

7.3.6. Analüüsida erinevaid kändude varumise tehnoloogiaid.

Kändude juurimiseks kasutatakse Põhja- ja Balti riikides erinevaid spetsiaalseid juurimisorganeid (Pallari, Väkevä, MCR-500 jne.) mis on agregateeritud hüdraulilise ekskavaatoriga. Käesolevas projektis kasutati kändude juurimiseks juurimispead Pallari KH 160 koos hüdraulilise ekskavaatoriga New Holland Kobelco E235B. Juurimispea Pallari KH-160 osutus Eesti tingimustes kuusekändude juurimisel väga sobivaks.

Tema eelisteks on piisavalt suur juurimisorgani haardeulatus (sobib ka jämedate kändude juurimiseks), lihtne ehitus ja piisav võimsus kiireks tööks, mis omakorda tagab kõrge tootlikkuse. Juurimispea on varustatud ka spetsiaalse tallaga, mis võimaldab tekkinud reljeefi muutusi tasandada ja tagab kvaliteetse maapinna ettevalmistuse.

Masina tootlikkus oli Elva katsealal $7,4 \text{ t Eh}^{-1}$ (tonni kuivmassi efektiivses töötunnis) ja Rõuge alal $7,3 \text{ t Eh}^{-1}$. Juurimise tootlikkus võib olla aga väga varieeruv, seda mõjutavad operatoori kogemused, maastiku tingimused, juuritava materjali kvaliteet ning kogus (Kärhä ja Vartiamäki 2006). Juurimisprotsessi- ja seda mõjutavaid tegureid on analüüsitud K. Keiri bakalaureuse töös (Keir, 2012).

Kasutades kirjanduse andmeid, kulus Elva ja Rõuge aladel ühel hektaril olevate kändude kokkuveoks vastavalt $9,9 \text{ Eh}$ (efektiivset töötundi) ja $6,6 \text{ Eh}$. Tunnitootlikus arvestati Elva alal 600 m ja Rõuge alal 500 m kokkuveokauguse korral (kaugus langi keskelt kännuvirnaneni). Veokaugus mõjutab oluliselt masina tootlikkust; kokkuveokauguse suurenemine 100 m võrra vähendas masina tunnitootlikkust 17% .

Kui juuritud ala asub kuni 50 km kaugusel tarbimiskohast, siis võib transportida juuritud kände, mis purustatakse statsionaarsetes purustites. Pikema veokauguse puhul tuleks juuritud kändud purustada virna juures ja transportida kändud valmis hakkena, mis võimaldab efektiivsemat transporti (Lindholm *et al.* 2010). Kuna aladel tegelikku kändude purustamast ei toimunud, võeti aluseks kirjanduse andmed.

Kasutades veoautole monteeritud purustit CBI 5800, saadi kändude purustamise ajakulaks Elva alal $3,3 \text{ Eh ha}^{-1}$ ja Rõuge alal $2,6 \text{ Eh ha}^{-1}$. Kasutatavate purustite tootlikkused on väga varieeruvad, suurt mõju tootlikkusele avaldavad ka purustamise tehnoloogia, operatoor, töötingimused ja purustatav materjal (Eriksson *et al.* 2014). Maanteetranspordi tõhusus oleneb sellest, mis kujul biomassi transporditakse, kasutatavast masinast, tegelikust koorma massist ja transporditava materjali niiskusest (Eriksson *et al.* 2014). Lazdinš *et al.* (2009) on oma töös täheldanud, et purustamata kändude transport ei ole nii efektiivne kui mobiilsete masinatega purustamine ja soovib tervete kändude transportimisest pigem hoiduda. Teised autorid on väitnud, et tervete kändude transport on konkurentsivõimeline ainult lühikese transpordikauguse puhul (Hakkila 2004; Eriksson 2011). Kändude maanteetranspordil saadi efektiivseks potentsiaalseks tööajaks Elva alal $4,5 \text{ Eh ha}^{-1}$ ja Rõuge alal $3,6 \text{ Eh ha}^{-1}$.

7.3.7. Juurimise energeetiline bilanss

Käesoleva projekti üheks eesmärgiks oli koostada kändude juurimise energeetiline bilanss, et hinnata selle tegevuse energeetilist efektiivsust. Bilansi koostamiseks arvatati kändude juurimiseks kulunud summaarne energia hulk ja võrreldi seda juuritud kändudest saadava potentsiaalse energia kogusega. Juuritud kuuse kändud on kõrge potentsiaalse küttevääрусega ja kändudest on võimalik saada olulises koguses taastuvenergiat. Samas sõltub tegelik saadav energiakogus oluliselt kändude kvaliteedist, eelkõige niiskuse ning lisandite (peamiselt mulla) sisaldusest.

Kändude juurimine metsamajandusliku tegevusena on õigustatud juhul, kui kännupuidu põletamisel saadakse oluliselt rohkem energiat, kui selle tootmiseks kulutatakse. Antud probleem oli metsanduse magistrandi Kaido Keiri magistratöö (Keir, 2014) teemaks (juhendaja V. Uri).

Elva ja Rõuge katsealal oli kogu tsükli (juurimisest hakke transpordini) energiakulu hektari kohta vastavalt $6,2 \text{ MWh}$ ja $5,0 \text{ MWh}$. Uuritud alade hinnanguliseks energiabilansiks saadi vastavalt 288 MWh ha^{-1} ja 230 MWh ha^{-1} . Hariliku kuuse kändude juurimise tsükli energeetiline efektiivsus Elva ja Rõuge katsealadel oli sarnane, vastavalt $20,9 \text{ kWh MWh}^{-1}$ ja $21,3 \text{ kWh MWh}^{-1}$.

Energiakulu kändude juurimisel, ekskavaatoriga New Holland Kobelco võimsusega 118 kW , oli Elva katsealal $0,9 \text{ MWh ha}^{-1}$ kohta ja Rõuge katsealal $0,7 \text{ MWh ha}^{-1}$ kohta. Kännupuidust ühe MWh energia saamiseks kulutatakse ligikaudu $3,0 \text{ kWh}$ energiat. Energiakulu sõltub kõige rohkem autotranspordi veokaugusest ja purustamise tehnikast, st autotransport ja kändude purustamine on antud tehnoloogia puhul kõige energiakulukamad. Kändude kokkuvedu vahelattu hõlmas kogu energiakulust 18% ja juurimisprotsess vaid 15% .

7.3.8. Rajada püsikatsealad, mille baasil oleks võimalik jätkuvalt hinnata juurimise pikaajalist mõju metsaökosüsteemi arengule.

Lõppenud projekti taotluses nähti ette püsikatsealade rajamine, mis loob eeldused mitte ainult selle

projekti täitmiseks, vaid ka baasi edasiseks pikemaajaliseks uurimistööks. Püsi katsealad võimaldavad selgitada juurimise pikaajalist mõju, sh. nii metsauuenduse edasisele arengule, kui ka patogeenide levikule järgmises metsapõlvkonnas. Kuigi esimesel kahel juurimisele järgnenud aastal polnud statistiliselt usaldusväärset erinevust istutatud kuusetaimede kasvus ühelgi katsealal, võivad erinevused ilmned hiljem. Lõpliku vastuse küsimusele, kas ja kui palju juurimine vähendab nakatumist külmaseenega või juurepessuga, saab anda alles aastate pärast. On oluline, et nende katsetega on alustatud ja leides vahendeid teistest projektidest, saab nendel aladel jätkuda patoloogiline monitooring ning proovide analüüsimine.

Edaspidi on võimalik hinnata muutusi mullas juuritud ning juurimata aladel ning selgitada juurimise pikaajalist mõju mullaviljakusele.

Ka jätkub lähiaastatel vähemalt kahel katsealal (Elva ja Rõuge) lähiaastatel mullavee kogumine ning lämmastiku leostumise hindmine.

Projekti peamised tulemused ja soovitused nende rakendamiseks.

- Kuusekännud on seni kasutamata, kuid arvestatav bioenergiaressurss Eesti metsades. Sobivatelt aladelt on võimalik varuda kännupuitu kuni $130 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, potentsiaalse energiasaldusega kuni 294 MWh ha^{-1} .
- Projekti käigus koostatud allomeetriline mudel võimaldab hinnata võimalikku saadavat kännupuidu massi hariliku kuuse puistutes.
- Eesti tingimustes on keskmine juuritud kändude tihedus 430 kg m^{-3} . Keskmist tihedust saab kasutada juuritud kändude biomassi teisendamisel mahu ühikuteks.
- Enne purustamast tuleks juuritud kände hoida virnas vähemalt kaks aastat. Esimese juurimisjärgse aasta jooksul niiskuse sisaldus kändudes langeb ca 20%-ni, kuid teisel aastal juba ca 15%-ni. Purustada tuleks kändud suvel või sügisel, mil niiskusesisaldus kändudes on minimaalne.
- Kuusekändude juurimine parasniisketes kasvukohtades ei põhjustanud olulisi mikroreljeefi muutusi. Siiski peaks eelistama viljakatel liivmuldadel kasvavaid kuusikud, kus mikroreljeefi muutused olid kõige väiksemad ja mulda jääb kändude külge vähem.
- Kändude eemaldamine ei põhjusta mullaviljakuse langust jänesekapsa, jk.-mustika ja sinilille kasvukohatüübis.
- Juurimine ei põhjusta mullahingamise suurenemist ja seeläbi süsiniku kadu jänesekapsa ja jk.-mustika kasvukohatüübis.
- Juurimise mõju lämmastiku netomineralisatsioonile (NNM) on väga kasvukohaspetsiifiline. Juurimine võib vähendada või suurendada aastast NNM voogu, samuti seda üldse mitte mõjutada.
- Juurimine ei põhjusta intensiivset lämmastiku leostumist.
- Suhteliselt lühikese projekti jooksul ei selgu, kas juurimine võib vähendada nakatumist juure- ja tüvemädanikesse, nagu seda märgitakse mitmetes töodes. Leitud männi-juurepess istutatud kuusetaimede juurestikel teise kasvuaasta sügisel ei anna optimismiks väga palju alust. Usaldusväärseteks järeldusteks nõuab see valdkond pikemaajalist uuringut.
- Kuusekändude juurimine tagab metsauuenduseks sobiva maapinna ettevalmistuse. Kuid esimesel kahel istutusjärgsel aastal polnud erinevusi taimede kasvamineku ja kõrguskasvu osas juuritud ja kontrollala vahel. Küll aga vähendas juurimine kärsakakahjustuste riski.
- Juurimise energeetiline bilanss on positiivne, st. juuritud kändude hakke põletamisel saadakse oluliselt suurem energiahulk, kui selle tootmiseks kulutatakse. Suurim on energiakulu hakke autotranspordiks ja kändude purustamiseks. Juurida tuleks võimalikult tarbimiskoha läheduses.
- Juurimine on produktiivsem suurema keskmise diameetriga ja suurema biomassiga lageraie aladel, kus hariliku kuuse kändud on enamuses. Kasutada tuleks spetsiaalset juurimispead, mis võimaldab juuritud kändu lõigata pooleks, tagades nii parema mulla eemaldamise ja kiirema kuivamise.
- Kuna juurimis- ja kokkuveomasinate transport on energiakulukas, tuleks korraga juurida võimalikult suurtel aladel, sh. lähestikku asuvatel raielankidel.
- Transportida vähese niiskussisaldusega materjali, kuivatades kände enne purustamist virnades.

8. PROJEKTIGA HAAKUVAD DOKTORI- JA MAGISTRITÖÖD:

Projekti kaasati 5 metsanduse magistriastme üliõpilast, kes edukalt kaitsesid oma magistritööd:

1. Kuusekändude juurimine jänesekapsa ja mustika kasvukohatüübis. Meelis Kall. Magistritöö, 2012. Juhendajad Veiko Uri ja Mats Varik.
2. Kuusekändude varumise metsanduslikud aspektid sinilille kasvukohatüübis. Ardo Adoberg. Magistritöö, 2013. Juhendajad Jürgen Aosaar ja Mats Varik.
3. Kuusekändude juurimise mõju lämmastiku netomineralisatsioonile. Björn Sild. Magistritöö, 2013. Juhendajad Hardo Becker ja Veiko Uri.
4. Kändude juurimise metsakasvatustlik mõju jänesekapsa, mustika ja sinilille kasvukohatüübis. Taavi Mölder. Magistritöö, 2013. Juhendajad Mats Varik ja Veiko Uri.
5. Kändude juurimise energeetiline analüüs ja võimalikud keskkonnamõjud. Kaido Keir. Magistritöö, 2014. Juhendaja Veiko Uri.

Projektiga liitus (alates 2012. a.) metsanduse doktorant Hardo Becker (juhendaja V. Uri), kes uuris juurimise mõju lämmastiku netomineralisatsioonile ja kelle doktoritöös on olulisel kohal lämmastikuringe juuritud aladel, st. projekt on ka selle doktoritöö üks osa.

9. PROJEKTI RAAMES AVALDATUD PUBLIKATSIOONID:

Projekti tulemusi käsitlev artikkel **Biomass resource and environmental effects of Norway spruce (*Picea abies*) stump harvesting: an Estonian case study. (Uri, V. et al.)** on saadetud ajakirja Forest Ecology and Management. Artikli käsikiri on aruande lisas (Lisa 1).

Ilmunud on üks projekti tutvustav populaarteaduslik artikkel ajakirjas Eesti Mets.

Koostamisel on artikkel juurimise mõjust lämmastiku netomineralisatsioonile ja leostumisele. Artikli esimeseks autoriks on Hardo Becker ja see on üks kolmest tema doktoritöösse planeeritud artiklitest. Käsikirja loodame ajakirja saata selle aasta lõpus.

10. Projekti juht (nimi): Veiko Uri	Allkiri:	Kuupäev: 07.07.14
11. Taotleja esindaja kinnitus aruande õigsuse kohta (nimi, amet):	Allkiri:	Kuupäev: 07.07.14

NB! Aruanne esitada elektrooniliselt e-posti aadressil: teadus@rmk.ee