



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (ylempi AMK)
Kestävä energiatalous

Menetelmä ja järjestelmä metsän kasvualustan maanmuokkauksen ja ravinnesiirron järjestelemiseksi

Jorma Komulainen

Opinnäytetyö, toukokuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022
Kestävän energiatalouden koulutus
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihte)

Tekijä(t)
Jorma Komulainen

Nimeke
Menetelmä ja järjestelmä metsän kasvualustan maanmuokkauksen ja ravinnesiirron järjestelmiseksi

Toimeksiantaja
Metsätalousliiketoiminta, Jorma Komulainen

Tiivistelmä

Kehittämiskohteeksi valittiin metsätalouteen liittyvä vaikeiden kasvualustojen metsittäminen. Metsitettävään kasvualustaan liittyvää luontaista ravinteikkuutta ja sen parannusjärjestelyä haluttiin kehittää puuston kasvupaikkojen osalta. Kehittämisasiheena oli puun kasvualustan kasvuajaisen ravinteiden saannin parantamismenetelmät ja ravinnepitoista ainesta kasvukohtaan tuovat siirtoteknologiat.

Metsän uudistamistyössä käytetyt maanmuokkaustavat kuten, äestys, auraus, pintamaan murskaus, laikkumätästys ja kääntömätästys eivät sellaisenaan sovellu vaativiin metsänkasvatusalueisiin. Toimialakyselyn ja tuotekehitysideoinnin tuloksena kehitettiin metsän kasvualustan puun kasvukohdan maanmuokkaus ja ravinnejärjestely. Menetelmän ja teknologian kehittäminen sekä niistä saadut tulokset edistävät puun kasvuun lähtöä ja kasvua vaativilla metsän kasvatusalustoilla paremmin kuin nykyiset kasvatusalustojen käsittelymenetelmät mahdollistaisivat.

Kehitetty puukohtainen kasvualustan järjestely tuo lämpöolosuhteiden, kaasujen, maanesteiden ja vesitalouden paremman hallinnan palvelemaan puun sekä koko metsäalueen taloudellista tuottoa. Suoraan maaperään lisättävät biomassat ja mineraalisekoitteet varastoi-
vat biomassan mukana maahan hiiltä eli vähentävät myös metsävarannon kasvatusalustojen kasvihuonepäästöjä ilmakehään. Metsänomistajan sijoittaman pääoman olemassaolo ja sijoitukselle saatava tuotto on todennäköisimmin turvattavissa puukohtaisella ravinnesäätelymenetelmällä.

Kieli
suomi

Sivuja 80
Liitteet 4
Liitesivumäärä 6

Asiasanat
puuston kasvu, puuston kasvun ohjaus, ravinteet, kasvuolosuhteet



THESIS
May 2022
Sustainable Energy Economy
Master of Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)
Jorma Komulainen

Title
A Method and System for Arranging Tillage and Nutrient Transfer in a Forest Substrate

Commissioned by
Forestry Business, Jorma Komulainen

Abstract

The afforestation of difficult growing media related to forestry was chosen as the development target. The aim was to develop the natural nutrients associated with the growing medium to be afforested and its improvement arrangements for the growing areas of the forest. The development topics were methods for improving the nutrient intake of the growing medium during the growing season and the transfer technologies that bring nutrient-containing material to the growth site.

The tillage methods used in reforestation work, such as harrowing, plowing, topsoil crushing, patching and turning, are not suitable as such for demanding silvicultural areas. As a result of the industry survey and product development linkage, the tillage and nutrient management of the tree growth site of the forest growing medium were developed. The development of the method and technology and the results obtained from them promote the growth and growth of wood in demanding forest growing media better than would be possible with the current methods of handling growing media.

The developed tree-specific growing medium arrangement brings better management of thermal conditions, gases, soil fluids and water management, to serve the economic return of wood and the entire forest area. Biomass and mineral mixtures added directly to the soil store carbon in the soil along with the biomass, they also reduce the greenhouse gas emissions of forest resource growing media into the atmosphere. The existence of the capital invested by the forest owner and the return on the investment are most likely to be secured by a tree-specific nutrient regulation method.

Language
Finnish

Pages 80
Appendices 4
Pages of Appendices 6

Keywords

stand growth, stand growth control, nutrients, growth conditions

Sisältö

1 Johdanto	6
1.1 Metsäalan liiketoiminta	6
1.2 Metsän kasvattamisen motiivi	7
2 Metsäalan toimintaympäristö, metsän kasvu ja ohjaaminen	7
2.1 Kehitystyössä käytetyt pääkäsitteet	7
2.2 Metsäalan yleinen kehityssuunta	9
2.3 Metsäalan perustietämys ja kasvuolosuhteiden hallinta	16
2.4 Metsälaki ja alan tutkimus	28
2.5 Metsätoimialan poliittinen ohjaus	30
2.6 Metsäalan vaikuttajien toimintaohjeet	32
3 Kehittämisalueen valinta ja menetelmät	38
3.1 Kehittämistavoite	38
3.2 Yhteisöllinen työelämän kehittämistapa	39
3.3 Johtajavetoinen kehittämistapa	39
3.4 Menetelmän valinta	40
3.5 Kehitettävän ravinteikkuuden parantamismenetelmän valinta	41
4 Kehittämisen työvaiheet ja toteutus	42
4.1 Ravinteikkuuden hallinnan pääkäsitteet	42
4.2 Kehitystyön prosessin kuvaus	43
4.3 Kehittämistyön etenemisen kuvaus	45
4.4 Uusien ideoiden tuottaminen	46
4.5 Ideoiden jatkokäsittely	47
4.6 Kysely- ja haastattelu	53
5 Tulokset metsän kasvualustan ravinteikkuuden ohjaamiseen	54
5.1 Tuloslöydökset kirjallisuuslähteistä	54
5.2 Tuloslöydökset kysely- ja haastatteluvaiheesta	56
5.3 Tuloslöydösten jalostaminen ja ennakoarviointi	59
5.4 Tulosten jakaminen menetelmiin ja teknologioihin	71
5.5 Menetelmä ja järjestelmä ravinnesiirron järjestelemiseksi	73
6 Pohdinta	74
6.1 Kehitystyön tulosten tarkastelu	74

6.2 Tulosten luotettavuuden arviointi	76
6.3 Tulosten hyödyntäminen ja jatkokehittämistarve	77
7. Lähteet	79

Liitteet

Liite 1	Kysely- ja haastattelulomakkeet
Liite 2	Menetelmä- ja teknologiapiirrokset
Liite 3	Patenttihakemustositteet
Liite 4	Maastotutkimusalueet karttapohjaan merkittynä

1 Johdanto

1.1 Metsä liiketoimintana

Kehittämiskohteeksi valittiin metsätalouteen liittyvä vaikeiden kasvatusalustojen metsittäminen. Metsitettävään kasvualustaan liittyvää luontaista ravinteikkuutta ja sen parannusjärjestelyä haluttiin kehittää puuston kasvupaikkojen osalta.

Kehittämisasiheena oli puun kasvualustan kasvuaikaisen ravinteiden saannin parantamismenetelmät ja ravinnepitoista ainesta kasvukohtaan tuovat siirtoteknologiat. Menetelmän kehittäminen ja toteuttamista varten tarvittavan teknologian kehittäminen toteutettiin peräkkäisinä vaiheina.

Metsätaloutta käsiteltiin liiketoimintana metsänomistajan kannalta. Puuntuotannon ja metsänomistajan metsätalouden on toimittava tehokkaasti. Koko käytettävissä olevan maa-alan tulisi siksi olla kaikilta osin, ajouria ja pienaukkoja myöten, kasvavien puiden hyödynnettävissä.

Metsäalalla ja puuntuotannossa on käynnissä Euroopan laajuinen kehitys, joka on havaittavissa myös metsäalaa ohjaavista kirjallisuuslähteistä. Ruotsi ja Suomi sijaitsevat samantyyppisellä havumetsävyöhykkeellä. Suomen metsien ravinteikkuuden parantamisen lisäksi yleistä toimialan kehityssuuntaa on tarkasteltu myös Ruotsin osalta.

Metsätoimialalle on kehitetty toimintatapoja, luotu käsityksiä ja muodostettu perustiedot, joilla kuvataan metsän tuotantoa ja metsäalan tuotteiden hyödyntämistä. Tutkittu tieto ja todennetut hyvät käytännöt luovat perustan nykytilan edelleen kehittämiseksi. Metsää kuvataan metsätoimialalla kasvien perusteella. Kasvualustaa arvioidaan opaskasvien menestymiseen perustuen.

Metsätalouden opetuskirjallisuus, metsäammattilaisten toimintaohjeet, lainsäädäntö ja poliittinen ohjaus ovat muuttuneet 1900-luvun alusta saakka. Nykyisin metsiin kohdistuu painetta metsävarannon kasvun ja sen hyödyntämisen määrän osalta. Metsiä ei saisi, nykyisen yleiskäsityksen mukaan, hakata vuosittaista metsätalousmaiden tilastoitua lisäkasvua enempää.

1.1 Metsän kasvattamisen motiivi

Kirjallisuuslähteissä määritetyt yleiset tavoitteet signaloivat myös tulevaisuuden tapahtumia. Metsän kasvatustapoja halutaan ohjata haluttuun suuntaan. Metsää käytetään jo nyt muuhunkin kuin talousperusteiseen puuntuotantoon. Tulevaisuudessa metsillä ja metsän kasvualustoilla voi olla muitakin merkittäviä sijoitusarvoja kuin puustosta saatavat tuotot.

Metsä on aiemmin edustanut vähäriskistä ja matalaa tuottoa tuovaa investointia. Metsä on luonut turvaa yli huonojenkin taloustilanteiden. Koska metsätaloudestakaan tulevaisuutta ei voi tietää varmasti, joudutaan päätökset perustamaan nykytiedon ja sitä täydentävien ennusteiden sekä tutkimusten varaan.

2 Metsäalan toimintaympäristö, metsän kasvu ja ohjaaminen

2.1 Kehitystyössä käytetyt pääkäsitteet

Luonnonilmiöissä fysiikan lakien mukaisesti kaikki haihtuu, vähenee, pienenee, laskee ja häviää. Aineen ja energian määrä ei absoluuttisesti luonnonilmiöissäkään katoa, vaan muutos näkyy erisuuruisena kussakin tarkastelupisteessä. Kaikilla vaikuttavilla tekijöillä on keskinäisvaikutuksia.

Metsätaloudessa ja metsän uudistamisessa on vakioituja tilanteita, joihin toimiala on kehittänyt vakioituja toimintamalleja. Kokemusperäisesti on laadittu malleja, joiden mukaan toimitaan. Tarpeettoman usein asia esitetään myös lineaarisesti, vaikka luonto toimii pääasiassa logaritmisesti. Syynä yllättävyyteen voi siis olla asioiden lineaarisen, suoraviivaisen syys-seuraussuhteen puute. Useilla ilmiöillä on siten yllättäviä vaikutuksia. Oletetulla vaikuttajalla voi olla myös päinvastainen tai olematon vaikutus.

Metsäalan toimijat tietävät metsän kasvun perustuvan keskinäisten ilmiöiden vuorovaikutuksiin. Pieni muutos yhdessä tekijässä aiheuttaa muutoksen kokonaisuudessa tai jossain yksittäisessä toisessa kasvutekijässä. Yhden mittayksikön muutos aiheuttaa toisessa ilmiössä tai määrässä erisuuruisen muutoksen. Vaikutukset ovat aina moninaisia. Yhden ravinteen muutosmäärä vaikuttaa suureen määrään muita muuttujia.

Puusto kasvaa alustassaan ja hyödyntää sen ravinteikkuutta. Ravinteita on aina pidetty edellytyksinä jatkuvalla kasvulla. Metsän puuston tarvitsemina ravinteina pidetään:

- kaasuja ja yhdisteitä kuten argonia ja hiilidioksidia,
- kosteutta kuten vesi ja maaneste,
- kivennäisaineita kuten oksidit ja yhdisteet,
- biomassaa kuten lahoamaton ja lahonnut biomass,
- alkuaineita kuten rautaa, alumiinia, mangaania, booria, typpeä ja hiiltä.

Puuston kasvuun vaikuttavat olosuhteet kasvualustassa ja ympäröivässä ilmatilassa. Vaikuttavuustekijöitä on mahdollista havainnoida myös pelkästään

- Alue, joka on ollut maa-ainesten ottopaikkana, mutta sitä ei ole uudelleen metsitetty.
- Joutomaa-alueet, jotka on hylätty aktiivikäytöstä, jonka jälkeen alueet eivät ole metsittyneet.

Metsänomistajan kannalta alueet kannattaa pitää tuotantokäytössä. Myös lain-säädäntö ohjaa samaan tavoitteeseen. Määritelmä uudelleen metsittämistar-peelle tulee metsälaista ja sen määräyksistä (Maa- ja metsätalousministeriö 412/1967,1):

- Metsä ei uudistu luonnollisesti ennalleen metsälain säätämässä ajassa.
- Metsää ei uudisteta säädetyssä ajassa keinotekoisesti metsän uudis-tamistoimin tuotannon kannalta tarkoituksen mukaiseksi.

Suomessa ja Ruotsissa metsiä hoidetaan alan oman käsityksen mukaan tehok-kaasti. Tämän kehittämistyön yhteydessä oli havaittavissa myös ilmiöitä, jotka eivät osoita tehokkainta tapaa toimia.

Luonnontilaisessa ympäristössä metsä valtaa alueet, mikäli jokin ulkoinen tekijä ei estä metsän ja kasvillisuuden leviämistä. Metsän aktiivisten kasvatusalusto-jen vähentymisen ilmentymiä Suomessa ja Ruotsissa ovat:

- Toteutetaan ylileveitä hakkuu- ja ajouria, joiden vierimetsän lisäkasvu ei korvaa aluemenetystä.
- Maatalouskäytöstä metsittämättä jääneet niityt, jotka eivät tuota riittä-västi puuainesta.
- Majavantuhoalueet, jotka ovat vaarassa soistumalla poistua metsäta-louskäytöstä.
- Suon valtaamat reunametsäalueet, joiden reuna-alueita ei ole käsi-telty vesitalouden muuttumista vastaan.
- Pysyvästi veden vaivaamaksi joutuneet alueet, joita ei ole uudelleen palautettu järkevään metsätalouden piiriin.

- Turvemaiden valuma-alueella sijaitsevat ojat tukkeutuvat metsätöiden yhteydessä, jotka heikentävät pysyvästi vaikutusalueen metsän uudistumista ja kasvua.

Metsäalueiden käyttö muihin tarkoituksiin ja kasvatusalustojen niukkaravinteisuus vaikuttaa metsätalouksikäytössä olevien kokonaispinta-alojen pienemiseen. Tämän huomioiminen on tärkeää, kun esimerkiksi Suomen vuosittaista metsänkasvun kokonaismäärää mitataan ja kasvumäärän kehitystä arvioidaan.

Varsinaisissa, tuotannossa olevissa metsissä, kokonaiskasvu lisääntyy luonnon olosuhteiden pitkäaikaisen muuttumisen johdosta. Lisääntynyt kasvu on ollut nähtävissä ainakin 100 vuoden aikaisessa seurannassa. Yksittäistenkin tilojen kohdalla puumäärän kaksinkertaistuminen näkyy selkeästi.

Metsän kasvatusalustojen pinta-alaa poistuu metsätalouksikäytöstä käyttötarkoituksimuutosten vuoksi. Samallakin metsätilalla voi osa tuotantoalueesta olla vajaakäytössä. Vajaatuotanto vaikuttaa kohteen kokonaispuumäärän kasvuun. Kasvatusalustojen muuttunut rakenne voi vähentää kasvussa olevan kokonaispuuston määrää, mikäli kasvualustaan ei tehdä korjaavia muutoksia.

Eduskunnan päätöksen mukaisesti suomalaisessa yksityismetsälaissa 412/1967 säädetään metsän hävittämisestä seuraavaa:

”1 § Metsiä älköön hävitettävä.

Metsän hävittämistä on sellainen hakkuu sekä hakkuun jälkeen maan sellaiseen tilaan jättäminen tai sellainen käyttäminen, että metsän luontainen uudistuminen tai viljelyllä toteutettava uudistaminen joutuu vaaraan, samoin kuin kehitettäväksi kelvollisen metsän sellainen käsittely, joka on ristiriidassa sen järkevän kasvattamisen kanssa.” (Maa- ja metsätalousministeriö 412/1967,1.)

Metsän hävittäminen on kielletty ensimmäisen kerran jo vuonna 1886 Suomen ensimmäisessä metsälaissa. Tämä periaate on voimassa edelleen myös

uudessa, vuonna 2022 voimassa olevassa suomalaisessa metsälaissa. Muutokset metsälaissa mahdollistavat metsän käyttämisen muuhunkin kuitenkin metsähyödykkeiden tuotantoon.

Metsätalouuskäytössä olevan metsän on hakkuun tai metsätuhon jälkeen täytettävä talousmetsän tunnusmerkistö. Mikäli jäljelle jäävän puuston määrä on säännöksiin nähden liian harva, metsän puustoa on täydennettävä metsän kylvöllä tai istutuksilla siten, että asetetut puuston määrätavoitteet täyttyvät.

Ammattimainen ja hyvien käytäntöjen mukainen metsän hyödyntäminen hakkuutarkoituksiin ei johda metsäaluekatoon. Metsäkatokäsite on osittain poliittinen ja tarkoitushakuinen kansainvälisessä kielenkäytössä. Käsitteellä on haluttu vaikuttaa metsän maailmanlaajuiseen käyttöön, varsinkin luonnon suojeluun aiotuilla erityisalueilla.

Brasilian metsistä ja metsäpinta-alojen vähentämisestä käytetään metsäkadon käsitettä. Erityisperusteena brasilialaiselle metsäkato -käsitteen käytölle on pidetty luontoarvojen suojelua.

Metsätalous on liiketoimintaa ja liiketoiminnan tarkoitus on säilyttää sijoitettu pääoma ja tuottaa voittoa sijoitetulle pääomalle. Metsätalous perustuu uusiutuvan luonnonvaran hyödyntämiseen. Tuotanto kestää vuosikymmeniä ja on altis koko tuotantoajan toimintaympäristön ja metsälopputuotteiden muutoksille (Ruuska 2020, 275).

Metsätoimiala muuttuu asiakastarpeiden, lainsäädännön ja uusien tuotekehityshankkeiden ohjaamina. Metsiin kohdistuu myös muiden kuin metsäalalta elantonsa saavien odotuksia. Toiminta- ja liiketoimintaympäristön poliittinen ohjaus sekä käynnissä olevat EU-lainsäädäntömuutokset metsätoimialalla ohjaavat myös metsänomistajien toimintaa. Lakiehdotukset perehdyttävät uusiin metsäalan tulevaisuuden muutostarpeisiin.

Metsät ja metsien kasvualustat ovat sijoituskohteita. Sijoittajilla voi olla useita eri perusteita sijoituksilleen. Ravinteikkuuden säätely kasvatusalustoissa on osa tuotantoresurssin parantamista. Asiakkaat, ympäröivä yhteiskunta ja sen eri jäsenet vaikuttavat metsämarkkinaan eli metsäsijoituskohteisiin.

Metsäinvestointien tuottoja ovat tuotteiden ja käyttöoikeuksien myynnistä saavat tulot. Yleisimpiä tuotteita ovat eri puutavaralajikkeet, turve, kunta, kivennäismaatuotteet, kalliolajikkeet ja energiapuutuotteet. Ravinteikkuuden säätely on sidoksissa kaikkiin metsätilatuotteisiin. Tehokkainta on käyttää ravinteet ravinnelähteen alkuperäisen sijaintinsa kohdalla.

Metsän omistajan kannalta yrittäjämäisesti metsämarkkinaan sijoitettaessa noudatetaan seuraavia yleisperiaatteita:

- Sijoitetun pääoman on oltava palautettavissa sijoittajalleen tai sijoittajan tukena olevalle rahoittajalle.
- Pääoman on säilyttävä mahdollisimman turvattuna.
- Sijoitetulle pääomalle on saatava menettämisen riskin mukainen korko tai tuotto.
- Tuoton tai koron on oltava sijoittajalle nostettavissa tai liitettävissä sijoituspääomaan.
- Kysynnän ja tarjonnan vaihtosuhteen on vallittava markkinataloudessa.
- Sijoitusmetsäkohteille on oltava kysyntää.
- Mittakaavaeduilla, tehokkailla yhteistyöverkostoilla, optimaalisella kustannusrakenteella ja erityisosaamisella sekä kehittämistoiminnoilla on mahdollista saada keskimääräistä parempaa sijoitustuottoa.

Metsän puutavaran myynneistä saatavat tulot eivät aina riitä kannattavan metsätalouden harjoittamiseen. Myös eettiset arvot ohjaavat metsäsijoittamista. Metsillä ja kasvatusalustoilla voi olla talousperusteista poiketen myös muita arvoja sijoittajille, kuten:

- Perintösaannon säilyttäminen tai arvojen mukainen omistus ja etiikka.

- Luontoarvojen vaaliminen ja arvolettavien luonnon moninaisuuksien tai niiden määrrien säätäminen.
- Visualiset arvot, näköesteet ja maisemallisten näköalojen säätäminen.
- Sään vaikutusten eliminointi tai tuuleen vaikuttaminen.
- Rakennusmaa-arvon säilyttäminen kiinteistömarkkinoilla.
- Metsäenergian tuotantoarvon ylläpitäminen.
- Vesi-, aurinko- ja tuulienergia-arvon muodostaminen ja ylläpitäminen.
- Metsätilojen ja kiinteistöjen liikenteen sekä kuljetusten arvon säilyttäminen.
- Kulkuoikeuksien käyttö ja hallinta, sekä niiden avulla hankittavan välillisen tuoton ylläpitäminen.
- Kiinteistönomistajan harjoittama oma metsästys, luonnontuotteiden keräys ja kalastus.

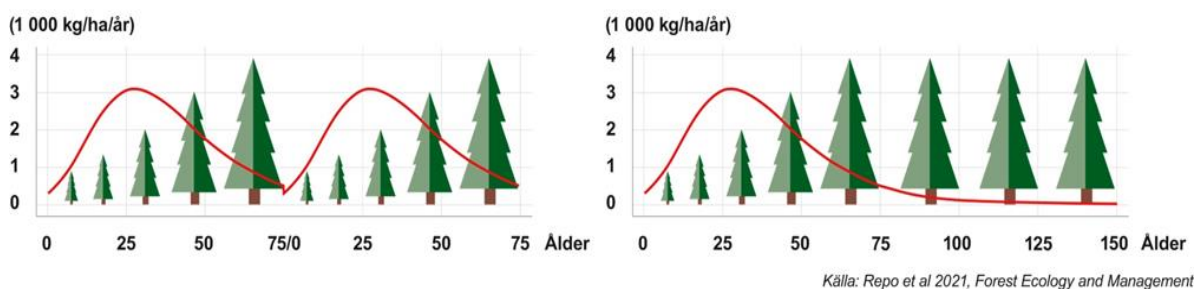
Nautintaoikeuksilla on pitkät perinteet. Lähtökohtana on aina ollut avoin käyttöoikeus luontoon. Reviirijattelu on sitä kuitenkin aina rajoittanut. Myös ympäristön käyttö ja siihen tehdyt investoinnit ovat tuoneet vapaaseen käyttöoikeuteen esteitä. Markkinataloudessa investoijalla on katsottu olevan etuoikeus investointikohteensa tuottoihin.

Yleisistä omistusoikeuksista ja markkinatalousperiaatteista poikkeavaa metsäohjausta on myös Suomessa. Jokamiehenoikeus eli metsän antimien kerääminen, leirytyminen, kulkuoikeus, pienimuotoinen kalastus, vapaa-ajan viettäminen ja luonnon tarkkailu toteutetaan aina jonkun omistamalla maalla. Rahoitusehtojen mukainen rajoitettu metsämaan yleinen käyttö eli esimerkiksi vapaa kulkuoikeus julkisesti rahoitetuilla metsäteillä tietyn vuosimäärän ajan on Suomesakin mahdollista. Yhteiskunta voi pakkolunastaa metsäalueen tai käyttää etuosto-oikeutta kiinteistökaupan yhteydessä. Myös luonnonsuojelulakeihin perustuva kasvatusvelvoite tietyille kasveille ja eliöstöille voi tuoda lisärasitetta metsänomistajalle ja se voi myös vaikeuttaa metsätaloutta.

Tavanomaisesta yrittäjämäisestä sijoittamistavasta on myös poikkeuksia metsäalalla. Toimialan poliittiseen ja taloudelliseen ohjaamiseen on yhteiskunnallista painetta. Erityisesti muutostarpeita on perinteisen puuainekseen kohdistuvaan käyttöön ja käytön sallimiseen. Metsiä on alettu käyttää ilmastovaikutusperusteella hiilien varastointikohteina, perinteisen puuaineksen kasvatus- ja saantokohteiden ohella. Suojeltavien eliöiden sijainti- ja kasvualueet joudutaan rauhoittamaan metsätalouskäytöltä.

Pohjoismaissa suurin metsäpinta-ala ja puumassamäärä on Ruotsissa. Suomi on viidentenä puuston määrällä mitattuna Euroopan mittakaavassa. Metsän puuston vuosikasvu vaihtelee puuston iän mukaisesti. Puuston vuosittainen lisäkasvu (kuvio 1) on merkitty punaisella, ajan funktiona. Nuorten metsien kasvu kiihtyy ja saavuttaa keskimäärin huippunsa 25–50 vuoden kuluessa. Kasvu hidastuu kasvuhuipun jälkeen puiden vanhetessa.

Puiden kasvussa saama biomassan lisäys sitoo myös hiiltä (kuvio 1). Jotta saataisiin maksimaalinen biomassan tuotto metsikölle, puut hakataan, kun lisäkasvu hiipuu. Optimaalisin hakkuuikä Ruotsissa on 70–90 vuotta. Korvaamalla metsä uudella taimikolla, myös hiilidioksidin otto ilmakehästä on jatkuvaa. (Bonde, von Essen, Lundmark & Polfjärd-Larsson 2022, 3.)



Kuvio 1. Metsän kasvu ja hiilen lisäsidonta kulkevat käsikädessä (Bonde & ym. 2022, 3).

Vastoin aiempaa yleistä käsitystä ja toimintatapaa, Ruotsin ja Suomen metsien puuvarantojen hakkuita on nykyisin haluttu nopealla aikataululla yhteiskunnan taholta vähentää. Metsäpolitiikan kehityssuuntaa on perusteltu hiilen varastoinnilla metsiin, pois hiilenkierokulusta. Metsänteollisuus puolestaan on katsonut metsien hoidon ja puuaineksen hyödyntämisen johtavan suurempaan hiilensitomisprosessiin metsien kannalta. Metsänhoidon vähentäminen tai pysäyttäminen on virheellinen lähestymistapa myös lyhyellä aikavälillä. (Holmgren 2021, 4.)

Metsälainsäädännöllä tavoitellaan metsätalouden kestävyttä eli metsää tulisi olla jatkossakin käytettävissä erilaisiin tarkoituksiin. Suomessa noudatetaan pääsääntöisesti eurooppalaisia kriteereitä. Valvontatyöstä ja laillisuudesta vastaa Suomen Metsäkeskus. Taloudellinen, sosiaalinen ja ekologinen kestävyys metsänhoidossa katsotaan toteutuvan, noudattamalla Suomessa käytössä olevia PEFC ja FSC –sertifiointien vaatimaa metsänkasvatus- ja hakkuutapaa. (Äijälä, Koistinen, Sved, Vanhatalo & Väisänen 2014, 13.)

2.3 Metsäalan perustietämys ja kasvuolosuhteiden hallinta

Metsäalan opetustyötä toteutetaan metsätalouden lisäksi myös ympäristökasvatuksen näkökulmasta. Opetuksessa tuodaan esille kestävän kehityksen arvomalleja, korostetaan moniarvoisuutta, kestävän kehityksen edistämistä sekä nostetaan esille ympäristökasvatuksen ydinkysymyksiä. (Pääsky 2005, 2.)

Opetuksessa käytettävä kirjallinen aineisto muodostaa aukottoman ja realistisen kokonaisuuden tämänhetkisen tiedon valossa. Samoista kirjallisuuslähteistä on myös tehty havaintoja metsän kasvuun vaikuttavista tekijöistä ja niistä on muodostettu ennustemalleja tulevaisuuden tapahtumista hoidetuissa ja hoitamattomissa metsissä.

Koulutuksella ohjataan tietopohjaa ja lisätään kansalaisten kykyä käytännön teoissa. Koulutuksen ohjaamisessa luodaan arvoperustaa myös perus- ja lukio-koulutusoille. (Pääsky 2005, 7.)

Koulutuksen avulla juurrutetaan tietopohjan laajentamisen lisäksi uskomuskäsitteitä. Tieto- ja uskomuspohjan perusteella kaikkea epävarmaa ja puutteellisin tiedoin eteen tulevia tilanteita pyritään kyseenalaistamaan tai pitämään niitä toiminna. Uskomukset ohjaavat tulevaa toimintaa myös epävarmoissa tilanteissa. (Pääsky 2005, 8.)

Kaikesta maan pinnalla olevasta materiaalista irtoaa ilmakehään hiukkasia, jotka vaikuttavat aerosolien tapaan ilmakehässä. Suurkaupunkien kohdalla asia on empiirisestikin havaittavissa. Maan ilmakehä toimii termostaatin tapaan säätelällä ilmakehän lämpötilaa. Pitkän aikajakson lämpötilalla on positiivinen vaikutus havumetsävyöhykkeellä olevaan metsän kokonaiskasvuun.

Auringon säteilyn määrään vaikuttavat myös metsistä irtoavat kaasumaiset yhdisteet, jotka vaikuttavat pilviin sekoituessaan alailmakehän ylempiin osiin. Metsien hiukkaspäästöt osaltaan alentavat ilmakehän lämpenemisvaikutusta ja viilentävät auringon lämmittävää vaikutusta maan pintakerroksissa. (Petäjä, Tabakova & Manninen 2022, 42–47.)

Ruotsalaisessa tutkimuksessa on todettu hiilen kiertokulun olevan biogeenisessä ekosyklissä eli metsissä prosessi on luontaisesti tapahtuvaa. Hiili liikkuu metsäalustan, metsätuotteiden ja ilmakehän välillä myös ihmiskunnan ohjauksena. Metsä kasvaa ja sitoo hiiltä vain tiettyyn rajaan sakka. Jossain kulminatiopisteessä hiilen lisäsitoutuminen metsään lakkaa. (Holmgren 2021, 4.)

Osa puustosta kuolee ja maatuu, jolloin merkittävä osa hiilestä vapautuu takaisin ilmakehään. Myös metsänhakuissa, ainespuun mukana siirtyy hiiltä pois metsästä kulutus- ja kestohyödykkeisiin. Ainespuukin luovuttaa hiilensä joskus. Osa kuolleiden kasvien ja ainespuun hiilestä kiertää maatuovissa aineksissa ja maafaunassa aikansa. Hiili, joka ei sitoudu pysyväisluonteisesti kivennäisaineksiin, multaan tai muodostu turpeeksi, haihtuu takaisin ilmakehään. (Holmgren 2021, 7.)

Kasvit toimivat geneettisessä ohjauksessa. Kasveilla on geenien perusteella ohjatut ja muotoutuneet kasvupaikkavaatimukset ja toleranssi eri kasvupaikkojen muutoksille. (Hotanen, Nousiainen Mäkipää, Reinikainen & Tonteri 2018, 17.)

Metsän tuoton kannattavuus on kiinni metsikön kasvualustoista, kuvioiden koosta, niiden ravinteista ja ravinteiden käyttökelpoisuuksista, vesitaloudesta ja lämpö- sekä valaistusolosuhteista. Nyky menetelmillä tuotto-odotuksiin nähden kallis metsänhoito ei ole kannattavaa heikkotuottoisilla kasvatusalueilla. (Sved & Koistinen 2015, 37.)

Metsänomistaja voi lisätä kasvutuloja käyttämällä metsänuudistuksessa jalostettuja siemeniä ja taimia. Puuston kasvuun vaikuttaa kasvupohjassa olevat ravinteet ja lisälannoitukset. (Sved & Koistinen 2015, 38.)

Taimikon varhaisperkaus ja ajallaan suoritettavat harvennukset edistävät nimenomaan järeän puuston saantoa tulevissa hakkuissa. Hyvä tiestö metsäalueille parantaa metsänhoitotöiden suoritusta ja tuo paremman nettotuoton metsänomistajalle. (Sved & Koistinen 2015, 39.)

Tarpeettomia kustannuksia kannattaa välttää metsänhoidossa. Hyvää kustannustehokkuutta tavoiteltaessa on kiinnitettävä huomio koko metsänkasvatuksen ajanjaksoon, metsänuudistamisesta päätehakkuuseen tai yläharvennuksissa ajoituksiin. (Sved & Koistinen 2015, 42.)

Vesitalous kannattaa pitää kasvun kannalta optimaalisena. Tarpeettomia ojituskustannuksia tulee välttää pitämällä kasvualustat peitteisenä. Haihduttavan puuston määrän tulisi Etelä-Suomessa olla yli 125 m³/ha. (Sved & Koistinen 2015, 45.)

Eri-ikäismetsikön aikaansaamiseen tarvitaan useita hakkuukertoja. Eri-ikäismetsikön hakkuissa poistetaan puustoa kerralla lukumääräisesti enemmän nimenomaan tukkipuuna. Puun laatu voi vaihdella paljonkin. Luontaisen uudistamisen siemenaines voi vaihdella esimerkiksi vuosittain ja kasvupaikoittain. (Sved & Koistinen 2015, 98.)

Tasaikäismetsiköissä puut ovat pääosin samanikäisiä. Uudistaminen ja päätehakkuu toteutetaan samalla kerralla koko metsikössä. Uudistamisessa ja taimikonhoidossa tehdyt valinnat määrittävät millaiseksi metsikkö kehittyy. (Äijälä, Koistinen, Sved, Vanhatalo & Vanhatalo 2015, 61.)

Metsikön puuston jäljellä olevaan hakkuuarvoon vaikuttaa hakattavissa olevan puuston määrä tarkasteluajanjaksolla. Kunkin hetken hakkuuarvoon vaikuttaa metsiköittäin hakkuissa poistuva puuston määrä. Metsä kasvaa vuosittain lisää, mutta puuston kulloisetkin hakkuut pienentävät ainakin hetkellisesti jäljellä olevaa hakkuarvoa. (Äijälä & ym. 2014, 20.)

Hakkuuarvo ilmaistaan eur/ha -dimensiolla. Hakkuuarvo on sen hetken ennuste markkinoilla. Arvo muuttuu, kun kaupallinen markkinahinta muuttuu. Kasvava metsä on sijoitettua ja tuottojen kerryttämää pääomaa, jolle odotetaan korkotuottoa. Metsänomistajan kannalta metsiin sijoitetun pääoman arvo on pyrittävä säilyttämään. Arvokasvua lisää vuosittain metsikön lisäkasvu. Hakkuuarvoon ja arvokasvuun vaikuttavat puumarkkinat (Äijälä & ym. 2014, 15).

Arvokasvu ilmaistaan metsätaloudessa %:na hakkuuarvosta. Arvokasvun ilmaisu perustuu kasvupohjaan, puulajiin ja puuston ikään. Luvut ovat käytännössä suuntaa antavia, koska tarkkoja lukuja ei ole olemassa kuin kaupantekohetkellä. Metsätalouden rahallinen tuotanto ohjautuu markkinatalouden pohjalta.

Fysikaaliset, biologiset ja kemialliset prosessit sekä symbioosi muiden eliöiden ja kasvien kanssa säätelevät kasvuolosuhteita. Aineiden määrä ja määrän muuttuminen, sijainti sekä sijainnin muuttuminen nesteiden, kaasujen ja fyysisen kuljetuksen kautta ohjaavat puun kasvutapahtumaa. (Paasonen-Kivekäs, Peltomaa, Vakkilainen & Äijö 2016, 17.)

Maan kasvualustaa muokkaavat fysikaalinen, biologinen ja kemiallinen toimita. Happamuus ja muut kemialliset tekijät ylläpitävät maan mururakennetta ylläpitävien mikrobien ja maafaunan aktiivisuutta. Bakteerit ja sienet rihmastoineen toimivat mahdollisimman optimaalisesti kasvualustassa, josta myös puu saa

ravinteita. Symbioosissa oleva eliöstö puolestaan saa puulta yhteyttämistuotteita kuten sokereita. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 42.)

Mikrobit voivat olla yksisoluisia kuten bakteerit ja arkeonit. Sädebakteereita kutsuttiin aiemmin sädesieniksi. Levä ja sienet ovat tumallisia. Maaperän moninaiset lajit ja niiden sopeutumiskyky auttavat biosfäärin ja sen eri osien yhteistointaa. Puu juurineen hyödyntää juuristoon yhteydessä olevaa mikrobistoa. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 43.)

Maaperän eläimet, eli maafauna jaetaan eri kokoluokkiin. Mikrofaunaan kuuluvat alle 0,1 mm läpimitaltaan olevat eläimet kuten sukkulamadot. Metsafaunaan 0,2–2,0 mm, kuuluvat mikroniveljalkaisen eläimet. Makrofaunaan kuuluvat yli 2 mm kokoiset eläimet kuten lierot. Hyönteisten toukat voivat osan ajasta kuulua maaeläimiin. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 43.)

Mikrobit ja maaeläimet muokkaavat ravinneolosuhteita ja muodostavat juurille kasvutiloja ja ohjaavat juuria syvemmälle tai sivummalla oleviin maakerroksiin. Eläin ja kasvikunta tekevät toimintaympäristössään yhteistyötä, josta myös kasvatettava puumassa hyötyy. Maaperän onkaloinen rakenne on nähtävissä kasvupaikoilla, joissa on kuolleiden tai kaadettujen puiden maatuneita juuria. Pienet maaperässä kulkevat eläimet ovat kaivaessaan hyödyntäneet kasvien tekemiä onkaloita, joita myöhemmin vesi ja muut maanesteet hyödyntävät.

Maanpinnan rakenne on pääosin seurausta jääkausien aiheuttamista mekaanisista muokkauksista. Jään vetäytyttyä pintakerrokset alkoivat muuttua ympäristövaikutusten seurauksena. Aluksi melko homogeeniseksi syntynyt maakerros alkoi eriytyä ja sekoittua uudelleen. Biomassan ja kivennäismaan sekoittumista kutsutaan maannokseksi, jolla on useita horisontteja. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 43.)

Suomessa on käytössä maannoksen orgaanisen aineksen pitoisuuteen ja kivennäisaineksen lajikoostumukseen perustuva luokittelujärjestelmä. Maannoksen syntymisen vaikuttaa lähtöaineksen laatu, organismit, ilman lämpötila ja

sademäärä, maaston muodot ja aika. Ihmisen kasvualustan muokkaaminen lisätään tähän luetteluun. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 43.)

Savi, hiesu, hieta, hiekka ja moreenimaat ovat kivennäismaita. Eloperäistä ainesta kertyy maahan erityisesti veden kuljettamana. Eloperäinen multa on osoitus viljavasta lehtomaisesta metsän kasvualustasta, kun taas toisen äärilaidan kuiva ja karu kangas sisältää vähän eloperäisiä ja aineksia. Maa-ainesten kerrostuneisuus on helposti todennettavissa esimerkiksi tarkastelemalla maansiirtokoneiden kaivujälkiä, paikkakohtaisesti lapiokaivuulla tai kairaamalla haluttuun kasvualustaan tutkimuskuoppa.

Lähes kokonaan eloperäisestä aineksesta koostuvat turvepohjaiset kasvualustat ovat kapealla asteikolla runsasravinteisia. Niistä kuitenkin puuttuvat kivennäismaille tyypilliset ravinteet, jotka ovat tärkeitä puun kasvuille. Vesi ja ilmakseen laskeumat tuovat ravinteita turvekasvualustaan. Mikäli juurilla on yhteys turpeen alla olevaan kivennäismaahan ja vesitalous on kunnossa juurten kasvukerroksessa, ravinnetasapainokin on kasvatettavan metsän kannalta kohtuullinen. Turvekasvualustoista käytetäänkin metsätaloudessa kivennäiskankaiden nimityksiä, kuten mustikkaturvekangas tai vastaava suo. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 52.)

Maannos syntyy kasvualustan pintakerrokseen biomassan ja kivennäismaan sekoitteena. Suomalaiset maannokset ainakin jossain määrin syntyvät yleisimpiin kivennäismaalajeihin. Maannosten muodostuminen näkyy selvästi laikutusalueilla. Kasvien kasvualustoissa esiintyvät yleistunnetusti kivennäisperäiset maalajit, kuten savi, liejusavi, happamat sulfaattimaat, hiesu, hiue, hieta, hieno hieta, karkea hieta, moreeni sekä biomassasta koostuva multa ja turve. Vesi ja maaneste kuljettavat aineksia ja sekoittavat niitä keskenään useimmiten kerroksiksi. Maannokset ovat metsätalouden tuotoista kiinnostuneille ja kasvualustaselvityksiä tehneille metsäammattilaisille tuttuja käsitteitä.

Maan rakeisuus ja huokoisuus mahdollistaa veden, maanesteiden ja kaasujen liikkeen kasvualustassa ja kulun myös kasvin juuristolle. Huokosten täytyessä vedellä kaasujen virtaus osittain estyy. Nesteiden ja kaasujen

massavirtauksena tai diffuusiona ravinteet kuitenkin siirtyvät uusiin paikkoihin. Huokosten koko vaihtelee muutaman nanoneliömetrin levyisistä aina myyräntunneleihin ja suuriin kivenkoloihin saakka. Vesi on karkeassa maakerroksessa lähes vapaavirtauksena ja hienojakoisessa maa-aineksessa sitoutuneena absorptiovetenä tai kapillaarisesti kiinnittyneenä huokosissa. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 54.)

Kivennäismaan rakeisuuden suuruusluokassa 0,06 mm on se kohta, jota hienommissa maa-aineksissa veden ja maanesteiden kapilaarinen nousu on voimakkaampaa ja painovoima sekä koheesivoima hienojakoisuuden johdosta häviävät olemattomiin. Hienot kivennäismaarakeet tavallaan kelluvat tai uivat nesteisessä nesteessä. (Moilanen, Niemistö, Niiranen, Saarilampi, Silfverberg & Valtanen 1988, 81.)

Puuston kasvukerroksen maan huokoisuutta juurien käyttöön muodostavat maan eliöstöt ja sääilmiöt. Vesi ja siihen muodostuneet maanesteet ovat puiden ravinnelähteitä ja myös osa ravinteiden siirtojärjestelmää. Eliöstöt ja ravinteiden syntymekanismit maaperässä näyttävät reagoivat herkästi maan happamuteen. Yleisesti tiedetään, että ilman kautta tulevat happamat laskeumat vaikuttavat kasvualustassa. Happamoitumisilmiö kasvatusalustassa saattaa olla pitkäaikainen, mikäli ravinnetasapaino ei luontaisesti tai muulla tavoin korjaannu.

Happamoitumisen määrä voi muuttua myös kasvualustassa ja maaperässä epäsuorasti molempiin suuntiin maaperän aineiden siirtymisen ja veden virtauksen avulla. Veden ja maanesteen suhteellisen osuuden muuttuessa bio- tai kivennäismassassa, siirtyvä aine voi kuljettaa ravinteitakin useaan suuntaan vuoron perään. Suuntaan vaikuttaa esimerkiksi nestepitoisuuden vaihtuminen.

Perusfysiikan lakien mukaan kaikki laimenee, hidastuu, tasoittuu ja jäähtyy. Siten myös voimakassuolaisesta massasta suolaa siirtyy suolattomaan viereiseen massaan. Siirtyminen tapahtuu esimerkiksi osmoottisesti kalvojen läpi, fyysisenä suorana siirtymänä, nesteiden tasoittumisen kautta, kaasuihin haihtumisena tai katalyyttien avulla. Luonnon lait pätevät myös puiden kasvatusalustassa sen kaasuihin, nesteisiin ja kiinteisiin massoihin.

Omien havaintojen perusteella jäkäläkasveihin kuuluvat naavat hävisivät puiden oksilta Kainuun alueella 70-luvulla. 2010-luvulla naavaa on taas havaittavissa samoilla alueilla yleisesti. Ilmakehästä maan pinnalle tapahtuvissa ravinnelaskuissa ilmeisesti on tapahtunut muutoksia.

Jotta kasvi voisi käyttää pääosan kasvupaikkaan tulevan veden, tulisi maa-aineksen olla hienojakoista ja sisältää mikrohuokosia ainakin yhden metrin syvyyteen. Hiesu ja hieta pystyvät silloin kapillaari- ja absorptio-ominaisuuksillaan pidättämään sataneen veden. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 58.)

Puuston juuristo tarvitsee myös kasvutilaa. Vesi, ravinteet ja maan rakenne rajoittavat juuriston kasvua. Kuvassa 1 esiintyy myös tuon kaltainen kasvuolosuhde.



Kuva 1. Juuriston rakenne olosuhteiden rajoittamassa kasvutilassa. (Kuva: Jorma Komulainen)

Puun ollessa suuri, myös sivuttaispinta-alaa olisi oltava riittävästi huokoisen maa-aineksen osalta. Yleisesti arvioiden, puut tarvitsevat hyödynnettävää maakerrosta vähintään 35 cm syvyyteen saakka. Tuossa maakerroksessa isokin puu pystyy kasvamaan, mikäli vesi ei täytä huokoisuutta kasvukauden aikana. Juuriston kasvusyvyys on tarkistettavissa esimerkiksi tuulenkaatoalueilla. Tuulen kaataman puun juuriston rakenne näkyy selvästi korkealla olevan

pohjaveden alueella. Myös kasvukerroksen ravinteikkuuteen kannattaa samassa yhteydessä perehtyä ja samalla metsänomistaja saa arvokasta tietoa metsänhoitotöitä varten.

Maa-aineshiukkaset muodostavat sähköisen varauksen avulla liitoksia, joiden avulla mm. mururakenne syntyy. Maanesteen korkea suolapitoisuus ohentaa hiukkasten sitomaa vesikehää. Tämä parantaa negatiivisten hiukkasten mahdollisuutta törmätä toisiinsa, jonka johdosta ne takertuvat toisiinsa kiinni. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 62.)

Rauta, alumiini, kalsium, magnesium, kivennäishiukkaset ja humus sekoittuvat biologisten prosessien aikana. Ne sekoittuvat osaksi mineraaliainesta, josta syntyy huuhtoutumiskerros. Kosteusvaihtelut vaikuttavat mururakenteeseen kurtistaen ja paisuttaen maa-ainesta (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 62).

Maan muokkaus muuttaa tiiviyttä, mururakennetta, eloperäisen ja kivennäismaan sekoittumista ja vesitaloutta. Eliöstö ja mikrobitoiminta muuttuu. Aiemmin eliöstölle kelpaamaton tiivis maa-aines muuttuu käyttökelpoisempaan muotoon. Symbioosissa olevien bioeliöstöjen lisääntyessä kasvupaikalla myös puun kasvuolosuhteet paranevat. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 68.)

Vesi ja ilma sijaitsevat maan huokosissa ja kanavissa. Maalla on ravinteiden muodostamisen ja pidättämisen ominaisuus. Ravinteet sijaitsevat maanesteessä liuenneina, sitoutuneena eloperäiseen ainekseen kuten humukseen tai ovat pidättyneinä maassa olevien hiukkasten pinnoilla. (Ruokatietoyhdistys ry 2021.)

Hydrologinen veden kierto on oleellinen osa metsätaloutta. Pohjavesikerroksessa vesi täyttää kaikki huokokset. Lisäsadanta aiheuttaa veden virtaamista painovoiman ja kapillaari-ilmiöiden seurauksena. Maavesivaraston vesi tulee osittain tai kokonaan hyödynnetyksi kasvien ja suoran haihdunnan toimesta. Liiallinen vesi valuu uomien kautta vesistöihin tai nostaa pohjaveden korkeutta. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 74.)

Veden sadanta vuositasolla on Utsjoen alle 500 mm vesimäärästä Etelä-Suomen yli 700 mm:n. Vastaavasti keskimääräinen haihdunta on alle 100 mm:stä alle 500 mm vuodessa. Keskimääräinen valunta on alle 300 mm:stä alle 400 mm:n (Paasonen & ym. 2016, 76). Lumena sadannasta tulee Lounais-Suomeen 30 % ja Pohjois-Suomeen 45 %:n (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 76).

Maan lämpötila vaikuttaa solujen jakaantumiseen, kasvuun ja solujen erikoistumisiin. Ympäristön lämpötila, veden ja ionien otto, veden virtaaminen kasvuympäristössä, fotosynteesin ja kasvin soluhengitykseen ovat kasville tärkeitä kasvun kannalta. Märkä maa on haihdunnan vuoksi kylmempi ja sekin vaikuttaa kasvupaikkaolosuhteisiin. (Paasonen-Kivekäs & ym. 2016, 111.)

Maa toimii puun kasvupaikkana ja ravinnevarastona, joten maa toimii myös luonnollisena ja koko ajan muuttavana ravinnelähteenä. Maan ominaisuuden määrittävät osaltaan kasvin menestymisen kasvupaikalla (kuva 1). Valo, ilma, vesi ja maa muodostavat perustan, jolla biologiset kasvit ja eliöt toimivat.



Kuva 2. Maakerrosten tarjoamat mahdollisuudet ravinnevarastona. (Kuva: Jorma Komulainen)

Kasvualusta kerrostuu kasvavaan biomassaan, maatuvaan biomassaan ja maa-faunaan sekä huuhtoutumiskerrokseen ja kivennäismaakerrokseen. Paikallinen, juuriston alueelle tuleva sadanta ei yleensä riitä suurelle puulle paikallisen haihdutuksen takia. Lehtivihreän teoreettisesti lasketun vuosittaisen haihdutusmäärän perusteella tiedetään puuston käyttöön tarvittavan myös syvemmällä olevaa, muualta siirtynyttä pohjavettä ja maanestettä.

Kasvin luontaiset mahdollisuudet toimia kivennäis- ja turvemaassa ovat rajalliset. Mänty kasvattaa pääjuuren maakerrosten läpi vesi- ja ravinnevarastoihin. Liian tiivis ja raekooltaan epäedullinen kivennäismaarakenne ei siirrä pinnassa oleville juuristoille kerroksen alapuolella olevia maanesteitä ravinteineen. Puun pääjuuri hoitaa nesteiden kuljetustehtävää, mikäli liian tiivis maakerros ei sitä estä kasvamasta ja porautumasta alas pohjavettä kohti.

Kivennäis- ja humushiukkaset sitovat ravinteita, koska ne ovat negatiivisesti varautuneita. Sähkötekniikan perusteiden mukaisesti negatiivinen varaus vetää puoleensa positiivisesti varautuneita ioneja. Näin muodostuu kasvien käyttöön myös puun hyödynnettävissä olevia ravinteita. Ravinteet muuttuvat määrältään ja lajiltaan toisenlaisiksi olosuhteiden muuttuessa.

Ravinnehiukkaset kulkeutuvat maanesteeseen. Kasvin ottaessa hiukkasia, maaneste tasapainottaa pitoisuuttaan sitomalla ravinteita lisää. Kulloinenkin olosuhde muodostaa tasapainotilan, joka on muuttuvainen ympärillä vaikuttavista olosuhteista. Tasapainotila vallitsee kullakin hetkellä maanesteen ja hiukkasten välillä. (Ruokatietoyhdistys ry 2021.)

Lisääntyvä vesi laimentaa maanestettä ja haihtunut kosteus puolestaan väkevöittää maanesteitä. Myös maan happamuus vaikuttaa ravinneolosuhteisiin. Happamat maaionit vaihtuvat emäksisiin ioneihin, mikäli maahan lisätään esimerkiksi nestevirtauksella emäksistä kalkkia. Maanesteeseen kulkeutuessa ammoniumioneja (NH_4^+) hiukkasten pinnalla olevat kationit (esim. K^+ , Ca^{2+} ,

Mg²⁺) korvautuvat ammoniumioneilla. Tämä mahdollistaa kasvien lisäravinnetta juuristoonsa. (Ruokatietoyhdistys ry 2021.)

Negatiivisten maahiukkasten pinnoille kiinnittyy positiivisia kationeja (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, NH₄⁺). Näin vastaparit ovat muodostuneet ja tasapaino taas vallitsee. (Ruokatietoyhdistys ry 2021.)

Empiirin havaintojen perusteella tiedetään, että luontaiset kasvuolosuhteet eivät ole samanlaisia viereisilläkään puun kasvupaikoilla. Ravinnesiirrolla kasvupaikka pystytään korjaamaan eli muuttamaan ravinnetaloutta otollisemmaksi kullekin puulle. Jotta maaperä olisi puunkasvatukselle mahdollisimman otollinen, tarvitaan metsätaloudessa käytössä olevia maanmuokkausmenettelyjä sekä vesitalouden korjaamistoimia. Myös lisälannoitus voi korjata ravinnepuutosta. Teollisesti valmistetulla lannoitteella on kustannus- ja tulovaikutuksia metsätalouteen.

Niukkaravinteisilla, märillä tai liian kuivilla kasvupaikoilla puulle tarpeellista ravinnevarastoa ei ole muodostunut. Kasvupaikkaa kuitenkin pystytään metsätaloudessa jalostamaan, mikäli luonto-olosuhteet ja niiden hidas muuttuminen ei tuo ratkaisua ravinnepuutosongelmaan.

Kemian peruseriaatteiden mukaisesti kuusen hapan neulaskarikerke ja emäksinen lehtipuiden kerke kompensoivat luontaisesti toistensa vaikutuksia. Tämä on havaittavissa opaskasveja tarkkailemalla erilaisilla kasvualustoilla. Puulajien valinnalla pystytään paikallisesti korjaamaan ravinnetalouden muodostumista. Pelkkä puulajivalinta ei riitä, mikäli maan kerroksellisuus ja vesitalous ovat epäedullisia. Tarvitaan maan muokkausta riittävän syvältä, jotta kasvuolosuhteet korjautuisivat riittävän moninaisesti sopivissa maakerroksissa.

Metsän yksittäisten puiden kasvuolosuhteiden tulee täyttää maassa olevan kasvupaikan osalta perusedellytykset. Happamuus, ravinteisuus, ilmavuus, lämpöolot, kosteus, pieneliöt ja eloperäinen aines ja tietenkin kohtuullinen valo tarvitaan, jotta puustolla olisi kasvuedellytyksiä. (Ruokatietoyhdistys ry 2021.)

Kasvualustan ravinteikkaus, lämpö- ja kosteusolosuhteet sekä valon määrä vaikuttavat puun kasvuun ja ainespuun saantoon. Koealoilla on todettu, että vuotuisen tutkittavan metsäalueen kokonaiskasvuun vaikuttaa kuolemassa ja kasvussa olevien puiden määrä sekä runkoluvun kokonaismäärä.

Kokonaiskasvu on suurimmillaan harventamattomissa metsissä tukkipuustokoon saakka. Harventamattomissa nuorissa metsissä kaikki kasvukohdat ovat yleensä optimaalisessa hyötykäytössä. Ensimmäisessä harvennuksessa kuitupuun saanto on suurempaa kuin tukkipuun saanto. Tukkipuulla on kuitenkin parempi kaupallinen arvo kuin kuitupuulla.

Maantutkimuslaitoksen eräällä koealalla ensimmäiseen harvennukseen saakka kuiturunkojen $6,0 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ kasvu oli suurta, verrattuna tukkirunkoisen puuston kasvuun. Ensimmäisen harvennuksen jälkeen kuitupuun tuotos oli alentunut jo $1,0 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ lukuun $5,0 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$. Syynä oli runkoluvun väheneminen. Kokonaiskasvun alenema alkaa, kun runkoluku putoaa noin 2 000 runkoon/ha. Alle 2 000 runkoa/ha tiheydessä kokonaiskasvu alenee jo huomattavasti verrattuna ennen ensimmäistä harvennusta olevaan tilanteeseen. (Moilanen & ym. 1988, 22.)

Tukkipuun tuotos pysyy kuitupuusaantoon verrattuna korkeana runkoluvun ollessa alle 1 000 kpl/ha. Kuiturungot eivät silloin rajoita riittävää valoisuutta, kilpailua ravinteista ja kasvutilasta. Tukkipuun kasvatuksessa lopputiheyteen päästään tehokkaimmin kolmen harvennuskerran menetelmällä (Moilanen & ym. 1988, 81).

2.4 Metsälaki ja alan tutkimus

Ruotsilla ja Suomella on maiden alueella olevan havumetsävyöhykkeen lisäksi samanlainen metsiä hyödyntävä toimintatapa. Yhteiskunnalla on molemmissa maissa merkittävä rooli. Riski metsäinvestointien kannattavuudesta on metsänomistajalla. Metsien kasvu, hakkuumäärät, tuotemarkkinat ja erityisosaaminen

määräävät käytännön tuotot. Erityisosaamisella tavoitellaan keskimääräistä toimintatapaa parempaa tuottoa.

Yhteiskunnalla on yleinen hyvinvoinnin luomis- ja ylläpitovelvoite. Velvoitteen liittyy myös ohjaus ja valvonta. Yhteiskunta on luonut verkoston, joka toteuttaa yhteistehtäviä.

Yhteiskunnan ohjausvaikuttamiseen voidaan katsoa liittyvän seuraavat poliittisen päätäntävällän alla olevat tahot:

- Valtiopäivät ja eduskunta, jotka päättävät metsäpolitiikasta.
- Maa- ja metsätalousministeriöt, jotka toteuttavat metsäpolitiikkaa.
- Yliopistot ja tutkimuslaitokset, jotka selvittävät metsäluonnon tilaa sekä syy- ja seuraussuhteita.
- ELY- ja ympäristökeskukset, jotka valvovat luonnon tilaa ja resurssien käyttöä sekä myöntävät lupia metsäalan toimijoille.
- Metsäkeskukset, jotka valvovat metsälain toteutumista ja metsien käyttöä.
- Tilastokeskus, joka toimialan tietojen julkisella esilläpidolla mahdollistaa yksittäisten järjestöjen ja henkilöiden suorittamaa metsien valvontaa.

Suomen metsätaloutta on jo yli sadan vuoden ajan ohjattu lainsäädännöllä, joka on parhaimmillaan perustunut sen hetkiseen tutkittuun tietoon. Suomen metsäasetus on uusittu 1917 ja Yksityismetsälaki uudistettiin vuonna 1928 (Norokorpi & Pukkala 2018, 106–107).

Metsälaki on uusittu edellisen kerran vuonna 2014. Siinä pakotetusta tasaikäiskasvatuksesta luovuttiin ja rinnalle otettiin myös jatkuvapuiteisyyteen tähtäävä metsänkasvatusmuoto. Laki metsän muuttamisesta ja kestävästä hoidosta sekä käytöstä ohjaa nykyisiä metsänkasvatusmenetelmiä. (Rantala, Laatonen & Jauhainen 2018, 126.)

Metsävaratietojen kokoaminen ja inventointi on kehittynyt kahden viimevuosikymmenen kuluessa. Aiemmin tiedot kerättiin maastoista ja pääteltiin

karttatiedoista. Nykyisin metsävaratiedot kerätään satelliitti- ja laserkeilausaineistoista. Tietoja kerätään monista lähteistä ja tiedot yhdistellään aiempaa tarkempiin osioihin ja samalla puumääriin. (Talkkari & Lehmonen 2021, 10.)

Metsävaratietoa käytetään metsän uudistamiseen, metsän hoitoon ja puumäärien inventointiin. Aineistoista voidaan erotella luonnonsuojelutieto ja kaavoitusalueiden toteutustieto. Toimenpiteitä ja niiden vaikutuksia voidaan havainnoida aineistoista. (Talkkari & Lehmonen 2021, 95.)

Metsän tasaikäisyyden rinnalle on tullut myös eri-ikäismetsätalous. Jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa synnytetään eri-ikäisiä puiden kasvuvaiheita. Avohakkuuta ei siinä menetelmässä käytetä. (Norokorpi & Pukkala 2018, 10.)

Kasvualusta vaikuttaa metsän kasvuun. Kasvupaikan maaperän rakenne ratkaisee millä tavoin alue metsittyy uudelleen tai miten metsänhoidollisesti synnytetävä uusi metsän puuainees menestyy. (Luoranen, Saksa & Uotila 2020,13.)

2.5 Metsätoimialan poliittinen ohjaus

Kansallinen metsäohjelma 2010 on valtioneuvoston vuonna 1999 hyväksymä ohje. Ohjelman mukaan on tavoitteena tuottaa kestävää hyvinvointia monimuotoisista metsistä. Metsäohjelmassa tavoiteltiin hakkuukertymän nostamista 63–68 miljoonaa m³/vuosi. Lisäksi tavoitteena oli nostaa puunkäyttömääriä 5,0 miljoonaa m³/vuosi. (Maa- ja metsätalousministeriö 2007, 6.)

Vuonna 2005 Kansallisen metsäohjelman 2010 väliarvioinnissa on keskitytty kotimaisen puutuoteteollisuuden viennin arvon ja kotimaisen ainespuun käytön kehittämiseen. Myös metsän kasvatuskäytäntöjä ja luontoarvoja on metsäohjelmassa arvioitu. Metsäohjelman tuossa vaiheessa puun tuotanto oli nostettu tärkeimmäksi arvoksi. Ohjelmassa oli jo tuolloin todettu olevan ristiriitojen mahdollisuuksia eri intressipiirien välillä. (Pihlajamäki, Saarentaus, Saarenpää, Aulas-kari & Keränen 2005, 3.)

Kansallinen metsästrategia, KMS2025, on päivitetty vuonna 2019. Poiketen vuoden 2005 väliraportista, luontoarvot ja metsänkasvatusalan suojelutarkoituksiin käyttöön ottaminen on nousut vahvemmin esille. (Pihlajamäki & ym. 2005, 8.)

Päivitetyllä, vuoden 2025 tavoiteohjelmalla ympäristövaikutusten, kestävyyskehitysten, talousvaikutusten ja kulttuuriasioiden korostamisella on tavoiteltu entistä vahvempaa asemaa metsänkasvatuksessa ja luontoarvojen huomioinnissa. Kansainvälisiä eri maiden poliittisia metsäkantoja on myös tavoitteena sovittaa yhteen. Metsäala kattaa puuta tuottavan ja jalostavan sekä muiden metsiä hyödyntävien tahojen tuotannon ja palvelut. (Maa- ja metsätalousministeriö 2019a, 8.)

Koska nykyisin metsistä ovat kiinnostuneita useammat tahot kuin aiemmin ja vaikuttajatahoilla on poikkeavat näkemykset, yhtenäisen linjan pitäminen EU-tasolla on vaikeaa. Metsän hakkuiden määrää vaaditaan supistettavaksi uusissa metsäohjelmissa, vaikka vuoden 2021 ohjelmassa lähtökohtana oli puumäärän käytön kasvu.

Kansallinen metsästrategia 2025 on hyväksytty valtioneuvostossa 21.2.2018. Strategiset päätökset pohjautuvat eduskunnalle vuonna 2014 annettuun Valtioneuvoston metsäpoliittiseen 2050-selontekoon. (Maa- ja metsätalousministeriö 2019a, 8.)

Metsänomistajan kannalta on huomioitava, että valmistelevat poliittiset kannanotot ja poliittinen ohjaus metsäalalla tähtäävät metsän omistajan vahvistuvaan ohjaamiseen. Metsänomistaja veloitetaan puun tuotannon rajoittamisen lisäksi täyttämään yhteiskunnan, luontojärjestöjen, matkailijoiden sekä luonnossa liikkuvien tahojen odotukset.

Välillisellä ohjauksella vaikutetaan myös rahoitukseen, puuaineksista tehtyjen hyödykkeiden hyväksyttävyyteen, jakelukanaviin ja metsätuotekauppaan.

Kysyntää ohjataan poliittisesti erilaisten arvomaailmojen mukaan. Tällä tähdätään kaupallisten tekijöiden ohjaamiseen poliittisten tarkoitusprien mukaisesti. (Maa- ja metsätalousministeriö 2019a, 9.)

Valmisteilla on myös Metsäpoliittinen selonteko 2050. Se toimii uusimman strategian ja vision sekä päämäärien perustana. Skenaariolaskelmien ja taustaselvitysten perusteella määrätään keskeytetyt tavoitteet vuodelle 2035. Hanketta valmistellaan laajasti osallistavana prosessina (Maa- ja metsätalousministeriö 2019a, 18). Valtioneuvosto on asettanut maa- ja metsätalousministeriön tueksi 22.8.2019 Metsäneuvoston (Maa- ja metsätalousministeriö 2019b, 1).

Kokouksessaan kansallinen metsäneuvosto 10.12.2021 valmisteli metsiin liittyviä aloitteita. Kansallisen metsästrategian 2035 valmistelu on aloitettu. Strategia laaditaan vuoden 2022 aikana. Taustalla on toimintaympäristön muutos, joka painottuu kestävään kehitykseen ja metsien merkitykseen ilmaston muutokseen vaikuttamisessa. Taksonomiaan liittyvät tulevat säädökset saattavat aiheuttaa metsäalan toimijoille todella suuria vaikeuksia. Herää kysymys, voiko julkishallinto esittää vaatimuksia laillisesti metsäalalle ja rajoittaa metsätoimintaa rahoituksen ja suojelulavaatimusten keinoin. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021, 2.)

2.6 Metsäalan vaikuttajien toimintaohjeet

Markkinataloudessa kysyntä ohjaa tarjontaa. Metsätalouden mielipidevaikuttajat ohjaavat alan toimintakäytänteitä, jotta ohjaajien omatkin tavoitteet toteutuisivat. Kysyntäpohjaan vaikutetaan mainonnalla, tiedon jakamisella ja hyvien käytänteiden sekä referenssien esille nostamisella. Tällä toiminnalla edistetään kysynnän ohjautumista vaikuttavien tahojen kannalta optimaalisesti.

Pohjoismaalaisittain katsottuna Ruotsin ja Suomen metsämarkkinoilla on käymisvaihe, joka johtaa muutokseen koko metsäalalla. Yleinen keskustelu on käynnissä metsien hyödyntämismahdollisuuksista. Euroopan Unioni laatii uutta

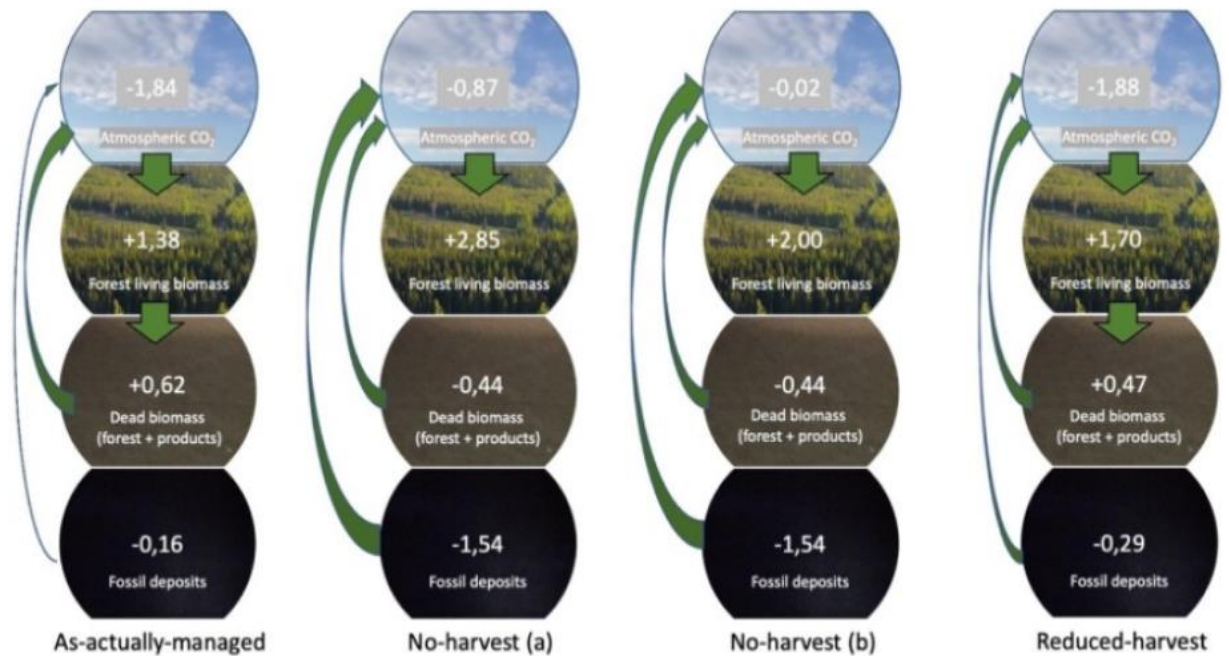
metsiin vaikuttavaa säännöstöä. Ympäristöjärjestöt vaativat metsien suurempaa suojelua. Metsäteollisuus ja maanomistajat edellyttävät tulonmuodostusta sijoittamilleen pääomille.

Hoidetut metsät ovat iso osa metsätaloutta. Metsän hakkuut ajallaan toteuttanut metsätalous antaa hakkuutuloja ja tuottaa positiivisen ilmastovaikutuksen reaaliaikaisesti. Ilman hakkuita lahoava puusto aiheuttaa maatuvaa biomassaa, josta osa siirtyy maafaunaan ja osa maatuu eli fossiilistuu. Maafauna ja multa päästävät peittämättömänä avoimessa maastossa kasvihuonekaasuja ilmakehään. (Holmgren 2021, 20).

Pohjoismainen metsän kestävä hyödyntäminen ja kehitys perustuu ilmastotieteeseen. Ruotsin metsäteollisuus selvitytti 1980–2019 välisen ajanjakson osalta metsän kasvun- ja ilmastovaikutukset. Metsän kasvu lisääntyi tuona aikana ja puuvarannon hakkuut eivät vähentäneet hiilitasetta ilmastovaikutuksien kannalta. Metsäalustaan kertyi tuona ajanjaksona biomassaa puusaannon lisäksi.

Ruotsin metsäsektorin toteutunut positiivinen ilmastovaikutus oli -3,5 Gt CO₂e kaudella 1980–2019. Toteutuma on noin -80 Mt CO₂e/v enemmän kuin metsäala kompensoi muita ihmiskunnan aiheuttamia alueellisia vaikutuksia. (Holmgren 2021, 2).

Kuviossa 2 on ilmaistu hiilen kertymismuutokset ja varastoituminen eri tarkastelukohtissa. Mittayksikkönä on Gt CO₂e. Nuolet kuvaavat keskeisiä hiilen nettovirtoja. (Holmgren 2021, 20).



Accumulated impact (net effect) of each scenario for the 1980-2019 period expressed as changes in carbon storage for each pool in Gt CO₂e. Arrows illustrate key net flows of carbon. The as-actually-managed and reduced-harvest scenarios have the highest withdrawal of atmospheric carbon and causes the least fossil emissions. The no-harvest scenarios perform worst and imply major shifts of fossil carbon to forest living biomass. The reduced-harvest scenario results in almost the same withdrawal from the atmosphere as the BAU scenario but leads to higher fossil emissions.

Kuvio 2. Hiilen kertyminen neljällä eri metsänhoitoskenaariolla (Holmgren 2021, 20).

Kunkin skenaarion kumulatiivinen nettovaikutus on esitetty kaudelle 1980–2019 (Holmgren 2021, 20). Kuvion 2 yhtenä osa-alueena on esitetty skenaariot “As-actually-managed and reduced-harvest”. Kuvion mukaan aktiivinen metsänhoito- ja hakkuu -skenaarioissa on suurin ilmakehästä tapahtuva hiilen sidonta ja siten se aiheuttaa myös vähiten hiilipäästöjä kasvupaikalla (Holmgren 2021, 20).

Kuviossa 2 on esitetty myös skenaario “No-harvest (a ja b)”. Sen mukaan ilman metsänkäsittelyä toteutettavat metsänhoitomuodot toimivat huonommin hiilen sidonnassa pois ilmakehästä kuin muut vaihtoedot. Sama skenaario toteuttaa suurta hiilen sitomista maassa elävään biomassaan. (Holmgren 2021, 20).

Kuviossa 2 on lisäksi esitetty skenaario "Reduced-harvest". Vähäisten hakkuiden skenaario johtaa lähes samaan hiilen sidontaan ilmakehästä kuin BAU:n skenaario, mutta johtaa korkeampiin maassa elävän maabiomassan -päästöihin. (Holmgren 2021, 20).

Suomen valtion ylläpitämä Suomen Metsäkeskus, metsänhoitoyhdistykset, metsäteollisuuden puuraaka-ainetta hyödyntävät toimijat sekä alaa valvovat yhteiskunnan perustamat laitokset kuten ELY-keskukset haluavat vahvistaa tavoitteitaan edistävää tietopohjaa.

Metsäalan peruskäsitteistön toistaminen ohjaa uusien metsäalalle tulevien henkilöiden osaamista. Esimerkkinä toimii käsitys, jossa maapohja ohjaa puuvalintaa. Tässä on ilmaistu olosuhde, joka ohjaa toimintaa. Maapohjan kannalta sopeva puulajivalinta on metsänviljelyn tärkein toimenpide. Maanmuokkaus on metsän uudistamisessa tärkeää. Koneellista metsänhoitoa käytetään maanmuokkauksessa, kylvössä istutuksessa ja taimikon varhaisperkauksessa (Kukkonen & Kukkonen 2014, 17).

Metsän koneelliseen hoitoon kuuluu myös taimikon varhaisperkaus ja –harvennus (Kukkonen & ym. 2014, 80). Koneellisen metsänhoitotyön jättämät ajourat on aiemmin katsottu hyödyttävän reuna-alueen puita. Nykyisin on todettu, ettei kasvuetu hyödytä riittävästi runkopuuvaiheessa kasvavia reunapuita kulku-uran jättämää puutonta aluetta vastaavasti (Kukkonen & Kukkonen 2014, 80).

Suomalaisissa talousmetsissä, metsän koneellisten harvennushakkuiden yhteydessä syntyy ajouria koneiden ulottuvuuden puitteissa. Nykyisin käytössä olevat metsätyökoneet tekevät 4–7 m:n levyiset ajourat 20 m:n välein. Aiemmin hevosaikakaudella ajouriksi riitti 1,8–2,0 m ajoura. Maatalous- ja metsätraktoreiden yleistyttyä ajouraleveys oli 3,5 m – 4,5 m. Ajouraväli maataloustraktoritoteutuksella oli 10–18 m.

Nykyisillä metsänhaku- ja kuormakoneilla 3,1–3,4 m koneleveys aiheuttaa 4,5–7,5 m levyiset ajourat noin 20 metrin sarkaväleillä. Lisäksi

ajouraristeysalueilla 1–2 aarin pienaukot ovat yleisiä. 20–35 % puiden kasvupaikoista jää puiden ajourien vuoksi kasvupaikkojen ulkopuolelle. Metsän hoitotöihin kuuluu vesitalouden säätely, ravinnetalouden korjaaminen ja täydennys, tuuli- ja lumivaurioiden sekä eläinvahinkojen torjuminen ja vahinkojen korjaaminen. Erilaisilla kasvualustoilla metsänhoidolliset tarpeet poikkeavat toisistaan.

Metsätalousmaat luokitellaan useaan maatyypiin. Metsämaa on puun tuottamiseen soveltuvaa maata, jonka vuotuinen kasvu puustolle tyypillisellä kieroajalla on yli 1,0 m³/vuosi. Kitumaa on puuntuottoalue, jonka 100 vuoden kiertoajan kasvu on 0,1–1,0 m³/vuosi. Joutomaa on puustoltaan harvaa ja vuosikasvu on 100 vuoden kiertoajalla alle 0,1 m³/vuosi. (Varhi & Vitale Ay 2021, 4.)

Maanmuokkausta käytetään metsänuudistamisen yhteydessä. Maanpintaa paljastetaan ja muodostetaan kohoumia. Äestystä ja laikutusta käytetään vettä läpäisevillä moreenimailla. (Äijälä & ym. 2014, 134.)

Laikkumätästyksessä koneella tehtävä mättään käänntö toteutetaan kunnakerroksen kanssa vastakkain, jolloin mättään sijoituspaikkana on laikun vieressä oleva tila (Äijälä & ym. 2014, 136). Kääntömätästyksessä puolestaan kunnasta on käännetty nurin päin kaivukuopassaan eli mätäs sijaitsee laikussa (Äijälä & ym. 2014, 137).

Metsän maaperätyypit luokitellaan puun kasvupaikan mukaisiin tyyppeihin. Suota on kasvupaikka, jolla on suokasvien turvetta tuottava kasvuyhdyskunta. Kivennäismaata on kasvupaikka, jonka pinnalla on kangashumusta. Alempana olevassa kerroksessa on podsolimaannos ja sen alapuolella on pelkkiä kivennäiskerroksia. Lehtoja ovat kasvupaikat, jotka ovat paksumultaisia ja rusko-maannoksia. Lehtomainen kerros on muodostunut kivennäismaan kanssa murrakenteiseksi. Alimmissa kerroksissa lehdoissakin on kivennäismaata. (Varhi & Vitale Ay 2021, 4.)

Maa ja metsätalousministeriö johtaa metsäpolitiikkaa Suomessa (Rantala 2018, 29). Maakunnalliset ELY –keskukset myöntävät erilaisia maankäyttöön liittyviä

lupia ja valvovat niiden toteutumista. Laillisuuden toteutumista metsäasioissa valvoo Suomen Metsäkeskus.

Metsäkeskus valvoo metsähoitotöitä ja myöntää rahoitustukia metsänhoitotöihin, kuten taimikon varhaisperkauksiin ja –hoitotöihin, metsäteihin ja suometsän vesitalouden säätelyyn. Myös ravinnepuutosten korjaamisiin Metsäkeskus voi myöntää rahoitustukea. (Rantala 2018, 29.)

Metsätalouden ylläpidossa tarvitaan kumppaneita. Metsän hoitotyöt ja hakkuut vaativat resursseja kuten suunnittelua, koneita ja työvoimaa. Myös puuraaka-ainetta ostavia asiakkaita tarvitaan. Metsänomistajan on kuitenkin kuunneltava yhteistyökumppaneitaan ja erityisesti puunostajia. Puunostajien omat asiakkaat eli puutuotteiden loppukäyttäjät ohjaavat tuotemyyjän toimintaa. Toimialaa sertifioidaan ja alalla käytetään useita eri sertifikaatteja, joilla tuotetun puutuotteen raaka-ainelähdettäkin valvotaan. Metsätaloudessa kumppaneiden indikaatiot on otettava vakavasti.

Suuret puuraaka-ainetta hankkivat yhtiöt tekevät puunmyyjien kanssa sopimuksia, joiden kautta taloudellinen hyöty tulee metsänomistajalle ja raaka-aine virtaa asiakkaille. Suurimpia metsäalan raaka-aineen hyödyntäjiä ovat Metsä Group, Metsä Forest, Stora Enso Oyj, UPM –Kymmene Oyj sekä mekaanista puunjalostusta harjoittavat sahat (Rantala 2018, 31).

Suuret puuta ostavat suomalaiset yhtiöt toimivat kansainvälisesti. FSC ja PEFC –sertifioinnit osoittavat metsänkäsittelykriteerit ja puun alkuperän. Sertifioinnit ovat luontoarvoiltaan tiukempia kuin metsälait Suomessa edellyttäisivät. Pienikin häiriö metsänhoito- ja hakkuuketjussa voi johtaa tilanteeseen, jossa metsänomistaja ei saa ostotarjouksia tarjoamistaan puumääristä. Metsänomistaja joutuu noudattamaan sertifiointia, johon on sopimuksissaan sitoutunut.

Metsänomistajat ovat perinteisesti järjestäytyneitä Suomen Metsänhoitoyhdistys ry:n alueorganisaatioihin. Metsälain muuttumisen myötä jäsenyys ei enää ole pakollista (Rantala 2018, 33).

3 Kehittämisalueen valinta ja menetelmät

3.1 Kehittämistavoite

Kokonaistavoitteena tässä kehittämistyössä oli metsän uudistaminen vaikeille kasvupaikoille ja uudistumista estävän ravinteikkuuden korjaaminen maankäsittelytoimenpiteenä. Aiempia toimintatapoja haluttiin tarkastella kriittisesti.

Metsittymisen esteenä pidetään kasvualustan liian vähäisiä tai väärinä ravinteita ja niiden siirtymistä vaikeilla kasvupaikoilla olevien puiden käyttöön. Estettä pyrittiin tarkastelemaan ratkaisuhakuisesti.

Kehittämistavoitteena tässä työelämän kehittämistehtävässä tähdättiin rajattuun osa-alueeseen eli metsän kasvualustan puukohtaisen ravinteikkuuden parantamiseen. Kapealla kehittämisalueen rajaamisella tähdättiin konkreettiseen kehittämistulokseen. Kehittämisen lopputulemana tavoiteltiin metsän uudistamisen perusrajoitteiden ratkaisua menetelmän ja teknologian avulla, jotta metsäalueena halutusti pidettävä maa-ala olisi mahdollisimman tasaisesti hyötykäytössä.

Kehittämistyön tavoitteena oli vähentää esteitä metsäinvestoinnin hehtaarikoh-
taisen tuoton kasvattamisen osalta erityisesti alueilla, joissa ravinnetasapaino on ilman toimenpiteitä puun kasvun kannalta liian epäedullinen. Kehittämistyön yhteydessä laaditulla menetelmällä tähdättiin metsän uudistamiseen.

Lisääntyvän puuntuotannon lisäksi, tavoitteen toteutuminen oletetusti myös rajoittaa ilmaston lämpenemisen kasvua. Kaupallistettavissa olevat lisähyödyt voivat myös kasvattaa metsäinvestoinnin tuottoja.

Kehittäminen vaatii rohkeutta ja uskallusta tarkastella kriittisesti aiempaa toimintatapaa. Valittavana tässä työelämän kehittämishankkeessa oli kaksi erilaista toiminnan kehittämisen pääperiaatetta.

3.2 Yhteisöllinen työelämän kehittämistapa

Yhteisöllinen kehittämistapa toimii demokraattisesti. Yksinkertaisesti kuvaten, työyhteisöä tai toimialaa edustava ryhmä arvioi itse kehittämistarpeita ja ideoi vaihtoehtoisia ratkaisuja toimintansa kehittämiseksi.

Yhteisöllisellä eli osallistavalla kehittämisellä voidaan tehokkaasti parantaa työskentelyolosuhteita, omaa johtamistapaa tai toiminnan virtaviivaistamista. Ryhmän vetäjä johtaa ja ohjaa tässäkin menetelmässä päätöksentekoa. Yhteisöllisessä toimintatavassa ratkaisujen perusteet ja ideat etsitään alan sisältä tai alan ulkopuolelta omaan alaan soveltuvalla näkökulmalla valikoituna. Motiivina on tasapuolisuus ja yhteisen tahtotilan etsiminen.

Yhteisön sisällä yksilön suorittama rohkea ja nykyisten toimintatapojen kyseenalaistaminen vaatii esittäjältään vahvaa itsetuntoa ja uskallusta. Yksilö voi itsenäisessä ajattelussaan kokea ottavansa riskin yhteisön jäsenenä. Liian itsenäinen toimintatapojen arviointi voi johtaa yhteisön paheksuntaan. Aiemmista toimintatavoista poikkeaminen ja niiden esittäminen voi johtaa asiantuntija-aseman menettämiseen.

Erytispiirteenä puhtaasti yhteisöllisessä kehittämistoiminnassa myös johtaja kehittää ja tarvittaessa muodostaa oman mielipiteensä yhteneväksi ryhmän mielipiteen kanssa. Kehityshankkeen johtaja yleensä haluaa kuulla ensin yhteisönsä mielipiteen ja vasta sitten julkistaa oman kantansa.

3.3 Johtajavetoinen kehittämistapa

Johtajavetoinen kehittämistapa on tehokas kokonaan uusien innovaatioiden kehittämiseksi. Kehittämisen päätavoite voi tulla yhteisön tai koko toimialan ulkopuolelta. Työelämän kehittämisen ja tehostamisen tavoite voidaan asettaa esimerkiksi omistajien taholta, ulkoisten olosuhteiden pakottamana muutoksena tai jonkin muun uuden syyn perusteella.

Toiminnan tehostaminen, uusien toimintatapojen kehittäminen tai jopa uusien innovaatioiden etsiminen voi olla johtajavetoisen kehittämisen tavoitteena. Johtaja kokoaa mielipiteensä ja toimintatapansa taakse sopivan toimintaryhmän, joka vie kehityshankkeen läpi. Tällä toimintatavalla saatu kehittämistulos voi aiheuttaa vastustusta kohdeyhteisössä ja siksi menetelmää sovelletaan tehokkaimmin yhteisöjen saneeraustilanteissa tai kokonaan uusien liiketoimintojen kehittämishankkeissa.

Johtajavetoisessa kehittämistoiminnassa muutoksia vastustava ja riskejä kaihettava yhteisö voi hidastaa uusien toimintatapojen yleistymistä toimialalla. Kehittämishankkeissa nykyisten toimintatapojen kyseenalaistaminen vaatii kehitystyön johtajalta yhteisöosaamista ja suostuttelutaitoa.

3.4 Menetelmän valinta

Tämä työelämän kehittämishanke kohdistui toimeksiantajan omaan metsätalokantaan. Kehittämistavaksi valittiin *johtajavetoinen* kehittämistapa.

Metsätilojen liiketoiminnallinen tuotanto perustuu suunnittelijoiden ja työtehtäviä hoitavien alihankkijoiden käyttöön sekä metsätilatuotteiden ostajista muodostuneisiin osto- ja asiakasverkostoihin. Sidosryhmätyöskentely mainittujen verkostojen kanssa toi kehitystyöhön mukaan tarvittavaa yhteisöllisyyttä.

Kehittämistyössä hyödynnettiin ideointimenetelmiä ja yhteistyötahoja, jotka parhaiten soveltuivat ravinteikkuuden parantamisen kehittämistehtävään.

Tutkimusvaihetta eli kysely- ja haastatteluosioita käytettiin kehittämisvaiheen ennakkotulosten arviointiin ja soveltuvuuteen metsätaloustoiminnassa.

Kehittämistyön ideointivaiheeseen otettiin mukaan metsäalan yrittäjiä, metsänomistajia, metsätalouden toimijoita, metsätalouden toiminnan ohjaajia sekä valvovia tahoja. Kehittämishankkeen kysely- ja haastattelu kohdistettiin metsätoimialalta elantonsa saaviin sidosryhmiin. Kehitystyöhön sisältyvä rajausta ravinteikkouden kehittämisestä, ohjasi kehittämistyötä ja siihen otettujen yhteistyötoimien valintaa. Metsätoimialan toimintaympäristö huomioitiin vaikuttajien osalta mahdollisimman kattavasti.

Kehittämisen menetelmä, aihealue ja esitavoite valittiin kehittäjävetoisesti. Toimiala-arvioinnissa ja sen sidosryhmävalinnassa tiedostettiin jo ennalta olevan riskkejä. Menetelmän valinnan uskottiin vaikuttavan tulosten arviointiin. Kehitystyön tulosten julkistamisen jälkeen arvioidaan hyväksyntää ja vastaanottoa mm. seuraavissa metsätalouteen vaikuttavissa ryhmissä:

- Vapaa-ajan järjestöt, jotka voivat tiedustella maisema-arvoista ja metsän siirtymisestä vapaa-ajan käytön ulkopuolelle.
- Metsästäjäjärjestöt, jotka voivat kysyä vaikutuksista riistaeläinten määrään ja lajikirjon pysyvyyteen.
- Ympäristöjärjestöt, jotka voivat olla huolissaan kasvi- ja eliöyhteisöjen hyvinvoinnista sekä vaikutuksista luonnon yleiseen tilaan.
- Mielenterveysjärjestöt, jotka saattavat tiedustella vaikutuksia ihmisten mielikuvissaan turvallisina pitämiinsä suuriin ja vanhoihin puihin, kokonaisuun lähimetsiin sekä avonaisten niittyjen tilaan.

3.5 Kehitettävän ravinteikkouden parantamismenetelmän valinta

Ravinteikkouden parantamiseen tähtäävän, kehitettävän menetelmän avulla haluttiin pitää kulloinkin metsityskohteena oleva maa-ala tasaisesti metsätuotannossa. Kehittämistyössä rajoituttiin kehittämään puukohtaista kasvupaikan ravinteikkoutta. Hajakylvöperiaatteen mukaista ravinteikkouteen vaikuttamista tässä kehitystyössä ei käsitelty.

Kehitystyön toissijaisena olosuhdeongelmana nähtiin metsän kasvatusalueesta pois jäävien alueiden vähentyminen. Tarkoituksena oli löytää menetelmä ja teknologia metsittää riittävän kannattavasti metsälön tai joutomaan vaikeatkin alueet, jotta alueen puuston tuotanto olisi maksimaalista.

Koneellisen metsänhoidon jäljiltä metsään jää, ajourien lisäksi eri syistä pienaukkoja, jotka ovat puun tuotannon kannalta alituottoisia. Lisätavoitteena oli metsittää kehitettävän menetelmän avulla nykyistä tarkemmin myös käytönjälkeiset, tarpeettomiksi jääneet ajourat ja pienaukot. Hyväkasvuisten metsäkuvioiden puulajien kasvua ja ei tässä kehitystyössä huomioitu.

4 Kehittämisen työvaiheet ja toteutus

4.1 Ravinteikkuuden hallinnan pääkäsitteet

Kehittämistyö on tyypillisesti projektihanke. Hanke alkoi tavoiteasetannasta ja päättyi tulosten arviointiin. Alkumäärittelyjen jälkeen kehittämistyö aloitettiin olemassa olevan tutkitun tiedon hankkimisella ja päivittämisellä.

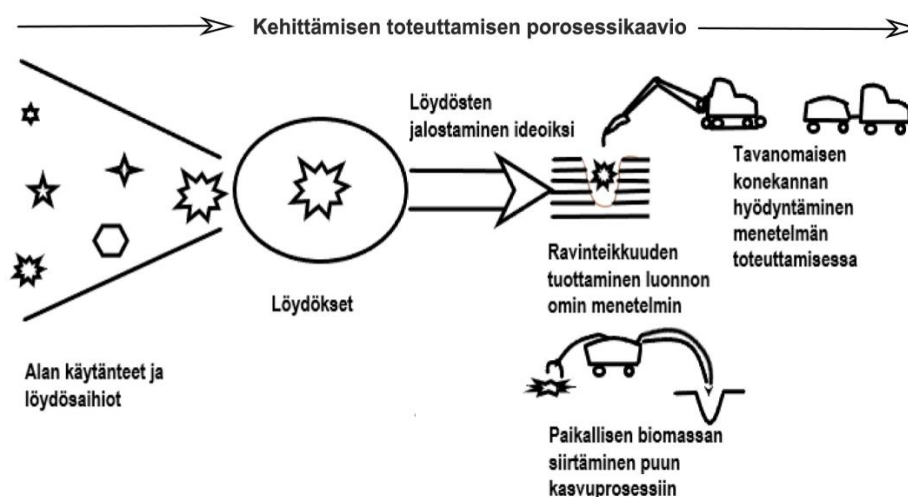
Kehittämistyötä jatkettiin varsinaisella ideoiden muodostamisella ja niiden jatkojalostamisella esiteltäviksi löydöksiksi sekä tuloksiksi. Hankkeen loppuarvioinnissa esiteltiin jatkosuunnitelma.

Ravinteikkuuden muodostamisen peruseriaatteena pidettiin taloudellisuutta ja pitkäkestoisuutta. Siksi kehittämishankkeessa hyödynnettiin luonnon omia, luontaisten ilmiöiden toiminnallisia periaatteita. Tämän kehitystyön kannalta huomionarvoisina pidettiin seuraavia luonnonilmiöitä:

- Lämpöenergian taso tietyssä pisteessä siirtyy luontaisesti matalammalle tasolle häviöiden vuoksi.
- Kaasujen tiheys pienenee eli kaasu haihtuu ympäristöönsä.
- Vesi liikkuu pienempää pitoisuutta kohti, jolloin vesimäärä vähenee lähtöpisteessä.
- Pintajännitys ja kalvopinta-ala nesteissä muuttuu, kun vapaa ympäröivä tila muuttuu.
- Kivennäis- ja turvemassa muuttuu ajan funktiona.
- Vesi siirtyy kapillaarisesti tai valuntana kolmiulotteisesti kaikkiin suuntiin kasvualustassa, koska raekoko vaikuttaa.
- Vaikka muodostuvien ravinteiden määrä kasvaa, entropian lain mukaisesti ravinneyksilöitä poistuu tarkastelualueelta.
- Ravinnesaanto kasvilla vähenee, kun ravinnevaranto ehtyy tai siirtyy muualle ympäristöön, pois kasvin saatavilta.

4.2 Kehitystyön prosessin kuvaus

Kehittämisessä käytettiin tavanomaista kehittämismenetelmää, joka on tunnettu teknologian kehittämishankkeista. Kehittäminen perustui luonnontieteistä tuttuihin ilmiöihin ja metsätoimialan käytäntöihin sekä käytettävissä olevaan metsätyökonekantaan. Ilmiöiden ja ideoiden määrällistä hallintaa kehittämisprosessissa on esitetty kuviossa 3.



Kuvio 3. Kehittämisprosessin kuvaus.

Kehittämistyön ideointivaihe perustui havaintoihin ja kokemusperäiseen tulkinnaan metsäalan työtehtävien onnistumisista. Alan käytänteitä ja löydösaihoita koottiin 20 erillisen metsätilan alueelta (liite 4). Tutkittuina toteutushankkeina olivat mm. metsäojitukset, maan mekaaninen käsittely hakkuun jälkeen, hakkuiden jälkeiset metsän uudistamistoimet, taimikoiden perkaukset ja metsien kasvatushakkuut sekä kuntanostotyömaat. Lisäksi tutkittiin maakerrosten, maanoksien ja turvemaiden muodostumista ja tilaa erityiskaivauksilla.

Kirjallisuusaineisto valittiin täydentämään kokemusperäisten havaintojen ja ideoitujen kehittämissaihioiden todenperäisyyden selventämistä. Kehittämistyöhön liittyneen kirjallisuus-, kysely- ja haastatteluosan työvaiheet toteutettiin seuraavasti:

- Aineistoa analysoitiin.
- Todettiin tulokset ja löydökset.
- Tuloksia tulkittiin ja löydösten merkitystä arvioitiin tavoitteen kannalta.
- Havainnollistettiin keskeisiä kokonaistuloksia ja löydöksiä.
- Arvioitiin tulosten merkitystä sekä oikeellisuutta.
- Tuloksia verrattiin aiempaan tietoon.

Ilman käytössä olevaa menetelmää tuloksista tulisi sattumanvaraisia. Kehitettävän menetelmän toteuttamisen kuvaus ja työvaiheet toteutettiin seuraavasti:

- Maanmuokkaustarve kasvualustassa selvitettiin ja piirrettiin toteutustilanteet.
- Ravinteiden alkutilanne kasvupaikalla määriteltiin ja kuvattiin piirroksin.
- Ravinteiden siirto kasvupaikalla suunniteltiin ja kuvattiin piirroksin:
- Ravinteiden uudelleen järjestely kasvupaikalla huomioitiin ja kuvattiin piirroksin.
- Menetelmä ravinteiden siirtämiseksi kehitettiin ja kuvattiin vaiheittain.
- Teknologiavaihtoehdot esitettiin ja kuvattiin eri olosuhteisiin sovelletuna.

- Ravinteiden siirtymisreitit sijainti esitettiin puun kasvikohtalla.
- Kuvattiin piirroksin kasvatusalustan lähtö- ja lopputilanne.

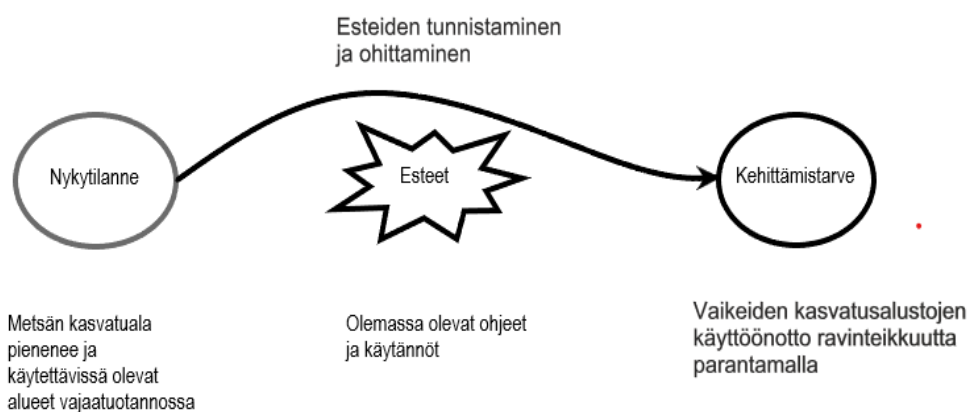
Työvaihekäsittelyssä saatavien ratkaisuesitysten ja johtopäätösten suunniteltiin perustuvan johdonmukaisesti havaintoihin ja löydöksiin eli näyttöön ja tuloksiin. Ideoita ryhmittelemällä ja edelleen analysoimalla muodostettiin varsinaiset löydökset.

4.3 Kehittämistyön etenemisen kuvaus

Perusmenetelmän valinta ja rajoitteiden havainnointi koettiin tärkeiksi. Kehittämisen projektivaiheita luotaessa huomioitiin ja varauduttiin seuraaviin työvaiheisiin:

- Selvitettiin toiminnan nykytilanne.
- Selvitettiin toiminnan kehittämistarve ja toteuttamisen esteet tunnistettiin.
- Suunniteltiin toimintatapa, jolla kehittäminen toteutetaan.

Kuvion 4 mukaisesti kehittämistyötä tehdään esteet ohittaen. Aiemmin käytössä olevaa toteutustapaa on muutettava siten, että esteen vaikutus eliminoituu.



Kuvio 4. Kehittämistyön perusmenetelmä.

Yleisesti hyväksytty, olemassa oleva käsitys metsätalouden ravinteikkuuden ja toimintaympäristön osalta selvitettiin kirjallisuuslähteistä. Perehdyttiin tiedejulkaisuihin, opetuskirjallisuuteen ja toimialaa ohjaavien laitosten ja järjestöjen ohjeisiin. Poliittisen ohjauksen nykytilaan ja sen muuttumiseen perehdyttiin pääasiassa Euroopan Unionin ja kansallisen lainsäädännön kirjallisuuslähteillä.

Kehitystyön yhteydessä perehdyttiin metsäalan päätoimijoiden lähdekirjallisuuteen sekä suoritettiin kysely- ja haastattelu. Kysely ja haastatteluosiossa selvitettiin alan sisäistä toimintatapa. Metsäalan toimijoihin ja tarkastaviin viranomaisiin kohdistunut kysely- ja haastattelu (liite 1) suoritettiin lomakkeiden täsmennyksen pohjalta.

Esiin otettuja suomalaisia lähdeviitteitä verrattiin muutamaa ruotsalaiseen vastaavaan tutkimukseen. Kirjallisuuslähteillä selvitettiin alan teoriakäytäntöjä ja tutkimustuloksia, joita ala hyödyntää metsätaloudessa.

4.4 Uusien ideoiden tuottaminen

Kehittämistehtäviin on laadittu useita erilaisia tietokoneavusteisia ohjelmistoja. Ohjelmiin syötetään lähtötiedot ja muodostetaan tuloksena useita eri toteutusvaihtoehtoja. Menetelmissä tarvitaan henkilöiden suorittamia ideointeja ja jatkoarvioiteja. Ohjelmat voivat tuoda yllättäviä ratkaisuvaihtoehtoja, jolloin urautuminen ja vanhan käytännön tiedostamaton noudattaminen voidaan ohittaa.

Menetelmien kehittämistyössä on aiemmin ollut käytössä Idegen ++ -ohjelmisto. Idegen -tuoteperhe on tekniikan tohtori Tapani Savolaisen ja professori Vilkko Virkkalan kehittämä ideoiden tuottamisohjelmisto -kokonaisuus (Erkkilä, 1994,1). Idegen -ohjelmiston ideointiperiaatteen mukaisesti pystytään tuottamaan suuria ideamääriä arviointia varten (Erkkilä 2022, 1).

Idegen on kehittämis- ja ideointiohjelmisto, joka sai suomalaisen insinööriyöpalkinnon vuonna 1994. Suuresta ideamäärästä ohjelmisto etsii yllättäviä

yhdistelyvaihtoehtoja, joista saattaa loppuarvioinnissa löytyä yllättävä ja kiinnostava vaihtoehto. Kiinnostava uusi idea tai vaihtoehto otetaan jatkokehittelyyn (Erkkilä 1994,1).

Käytetyn ideointimenetelmän mukainen toimintaperiaate houkutteli ilmaisemaan ideoina esimerkiksi yksittäisiä sanoja tai mitä tahansa asioita mieleen sattuikin sillä hetkellä tulemaan. Nykyisin päivitettyä ohjelmistoa ei ole enää markkinoilla saatavissa. Vuonna 2003 Idegen oli kuitenkin myös malliopittavissa, joten sitä taitoa ja ominaisuutta hyödynnettiin varsinaisen alkuperäisen ATK-ohjelman toimintaperiaatteen tukemana.

Ideointivaiheessa ideoiden määrää nostettiin tavanomaisesta poikkeavalla tavalla eli ajattelemalla ja luetteloimalla syntyneet tuotokset. Tuotosten määrä nousi tällä periaatteella suureksi, mutta vain toteutuskelpoiset ideat huomiotiin tarkoitushakuisesti.

4.5 Ideoiden jatkokäsittely

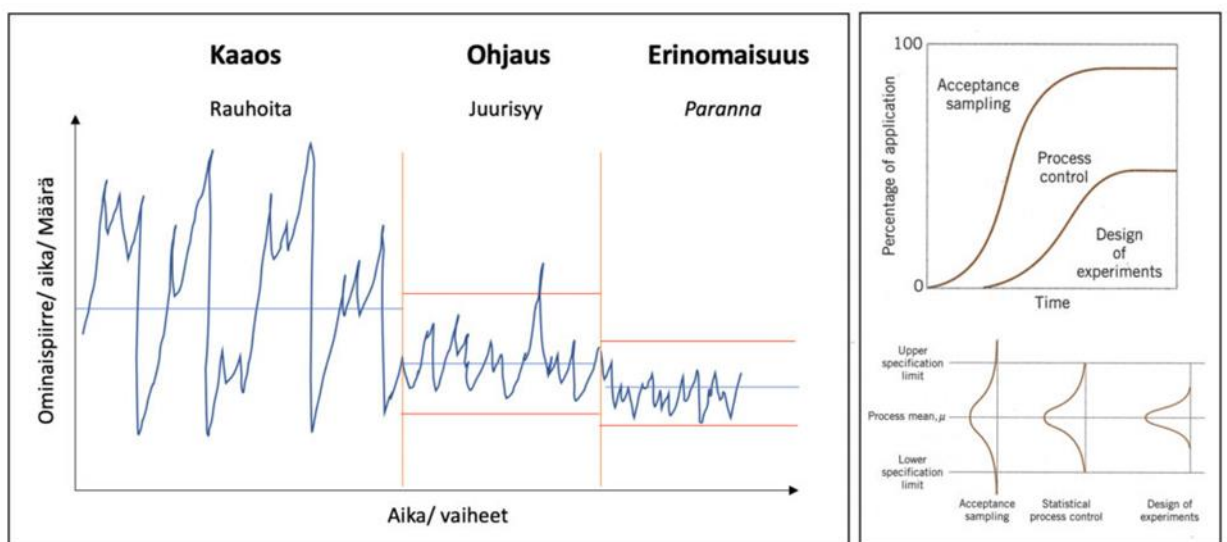
Syntyneiden raakaideoiden arviointi olisi voitu suorittaa kokemusperäisesti tai kokonaan käytännön toimintaympäristössä maastossa kokeiluluonteisesti. Tässä kehitystyössä ajan käytön rajallisuuden vuoksi keskityttiin ideoita muodostettaessa virtuaalisesti muutamaan todennäköiseen, vaikuttavaan tekijään eli inputtiin. Prosessissa oletettiin muodostuvan kullekin tekijälle seuraus eli output. Tutkimusaineistoon kirjatun noin 10 000 idean saanto johti tässä hankkeessa vain yhdeksään toteutusideaan, joita myöhemmin käsiteltiin löydöksinä.

Arvioinnissa, eli virtuaalisessa testauksessa sovellettiin tietokoneavusteisen Six Sigma -ohjelmiston toimintaperiaatetta. Diplomi-insinööri Eero E. Karjalaisen jatkokehittämän Six Sigma tietokoneavusteisen ohjelmiston toimintaperiaatteen mukaisesti voidaan arvioida ideoiden kehityskelpoisuutta (Karjalainen 2022,1).

Lean Six Sigma -ohjelmisto Six Sigmasta on jatkokehitetty versio muutoksen ja liiketoiminnan parannusmenetelmäksi. Ohjelmisto soveltuu käytännössä minkä tahansa mitattavissa olevien lähtötietojen varassa tapahtuvaan kehittämiseen. Ohjelmiston tuottamat ideat perustuvat lähtötietojen vaihteluun ja muutosten aiheuttamiin havaintoihin lopputulemassa eli seurauksissa. (Karjalainen 2022, 1.)

Lean Six Sigman tärkein toimintaperiaate kohdistuu alkuvaiheessa menetelmän eli prosessin toimivuuden parantamiseen. Vasta kun prosessi on tavoitteen mukaisessa kunnossa, on aika kehittää työkaluja ja teknologiaa. Tuotanto toteutetaan työkaluilla ja niiden oikealla käytöllä. (Piirainen 2022,1.)

Vaikka Lean Six Sigma perustuu hyvien ja toimivien ideoiden jatkokehittämistapaan, myös toimimattomat ideat poissuljetaan jatkokehittämisvaiheesta samalla menetelmällä. Loogisella henkilöiden suorittamalla päättelyllä ja arviointityökaluilla suljetaan pois tekijöitä tai syitä, joita ei kannata jatkokehittää (Karjalainen 2022, 2). Kuviossa 5 on esitetty päättilanteet eri kehittämissivaiheista ja lopputavoitteen toteutuksen suoriutumiskyvystä.



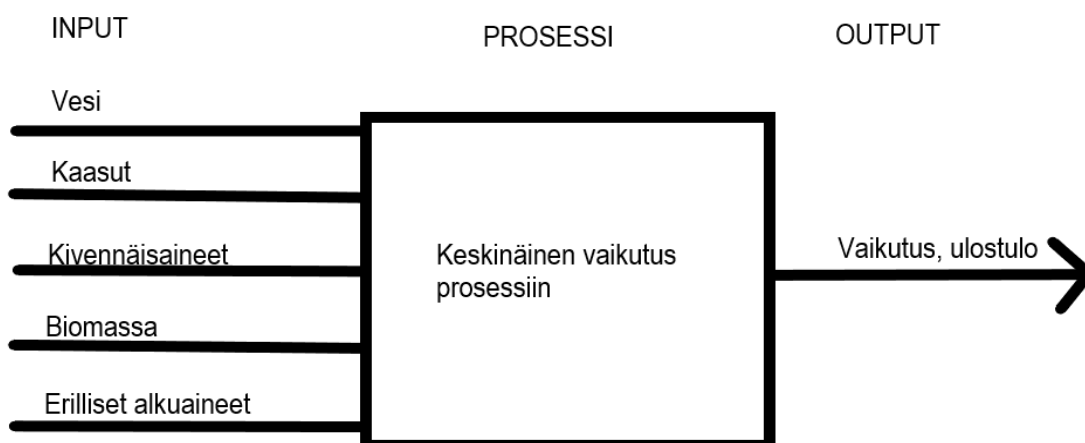
Kuvio 5. Prosessin tai organisaation periaatteelliset kehittämisen vaiheet suoriutuskyvyn kasvattamisessa kaaoksesta ohjaukseen (Piirainen 2022,1).

Kuvion viisi oikealla puolella oleva esitys on Professori D.C. Montgomeryn kuvaus samasta aiheesta, jossa hän on sitonut työkalut prosessinkehittämisen vaiheisiin (Montgomery 2019,16). Vaihtelun määrä ilmaisee vaikutuksia.

Ravinteita eli vettä, mineraaleja, biomassaa voidaan mallinnuksessa käyttää tunnettuina ja määriteltävissä olevina *säätötekijöinä*. Niiden vaikutus kasvualustassa perustuu kuitenkin kasvualustassa vallitseviin *ohjaustekijöihin* eli partikkelikokoon, murukokoon ja onkaloiden määriin. Säätö- ja ohjaustekijät mallinnettiin käytännössä yksitellen. Koska variaatioita oli suuri määrä, jouduttiin riittävän optimaalisen lopputuloksen tavoittelussa käyttämään apuna tilastomatematiikkaa ja todennäköisyysmalleja.

Kehittämisprosessissa säätötekijät ja niihin merkittävimmät vaikuttavat olosuhdetekijät määriteltiin ensin. Suoritettiin tarvittava määrä kokeita ja tehtiin mahdollisimman oikeat tulkinnat mittaustuloksista. Teoriamallinnuksessa tulokset koostuivat laskentatuloksista. Tuloslöydöksiä verrattiin parhaiksi tiedettyihin puiden kasvuolosuhteisiin.

Epästabiili tai jopa kaaos saavutetaan sattumanvaraisilla yhdistelmillä. Säätötekijöillä ja olosuhdetekijöillä haetaan säädettävyyttä, jolloin prosessin lopputulos on hallittavissa (kuvio 6). Kun prosessi on saatu ohjautuvaksi, voidaan edetä tekniikan ja työkalujen kehittämiseen. (Piirainen 2022,1.)

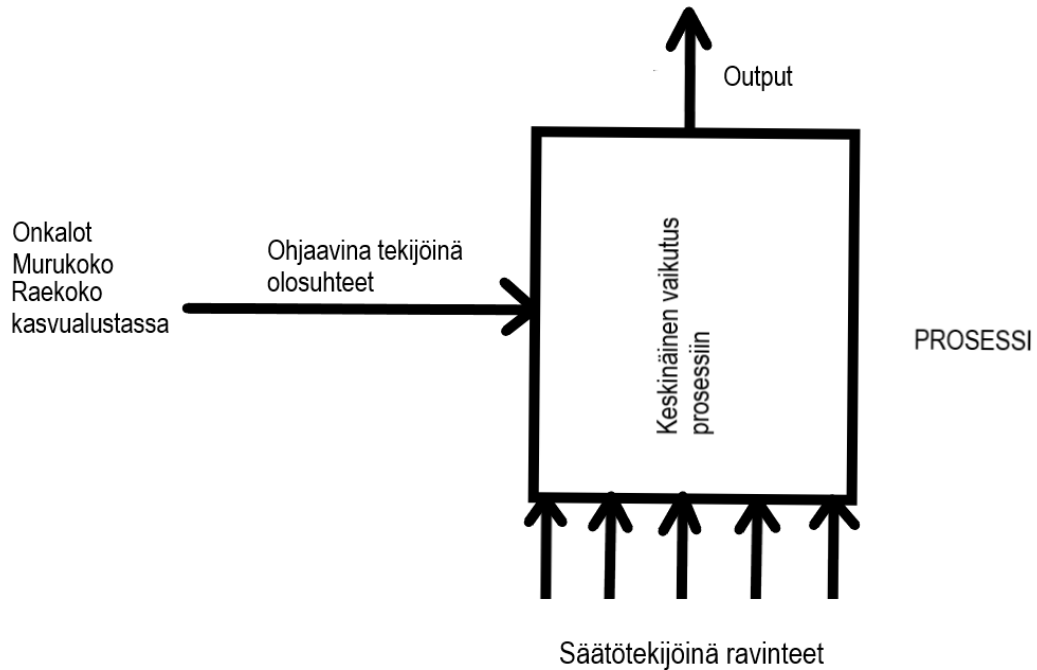


Kuvio 6. Sisään menevillä ravinteilla ja niihin vaikuttavilla ohjaavilla olosuhdekijöillä on keskinäisiä vaikutuksia prosessiin ja sen ulostuloon.

Kehitystyön virtuaalisessa testausvaiheessa perusasioista oli lähdettävä liikkeelle. Sisään menoon aseteltiin yksi karkeasti luokiteltu vaikuttava *ravinnetekijä* kerrallaan ja määriteltiin vaikuttava *olosuhde* ainakin karkealla tasolla. Jotta todennäköinen vaikutus pystyttiin kuvaamaan sanallisesti ja ulostulo arvioimaan ennakkoon, käytettiin kokemusperäistä harkintaa. Hyvä alkuarvaus oli aluksi 50 % määrä. Kun valittua suureen kokoluokkaa arvioitiin, muutettiin arvioinnin perusteella lukuarvo oikean suuntaiseksi. Alussa määriä ei vielä tunnettu riittäväncään tarkasti.

Käytännössä veden todellinen määrä selvisi ottamalla punnitusvaakaan täysin kuivaa kiintoainetta ja lisäämällä siihen vettä. Kun saavutettiin normaali eli kasvulosuhteissa vallitseva hyväksi tiedetty maakosteus, oltiin oikeassa vesimäärän suuruusluokassa.

Seuraavassa vaiheessa määriteltiin veden tavoin kivennäisaineet, biomassa, kaasujen vertaus ja muodostuminen sekä erillisten alkuaineravinteiden lisätarve. Ensimmäinen kehittämisvaihe oli valmis, kun oli määritelty kaikki inputit karkealla tasolla. Kun vaikuttavat tekijät oli määritelty ja niille aseteltu muuttuvat arvot portaittain, oltiin lähellä kasvualustan perusolosuhteiden säätämistä (kuvio 7).



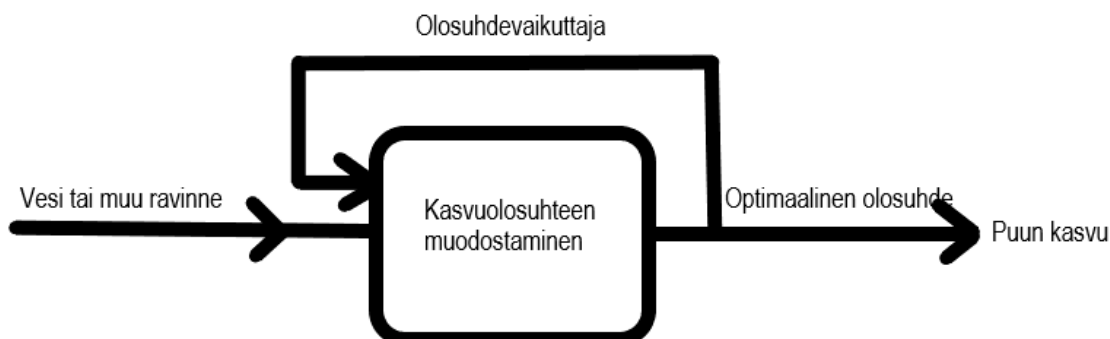
Kuvio 7. Sisään menevillä säätötekijöillä eli ravinteilla on keskinäinen vaikutus myös muokattavissa oleviin ohjaaviin tekijöihin eli olosuhteisiin kasvualustassa.

Kehittämisvaihe -esimerkissä olosuhteiden perustiedosta tiedettiin veden määrään kasvualustassa vaikuttavan kasvualustan tiiveyden eli rakeisuuden, murukoon ja onkaloiden määrän. Näille oli siis määriteltävä arvot 0–100 % välillä.

Prosessimallinnuksessa ensin saadaan kaaos ja sitten seuraa merkittävimpien säädettävien arvojen valinta. Kun säätötekijät on löydetty, voidaan prosessi ohjata hallittavaan tilaan. Säätötekijöiden määrittely siis alkaa kunkin säätötekijän numeraaliseen muotoon saattamisella ja portaiden määrittämisellä esimerkiksi 10 % tarkkuudella. Tarkkuutta parannetaan sisäänmenotekijöiden kohdalla, jotta päästään säätötilaan.

Tässä kehitystyössä ei voitu toteuttaa vuosia kestävästä kenttätyöstä kokeilemalla ohjaustekijöiden vaikutuksia luontaisissa olosuhteissa. Kehitystyön tuloksina tavoiteltiin tietoja vaikuttavista tekijöistä ja niiden soveltamista vaikeiden kasvupaikkojen olosuhteisiin. Käytännössä mallinnukset tehtiin teoriamalleilla. Mallinnuksessa hyödynnettiin optimaaliseksi tiedetyn vaikean kasvupaikan olosuhteetietämystä.

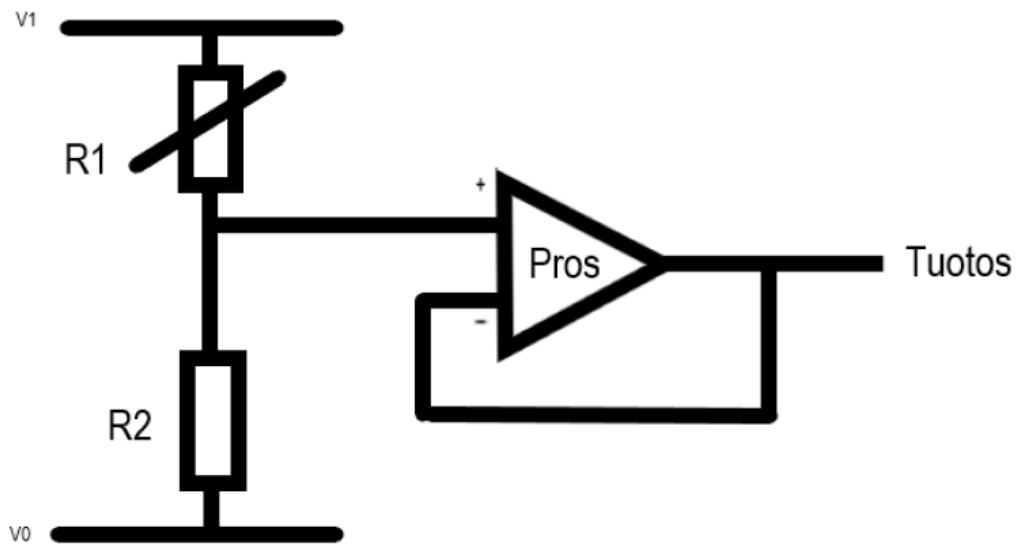
Teoriamallissa (kuvio 8) pystytään testaamaan veden kulkeutumista perinteisellä vaimennetulla prosessilla, joka sisältää olosuhdetakaisinkytkennän eli olosuhteen säätämisen. Kuvion mukaisessa testausvaiheessa olosuhdetekijöinä oletetaan olevan kasvualustan murukoon, partikkelikoon ja onkaloiden.



Kuvio 8. Veden vaikutuksen säätäminen teoreettisessa olosuhdeympäristössä puun hyvän kasvupaikan muodostamiseksi.

Olosuhdetekijänä on käytännössä myös veden sadanta sekä pohjaveden pinnan korkeus. Raja-arvona käytetään kivennäismaan rakeisuudelle 0,06 mm raehalkaisijakokoa. Tuon raja-arvon alapuolella maa pidättää vettä ja raja-alueen yläpuolella vesi kulkee maa-aineksen läpi. (Moilanen & ym.1988, 81.)

Yleisellä säätökaavioperiaatteella kuvatussa (kuvio 9) yksinkertaistetussa ravinesäätötapauksessa R2 edustaa kiinteää ravinnemäärää ja R1 lisättävää tai vähennettävää ravinnemäärää. Prosessi eli olosuhdetekijät yhdessä muodostavat tuotoksen halutuksi R1 säätöjen mukaisesti. Tuotos kuvaa oppimallista ravinnetasapainoa ja olosuhdetta puun kasvualustassa.



Kuvio 9. Tuotoksen säätöprosessi kahden ravinnetekijän avulla.

Ideointityössä käytettiin kirjallisessa mallinnuksessa myös teollisuusosoikeus -suo-
jauksesta eli patentointihakemuksista tunnettua yleistä kehittämismenetelmää
(liite 3). Teollisuussuojaushakemusvaiheessa, sen kehittämismenetelmässä ai-
healue kuvattiin piirroksin ja tekstein aluksi tunnetun menetelmän ja teknologia
avulla. Uudistetun menetelmän mukaisesti esitettiin parannusehdotus, jossa
suojattavasta menetelmästä laadittiin parannettu sanallinen ja piirroksellinen ku-
vaus. Kuvauksen perusteella ko. alan ammattilainen pystyy muodostamaan to-
dellisuuskuvan kehitettävästä menetelmästä tai teknologiasta.

Menetelmän lopputuloksen aikaansaaminen käytännön toteutustasolle, edellytti
riittävää prosessin työvaiheiden kuvausta ja ideointia. Kehittämisen teknologia-
vaiheen aikaansaannos ja kuvaus syntyi 92:n kuvan muodostaman tekniikka- ja
työvaiheen toteutuksen esittämisellä (liite 2).

Valokuvista, kenttätöistä ja niistä tehdyistä dokumenteista saatuja kokemuksia
hyödynnettiin taustaselvityksissä ja mainituissa teoriamallinnuksissa. Kehittä-
misaihiot ja -ideat sekä haastattelun ja kyselytutkimuksen kautta kehitetyn me-
netelmän mahdollisesta soveltamisesta metsän uudistamiseen, selvitettiin kuva-
tulla tavalla ennakkoon. Metsäalan ammattilaisilta saadut ennakoarviot

hyödynnettävyydestä muodostivat positiivisen kuvan mahdollisesta kokonaisinnovaatiosta metsänuudistamiseen.

Kehittämistyön prosessi alkoi valmistelutöistä, ideointityöstä ja väliarvioinneista. Kenttätyöstä ja siitä muodostetuista kehittämisaihioista tehdyistä dokumenteista saatuja kokemuksia hyödynnettiin varsinaisessa menetelmän ja teknologian kehittämisesä. Tässä työelämän kehittämistehtävässä ohjelmistojen toimintatapa ja teollisuusoikeussuojauksista tuttu menettely oli ideoinnin kirjallisen ilmaisun taustalla merkittävänä vaikuttajana.

4.6 Kysely- ja haastattelu

Kyselyaineiston hankinta toteutettiin joko henkilötapaamisena, videoneuvotteluna tai puhelimitse. Kontakteja saatiin 24. Henkilöihin kohdistuneella 24 erillisellä aktiviteetillä myös pienet signaalit voitiin erikseen huomioida. Kaikessa keskustelussa on myös siemen uusille ideoille tai havainnoille.

Kyselyllä (liite 1) selvitettiin nykyisten metsänuudistamismenetelmien soveltuvuutta ja myös riittävyttä mm. maanmuokkauksen, ravinteikkuuden ja vesitalouden osalta. Pienaukkoisuuden aiheuttajana hakkuu-urien pienentämismahdollisuus selvitettiin ja aukkojen määrän pienentämismahdollista havainnollistettiin. Kohderyhmänä oli metsäalan käytännön toimijoita, toimialan valvoja ja toimialan kehittämisestä vastaavia yhteisöjä. Henkilökohtaisia kyselyjä toteutettiin 12. Kyselyssä oli mukana metsäalan toimijoita metsäkonealan, metsätalouden harjoittajina toimivia yrittäjiä, Metsäkeskuksen ja Metsähoitoyhdistysten toimihenkilöitä.

Lisätarkennusten saamiseksi erillisellä haastattelulla selvitettiin asennetta alan kehitystyöhön ja kehittämistarpeiden yleisyyttä. Myös haastattelu suoritettiin henkilökohtaisesti, videoneuvotteluna tai puhelimitse.

Haastattelulla (liite1) tiedusteltiin toimialan nykyisten toimintatapojen tarpeellisuutta sekä soveltuvuutta nyt ja lähitulevaisuudessa. Tähtäimessä olivat tulevaisuudessa eli 5–10 vuoden päästä vallitsevat olosuhteet.

Selvitettiin mahdollisuutta käyttää ajouria kasvukierron ja metsänuudistamisen nopeuttamisessa. Tiedusteltiin tarvetta parantaa ravinnepitoisuutta kehitettävien maan muokkaustapojen avulla. Hajakylvöperiaatteen rinnalle tiedusteltiin myös yksittäisiin puuyksilöihin kohdistuvaa ravinnepitoisuuden parantamistapaa. Haasteluissa oli mukana metsäalan toimihenkilöitä metsäalan yrityksistä, metsänhoitoyhdistyksistä ja Suomen Metsäkeskuksesta. Haastattelu toteutettiin 12 henkilölle.

5 Tulokset metsän kasvualustan ravinteikkuuden ohjaamiseen

5.1 Tuloslöydökset kirjallisuuslähteistä

Kehitystyön tulosaihioita ja löydöksiä havainnoitiin useista kehitystyön menetelmän eri vaiheesta. Tietoperustan uudelleen analysointi, kysely- ja haastattelu johtivat uusiin ideoihin. Kehittämisvaiheista saatujen tuloslöydösten avulla edettiin kohti tutkimustavoitetta eli metsä kasvualustan ravinteikkuuden säätämistä. Tuloslöydöksiä verrattiin aikaisempaan toimialan tietämykseen.

Metsää arvioidaan sillä perusteella miltä se katsojan silmissä näyttää. Opaskasvien menestymisen ja yleisyyden tarkastelualueella oletetaan kertovan alustan ravinnevarannoista. (Hotanen & ym. 2018, 38–39). Turvepohjaiset kasvatusalustat jaetaan rämeisiin ja korpiin. Kivennäismaihin lukeutuvat puolestaan lehdot, tuoreet ja kuivat kankaat. Löydöksenä panimme merkille, että metsän menestymisen kokonaisilmaisussa ei huomioida kasvualustan tarkempaa mineraalirakennetta kasvuolosuhteiden ilmaisutapaa tarkemmin. (Rantala & ym. 2018, 115 ja 121).

Ravinteikkuutta tutkitaan neulasnäytteistä, visuaalisesti pintakerrosten mururakenteesta, kivennäislajikkeiden raekoosta ja niistä saaduista laboratorioissa tehdyistä ravinneanalyyseistä. Löydöksenä huomioimme, että kasvupaikkakoh- taista ja puun kasvuiän kokoaikaista ravinne-ennustetta ei suoriteta metsänuudistamisvaiheessa (Rantala & ym. 2018, 121).

Hakkuu- ja ajouran tuoma lisäävä valoisuusvaikutus ei kata ajouraa vastaavaa menetystä alueen vierimetsän puuston kannalta (Kukkonen & ym. 2014, 80). Löydöksenä huomioimme, että reunametsän lisääntynyt valoisuusalue, joka on 1–2 m pohjoispuolella ja 0,5–1,5 m eteläpuolella, jätetään lähes huomioimatta metsätaloudessa (Kukkonen & Kukkonen 2014, 85–89).

Hakkuu- ja ajouran hakatulta puustolta käyttämättä jäänyt ja vapautunut ravinteita sisältävä biomassa ei siirry laajasti vierimetsän puuston käyttöön. Löydöksenä huomioimme, että reunametsän ravinteiden lisääntymisen vaikutusalue on 1,0–1,5 m (Kukkonen & Kukkonen 2014, 85–89).

Hakkuu- ja ajourien pienaukoiksi muodostama alue on levinnyt 60-luvun 3,4 m:stä 5,5 m:n 2010-luvulle mentäessä. Uraväli on vastaavasti muuttunut 15 m:stä 20 m:iin suurentuneen metsätyökonekannan vuoksi. Löydöksenä huomioimme, että hakkuu-uraleveys tavoite on edelleen 2020-luvulla 4,0–4,5 m ja ajouraväli on 20 m (Äijälä & ym. 2014, 149).

Metsän kasvu on voimakkainta harventamattomissa ja käsittelemättömissä metsissä kokonaistilavuuskasvua ajatelle runkoluvun määrän vuoksi. Kokonaiskasvu pienenee, kun hyödynnettävissä oleva runko- ja kuitupuiden runkolukumäärä pienenee. Löydöksenä huomioitiin, että hiilensidonta on voimakkainta harventamattomissa metsissä ravinnerajoittumiseen ja latvusten sulkeutumiseen saakka. (Luoranen & ym. 2020 68).

Hiilensidontakauppaa metsien avulla ei juurikaan vielä käydä, vaan yhteiskunta pakottaa metsäinvestoijat hiilensidontaan. Löydöksenä huomioitiin, että hiilensidontaa ei ole uskottavasti kaupallistettu metsäinvestoinnin ja myytävien

hiilitonnien kannalta. Hiilensidonnan oheistuotekauppa kuitu- ja tukkipuun, kunnan ja polttopuun rinnalta puuttuu. Metsätoimialan päästökauppaa kaivataan. (Luoranen & ym. 2020 32–33).

Metsänuudistamistyöohjeissa kääntö- ja laikkumätästyksessä maan käsittelysyvyys kivennäismaalla on n. 0,2 m. Löydöksenä huomioitiin, että maalajin tiivyyttä, rakennetta, ravinteikkuutta ei huomioida riittävästi kasvualustan käsittelysyvyudessa. (Kukkonen & Kukkonen 2014, 32–33).

Kääntö- ja laikku -mätästysohjeistuksessa suositetaan taimenistutusta käännettyyn kummiteräkselle ilman ylimääräisen kosteuden johtamista sadevesinä kasvukohdasta maakerrosten alle ja vastaavasti maakerroksista kunnan läpi istutetulle taimelle. Löydöksenä huomioitiin ohjeistus, joka johtaa istutetun puun hyödyntämään alkuvaiheessa vain sadevettä, kunnes juuristo porautuu suoraan kivennäismaahan. Taimi usein kärsii toteutetulla järjestelyllä kuivuudesta. (Kukkonen & ym. 2014, 32–33).

5.2 Tuloslöydökset kysely- ja haastatteluvaiheesta

Metsänuudistamistyössä pitäydytään metsänkäsittelyohjeissa. Metsänkäsittely- ja uudistamistyössä laadun ylläpito ei mahdollista improvisointia puun kasvu- paikkakohtaisesti. Löydöksenä huomioitiin, että aliurakointi on vain sarjatuotantona mahdollista ja työtaksoilla pystytään kilpailuttamaan tehokkaasti nykyisen konekannan puitteissa.

Metsänuudistamistyössä ei ole käytännön tasolla ollut järjestelmiä, joilla pienet metsälöt voitaisiin tarkastaa metsänuudistamisvelvoitteen täyttymisen osalta etänä reaaliaikaisesti. Löydöksenä huomioitiin, että metsänuudistamisvelvoitteen voi tarkastaa muutaman vuoden viiveellä julkisista metsätietojärjestelmistä, satelliittikuvauksilla tai käymällä välittömästi paikan päällä.

Metsän kasvatusalan pientymistä ei ole huomioitu hakkuu- ja ajokoneiden toimintatavan vuoksi aiheuttamien, alle 0,3 ha pienaukkojen osalta. Löydöksenä huomioitiin, että todellinen puuston kasvatusala pienenee, mutta se ei näy lisääntyneen globaalien metsänkasvun vuoksi metsätilaston kokonaispuumäärissä.

Metsäalan sisältä nousee vähän innovaatioita mahdollisuuksiin ja osaamisiin nähden. Löydöksenä huomioitiin, että soveltaminen ja työssä improvisointi on vähäistä.

Kehittämisalueen ongelmakentässä hyvillään kasvupaikoilla koneellinen metsänhoito edellyttää 4–7 m levyisiltä, 20 m ajovälein olevilta kulku-urilta puiden poistoa. Tuleville ajourillekin on metsän uudistamisen yhteydessä usein istutettu, kylvetty tai luontaisesti uudistunut puusto. Löydöksenä huomioitiin, että ajourat hakataan puustosta vapaaksi tai pienpuut ajetaan nurin keskenkasvuina. Puukohtainen investointihyöty jää saamatta.

Metsiköiden metsänhoidolliset tai muuten syntyneet pienaukot sekä nykyisin yhä suuremmilla metsäkoneilla suoritettavat metsänhoitotyöt vaativat kasvavissa määrin työkoneiden käyttöalaa. Löydöksenä huomioitiin, että viimeistään koneellisen harvennushakkuun yhteydessä kokonaisalasta 20–35 % puiden sijoitustilasta on vapaata alaa.

Koneellisen metsänhakkuun ja myös koneellisen metsänuudistuksen yhteydessä käytettävä konekanta on vuosien saatossa suurentunut. Kun aiemmin pyrittiin alle 4 m hakkuu- ja ajourakäytännössä, vierimetsän lisääntynyt tuotto likimäärin korvasi kasvutappion, joka syntyi ajouran alueen poisjäännistä metsänkasvatuksesta. Löydöksenä huomioitiin, että asia on jätetty vähälle huomiolle metsäkäsittelyn yhteydessä, arvioitaessa metsän todellista puumäärätuottoa.

60-luvulta alkaen ajourien väli on kasvanut, mutta ajourien leveys on samanaikaisesti lisääntynyt sarkoja kohden. Ajouriin, varastoalueisiin, metsäteihin ja niiden kääntopaikoille menevä metsänkasvatusalustan määrä on lisääntynyt. Löydöksenä huomioitiin, että vierimetsästä saatava lisähyöty ei aina korvaa

kasvutappiota puuntuotannossa. Aukkojen reunametsien lisääntynyt valoisuus ja luontainen ravinteiden vapautuminen eivät käytännössä mahdollista maan uudelleen metsittymistä.

Taulukossa 1 on tarkasteltu ajourien vaikutusta metsän kasvatusalan määrään. Ajourat ovat tarpeen metsäkoneiden työskentelyn kannalta, mutta vähentävät puiden kasvatusalueen maapinta-alaa.

Ajouran leveys, m	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
Ajouraväli, m	11,00	13,00	15,00	17,00	19,00	21,00
Ajourien pinta-ala, %	18,18	23,08	26,67	29,41	31,58	33,33
Ajourien pinta-ala, m ²	- 1 818	- 2 308	- 2 667	- 2 941	- 3 158	- 3 333
Ajouramäärä, 100 m	9,1	7,7	6,7	5,9	5,3	4,8
Ajouran vierimetsä hyöty -leveys, pohjoispuoli, m	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
Ajouran vierimetsähyöty -leveys, eteläpuoli, m	0,30	0,50	0,70	0,90	1,10	1,30
Pohjoispuolen hyötyvä vierimetsäala, m ²	909	923	933	941	947	952
Eteläpuolen hyötyvä vierimetsäala, m ²	273	385	467	529	579	619
Ajouran vierimetsähyöty -pinta-ala, yhteensä, m ²	1 182	1 308	1 400	1 471	1 526	1 571
Hyötyvä vierimetsäala, %	11,8	13,1	14,0	14,7	15,3	15,7
Metsän kasvatusalan muutos/metsäkato, m ²	- 636	-1 000	- 1 267	- 1 471	-1 632	- 1 762
Metsän kasvatusalan muutos/metsäkato, %	- 6,4	- 10,0	- 12,7	- 14,7	- 16,3	- 17,6

Taulukko 1. Hakkuu- ja ajourien vaikutus metsän kasvatusalaan 1 ha laskennallisella kasvatuskuviolla.

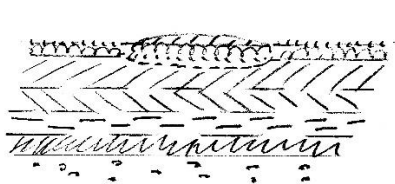
Käytännössä ylileveät hakkuu- ja ajourat, levenevät metsäautotiet sekä lansirakennusten ja lastausalueiden pienaukot aiheuttavat hyödynnettävän metsäalan vähentymistä. Löydöksenä huomioitiin, että Suomessa tästä ei käytetä metsäkato -ilmaisua vaan metsänkasvualan pienenemistä.

5.3 Tuloslöydösten jalostaminen ja ennakoarviointi

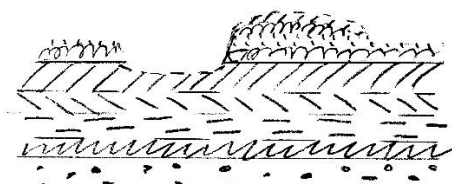
Metsän uudistaminen on tärkeä vaihe metsätaloudessa. Luontainen uudistaminen on edullisin toteuttaa, mutta se ei sovellu kaikkiin tapauksiin. Keinotekoisessa metsänuudistamisessa on myös etuja. Puulajivalinta, puun kasvuaihioiden jalostaminen, ravinteikkuuden ja lämpöolosuhteiden säätäminen on mahdollista, kun käytetään koneellisia uudistamismenetelmiä.

Käytetty, hyvien metsän hoitomenetelmien mukainen koko metsäkuviioon kohdistuva maanmuokkaus ei aina sovellu kaikkein tehokkaimmin kokonaiseksi kuvioksi merkitylle uudistamisalueille. Metsätalouden kannattavuuden parantamiseksi on painetta hakattavien metsäkuvioiden koon kasvattamiseen. Liian pienet metsäkuviot ja niihin perustuva hakkuusuunnittelu ei tuo mittakaavaetua metsätalouteen. Erillisten pienten metsäkuvioiden hyödyntäminen laskee koko tilakohtaista kannattavuutta.

Tavanomaisessa, tiivistetyissä laikku- ja kääntömätäissä ei huomioida maan pinnan alaisia syvemmillä sijaitsevia rakenteita (kuvio 9). Paakkutaimenen istutuskohta ulottuu humuskerrokseen. Pinta-aineksena oleva ohut kivennäismaakerros asetetaan torjumaan tukkimiehentäitä ja samalla se lisää kivennäisravinteita kasvukohtaan.



KÄÄNTÖMÄTÄS
PAIKALLAN
KÄÄNNETTY



LAIKUTUSMÄTÄS
SIVULLI
KÄÄNNETTY

Kuvio 9. Yleisimmät mätästystyypit kerroksellisessa maa-aineksessa.

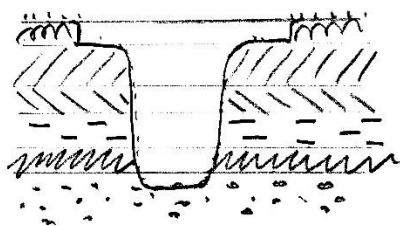
Hyvillä kasvupaikoilla kääntö- ja laikkumätästys tuottaa hyvää taimiainesta. Kuvan taimi (kuva 3) on kärsinyt kuitenkin viimeisimmän kasvukauden aikana kuivuudesta. Seuraava kasvukausi voi vielä pelastaa taimenen hyvään kasvuun.



Kuva 3. Luontaisesti onnistunut kasvuun lähtö kääntömättäässä. (Kuva: Jorma Komulainen)

Myös auraus tai syväauraus ovat hyviä maankäsittelymuotoja suoritettaessa luontaista tai kylvöön perustuvaa metsitystä kuivahkoilla kankailla. Auraus kuitenkin paljastaa maata useimmiten liikaa. Sadevedet ja aura siirtelevät biomassoja ja ravinteikasta maannosta ja huuhtoutumiskerrosta paikasta toiseen. Luontaisesta optimillisimmista kasvukohdista odotetaan nousevan taimiainesta uudistettavan metsän tuotannoksi.

Kasvatusalustan pintakerrosten maankäsittelyyn kohdistuvien menetelmien rinnalle on kehitetty kerrosten läpi ulottuva maankäsittelytapa (kuvio 10). Menetelmällä tavoitellaan maanesteiden, kaasujen ja maafaunan parempaa olosuhdetta hyödyntämään puiden kasvuaikaista toimintaa



ISTUTUSKUOPPA
LÄMPÖ
LÄMPÖ
MAA-AINESTEN
LÄMPÖ

Kuvio 10. Kasvatustila lajittuneiden maakerrosten kohdalla.

Bio- ja kivennäismaiden ravinteiden tehokasta käyttäytymistä ohjataan luontaisen prosessien avulla. Olosuhteiden parantamisella on positiivisia vaikutuksia lämpötalouteen, kaasujen ja nesteiden tasapainoitumiseen. Olosuhteiden järjestyksen vuoksi seurannaisvaikutuksilla on merkitystä ravinteiden syntyyn hapettumisen ja liukenemisen kautta.

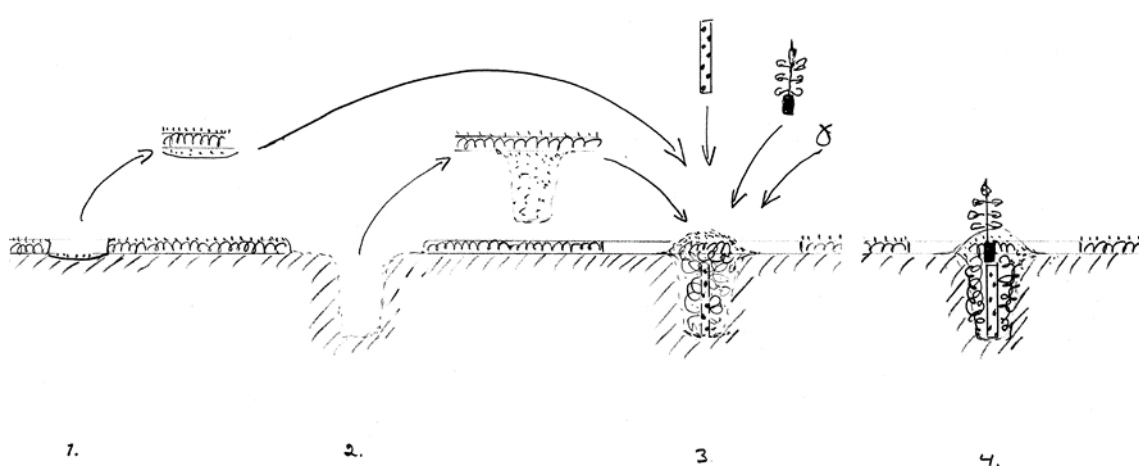
Opaskasvit ja maanpinnan korkeusasemamittaus ja dokumentaatio indikoivat senhetkisen kasvupaikan kasvuolosuhteita. Puukohtaista kasvualustan muokausmahdollisuutta tutkitaan ja käytetään vielä vähän. Metsävaratiedon keräys ja keräysteknologia on lähestymässä puukohtaisen datan indikointia. Kasvupaikan ravinteikkuutta, kosteus- ja lämpöolosuhteita arvioidaan aiempien metsittymis- ja kasvutulosten sekä alitajuntaisen ja kokemusperäisen yleisarvioinnin perusteella.

Muokkaamalla kunkin istutuskohdan soveltuvuutta pintamaakerroksia syvemältä ja vaikuttamalla ravinne- ja huokoisuustilanteeseen sekä vesitalouteen, voitaisiin vaikuttaa parhaimmillaan metsäkuvion kokoon, ainakin sen reuna-alueilla.

Perinteisen kompostoinnin periaatteet toimivat myös metsässä puun sijoituskohtissa. Biomassoja ja kivennäismaasekoitetta esi-prosessoidaan varsinaista kompostointiprosessia varten. Tarkoituksena on kierrättää metsäbiomassaa maanparannusaineeksi. Kompostoimalla ravinteet, maata muutetaan kasvien hyödyntämisen kannalta tuottoisammaksi.

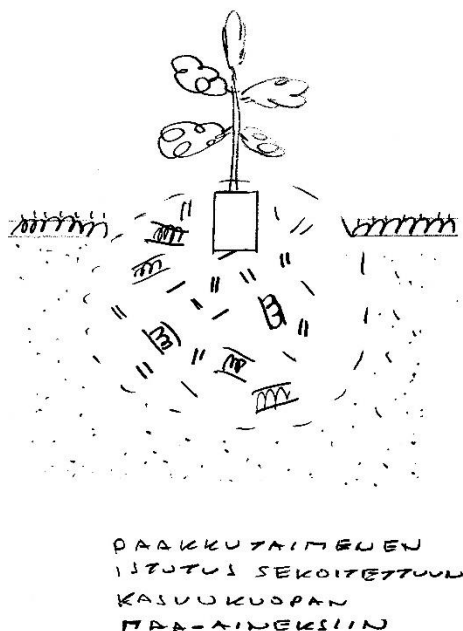
Luontaisen kompostointiprosessin käynnistäminen ei vaadi suuria muutoksia kasvualustassa. Sopiva biomassasekoite, kosteus-, lämpötila- ja kaasujen virtausolosuhteet riittävät. Mittauksiin perustuvaan turve- ja kivennäismaa-analyysiin kuitenkin turvaudutaan harvoin metsätaloudessa. Maataloudessa ravinne-analyysit ovat yleisiä. Maatalouden tarpeisiin on kehitetty maaskannereita ja visuaaliseen maamassan ravinneanalyysiin tähtääviä analysilaitteistoja.

Karun ja kerroksellisesti lajittuneen kasvupaikan sekoitetussa kasvualustassa toimittaessa, kehitetyn menetelmän avulla on voitu parantaa puun kasvualustan olosuhteita suotuisammaksi kuin ympäröivä maa-aines luonnostaan tarjoaisi (kuvio 11). Alueen opaskasvit voivat osoittaa maa-alueen olevan metsänkasvulle soveltumattoman. Kasvupaikan uudella järjestelyllä puuainekselle on luotavissa luontaista paremmat kasvuolosuhteet.



Kuvio 11. Sekoitettu mätästyyppi ja taimenen sijainti kasvualustassa.

Lähialueen ja kaivetun kasvukuopan ainekset on sekoitettu (kuvio 12) lämpöolosuhteiden ja ravinteiden pitempiaikaisen säätelyn vuoksi. Myös kaasut ja maanesteet virtaavat vapaammin ja luonnonmukaisesti tasoittuvat optimitilaansa paremmin kuin ilman lajittuneiden maa-ainesten sekoitusta.



Kuvio 12. Paakkutaimenen sijoitusolosuhde sekoitetussa istutusalustassa.

Nuorgamin tutkimusalueen pitkäaikaisessa, vaivais- eli tunturikoivun kasvupaikana olevassa mättäessä näkyy kasvupaikan rakenne (kuva 4). Kuivalla, karulla ja tiiviillä perusmaalla koivusukupolvien menestymismahdollisuus olisi ollut rajallinen ilman biomassasta koostuvaa mätäsrakennetta. Kukin puusukupolvi on tuonut oman biomassalisänsä kasvupaikkaan. Kasvupaikasta on muodostunut vieressä olevaa kasvualustaa parempi paikka kasvaa. Kasvupaikka on jalostunut luontaisesti sopivaksi paikalliselle koivulle. Vasta tunturimittarimato -populaatio pystyi tappamaan koivikon 2010-luvulla ja paikka joutui kesannolle.



Kuva 4. Tunturikoivikon luontainen kasvupaikan jalostumisen tulos Nuorgamissa. (Kuva: Jorma Komulainen)

Kasvualustan rakenteet (kuva 4) on esitetty alhaalta ylöspäin seuraavasti:

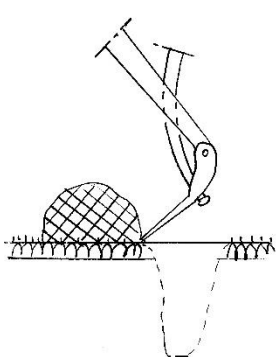
- kivennäismaakerros,
- huuhtoutumiskerros,
- maannos,
- maafauna,
- lahoava biomassakerros,
- kasvava biomassakerros.

Ravinteiden ja muiden kasvuun vaikuttavien tekijöiden yhteisvaikutus tuo puustolle kasvuedellytyksiä (kuva 5). Samoille paikoille myös heinä- ja lehtikasvit siirtyvät. Kasvupaikan ympäristön ollessa karuilla kasvupaikoilla koskematonta, niille ei silloin muodostu uutta, kilpailevaa kasvustoa kovinkaan herkästi tai liian varhain. Kasvatettava puu saa ravinteikkuuden käsittelyllä etumatkaa.

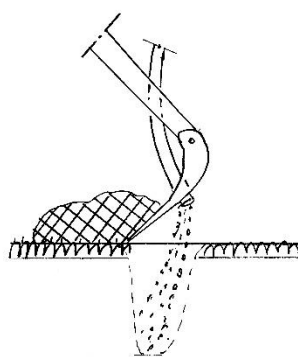


Kuva 5. Ravinteikkaassa kasvukerroksessa taimenen kasvu alkaa hyvin. Kuva: Jorma Komulainen)

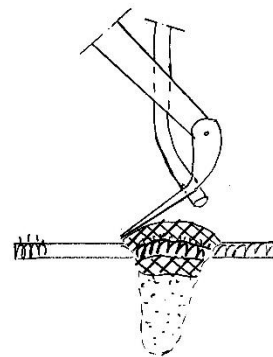
Kaivutapahtuma voidaan muuttaa myös kerroksittain tapahtuvaksi kasvukuopan valmistamiseksi (kuvio 13). Lisäjärjestelyllä tarvittavat ainekset, kuten biomassaa, maafauna ja eri laitteiset kivennäismaa-ainekset sekä muut lisätyt ravinteet voidaan syöttää kaivuterän läpi kasvukuopan eri kerroksiin lajiteltuna. Kasvupaikan huokoisuutta, ravinteita, kaasujen ja maanesteiden virtausolosuhteita voidaan näin saattaa kullekin kasvupaikalle halutuksi.



KAIVUKAUKA
KAIVAN JA
ESTÄN KAIVUAINEIKSIA
VALUDASTA
TAKAISIN



BIOSSA SYÖTEÄÄN
KAIVUKUOPPAAN
KAIVUKAUTTAAN LÄPI,
TARVITTAESSA
ERI KERROKSIIN



- KASVUKUOPPAAN
BIO- JA KIVENNÄI-
RAVITTEET SILOITETAAN
HALUTTUUN
KERROKSIIN.
- ANNOSTELUN JA
TASOITUSTEN AVULLA
KAIVUKAUKALLA

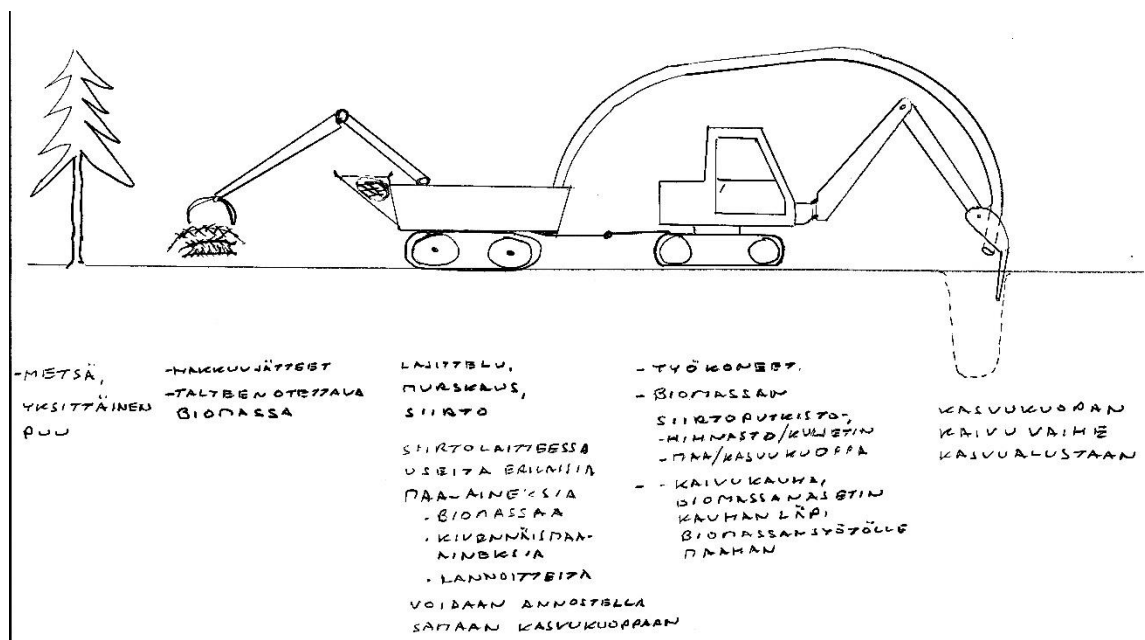
Kuvio 13. Maa-ainesten sekoitusmenetelmä kaivinkonetyöskentelyssä.

Männyn istutettu taimi saa nopeasti vierelleen kilpailevia kasveja rehevällä kasvualustalla, mikäli maata rikotaan laajemmalti kuin on tarpeen. Kuvassa on esitetty karulle, puuttomalle suolle tehty koejärjestely, jossa kivennäismaata ja turvetta on sekoitettu. Käsitellyn maakerroksen jo kolmen vuoden luontainen muuttuma- ja huuhtoutumisilmiö on muokannut maa-aineksia lisää (kuva 6). Paikalle on muodostunut puulle sopiva kasvualusta. Sama ilmiö toistuu metsäteiden varsilla, joissa kivennäismaa eli hiekka ja sora on sekoittunut eloperäiseen ainekseen siten, että lopputuloksena on mattomainen kuusen- tai männyn taimikko.



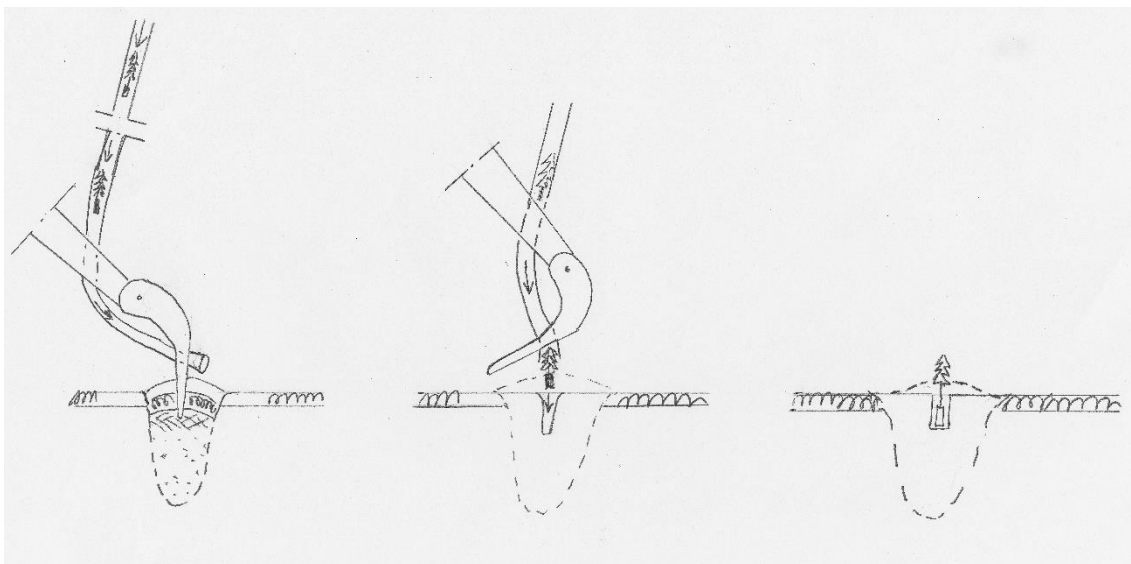
Kuva 6. Karun tai vesitaloudeltaan epäsuotuisan kasvupaikan muutoksen vaikutus. (Kuva: Jorma Komulainen)

Nykyisetkin ajokoneet voidaan varustaa lisälaitteilla, jotka mahdollistavat ravinteiden siirron samalta tai viereiseltä metsäkuviolta istutuspaikalle (kuvio 14). Toimenpide on mahdollista suorittaa metsän uudistamisen tai pienaukkojen tai metsänuudistamisen täydennyksen yhteydessä. Lisättävät bioainekset, kivennäisainekset tai niistä luontaisesti jalostuneet ravinteet voidaan lisätä kaivulaitteella haluttuun kohtaan, joko kaivulaitteen yläpuolelle tai alapuolelle.



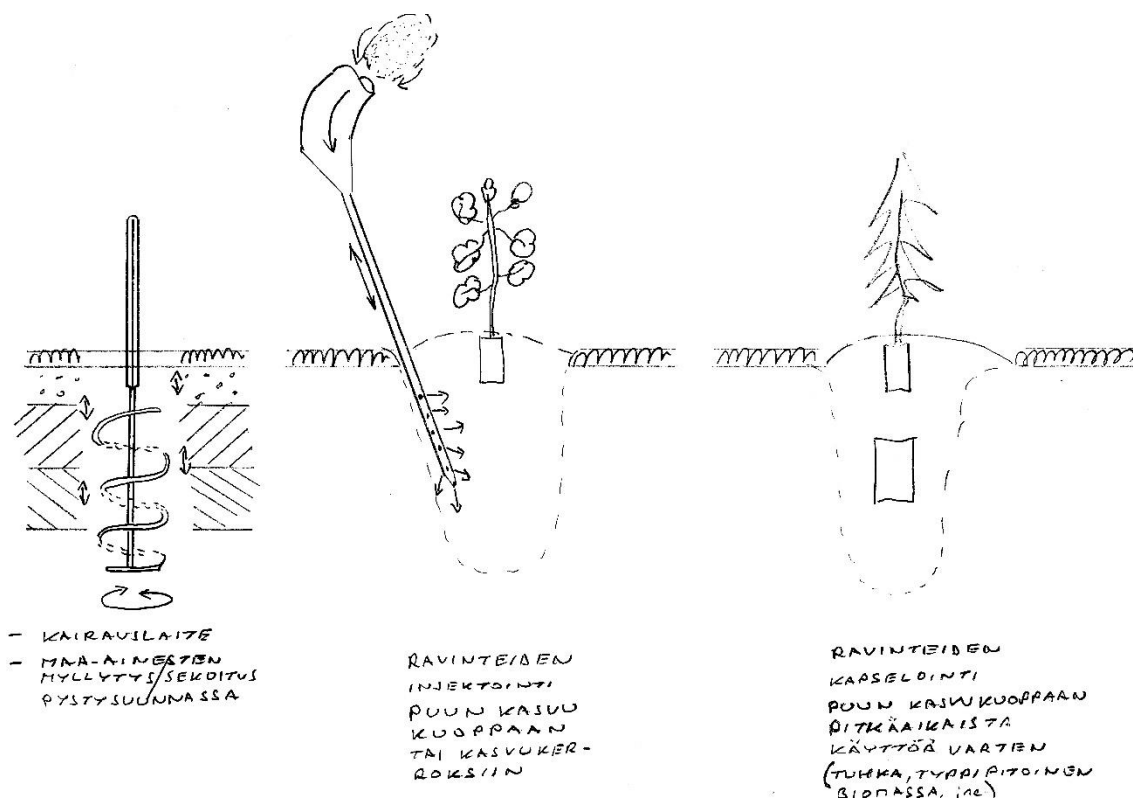
Kuvio 14. Maanmuokkaus ja biomassan ravinesiirtolaitteisto metsäkonekonseptissa.

Kasvukohtaa voidaan jalostaa karuilla kasvupaikoilla suotuisammaksi esimerkiksi kaivinkonetyönä ja samalla laitejärjestelmällä on mahdollista toteuttaa myös istutustapahtuma. Nykyinenkin konekanta soveltuu pienin muutoksin tähänkin työvaiheeseen (kuvio 15).



Kuvio 15. Metsätaimenen kasvukohdan jalostus ja automaattinen istutus.

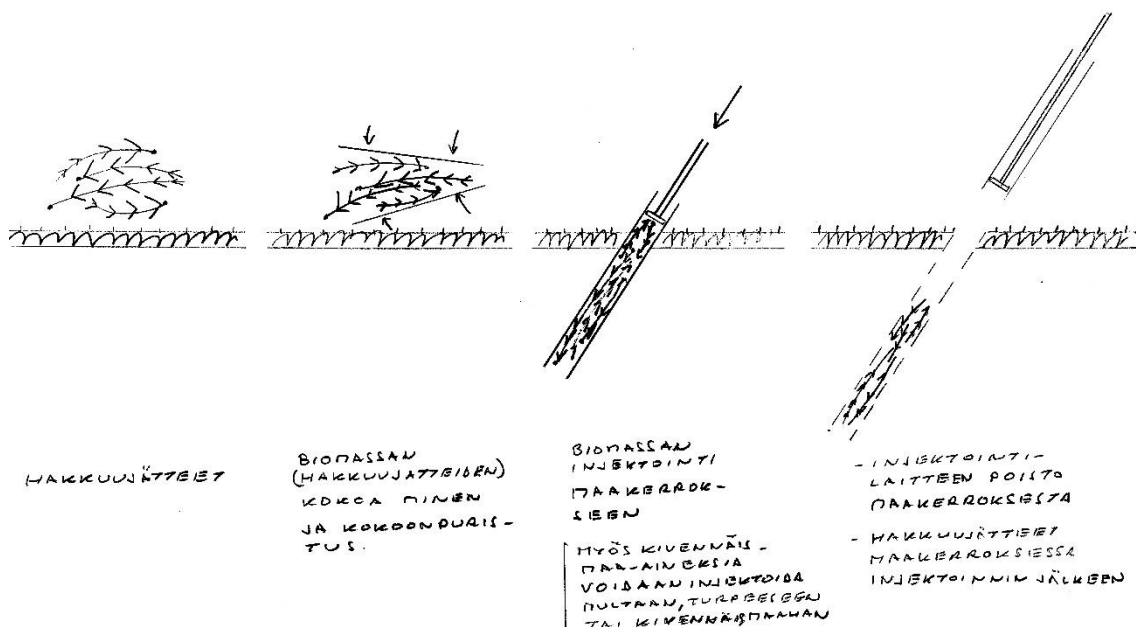
Ravinteita voidaan sekoittamalla muodostaa paikallisista bio- ja kivennäismaa-aineuksista. Pyörittämällä saatu keskipakovoima asettelee raskaimmat partikkelit reunoille ja kevyemmät keskelle (kuvio 16). Näin voidaan lajitella mieleisiä maajajitteita myös pystysuuntaisiin jakeisiin. Ravinnesiirrokset hyötyvät tästä kaasujen, nesteiden ja maafaunan osalta erittäin tiiviiden kivennäismaiden kasvualustoilla. Tiiviit ja erittäin hienojakoiset kivennäismaat estävät mm. nesteiden virtauksen alhaalta ylös ja ylhäältä alas. Sekoittamisella voidaan tämä estovaikutus eliminoida.



Kuvio 16. Ravinteita voidaan sekoittaa, lisäinjektoida tai asettaa kapselina puun kasvatusalustaan.

Biomassan sekoitusmenetelmällä ja -teknologialla voidaan maakerrokseen lisätä myös metsän kasvun kannalta ylimääräistäkin hiiltä sisältävää biomassaa. Hiilen maaperään varastointimenettelyllä, vaikka kasvien istutuskohdille tai erikseen muista syistä järjestetyille varastointipaikoille, voidaan vähentää ilmakehään siirtyvää kasviuonekaasujen tuotantoa.

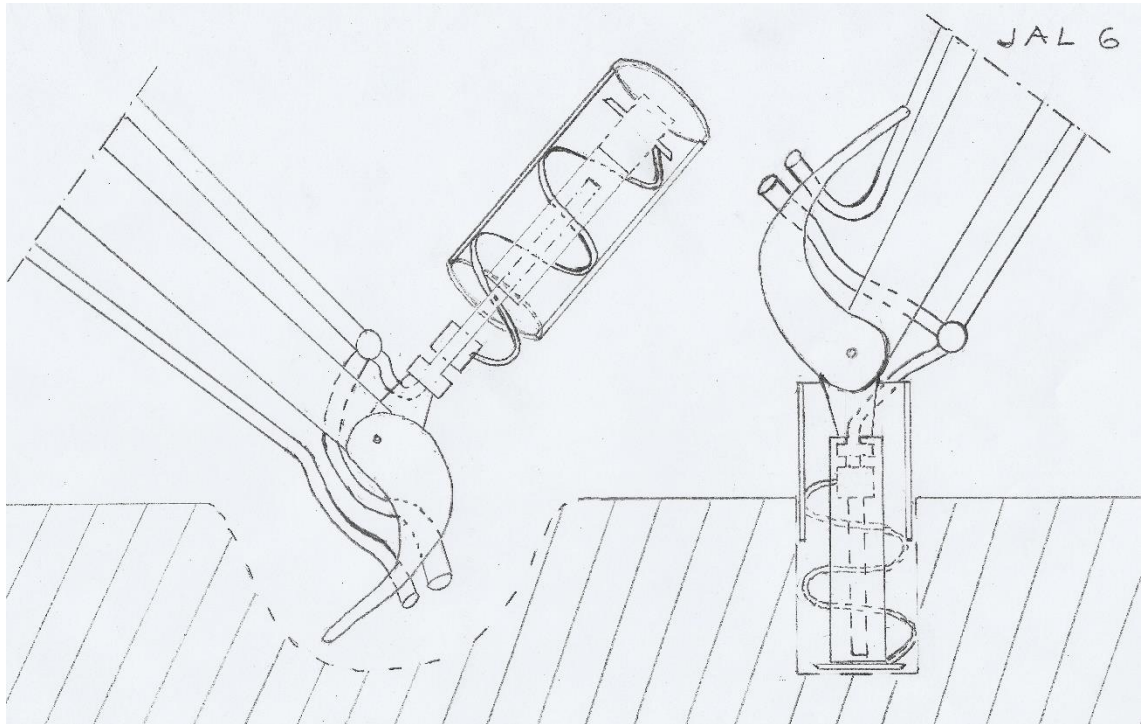
Myös injektointi- ja kapselointitekniikalla voidaan muodostaa ja siirtää muualta saatavia ravinteita haluttuun kohtaan puun juuriston kasvatusalaan tai muualle maan kerrokseen (kuvio 17). Maaperään injektoidun hiilen varastointimenettelyllä voidaan säädellä metsäalueiden kasviuonekaasujen muodostumista ilmakehään. Yksittäiset puut ja metsän koko biodiversiteetti hyötyy maan hiilivarastosta ja ilmakehän hiilidioksidista kasvukierron aikana.



Kuvio 17. Biomassan injektointiperiaate.

Hakkuualueilla ja puiden kasvualustan hyödyntämättömillä alueilla on tunnetusti biomassaa. Maan pinnalla nykyisin vapaana sijaitseva biomassa olisi paremmin hyödynnettävissä mineraalipitoisten maakerrosten alla. Keräys-, murskaus- tai puristustekniikkaa hyödyntäen biomassaa on injektoitavissa kasvualustaan ilman varsinaista kaivutoimenpidettä. Tällä on useita muitakin hyötyjä puun ravinnesaannon lisäksi. Maan pinnan kasvustoa ei tarvitse välttämättä poistaa tai maanpintaa rikkoa laajasti injektointikohdan alueelta. Pintamaakerroksen kohoama tietenkin nostaa maan pintaa injektoitua tilavuutta ja massaa vastaavasti. Tämä yleensä parantaa kasvillisuuden ja maafaunan lisääntymisolosuhteita.

Maansiirto-, työstö- ja kaivulaitteita sekä poraustekniikoita voi myös yhdistellä erilaisiin ravinne- ja maa-ainesten sekä taimien istutusjärjestelmiin (kuvio 18). Teknologian monimutkaistuessa myös laitteiston valmistus- ja käyttökustannukset kasvavat. Järeän tekniikan avulla voidaan kasvatusalustaa käsitellä myös siten, että maa-ainesten ei sallita sortuvan tai kovia ja kiviäkin sisältäviä maa-aineksia voidaan käsitellä kohtuullisesti. Kaivuaikaista sortumista voidaan ehkäistä esimerkiksi liikuteltavan holkin avulla.



Kuvio 18. Kaivu- ja porauslaite yhdistettynä ravinne- ja muiden materiaalien käsittelyjärjestelmiin.

Tässä kehittämistehtävässä kehitettiin uusi menetelmä ja teknologia metsän kasvatusalustan kasvuolosuhteiden ja ravinteikkuuden parantamiseen. Kasvuolosuhteiden paraneminen johtaa parempaan ja määrältään suurempaan puun kasvuun. Paikallisen ja siirrettävän ravinnevarannon käyttöönotto ja lisäävät ainekset ovat toteutettavissa sinällään muilta toimialoilta tunnetuilla menetelmillä.

5.4 Tulosten jakaminen menetelmiin ja teknologioihin

Kehitystapaa voidaan kehittää menetelmällisesti hyödyntäen soveltuvia teknologisia ratkaisuja. Tulokset voidaan ryhmitellä seuraaviin menetelmiin ja teknologia-alueisiin:

Tulos 1. Ravinteita siirretään pystysuuntaisesti puun kasvukohdassa optimaaliseksi siten, että puun kasvuolosuhteet paranevat. Puun kasvuun

hyödynnettäväksi muodostettavia ravinteina käytetään luontaisesti paikalla olevia biomassoja tai siinä muodostettavia ravinnesekoitteita kivennäismaa-ainek-sien kanssa.

Tulos 2. Kasvupaikalle tuodaan ravinteita ja maa-aineksia kasvukohdan ulko-puolelta, jolloin kasvuolosuhteet paranevat. Ravinteita tuodaan puun kasvukoh-taan kasvupaikan ulkopuolelta sellaisenaan tai sekoitettuna, murskattuna tai la-jiteltuina.

Tulos 3. Ravinnesiirron periaatteellinen menetelmä ei vaadi kokonaan uusien, ennalta tuntemattomien teknisten laitteiden kehittämistä. Yleisesti jollain muulla toimialalla käytössä olevien laitteiden toimintaperiaatteita ja järjestelmiä yhdis-tellään uudella tavalla, jotta syntyy toimiva laitteisto uuteen käyttötarkoitukseen. Ravinteita voidaan siirtää murskattuina, kapseloituina, lajiteltuina puhaltamalla ja imemällä kanavistoja ja putkia pitkin. Järjestelmä siirtää muualta puun kasvu-paikalle tai tuo muualta paikalle aineksia säiliöiden tai avonaisten siirtovälinei-den avulla.

Tulos 4. Puun kasvukohdan maa-alustan yksilökohtaisen maan muokkausta-pahtuman jälkeinen ja myöhemmin luontaisesti jatkuva prosessi tuottaa perinteisi-ä menetelmiä paremman kasvupaikan. Lämpöolosuhteet, kaasujen ja nestei-den virtaaminen, mineraalien muodostuminen, juurten kasvutilan muodostumi-nen sekä tuuli- ja lumikuorman kestävyys paranee. Maafaunaa, huuhtoutumisai-neksia tai maannoksia voidaan myös siirtää paikasta toiseen kunkin kasvukoh-dan tarpeiden mukaisesti.

Tulos 5. Tavoitteen toteutuminen oletetusti tuo myös yleisiä lisähyötyjä, kuten metsän lahoamaan pääsevien hakkuujätteiden tuottaman hiilidioksidipäästöjen tai muiden kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisen ilmakehään. Puun kasvualustaa voidaan käyttää lyhyeen- tai pitkäaikaiseen varastointiin ravinteiden osalta. Kasvupaikalla oleva puu käyttää varastoa ravinnelähteenä ja muut-taa massaa hiilidonnaiseksi puumassaksi juuristossa ja muissa kasvinosissa.

Tulos 6. Lisähyödyt voivat myös kasvattaa metsäinvestoinnin tuottoja, mikäli lisähyödyt ovat kaupallistettavissa. Kaupallisia oheishyötyjä voisivat olla mm. hiilidioksidia sisältävien biomassojen sitominen maaperään kehitetyllä ravinnesiirtomenetelmällä. Hakkuutähteet, maa-alueelta poistettava bioaines voidaan mitata ja hyödyntää kasvupaikan hiilensidontamielessä myytävänä tuotteena päästökauppamarkkinoilla.

Tulos 7. Ravinnesiirto toteutetaan kaivamalla, kairaamalla, sekoittamalla, injektioimalla, kuljettamalla, puhaltamalla tai imemällä. Laitteiston runkona ja ohjainlaitteena voidaan käyttää kaivinkoneita ja -traktoreita, metsänhakkuu- ja kuljetuskoneita. Koneisiin yhdistetään tarvittava lisäteknologia toteuttamaan ravinnesiirtomenetelmää kasvupaikalle ja kasvupaikalla.

Tulos 8. Maakerrosten ja sekoitteiden ravinteikkuutta sekä kasvuolosuhteita voidaan mitata jatkokehittävällä teknologialla.

Tulos 9. Puukohtainen paikkatieto ja kasvuolosuhdetiedot voidaan tallettaa järjestelmiin etäluettaviksi seurantaa ja jatkohyödyntämistä varten.

5.5 Menetelmä ja järjestelmä ravinnesiirron järjestelemiseksi

Lopputulena saatiin ravinteikkuuden parantamismenetelmä, jossa puun kasvupaikan kohta käsitellään maa-ainesten kannalta optimaalisesti, huomioiden istutettavan taimen tai kylvettävän siemenen kasvuun lähtö. Menetelmä tuottaa kasvualustan rakenteen, joka hyödyntää luontaista alkutilanteen ravinteikkuutta ja mahdollistaa kasvukohdan ravinnetuotoksen puun eri kasvuvaiheessa riittävämmällä tasolla verrattuna perinteiseen, satunnaiseen kasvupaikan olosuhteeseen.

Ravinnesiirtoteknologia mahdollistaa ravinnesiirron kasvupaikalla tai lähiympäristössä. Toteutettaessa ravinnekorjaus puun kannalta optimaalisesti, sillä

mahdollistetaan samalla biopohjaisen ja geologisen ravinneaineksen vapautuminen paremmin puun kasvutapahtuman käyttöön.

Menetelmäkuvaus ravinteikkuuden säätelystä metsitystilanteessa:

→ *Biomassaa sekoitetaan koneellisesti kivennäismaasekoitteeseen istutettavan tai kasvatettavan puun kohdalla, pintakerroksesta aina halutulle syvyydelle saakka ulottuen.*

Teknologia toimintaperiaate ravinteikkuuden säätämisessä metsitystilanteessa:

→ *Maansiirto- tai metsänhakkuukoneeseen liitetään ravinneainesten käsittely- ja kuljetuslaitteisto, josta syötetään biomassaa kasvatettavan puun sijoituskohtaan. Laitteella kylvetään tai istutetaan taimi kasvukohtaan.*

6 Pohdinta

6.1 Kehitystyön tulosten tarkastelu

Kehitystyö kohdistettiin metsän kasvatusalustojen ravinteikkuuden muodostumiseen ja sen parantamiseen. Yhteiskunnallinen kehityssuunta on johtanut tilanteeseen, jossa metsän kasvatusalustoja poistuu metsän tuotannosta kasvien sekä eliöstön suojelu- ja kasvatustarkoituksiin, vapaa-ajan vietto- ja harrastetarkoituksiin. Metsään muodostetaan aukkoja myös varsinaiseen metsänhoitoon kuulumattomia tarkoituksia varten esimerkiksi rakennus- ja kulkualueiksi. Tavoitteena on parantaa muusta käytöstä pois jäävien metsän kasvatusalueiden uudelleen metsitystä.

Metsäsijoitusten kannattavuudesta on huolehdittava myös muuttuneessa toimintaympäristössä, jotta motiivi metsien ylläpitoon ja kehittämiseen säilyy.

Kehitystyön tuloksilla tavoitellaan parempaa tuottoa metsäinvestoinneille, lisääntyvän puuntuotannon ja mahdollisten oheistuotteiden lisämyynnin kautta.

Kehitystyön kysely- ja haastatteluvaihe toteutettiin suppeana, kohdistuen metsätoimijoiden verkostoon. Pää tarkoituksena oli kehittää metsäalaa, ei haitata sitä. Ammattimaisesti toimivan metsäalan kehitystarve on ilmeinen. Tarkoituksen mukaisesti valittu joukko toimi kehitystyön tarpeen ilmaisijana, ideoinnin pohjana ja kehittämisaihioiden ennakoarvioijana.

Kehittämishankkeen tuotoksena kehitettiin menetelmä metsän kasvualustan maanmuokkauksen ja ravinnesiirron järjestämiseksi. Kasvatuspaikalle istutettavan puun kasvualustan ravinnepitoisuutta ja kosteudensidontaa muutetaan ainakin jollakin seuraavista tavoista:

- Kasvatuspaikan alkuperäisen kasvualustan eri kerroksissa olevia maa-aineksia sekoitetaan pystysuunnassa.
- Kasvatuspaikan alkuperäisiin maa-aineksiin lisätään ja/tai niiden tilalle vaihdetaan kasvatuspaikkaa ympäröivältä alueelta olevia ja/tai toiselta kasvatuspaikalta tuotavia uusia maa-aineksia.
- Kasvatuspaikan maa-aineksiin lisätään kasvatuspaikalta kaadettujen puiden ja/tai kasvatuspaikalta leikattujen kasvien osia sellaisenaan tai lisätään niistä mekaanisesti hajottamalla muodostettavaa biomassaa.

Kehitettyä menetelmää voidaan soveltaa metsänkasvatuksessa ja lisälaitteet ovat teknisesti liitettävissä nykyisin käytössä olevaan metsätyökonekantaan. Konekitkentä ja koneellinen metsätaimien istutusteknologia, liitettynä olemassa olevaan metsätyökonekantaan, ovat samankaltaisia esimerkkejä uudesta tavasta toteuttaa metsänuudistamista.

Kehityshankkeen avulla pystyttiin kuvaamaan kasvuolosuhteiden vaikutuksia metsän ja yksittäisen puun kasvuun. Peruseriaatteet selkenivät ja työn tuloksina pystyttiin esittämään ravinteikkuuden ja tarvittavassa laajuudessa myös kasvuolosuhteiden säätämismahdollisuudet. Metsän kasvua voidaan jo nykyisilläkin kehitystyön tuloksilla ohjata vaikeilla kasvualustoilla.

Konekitkennässä kitkentälaitteosa siirretään nostovarren päässä poistettavien puiden kohdalle ja leuat kiinnittyvät poistettavien kasvien ympärille. Kasvit nostetaan juurineen irti kasvualustastaan ja siirretään sivuun (Kukkonen & Kukkonen 2014, 52). Kehitetty, ravinteikkuutta parantava ja korjaava työlaite on myös kytketty puuston hakkuukoneeseen tai tela-alustaiseen kaivinkoneeseen. Samaa konekantaa voidaan käyttää metsän uudistamistyössä ja myöhemmin koneellisessa taimikon hoidossa.

Kehitystyön tuloksia on mahdollista hyödyntää jatkotutkimuksiin ja myöhemmin opetustehtäviin. Menetelmä ei ole ristiriidassa nykyisin metsätalouteen sovellettavan tiedon kanssa. Kehitystyön tuloksena hyödynnetään aukkoa, joka on syntynyt nykyiseen toimintatapaan. Nykyisin on ilmennyt lisääntyvää ja pakottavaa tarvetta kasvattaa metsän sitomaa biomassaa sekä lisätä hiilen sidontaa ilmakehästä. Perinteinen metsätalousperuste on silti edelleen käytössä. Tavoitteena on tyydyttää metsätuotteiden kasvavaa kysyntää.

6.2 Tulosten luotettavuuden arviointi

Vaativilla kasvupaikoilla erityisesti paikallisen olosuhteet merkitsevät. Siksi olosuhteisiin kannattaa vaikuttaa tarkoituksellisesti. Kehitystyö, tuloslöydöksiä ja kehitysideoina vastasi etukäteen asetettuun tavoitteeseen. Ravinteikkuiden parantamiseen on mahdollisuus vaikuttaa, jotta metsän tuotto puuaineksen osalta lisääntyisi.

Perinteisissä metsänuudistamisohjeissa kirjallisuuslähteiden mukaisesti kasvupaikan viljavuus ohjaa puulajin valintaa metsänuudistamisessa. Metsänhoidollisin toimin suoritettavassa, keinotekoisessa puulajivalinnassa uudistamismenetelmä valitaan viljavuuden ja aiemmin kasvaneen kasvuston perusteella. Kasvupaikan luontaiseen viljavuuteen, maa- ja turvelajiin, kosteusoloihin, kivisyyteen sekä maakerrosten paksuuteen kiinnitetään huomiota. Nämä tekijät ohjaavat metsän uudistamisen toteutustapaa. (Luoranen & ym, 2020, 40.)

Uusi menetelmä huomioi paikalliset ravinteikkuusresurssit pintaa syvemmältä, kosteus- ja maanestevirtaukset sekä maafaunan otollisen kehittymisen aiempaa paremmin. Nimenomaan olosuhteisiin voidaan vaikuttaa varsinkin metsäkuvioiden reuna-alueilla ja keinotekoisesti metsän kasvua estämään muodostetuilla aukkoalueilla. Olosuhde, joka aiemmin on vallinnut, ei sellaisenaan voi määrätä metsän uudistamista kaikilla kasvupaikoilla. Metsäkuvioiden kasvattaminen luontaista aluettaan suuremmiksi parantaa puuntuotantotoiminnan kannattavuutta mittakaavaedun kautta.

6.3 Tulosten hyödyntäminen ja jatkokehittämistarve

Maakerrosten ja sekoitteiden ravinteikkuutta sekä kasvuolosuhteita voidaan mitata jatkokehitettävällä mittausteknologialla. Puukohtainen paikkatieto ja kasvuolosuhdetiedot voidaan tallettaa järjestelmiin etäluettaviksi, seurantaa ja jatkohyödyntämistä varten.

Kehitetty menetelmä ja teknologia kasvupaikkakohtaisen kasvuolosuhteen parantamiseksi ja järjestelemiseksi vaatii lisäkehitystyötä. Tuotteen kaupallistamisvaiheeseen vieni edellyttää teknologian osalta uusia yhteistyökumppaneita ja niiden kanssa tehtävää yhteistyötä.

Metsän kasvualustan ravinteikkuuden säätötekijät kuvattiin tulososiossa. Kehitystyön tulosten kohdalta esitettiin vain yleiset tulokset menetelmästä, karkeasta toteutusteknologiasta ja työkaluista. Säätötekijöiden mittaamismenetelmästä jätettiin yksilöidyt tiedot tarkemmin taulukoimatta ja kuvaamatta. Maasto-olosuhteissa tapahtuva säätötekijöiden sähköinen mittausmenetelmä ja teknologia on vielä kehitystyön alla. Kehitetyt työkalut ovat tässä työelämän kehittämistyössä vielä keskeneräisiä. Karkeat menetelmäkuvaukset ja teknologioihin perustuvat työkalut esitettiin piirrostoisilla kuvauksilla ilman mitoitussuunnitelmia ja osaluetteloita.

Kaupallistaminen vaatii pääomia ja resursseja, osaamista sekä asiakkaita, jotka ovat valmiita ostamaan keittämisen kohteena olevaa teknologiaa. Hankkeen keskimääräinen markkinoille saattaminen vie kokemusten mukaan neljä vuotta. Vasta tuolloin kehitystyön tulokset olisivat käytettävissä metsätoimiolla.

Kiinnostuneena odotetaan myös kysynnän heräämistä hiilen varastointiasiassa. Kasvihuonekaasujen vapautuminen maan pinnan biomassasta ja myös fossiilistuneista biomassoista koetaan ilmaston lämpenemisen kannalta haitallisena. Kehitetty teknologia voisi soveltua jatkokehitettyä myös hiilen varastointitarpeisiin puiden sijoitustilaa laajemmille alueille. Kehitetyllä menetelmällä pystyttäisiin edistämään maatuvan biomassan fossiilistumista, huuhtoutumis- ja pintakerrosta syvemmissä maakerroksissa.

7 Lähteet

- Bonde, C., von Essen, F., Lundmark, T. & Polfjärd-Larsson, P. 2022. Carbon Capture Company Ab. www.cccnordic.se. 17.3.2022
- Erkkilä, M., Suomalainen Insinööriyöpalkinto, Tekniikan akateemiset TEK. www.tek.fi. 14.4.2022
- Holmgren, P. 2021. The forest carbon debt illusion. Stockholm: Future Vistas AB
- Hotanen, J-P., Nousiainen, H., Mäkipää, R., Reinikainen, A. & Tonteri, T. 2018. Metsätyypit –kasvupaikkaopas. Helsinki: Metsäkustannus Oy, LUKE.
- Karjalainen, T., 2022. Lean Six Sigma -koulutus. Quality Knowhow Karjalainen Oy. www.qk-karjalainen.fi. 14.4.2022
- Kukkonen, M. & Kukkonen, E. 2014. Koneellinen metsänhoito. Joensuu: Karelia –ammattikorkeakoulu.
- Luoranen, J., Saksa, T. & Uotila, K. 2020. Metsän uudistaminen. Helsinki: Metsäkustannus Oy, LUKE.
- Maa- ja metsätalousministeriö, Yksityismetsälaki, Metsän uudistaminen 412/1967. www.finlex.fi. 25.3.2022
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2007. Kansallinen Metsäohjelma 2010, Seurantat raportti 2005–2006. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö 5/2007.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2019a, Kansallinen metsästrategia 2025-päivitys, Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:7.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2019b. Kirje, metsäneuvoston asettaminen. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2021. Kansallinen metsäneuvosto, Metsäneuvoston toimintasuunnitelma 2022. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö.
- Moilanen, M. Niemistö, P. Niiranen, M. Saarilampi, P. Silfverberg, K. & Valta-
nen, J. 1988. Metsäntutkimuslaitos Tiedonantoja, Metsäntutkimus-
päivä Kärsämäellä 26.11.1987. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos Ja-
lostusosasto.

- Montgomery, D. 2019. Introduction to Statistical Quality Control. Englanti: ISBN 9781119657118
- Norokorpi, Y. & Pukkala, T. 2018. Jatkuvaa kasvatusta jokametsään. Joensuu: Joen Forest Program Consulting.
- Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. 2016. Maan vesi- ja ravinnetalous. Helsinki: Salaojayhdistys ry.
- Petäjä, T., Tabakova, K. & Manninen, A. 2022. Influence of biogenic emissions from boreal forests on aerosol. Cloud interactions.42–47. www.doi.org. 18.2.2022.
- Pihlajamäki, P., Saarentaus, A., Saarenpää, T-L., Aulaskari, O. & Keränen, R. 2005. Kansallisen metsäohjelman väliarviointi, loppuraportti. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö 5/2005.
- Piirainen, A. Mitkä ovat 4 laadun ydinperiaatetta, Artikkelit Lean Six Sigma. <https://sixsigma.fi>. 7.4.2022.
- Pääsky, L. 2005. Kestävän kehityksen opettajuus ympäristökasvatuksen näkökulmasta, Maantieteen pro gradu -tutkielma. Joensuu: Joensuun yliopisto Maantieteen laitos.
- Rantala, S., A., Laatuinen, H. & Jauhiainen, P. 2018. Tapion taskukirja. Helsinki: Tapio Oy, Metsäkustannus Oy.
- Rantala, S. 2018. Uuden metsänomistajan kirja. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Ruokatietoyhdistys ry. 2021. Ympäristötekijät, Maaperä. www.ruokatieto.fi.15.1.2021.
- Ruuska, J. 2020. Metsäkoulu. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Sved, J. & Koistinen, A. 2015. Hyvän metsänhoidon suositukset -Kannattava metsätalous. Helsinki: Tapio Silva Oy.
- Talkkari, A. & Lehmonen, H. 2021. Metsävaratieto - Hankinta ja hyödyntäminen. Helsinki: Tapio Palvelut Oy.
- Varhi, J. & Vitale Ay. 2021. Tapio maastotaulukot. Helsinki: Tapio Palvelut Oy.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. 2014. Hyvän metsänhoidon suositukset -METSÄNHOITO. Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.

Kysely- ja haastattelulomakkeet

OPPILAAIN OPINNÄYTETYÖSUUNNITELMA, KARELIA AMMATTIKORKEAKOULU
Kestävä energiatalous, Insinööri YAMK -koulutusohjelma

KYSELYLOMAKE
26.1.2022

Oppilaan nimi: *Jorma Komulainen*
Opinnäytetyön nimi: *Menetelmä ja järjestelmä metsän kasvualueen maanmuokkauksen ja ravinnesiirron järjestämiseksi puun kasvukohdassa*
Pääasiallinen sisältö: *Kysely metsäalan toimijoille ajourien käytännön tarpeista, metsän uudistamisesta laikutamalla ja maata muokkaamalla*
Käyttötarkoitus: *Kyseleyn tuloksia käytetään opinnäytetyössä työelämän kehittämiseen toteuttamisessa.*
Vastausten käyttäminen: *Kyseleystä saatuja vastauksia käytetään sekä tulokset koostetaan ilman henkilöönistetta ja vastaajan nimeä*

Merkitse vihreään kenttään sopivin kohta **X**, merkintä voi kysymyksen luonteesta johtuen kohdistua useampaankin saman rivin ruutuun

Metsäalan koulutus	Metsäalan perusteet	Metsäalan erikoistuminen	Työnjohto	Metsäinsinööri	Metsänhoitaja	Muu				
Koko kokemus metsäalalla, vuosia	0..4	5..8	9..13	14..18	19...enemmän					
Nykyinen tehtävä metsäalalla	Metsänhoitotyö	Laikutus/mätästys	Metsänhakuu ja -ajo	Työnjohto	Osto/myyntipäällikkö	Alue-esimies	Aluejohtaja	Toimitusjohtaja	Yrittäjä	Muu
Kokemus nykyisessä tehtävässä, v	0..4	5..8	9..13	14..18	19...enemmän					

Osallistuminen työuralla eri metsätölajeihin

	Puutavaran osto	Hakkuun ohjaus	Hakkuun suoritus metsätalalla	Puutavaran siirto metsätalalla	Taimikon perustaminen	Varhaisperkaukset	Metsätilakauppa	Metsätilojen hoito

Ajourien välien etäisyyden tarve toisista ajourista, nykyisellä metsätalokonekalustolla

Nykyinen käytäntö on hyvä	Voisi kaventaa ajouravälillä	Voisi leventää ajouravälillä	Voisi jättää sarkojen välilosia harventamatta

Ajourien riittävä leveyden tarve kesällä, nykyisellä konekannalla

kuiva ja tasainen maasto, m	4	4,5	5	5,5	6	6,6	7

kuiva ja kalteva maasto, m

4	4,5	5	5,5	6	6,6	7

Kosteaa maasto, m

4	4,5	5	5,5	6	6,6	7

kosteaa ja upottava maasto, m

4	4,5	5	5,5	6	6,6	7

Ajourien riittävä leveyden tarve talvella

kuiva ja tasainen maasto, m	4	4,5	5	5,5	6	6,6	7

kuiva ja kalteva maasto, m

4	4,5	5	5,5	6	6,6	7

Kosteaa maasto, m

4	4,5	5	5,5	6	6,6	7

kosteaa ja upottava maasto, m

4	4,5	5	5,5	6	6,6	7

Voisiko ajourat jättää metsittämättä, jo taimikon perustamisvaiheessa.

Kyllä	Ei	Hyöty, mitä?	Haitta, mitä?

Voisiko metsätaloustyöön ottaa karpumia ja vähäravinteisempiä alueita, mikäli metsittäminen ei aiheuttaisi lisäkujuja

Joutomaat	Kiviset alueet	Karukkokankaat	Suot, kivennäismaa > 0,4 m syvyydessä	Muut nykyisin metsittämättä jätettävät alueet

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus

Lisääntyy	Vähenee	Osuus % hakuukuvioissa/määrissä

Tasaikäinen metsänkasvatus

Lisääntyy	Vähenee	Osuus % hakuukuvioissa

Paras maanmuokkaustapa saman uudistettavan kuvion eri osissa

Laikutussyvyys vakio	Laikutussyvyys vaihtuu	Maan rakenteen huomiointi syvyydessä	Maan rakennetta ei huomioida	Laikun muoto/tyyppi muuttuu	Laikun muoto/tyyppi ei muutu

Onko toteutettu metsänuudistamiskohteissa maanmuokauslaikun muutoksia ja kaivettuja eri syvyyksiä samalla maastokuvioilla

Kyllä	Ei

Olisiko hyötyä, jos laikut tai taimen istutuspaikat ja maan rakenne merkittäisiin automaattisesti ATK-järjestelmään paikannustiedoin

Kyllä	Ei

Olisiko esteitä, jos lalkku ja biomassaa kaivettaisiin/sekoitettaisiin kivennäismaa-aineksiin syvemmältä kuin nykyisin, kun uudistamismenetelmän on

Kyllä	Siemenpuu	Kylvö	Istutukset

Voisin olla hyväksynnässä istutuspaikan suuremman kustannuksen, jos toteutuisi Parempi kasvuunlähtö ja kasvu

Kyllä	Ei

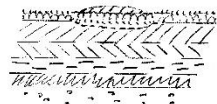
Olisiko kiinnostusta testata mahdollisesti kehitettävää taimikohtaista maanmuokkautuslaitetta, jolla porataan/kaivetaan/sekoitetaan/lannoitetaan maa-aineksiä puun kasvukohdalla metsänuudistamistiloiden yhteydessä

Kyllä	Ei

Menetelmä- ja teknologiapiirroksat

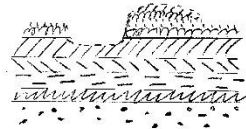
MEN 1

VAIHTOEHDOT ISTUTUSPAIKAN VALMISTELULLE



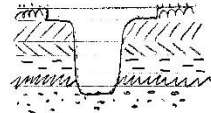
KÄÄNTÖMÄTÄS
RAIKALLAAN
KÄÄNNETTY

A.



LAIKUUSMÄTÄS
SIVULLIS
KÄÄNNETTY

B.

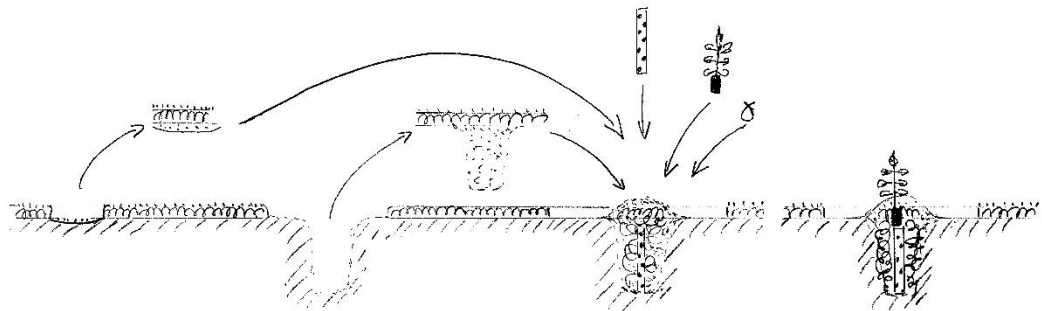


ISTUTUSKUOPPA
LÄSITTUNEIDEN
MÄLÄAINESTEN
LÄPI

C.

(2.)

MEN 5



1.

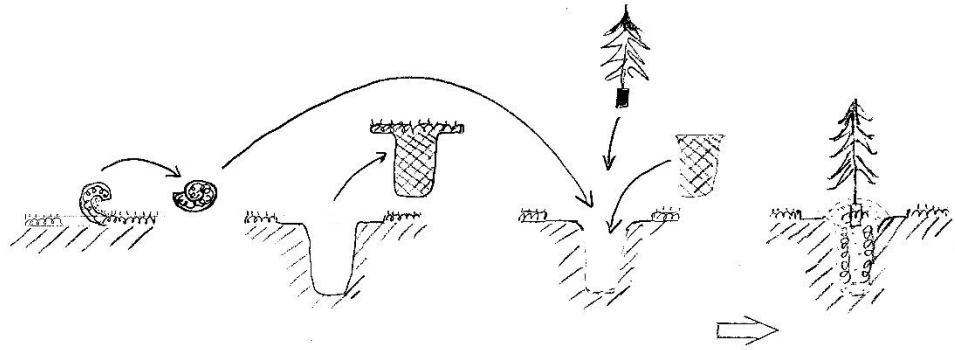
2.

3.

4.

ISTUTUSKUOPAN VAIHEET

MEN 7



TAIMENEN ISTUTUSALUSTAN
VALMISTELU JA
ISTUTUS

LOPPUTILANNE

Patenttihakemustositteet



BERGGREN PATENTS



Viitteemme: BP303613 / Jorma Tuovinen

**UUSI SUOMALAINEN PATENTTIHAKEMUS
"MENETELMÄ JA JÄRJESTELMÄ METSÄN
KASVUALUSTAN MAANMUOKKAUKSEN JA
RAVINNESIIRRON JÄRJESTELEMISEKSI"
OY INDOS LTD**

Hei,

Tämä patenttihakemus on jätetty patenttivirastoon seuraavien tietojen mukaisesti:

Hakemusnumero: 20225022

Hakemispäivä: 12.1.2022

Keksijä(t): KOMULAINEN Jorma

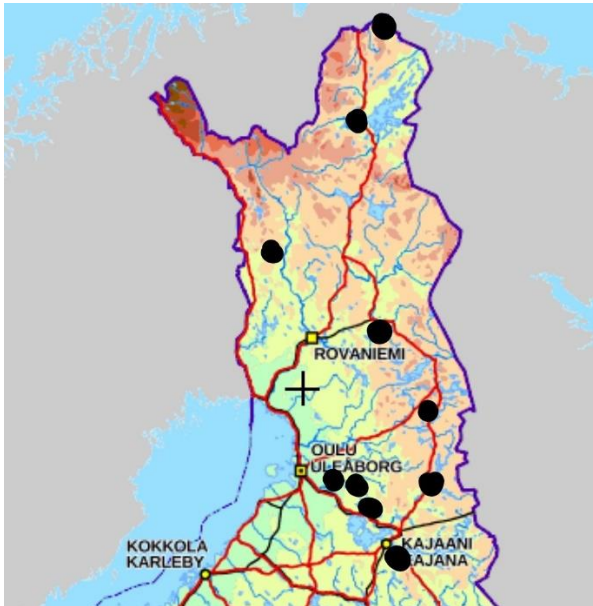
Sähköisen lähetyksen vastaanottotodistus

Patentti- ja rekisterihallitus ilmoittaa vastaanottaneensa lähetyksenne. Lähetykselle on annettu vastaanottopäivä, joka kirjataan PRH:n päiväkirjaan hakemusnumeron perusteella. Tämä hakemusnumero tulee mainita kaikissa hakemustanne koskevista yhteydenotoissa Patentti- ja rekisterihallitukseen.

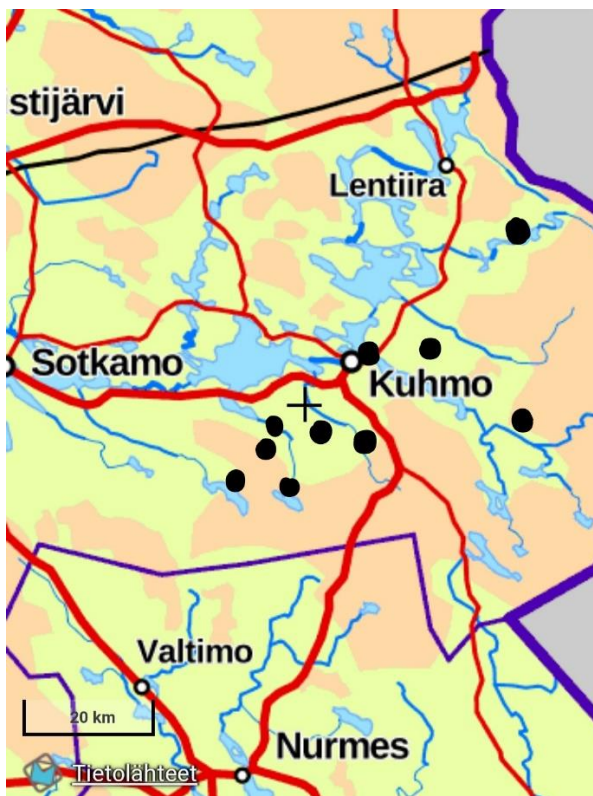
Hakemusnumero	20225022	
Saapumispäivä	25. tammikuuta 2022	
Vastaanottava viranomainen	PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS	
Viitteenne	BP303613	
Hakijan nimi	Oy Indos Ltd	
Lähetetyt asiakirjat	package-data.xml	fi-sfd-request.xml
	application-body.xml	haklom.pdf (1 s.)
	SIIRTO.pdf (1 s.)	VALTAK.pdf (1 s.)
Lähetäjä	CN=Soili Ahoipelto 74226	
Vastaanottoaika	25. tammikuuta 2022, 10:46 (EET)	
Lähetyksen sähköinen allekirjoituskoodi	FF:35:91:18:44:AD:66:25:41:77:59:5C:54:24:06:2F:DC:81:7B:F2	

/PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS/

Maastotutkimusalueet karttaan merkittyinä



Kartta 1. Pohjois-Suomessa sijaitsevat tutkimuspaikat



Kartta 2. Kuhmossa ja Sotkamossa sijaitsevat tutkimuspaikat