

Tavoitteiden yhteensovittamien metsien hoidon ja
käytön päätöksenteossa

Loppuraportti

28.3.2023

Maa- ja metsätalousministeriö

Tapio Palvelut Oy (jäljempänä Tapio) vastaa palvelun toteuttajana ja raportin laatijana siitä, että raportti on laadittu ammattitaitoisesti, huolellisesti ja alalla vallitsevaa hyvää ammattikäytäntöä noudattaen. Raportti vastaa tilannetta sen antamishetkellä, eikä Tapio siten ole vastuussa myöhemmin esim. olosuhteiden muuttumisesta johtuneista seikoista. Toimeksiannon suorittamista varten Tapio on saanut toimeksiantajalta tai kolmasosapuolta aineistoa ja laskentamalleja, joiden oikeellisuuteen ja todenmukaisuuteen Tapio on luottanut ilman eri tutkimusta tai todentamista, ellei kyse ole aineistosta, jonka oikeellisuuden tai todenmukaisuuden selvittäminen on nimenomaisesti kuulunut toimeksiantoon.

Tapio ei vastaa missään tapauksessa raportin välillisistä eikä epäsuorista vahingoista. Tapion vastuu rajoittuu kaikissa tapauksissa sille toimeksiannosta maksettuun määrään, ellei Tapion osoiteta menetelleen tahallisesti tai törkeän tuottamuksellisesti. Kolmannella taholla on oikeus luottaa lausuntoon vain siinä tarkoituksessa, mihin lausunto on nimenomaisesti pyydetty. Tapion vastuu kolmatta tahoa kohtaan ei voi olla suurempi, kuin mitä se on lausunnon pyytäneeltä taholta kohtaan.

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	3
1.1	TAUSTA	3
1.2	TAVOITTEET	3
2	METSIEN KÄYTÖN KESTÄVYYTTÄ KUVAAVAT INDEKSIT	4
2.1	INDEKSIEN MÄÄRITTELY	4
2.1.1	Metsänomistajien näkemykset metsien käytön kestävydestä.....	4
2.1.2	Hankkeen työpajat.....	4
2.2	INDEKSIT	9
2.2.1	Ekologinen kestävyys – Luontoindeksi	9
2.2.2	Sosiaalinen kestävyys – Kulkukelpoisuusindeksi	12
2.2.3	Ilmastollinen kestävyys – Hiili-indeksi	13
2.2.4	Taloudellinen kestävyys – Nettonykyarvoindeksi	14
2.2.5	Tuhoindeksit	14
2.2.6	Indeksien testaus.....	17
3	INDEKSIEN HYÖDYNTÄMINEN METSÄSUUNNITTELULASKENNOISSA	21
3.1	SKENAARIOLASKENTOJEN KUVAUS	21
3.1.1	Optimoinnit	21
3.1.2	Testikiinteistön kuvaus	22
3.2	SKENAARIOLASKENTOJEN TULOKSET	23
3.2.1	Indeksien kehitys	23
3.2.2	Hakkuukertymät	24
3.3	TULOSTEN TARKASTELU JA INDEKSIEN SOVELLETTAVUUS	24
3.3.1	Tulosten tarkastelu	24
3.3.2	Indeksien sovellettavuus	25
4	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOKEHITYSTARPEET	26
4.1	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUUNTIA JATKOKEHITYKSEEN	26
5	LIITTEET	28
6	LÄHTEET	29

1 Johdanto

1.1 Tausta

Tavoitteiden yhteensovittaminen metsien hoidon ja käytön päätöksenteossa (Tahto-hanke) on Maa- ja metsätalousministeriön rahoittama hanke, joka on osa Kansallisen metsästrategian hanketoimintaa. Hanke on kestoltaan kaksivuotinen: huhtikuu 2021 – maaliskuu 2023.

Hanketta koordinoi Tapio Oy, jonka lisäksi hankkeessa ovat mukana AFRY Finland Oy, Luonnonvarakeskus sekä Helsingin ja Jyväskylän yliopistot. Hankkeen vastuuhenkilöinä olivat Tapiolla metsätietoasiantuntijat Mikko Niemi ja Juho Lammi sekä metsätietopalveluiden päällikkö Esko Välimäki. Ministeriön vastuuhenkilönä toimii MMM LVO Niina Riissanen. AFRYn vastuuhenkilöitä olivat metsien mallinnuksen asiantuntija Jouni Kalliovirta sekä tuoteomistaja Atte Saukkola. Luonnonvarakeskuksen vastuuhenkilönä oli tutkimusprofessori Annika Kangas. Helsingin yliopiston vastuuhenkilönä toimi metsäsuunnittelun professori Jari Vauhkonen ja Jyväskylän yliopiston vastuuhenkilönä yliopistonlehtori Panu Halme.

Hankkeen työtä ohjasi kymmenhenkinen ohjausryhmä: Olli Äijälä (Tapio), Niina Riissanen (maa- ja metsätalousministeriö), Roope Ruotsalainen (Metsähallitus), Mikko Kurttila (Luonnonvarakeskus), Juho Penttilä (AFRY), Tommi Maasilta (Kuntaliitto), Panu Halme (Jyväskylän yliopisto), Lassi Ahlvik (Helsingin yliopisto), Riikka Paloniemi (SYKE) ja Kalle Karttunen (MTK).

1.2 Tavoitteet

Hankkeen päätavoitteet olivat seuraavat:

1. Hankkeen tavoitteena on tehdä ehdotus siitä, miten ekologinen, sosiaalinen, kulttuurinen ja ilmastollinen kestävyys kuvataan taloudellisen kestävyysmittareiden kanssa yhteismitallisina niin, että metsänomistaja pystyy vertailemaan edellä mainittuja tekijöitä, kun hän tekee päätöksiä metsäsuunnittelujärjestelmän avustamana.
2. Hankkeessa tehdään ehdotus menetelmästä, jolla metsävara- ja luontotiedosta sekä muista avoimista paikkatietoaineistoista johdetaan indeksejä, joilla kuvataan taloudellisen kestävyysmittareiden rinnalla muita kestävyysmittareita metsäsuunnittelujärjestelmiä varten.
3. Määriteltävät indeksit kuvaavat kokonaiskestävyyden eri osa-alueita. Indeksien sisältö on kuvattavissa niin, että niiden merkitys ekologisen, sosiaalisen ja kulttuurisen kestävyysmittareiden kannalta on helposti suunnitelman käyttäjän (metsänomistajan tai hänelle palveluitaan tarjoavan metsäammatilaisen) omaksuttavissa.

2 Metsien käytön kestävyttä kuvaavat indeksit

2.1 Indeksien määrittely

Hankkeessa määritellyt indeksit perustuvat työpajojen tuloksiin, joita on jalostettu eteenpäin ohjausryhmän kanssa. Tapio ja AFRY ovat jatkaneet työpajojen ja ohjausryhmän tulosten perusteella indeksien valmistelua, kehittämistä ja testaamista metsäsuunnittelujärjestelmässä.

2.1.1 Metsänomistajien näkemykset metsien käytön kestävydestä

Hankkeen tiimoilta järjestettiin metsänomistajakysely sekä yksityisille että institutionaalisille metsänomistajille kesäkuussa 2021. Kyselyn tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 1.

Kyselyn tavoitteena oli selvittää metsänomistajien päätöstukitarpeita ja näkemyksiä monitavoitteeseen metsäsuunnitteluun. Hankkeen kannalta oli tärkeää saada metsänomistajien ääni kuuluviin määriteltävissä indekseissä, ja kyselyllä pyrittiin samaan selville, mitkä ovat metsänomistajien painotuksia ja mistä kestävyiden osa-alueista metsänomistajat tarvitsevat lisätietoa tehdäkseen mahdollisimman hyviä päätöksiä metsänomistuksen tavoitteisiin nähden.

Kysely tehtiin tiiviin kirjallisuuskatsauksen perusteella ja työ- sekä ohjausryhmällä oli mahdollisuus kommentoida kyselyä ennen sen lähetystä. Kysely lähetettiin 500 yksityiselle metsänomistajalle ja kuntametsävastaaville. Yksityisten metsänomistajien yhteystiedot saatiin Metsäkeskukselta. Vastauksia saatiin yhteensä 32.

Kyselyn tuloksista ilmeni, että metsänomistajat vaikuttavat olevan suhteellisen tyytyväisiä nykymuotoisiin metsäsuunnitelmiin sekä palveluihin ja niiden tietosisältöihin. Jo nykyisellään metsäsuunnitelmissa huomioidaan esimerkiksi erilaisia luontokohteita sekä muita kuin puuntuotannollisia arvoja.

Kyselyn perusteella metsänomistajat tarvitsevat jatkossa tietoa ekologiseen kestävyteen liittyvistä tunnuksista, kuten tuhoriskeistä ja puuston biodiversiteetistä. Sosiaalisen kestävyden osalta metsänomistajia kiinnostaa lisäinformaatio virkistysarvoista sekä luonnontuotteista ja riistasta. Taloudellisen kestävyden osalta korostuivat metsien käsittelyn toimenpidevaihtoehtojen vaihtoehtoiskustannukset.

Kyselyn tuloksia hyödynnettiin työpajassa 1, jossa määriteltiin alustavia indeksejä.

2.1.2 Hankkeen työpajat

Työpaja 1

Hankkeen ensimmäisessä työpajassa syksyllä 2021 käytiin läpi sekä metsänomistajakyselyn ja aloitusseminaarin kyselyn tuloksia – kyselyjen tuloksilla pyrittiin herättämään keskustelua ja ajatuksia määriteltävien indeksien suhteen. Työpajassa käytiin läpi pienryhmissä kestävyiden eri osa-alueiden kestävyysmuuttujia ja niiden määrittelyitä. Työpajaan osallistuivat kaikki työryhmän jäsenet. Alustavat kestävyysmuuttujat ovat listattuna alla olevissa taulukoissa:

Taulukko 1. Työpajassa 1 esitetyt alustavat taloudellisen kestävyysmuuttujat. Kursivoidut muuttujat eivät ole täysin laskettavissa tällä hetkellä, mutta niiden tunnistetaan vaikuttavan kestävyysmuuttujien.

Osaindeksi	Tietolähde	Indeksimuuttuja	Miten mitataan / lasketaan indeksiä?	Lisätieto
Nettonykyarvo	Olemassa olevat mallit	Hakkuut ja ajan- kohta Metsänhoito-toimenpiteet ja ajan- kohta	Simuloitujen toimenpiteiden vaihtoehtoiskustannukset metsänomistajien painostusten mukaan	Vaatii kestävyysrajoitteen hakkuille
Luonnontuotteet	<i>Tietolähde ei selvillä / saatavilla</i>	<i>Luonnontuotteiden määrä ja/tai potentiaali</i>	<i>Luonnontuotteiden ja –arvojen määrä ja arvo</i>	<i>Ei tietoa markkinoista ja mittausten menetelmistä kattavasti. Optio?</i>
Hiilikauppa	Olemassa olevat mallit	Hiilivarastot ja nielut	Hiilinielun- ja varaston koko	<i>Ei tarkkaa tietoa markkinoista. Optio?</i>

Taulukko 2. Työpajassa 1 esitetyt alustavat sosiaalisen kestävyiden muuttujat. Kursivoidut muuttujat eivät ole täysin laskettavissa tällä hetkellä, mutta niiden tunnistetaan vaikuttavan kestävyteen.

Osaindeksi	Tietolähde	Indeksimuuttuja	Miten mitataan /	Lisätieto
			lasketaan indeksiä?	
Maisema: puustoisuus	Metsävaratieto	Kehitysluokka Puuston tilavuus Puulajijakauma Kuvion sijainti ja pinta-ala Luontokohteet	Lasketaan yli kuvioiden. Määritellään raja-arvot ja lasketaan indeksille summa	Merkitys lähimaisemassa, kytkeytyneisyys
Maisema: näkyvyys	Metsävaratieto / paikkatieto	Kehitysluokka Kuvion sijainti Korkeus merenpinnasta Vesistöjen läheisyys, avokalliot	Lasketaan yli kuvioiden. Määritellään raja-arvot ja lasketaan indeksille summa	Merkitys kaukomaisemassa
Kulkukelpoisuus	Metsävaratieto / paikkatieto	Kehitysluokka Tiheys Pohjapinta-ala Jaksoisuus Kivennäismaa / turvema Edellinen hakkuu / mh-toimenpide Ojitustilanne Rinnekaltevuus	Määritellään raja-arvot indeksimuuttujille ja lasketaan summa.	Sanktio hakkuista / mh-toimenpiteestä (esim. maanmuokaus). Vähenee ajan myötä. Toisaalta krediitti/bonus energiapuun korjuusta – nopea vaikutus
Saavutettavuus	Metsävaratieto / paikkatieto	Tiestö Saavutettavuus	Matka lähimmältä tieltä ja saavutettavuus. Määritellään raja-arvot ja lasketaan indeksille summa.	
<i>Työmahdollisuudet</i>	<i>Olemassa olevat mallit</i>	<i>Hakkuu ja metsänhoitotyöt</i>	<i>Lasketaan toimenpiteiden ajanmenekki malleilla</i>	<i>Kuvaa sosiaalista kestävyttä – optio?</i>

Taulukko 3. Työpajassa 1 esitetyt alustavat ekologisen kestävyuden muuttujat. Kursivoidut muuttujat eivät ole täysin laskettavissa tällä hetkellä, mutta niiden tunnistetaan vaikuttavan kestävyYTEEN.

Osaindeksi	Tietolähde	Indeksimuuttuja	Miten mitataan / lasketaan indeksii	Lisätieto
Ilmasto	Metsävaratieto	Hiilitase (hiilivarastot ja nielut)	Lasketaan olemassa olevilla malleilla kuvio- ja tilatasolla	Metsänomistaja voi painottaa
Puuston diversiteetti	Metsävaratieto	Puuston määrä Puulajien määrä Jaksojen määrä Keskiläpimitta Kuollut puu / säästöpuusto	Lasketaan kuvioiden yli. Sekapuustoisuus ja keskiläpimitta kuvioiden yli hyvä tunnus. Määritellään raja-arvot ja lasketaan indeksille summa	Pitää huomioida myös ympäröivät laki- ja sertifiointikohteet (metso). Lisäksi voisi olla toimenpiteitä, joista voisi tulla sakkoja tai bonuksia/kredittejä: ojitus, metsäautotien rakentaminen ja lannoitus aiheuttaisivat sakan, kulutus taas antaisi bonuksen
Tuhoriski	Metsävaratieto / paikkatieto	Pääpuulajin osuus ja tilavuus Kuvion sijainti <i>Tuulituhoriski (LUKE)</i> Kirjanpainajariski (SMK) Juurikääpäriski Kuivuusriski <i>Lumituhoriski</i> <i>Metsäpalariski</i> <i>Hirvituhoriski</i>	Määritellään raja-arvot ja lasketaan indeksille summa	Juurikäävästä ja kirjanpainajista on tällä hetkellä vaillinainen tieto olemassa. Juurikääpä: vähennetään tarpeettomia käsitteilyitä (toinen harvennus) ja jatkuva kasvatus. Vaikuttaako läheisten kuvioiden toteutuneet tuhot riskiin?
Maasto	Maastotietokanta / korkeusmalli	Jyrkännekuviot Kosteikko Rantavyöhyke Puron vaikutusalue Luontokohteet	Määritellään raja-arvot ja lasketaan indeksille summa	Huomioidaanko ilmansuunnat (jyrkenteet ja paahderinteet)

Työpaja 2

Työpajassa 1 luotuja alustavia kestävyysmuuttujia (Taulukot 1–3) tarkennettiin AFRYn ja Tapion yhteistyönä. AFRY määritteli muuttujien parametrit tarkemmin metsäsuunnittelujärjestelmään sopiviksi ja testasi niiden toimivuutta metsäsuunnitelman kuviotasolla. Testausvaiheesta saatiin materiaalia hankumppaneiden toiseen työpajaan, joka järjestettiin kolmen iltapäivän mittaisena tilaisuutena keväällä 2022: 1) ekologinen kestävyys, 2) sosiaalinen kestävyys ja 3) taloudellinen kestävyys.

Taulukossa 4 on esitetty toisessa työpajassa koottu listaus tarkennetuista kestävyysmuuttujista:

Taulukko 4. Tarkennetut kestävyysmuuttujat toisen työpajan pohjalta.

Indeksi	Tietolähde	Laskennassa käytetyt muuttujat
Puuston diversiteetti	Metsävaratieto	Puuston tilavuus Sekapuustoisuus Puulajien määrä Keski-ikä Ositteiden keskiläpimittojen erotus Lahopuuston tilavuus (jos erikseen inventoitu)
Maaston kulkukelpoisuus	Metsävaratieto	Pääpuulaji Runkoluku Keskipituus Kuivatustilanne Aika uudistushakkuusta Aika ensiharvennuksesta Aika taimikonhoidosta
Lumituhoriski	Metsävaratieto	Puuston keskipituuden ja keskiläpimitan suhde Korkeus merenpinnasta Aika harvennuksesta Mäntyvaltaisuus Aika männikön lannoituksesta
Tuulituhoriski	Metsävaratieto	Puuston keskipituus Havupuiden osuus Aika harvennuksesta Puuston pituus verrattuna naapurikuvioihin Yhteinen kuvioraja alle 10 v. sitten hakattuun kuvioon
Hirvituhoriski	Metsävaratieto	Puuston keskipituus Puulajisuhteet Puuston tiheys

Ohjausryhmältä saatiin kommentteja eri kestävyysmuuttujiin, mitkä on otettu huomioon kestävyysmuuttujien viemisessä metsäsuunnittelulaskentaan.

2.2 Indeksit

Indeksien määrittelyn tavoitteena oli määritellä objektiivisia ja yhteismitallisia ekologista, sosiaalista, kulttuurista ja ilmastollista kestävyttä kuvaavia mittareita (indeksejä) taloudellista kestävyttä kuvaavien mittarien rinnalle.

Indeksien yhteismitallisuuteen pyrittiin määrittämällä indeksien asteikko arvovälille 0-1. Arvoja tulee tulkinta siten, että arvo 0 kuvaa heikointa mahdollista indeksin arvoa ja arvo 1 parasta mahdollista indeksin arvoa. Esimerkiksi alla kuvatun Kulkukelpoisuus-indeksin osalta arvo 1 tarkoittaa metsikkökuvion erityisen hyvää kulkukelpoisuutta.

Alla kuvatut indeksit määriteltiin soveltumaan yksittäisille metsikkökuvioille. Laajemmissa tarkasteluissa (esim. tilatasolla) tuloksia voi laskea metsikkökuvioiden yhteenvedona.

Indeksien laskennassa käytettäviksi muuttujiksi pyrittiin valitsemaan ne muuttujat, jotka kuvaavat ilmiötä parhaiten ja ovat laaja-alaisesti (maantieteellinen jakauma) laskettavissa. Käytännössä tämä tarkoitti muuttujien määrittelyä siten, että ne perustuivat julkisiin avoimiin aineistoihin, jotka olivat riittävän hyvin ajan tasalla.

Muuttujien määrittelyissä pyrittiin myös mahdollisimman yksinkertaisiin ratkaisuihin, jotta tekniset mahdollisuudet indeksien käyttöönottoon olisivat mahdollisimman hyvät. Tämä johti kompromisseihin indeksin ilmiötä kuvaavan ”tarkkuuden” ja teknisen hyödynnettävyyden välillä. Johtoajatuksena oli, että helposti käyttöönotettava indeksi on parempi kuin ilmiötä tarkemmin kuvaava indeksi, joka jää teknisten haasteiden takia pöytälaatikkoon.

2.2.1 Ekologinen kestävyys – Luontoindeksi

Hankkeessa määritetyllä metsikkökuviokohtaisella luontoindeksillä kuvataan metsäluonnon monimuotoisuutta ja metsänhoidon ekologista kestävyttä. Indeksien osaindeksit kuvaavat osin suoraan ja osin välillisesti metsikkökuvion monimuotoisuusarvoja. Indeksien laskennassa hyödynnettävät osaindeksit ovat:

- Puuston diversiteetti
- Maaston diversiteetti
- Todettu luontoarvo

Indeksi lasketaan osatekijöiden avulla kahdella vaihtoehdoisella tavalla:

- Jos metsikkökuvioilla on todettu luontoarvo, saa luontoindeksi arvon 1. Todettu luontoarvo on siis puuston ja maaston diversiteettiin nähden määräävä.
- Jos metsikkökuvioilla ei ole todettua luontoarvoa, lasketaan luontoindeksi puuston ja maaston diversiteettiä kuvaavien osaindeksien avulla. Molempien osaindeksien painokerroin on 1 ja asteikko 0-1. Luontoindeksin arvo lasketaan puuston ja maaston diversiteettiä kuvaavien osaindeksien keskiarvona.

Todetun luontokohteen tulkintaan voi hyödyntää esim. seuraavia metsikkökuvioiden erityispiirrekoodoja: Metsälakikohde: FeatureAdditionalCode 43, Luonnonsuojelulain luontotyyppi: FeatureAdditionalCode 44, LS- tai LSO-alueen kuvio: FeatureCode 102 tai 101, Kaavaan merkitty suojelualueen kuvio:

FeatureCode 15 tai 16, Ympäristötukikohde: FeatureCode 91, METSO-elinympäristö: FeatureCode 98, Natura 2000 -alueen kuvio: FeatureCode 103.

Sekä puuston että maaston diversiteettiä kuvaavien osaindeksien laskenta on mahdollista ja järkevää vaikka metsikkökuviolla olisi todettu luontoarvo. Näin osaindeksit saadaan vertailtavaksi myös todetuilla luontokohteilla.

Puuston diversiteettiä kuvaavan osaindeksin laskennan muuttujia ovat puuston tilavuus, sekapuustoisuus, puulajien määrä, puuston keski-ikä, puusto-ositteiden läpimittaero ja lahoppuuston tilavuus. Kaikkien näiden muuttujien on todettu välillisesti ilmentävän monimuotoisuusarvoja.

Muuttujiin ja muuttujien raja-arvoihin vaikuttaa puustotietojen keruutapa. Jos metsikkökuvion puusto on kaukokartoitettua, osaindeksi lasketaan puuston tilavuuden, sekapuustoisuuden, puulajien määrän, puuston keski-ikä ja puusto-ositteiden läpimittaerojen perusteella (taulukko 5). Jos metsikkökuvion puusto on mitattu maastossa edellä mainittujen lisäksi laskentaan vaikuttaa mahdollinen kuolleen puuston määrä (taulukko 6).

Puuston diversiteettiä kuvaavan osaindeksin arvo lasketaan muuttujien painotettuna keskiarvona. Puuston diversiteettiä kuvaavan osaindeksin laskennassa muuttujilla on sama paino (1), pois lukien lahoppuusto, joka saa maastossa mitatuilla metsikkökuviolla painon 2, jos metsikkökuviolla on mitattua lahoppuustoa. Jos maastossa mitatulla metsikkökuviolla ei ole mitattua lahoppuustoa, lahoppu-muuttujaa ei oteta laskennassa huomioon.

Taulukko 5. Puuston diversiteettiä kuvaavan osaindeksin muuttujat ja laskentaperusteet kaukokartoitetulle puustolle.

Muuttuja	Ala- ja ylärajat
tilavuus	100-200 m ³ /ha
sekapuustoisuus	10-30-70-90 %
puulajien määrä	1-3 kpl
keski-ikä	Havupuut 80-150, lehtipuut 50-100
ositteiden läpimittojen ero	10-20 cm

Taulukko 6. Puuston diversiteettiä kuvaavan osaindeksin muuttujat ja laskentaperusteet maastossa mitatulle puustolle.

Muuttuja	Ala- ja ylärajat
tilavuus	100-200 m ³ /ha
sekapuustoisuus	5-30-70-95 %
puulajien määrä	1-5 kpl
keski-ikä	Havupuut 80-150, lehtipuut 50-100
ositteiden läpimittojen ero	10-20 cm
lahoppuuston tilavuus	3-30 m ³ /ha

Puustodiversiteettiä kuvaavien muuttujien tulkinta taulukoissa 5 ja 6:

4. **tilavuus:** Arvo kasvaa lineaarisesti 0:sta 100 m³/ha jälkeen ja saavuttaa arvon 1 tilavuudella 200 m³/ha. Tätä isommilla arvoilla indeksi saa arvon 1.
5. **sekapuustoisuus:**
 - kaukokartoitettu puustotieto: Jos lehtipuuston osuus on alle 10 %, arvo on 0. Välillä 10-30 % arvo kasvaa lineaarisesti 0:sta 1:een. Välillä 30-70 % arvo on 1. Välillä 70-90 % arvo laskee lineaarisesti 1:stä 0:aan. Jos lehtipuuston osuus on yli 90 %, arvo on 0.
 - maastossa mitattu puustotieto: Jos lehtipuuston osuus on alle 5 %, arvo on 0. Välillä 5-30 % arvo kasvaa lineaarisesti 0:sta 1:een. Välillä 30-70 % arvo on 1. Välillä 70-95 % arvo laskee lineaarisesti 1:stä 0:aan. Jos lehtipuuston osuus on yli 95 %, arvo on 0.
6. **puulajien määrä:**
 - kaukokartoitettu puustotieto: Yhden puulajin metsikkö saa arvon 0. Kahden puulajin metsikkö saa arvon 0,5. Kolmen puulajin metsikkö saa arvon 1. Ositteita, joiden osuus on alle 10 % kokonaispuuston pohjapinta-alasta, ei lasketa mukaan.
 - maastossa mitattu puustotieto: Yhden puulajin metsikkö saa arvon 0. minkä jälkeen indeksi kasvaa lineaarisesti. Mikäli puulajeja on 5 tai enemmän, indeksi saa arvon 1.
7. **keski-ikä:** Havupuuvaltaisissa metsiköissä arvo kasvaa lineaarisesti 0:sta 80 ikävuoden jälkeen ja saavuttaa arvon 1 keski-ikällä 150 vuotta. Lehtipuuvallaisissa metsiköissä vastaavat rajat ovat 50 ja 100 vuotta.
8. **ositteiden läpimittojen ero:** Arvo kasvaa lineaarisesti 0:sta 10 cm:n jälkeen ja saavuttaa arvon 1 läpimittaerolla 20 cm. Tätä suuremmilla puusto-ositteiden läpimittaeroilla arvo on 1. Puusto-ositteiden läpimittaero tarkoittaa suurimman ja pienimmän välistä eroa keskiläpimittojen eroa. Laskentaan otetaan mukaan ositteet, joiden runkoluku on suurempi kuin 50 runkoa/ha.
9. **lahopuuston tilavuus:** Arvo kasvaa lineaarisesti 0:sta 3 m³/ha:n jälkeen ja saavuttaa arvon 1 lahoppuun tilavuudella 30 m³/ha. Tätä suuremmilla lahoppuun kokonaismäärillä arvo on 1. Lahoppu-muuttuja otetaan laskennassa huomioon vain, jos metsikkökuviolla on mitattua lahoppuusta. Tällöin lahoppu-muuttujan painokerroin puuston diversiteetti -indeksin laskennassa on 2.

Maaston diversiteettiä kuvaavan osaindeksin muuttujiksi valittiin maaston erityispiirteet, kasvupaikan poikkeavuus keskimääräisestä sekä vesistön (vakavedet) läheisyys. Maaston diversiteettiä kuvaan osaindeksin arvo lasketaan näiden muuttujien keskiarvona. Kaikilla maaston diversiteettiä kuvaavilla muuttujilla on keskiarvon laskennassa sama paino (1).

Maaston erityispiirteitä poimittiin Maanmittauslaitoksen tuottamasta ja ylläpitämästä Maastotietokannasta (<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntemalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/maastotietokanta-0>) sekä Suomen ympäristökeskuksen PUROHELMi-hankkeen (https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Pienten_virtavesien_valtakunnallinen_tilan_arviointi_ja_mallinnus) tuloksena syntyneestä pienten virtavesien luonnontilaisuutta kuvaavasta aineistosta. Metsikkökuviolla todettiin olevan monimuotoisuutta ilmentävä maaston erityispiirre, jos kuviolla sijaitsee:

- hietikko, jyrkänne tai kalliohalkeama (MTK-kohteet: 34300, 34400, 34500)
- kivikkoa tai louhikkoa yli 20% kuvion pinta-alasta (MTK-kohteet: 34700, 34200 (10 m bufferi))
- ojittamatonta suota tai soistumaa yli 20% kuvion pinta-alasta (MTK-kohteet: 35300, 35411, 35412, 35421, 35422 & kuvion kuivatustilanne <> 3, 7, 8, 9)
- joen tai puron reunavyöhykettä (reunavyöhykkeen leveys: 20m) yli 10% kuvion pinta-alasta (MTK-kohteet: 36313 + PUROHELMi)
- lähde (MTK-kohteet: 36100)

Jos jokin näistä erityispiirteistä löytyy metsikkökuvioilta, saa kuvio maaston erityispiirre -muuttujan osalta arvon 1. Muutoin arvo on 0.

Yleisimmiksi kasvupaikoiksi määritettiin kasvupaikkaluokat tuore kangas (3), kuivahko kangas (4) ja kuiva kangas (5). Jos metsikkökuvion kasvupaikkaluokka on jokin näistä, saa kuvio kasvupaikan poikkeavuus keskimääräisestä -muuttujan osalta arvon 0. Jos kuvion kasvupaikkaluokka on lehtomainen kangas (2), karukkokangas (6), kalliomaa ja hietikko (7) tai lakimetsä ja tunturi (8), niin kuvio saa muuttujan osalta arvon 0,5 ja jos kuvion kasvupaikkaluokka on lehto (1), niin kuvio saa muuttujan osalta arvon 1.

Vesistön läheisyys -muuttuja määritettiin vesistöjen reunavyöhykkeiden perusteella. Tähän muuttujaan liittyviksi vesistöiksi luettiin Maastotietokannan vakavedet (MTK-kohteet: 36200, 36211) ja reunavyöhykkeen leveydeksi määritettiin 20 metriä. Vesistön läheisyys -muuttuja saa arvon 1, jos kuvion pinta-alasta yli 20% on vesistön reunavyöhykkeellä. Välillä 20-0 % arvo laskee lineaarisesti 1:stä 0:aan. Vesistön läheisyyden oletetaan lisäävän metsikkökuvion monimuotoisuusarvoja muusta metsäalueesta poikkeavan mikroilmaston takia.

2.2.2 Sosiaalinen kestävyys – Kulkukelpoisuusindeksi

Kulkukelpoisuusindeksillä kuvataan yksittäisen metsikkökuvion kulkukelpoisuutta kuljettaessa jalan. Indeksillä kuvaa sosiaalista kestävyttä ja antaa tietoa luonnossa liikkumisen mahdollisuuksista. Hankkeessa määritettyyn indeksiin vaikuttavat metsikkökuvion puusto, mahdollinen ojitustilanne sekä metsikkökuvioilla tehdyt metsänhoidolliset toimenpiteet (taulukko 7).

Taulukko 7. Kulkukelpoisuusindeksin osaindeksit, muuttujat ja laskentaperusteet.

Muuttuja	Ala- ja ylärajat
puuston runkoluku ja keskipituus	0,5-20 m
kuivatustilanne	ojittamaton - ojitettu
aika hakkuusta	1-10 vuotta
aika taimikonhoidosta	2-7 vuotta

Kulkukelpoisuusindeksi lasketaan muuttujien painotettuna keskiarvona siten, että puuston runkolukua ja keskipituutta kuvaavan muuttujan paino on 2 ja muiden 1.

Puuston runkolukua ja keskipituutta kuvaava muuttuja ilmentää metsikkökuvion puuston vaikutusta kulkukelpoisuuteen ja kulkijan näkymään kuviolla. Muuttuja saa arvon 1, jos puuston keskipituus on alle 0,5 m tai yli 20 m. Tämän pituushaarukan sisällä muuttujan arvoon vaikuttaa puuston runkoluku, jolle on määritetty rajat muuttujan arvoille 1 ja 0.

Runkolukurajat kuuselle (keskipituus alle 11 m):

- 1: $-58.634 \cdot H_{gM} + 1754.3$
- 0: $-250 \cdot H_{gM} + 6250$

Runkolukurajat muille puulajeille (keskipituus alle 11 m):

- 1: $-50 \cdot H_{gM} + 2050$
- 0: $-250 \cdot H_{gM} + 8250$

Runkolukurajat kuuselle (keskipituus yli 11 m):

- 1: 1000
- 0: 3500

Runkolukurajat muille puulajeille (keskipituus yli 11 m):

- 1: 1500
- 0: 5500

Jos runkoluku on 1-rajaa pienempi, muuttuja saa arvon 1 ja jos runkoluku on 0-rajaa suurempi, muuttuja saa arvon 0. Jos runkoluku osuus rajojen väliin, muuttujan arvo (0-1) haetaan metsikkökuvion runkoluvun suhteellisenä etäisyytenä 0- ja 1-rajoihin.

Kuivatustilannetta kuvaava muuttuja saa arvon 1 ojittamattomilla kankailla. Ojitetuilla kankailla, soistuneilla kankailla ja luonnontilaisilla soilla muuttujan arvo on 0,5. Ojitettujen turvemaiden (ojikot, muuttumat ja turvekankaat) osalta kulkukelpoisuus määritettiin heikoimmaksi. Niiden osalta muuttuja saa arvon 0.

Hakkuusta kuluneella ajalla kuvataan hakkuutähteiden ja mahdollisesti muiden hakkuussa syntyneiden korjuujälkien sekä maanmuokkauksen vaikutuksia kulkukelpoisuuteen. Muuttujan arvot määritetään uudistushakkuiden osalta eri raja-arvoin riippuen metsikkökuvion kasvupaikan ravinteisuudesta. Ravinteisuudella todettiin olevan vaikutusta maanmuokkauksen voimakkuuteen.

Tuoreilla kankailla ja sitä ravinteikkaammilla kasvupaikoilla hakkuusta kulunutta aikaa kuvaava muuttuja saa arvon 0, jos uudistushakkuusta on kulunut enintään 2 vuotta. Tämän jälkeen muuttujan arvo kasvaa lineaarisesti ja saavuttaa arvon 1, kun uudistushakkuusta on kulunut 10 vuotta. Kuivahkoilla kankailla ja sitä vähäravinteisimmilla kasvupaikoilla muuttuja saa arvon 0, jos uudistushakkuusta on kulunut enintään 1 vuosi. Tämän jälkeen muuttujan arvo kasvaa lineaarisesti ja saavuttaa arvon 1, kun uudistushakkuusta on kulunut 5 vuotta. Kasvatushakkuiden osalta muuttuja saa arvon 0, jos kasvatushakkuusta on kulunut enintään 1 vuosi. Tämän jälkeen muuttujan arvo kasvaa lineaarisesti ja saavuttaa arvon 1, kun kasvatushakkuusta on kulunut 5 vuotta.

Taimikonhoidosta kuluneella ajalla kuvataan maahan jääneiden kaadettujen taimien kulkukelpoisuutta heikentävää vaikutusta. Muuttuja saa arvon 0, jos taimikonhoidosta on kulunut enintään 1 vuosi. Tämän jälkeen muuttujan arvo kasvaa lineaarisesti ja saavuttaa arvon 1, kun taimikonhoidosta on kulunut 5 vuotta.

2.2.3 Ilmastollinen kestävyys – Hiili-indeksi

Ilmastollista kestävyyttä osana ekologista kestävyyttä on kuvattu hankkeessa puuston ja maaperän hiilivaraston vuotuisella muutoksella huomioiden päästöketjut sekä korvaavuusvaikutukset.

Tässä hankkeessa hiilivarastojen laskeminen perustuu metsävaratietoon, josta johdetaan tieteellisten kasvu-, biomassa- ja maaperähiilimallien (mm. Helmisaari ym. 1998, Liski ym. 2006, Muukkonen ym. 2006, Repola ym. 2007 ja Tuomi ym. 2011) perusteella puuston ja maaperän hiilivarastojen suuruus ja niiden vuosittainen muutos. Päästöketjujen ja korvaavuusvaikutusten laskennassa käytetään kansallisia keskiarvoja eri julkaisuista.

Mikäli painotetaan ilmastollista kestävyyttä, optimointi valitsee vaihtoehdot, jotka minimoivat päästöjä. Toisin sanoen optimoinnissa pyritään maksimoimaan hiilivaraston kasvua ja korvaavuusvaikutusten summaa.

Poiketen muista indekseistä, hiili-indeksille esitetään absoluuttinen kvantitatiivinen arvo CO₂. Hiilitalouden kannalta edullisin vaihtoehto tuottaa indeksin arvon 1 ja huonoin arvon 0. Loput vaihtoehdot skaalataan välille 0-1.

2.2.4 Taloudellinen kestävyys – Nettonykyarvoindeksi

Taloudellisen kestävyys toteutumista on mahdotonta tarkastella pelkästään metsävaratiedon perusteella, koska päätöksiin vaikuttavat metsänomistajan tavoitteet sekä muun muassa vaihtoehtoiset sijoituskohdet ja -muodot. Esimerkiksi metsänhoidon suosituksissa (Äijälä ym. 2019) taloudellista kestävyttä lähestytään neljällä päätöksentekostrategialla:

1. **Nettonykyarvon maksimointi**
2. **Sidotun pääoman tuottoasteen maksimointi**
3. **Tasainen kassavirta**
4. **Pääoman kartuttaminen**

Hankkeen työpajoissa ja ohjausryhmän käsittelyssä taloudellisen kestävyys mittariksi valikoitui nettonykyarvo ja todettiin, että se on hyvä mittari metsänhoidon- ja omistuksen taloudelliselle kestävyydelle.

Tässä hankkeessa nettonykyarvoa on laskettu esimerkkimetsätiloille 100 vuoden aikajaksolle. Metsikkökuvion tuottoarvon laskenta perustuu Pukkalan (2005) tuottoarvomalleihin. Kuviokohtainen tuottoarvo on laskettu diskonttaamalla kuvion toimenpideketjuun liittyvät tulot ja menot eli nettotulojen nykyhetkeen. Toimenpideketjut muotoutuvat metsänomistajan painotusten suhteen (ekologinen, ilmastollinen, sosiaalinen ja taloudellinen) perusteella. Korkokantana käytetään 3 % ja puutavaralajien kanto hintoina ja metsänhoitotöiden kustannuksina käytetään useamman vuoden keskiarvohintoja. Laskentajakson päättyessä jäänöspuuston arvo ennustetaan Pukkalan (2005) tuottoarvomalleilla.

Nettonykyarvo kertoo erilaisten metsänhoitoskenaarioiden vaihtoehtoiskustannukset. Kun metsänomistaja painottaa tavoitteidensa perusteella ekologista ja ilmastollista, sosiaalista tai taloudellista kestävyttä, saadaan selville eri skenaarioiden vaihtoehtoiskustannukset.

Nettonykyarvoindeksille esitetään absoluuttinen kvantitatiivinen arvo (NPV €) poiketen muista indekseistä hiili-indeksin lisäksi. Taloudellisen kestävyys kannalta edullisin vaihtoehto tuottaa indeksin arvon 1 ja huonoin arvon 0 (esim. lepokuviot). Loput vaihtoehdot skaalataan välille 0-1.

Nettonykyarvon haasteena on, että se ei kerro kassavirtojen säilyvyydestä tai tasaisuudesta. Tätä varten laskentoihin on järkevää luoda kestävyysrajoitteita kassavirtojen tasaisuudelle. Muutoin uhkana on, että pelkästään nettonykyarvon optimointi johtaa herkästi kaikkien hakkuumahdollisuuksien nopeaan realisointiin. Nettonykyarvon laskenta on myös herkkää valitulle korkokannalle ja laskentajaksolle.

2.2.5 Tuhoindeksit

Metsätuhoja kuvaavia indeksejä määriteltiin lumituhoille, tuulituhoille ja hirvieläintuhoille. Tuhoindeksit kuvaavat metsien kykyä säilyä elinvoimaisina ja siten indeksit kuvaavat etenkin ilmastollista ja taloudellista kestävyttä. Määritellyt indeksit kuvaavat tuhoriskiä asteikolla 0-1 siten, että indeksin arvo 1 kuvaa suurinta mahdollista tuhoriskiä.

Muiden tuhonaiheuttajien osalta joko tuhojen satunnaisuus tai muiden kuin metsällisten tunnusten vaikutus tuhojen todennäköisyyteen nähtiin niin merkittävänä, että ne jätettiin määrittelemättä. Kyseiset asiat olisivat johtaneet joko liian yleisiin tai toisaalta liian vaikeasti käytönotettaviin indekseihin.

Lumituho-indeksillä kuvataan lumituhoriskiä metsikkökuvion puustolle. Indeksien muuttujiksi määritettiin metsikkökuvion korkeus merenpinnasta, aika edellisestä harvennuksesta, puuston riukuuntuneisuutta kuvaava puuston pituus/läpimitta -suhde, puuston mäntyvaltaisuus sekä aika männikön lannoituksesta (taulukko 8). Metsikkökuvion lumituho-indeksi lasketaan muuttujien keskiarvona. Kaikilla muuttujilla on keskiarvon laskennassa sama paino (1). Metsiköiden lumituhoriskiä vaikuttavia tekijöitä on kuvattu laajemmin metsänhoidon suosituksissa ja niihin liittyvissä lähteissä (<https://metsanhoidonsuositukset.fi/fi/toimenpiteet/metsien-terveydesta-huolehtiminen/toteutus>).

Taulukko 8. Lumituho-indeksien muuttujat ja laskentaperusteet.

Muuttuja	Ala- ja ylärajat
Korkeus merenpinnasta	100-300 m
Aika harvennuksesta	0-5 vuotta
Puuston riukuuntuneisuus	0,9-1,0
Mäntyvaltaisuus	0-100 %
Lannoitetut männiköt	2-4 vuotta

Metsikkökuvion korkeudella merenpinnasta on todettu olevan vaikutusta lumituhoriskiä. Korkeus merenpinnasta -muuttuja saa arvon 0, jos metsikkökuvion korkeus merenpinnasta on alle 100 m. Välillä 100-300m muuttujan arvo kasvaa lineaarisesti 0:sta 1:een. Jos korkeus merenpinnasta on yli 300 m, muuttuja saa arvon 1.

Harvennuksesta kuluneella ajalla kuvataan kasvanutta lumituhoriskiä heti harvennuksen jälkeen, kun puusto ei ole vielä sopeutunut lisääntyneeseen kasvutilaan. Muuttujan arvo laskee lineaarisesti 1:stä 0:aan kun harvennuksesta kulunut aika on välillä 0-5 vuotta. Jos harvennuksesta on kulunut 5 vuotta tai pidempään, lumituhoriskiä ei enää oleteta harvennuksen takia olevan ja muuttuja saa arvon 0.

Puuston pituus-läpimitta -suhde kuvaa puuston keskimääräistä runkomuotoa. Jos puusto on riukuuntunut, eli runkomuodoltaan pitkää suhteessa runkojen läpimittaan, voidaan puustolla olettaa olevan korkea lumituhoriski. Riukuuntuneisuutta kuvaavan muuttujan raja-arvoiksi määritettiin 0,9 ja 1. Jos puuston pituus-läpimitta -suhde on alle 0,9, riukuuntuneisuudesta aiheutuva riski on pieni ja muuttuja saa arvon 0. Välillä 0,9-1 muuttujan arvo kasvaa lineaarisesti 0:sta 1:een. Jos pituus-läpimitta -suhde on yli 1, muuttuja saa arvon 1.

Puuston mäntyvaltaisuudella on todettu olevan vaikutus lumituhoriskin suuruuteen. Myös koivikoissa riski on koholla, mutta esim. avoimen metsävaratiedon puulajitieto ei mahdollista koivikoiden erottelua muista lehtipuista. Mäntyvaltaisuutta kuvaava muuttuja saa arvoja 0-1 puuston kokonaistilavuudesta lasketun männyn osuuden (0-100%) mukaan.

Lumituhoriskin on todettu kasvavan lannoituksen jälkeen etenkin männiköissä. Lannoituksen vaikutukset ovat suurimmillaan 2-4 vuoden kuluttua lannoituksesta. Lannoitusta kuvaava muuttuja saa arvon 1, vaikutuksen ollessa suurimmillaan, eli 2-4 vuoden kuluttua lannoituksesta. Muuten muuttuja saa arvon 0.

Tuulituho-indeksillä kuvataan tuulituhoriskiä metsikkökuvion puustolle. Indeksien muuttujina ovat puuston pituus, aika edellisestä harvennuksesta, puuston koko suhteessa naapurikuvioiden puustoon, naapurikuvioilla toteutetut avohakkuut sekä puuston kuusivaltaisuus (taulukko 9). Tuulituhoriskiä ei nähdä olevan, eikä tuulituho-indeksiä lasketa alle 10 metrisiin puustoihin. Tätä pidemmissä puustoissa

metsikkökuvion tuulituho-indeksi lasketaan muuttujien keskiarvona. Kaikilla muuttujilla on keskiarvon laskennassa sama paino (1). Metsiköiden tuulituhoriskiä vaikuttavia tekijöitä on kuvattu laajemmin metsänhoidon suosituksissa ja niihin liittyvissä lähteissä (<https://metsanhoidonsuositukset.fi/fi/toimenpiteet/metsien-terveydesta-huolehtiminen/toteutus>).

Taulukko 9. Tuulituho-indeksin muuttujat ja laskentaperusteet.

Muuttuja	Ala- ja ylärajat
Puuston pituus	10-15 m
Aika harvennuksesta	0-10 vuotta
Puuston koko suhteessa naapurikuvioiden puustoon	0-100 %
Naapurikuviolla avohakkuu	0-100 %
Kuusivaltaisuus	0-100 %

Tuuli koettelee pidempiä puita enemmän. Puuston pituuden ollessa välillä 10-15 m, muuttujan arvo kasvaa lineaarisesti 0:sta 1:een ja puuston pituuden ollessa yli 15 metriä muuttuja saa arvon 1.

Lähiaikoina tehty harvennus lisää tuulituhoriskiä, kun tuulen vaikutus kohdistuu voimakkaammin useampiin myös kuvion sisällä oleviin puihin, eikä puusto ole vielä ehtinyt sopeutua muuttuneeseen kasvutilaan. Muuttujan arvo laskee lineaarisesti 1:stä 0:aan kun harvennuksesta kulunut aika on välillä 0-10 vuotta. Jos harvennuksesta on kulunut 10 vuotta tai pidempään, tuulituhoriskiä ei enää oleteta harvennuksen takia olevan ja muuttuja saa arvon 0.

Jos metsikkökuvion puusto on naapurikuvioiden puustoa pidempää, tuuli osuu kuvion puustoon suuremmalla voimalla ja riski tuulituhoille on koholla. Muuttujassa lasketaan metsikkökuvion rajan osuus niihin naapurikuvioihin, joiden puuston keskipituus on yli 5 metriä pienempi kuin laskennan kohteena olevan kuvion keskipituus. Muuttuja saa arvoja 0-1 puustoltaan lyhyempien naapurikuvioiden rajaosuuden (0-100%) mukaan.

Lyhyellä aikavälillä tuulituhon riski nousee merkittävästi, jos naapurikuvioille kohdistuu avohakkuuta. Pidemmällä aikavälillä riski pienenee puuston sopeutuessa muuttuneeseen kasvuympäristöön. Muuttujassa lasketaan metsikkökuvion rajan osuus niihin naapurikuvioihin, joilla on tehty avohakkuu viimeisen viiden vuoden aikana. Muuttuja saa arvoja 0-1 avohakattujen naapurikuvioiden rajaosuuden (0-100%) mukaan.

Kuusten pinnalliset juuret ja siten puuston kuusivaltaisuus vaikuttaa tuulituhoriskin suuruuteen. Kuusivaltaisuutta kuvaava muuttuja saa arvoja 0-1 puuston kokonaistilavuudesta lasketun kuusen osuuden (0-100%) mukaan.

Hirvieläintuho-indeksi kuvaa riskiä hirvieläintuhoille. Indeksien muuttujina ovat metsikkökuvion puuston pituus, mänty-, koivu- ja lehtikuusivaltaisuus sekä muuhun puuston nähden etukasvuinen lehtipuusto (taulukko 10). Hirvieläintuhoriskiä ei nähdä olevan, eikä hirvieläintuho-indeksiä lasketa yli 3,5 metrisiin puustoihin. Metsikkökuvion hirvieläintuho-indeksi lasketaan muuttujien keskiarvona. Kaikilla muuttujilla on keskiarvon laskennassa sama paino (1). Metsiköiden hirvieläintuhoriskiä vaikuttavia tekijöitä on kuvattu laajemmin metsänhoidon suosituksissa ja niihin liittyvissä lähteissä (<https://metsanhoidonsuositukset.fi/fi/toimenpiteet/metsien-terveydesta-huolehtiminen/toteutus>).

Taulukko 10. Hirvieläintuho-indeksin muuttujat ja laskentaperusteet.

Muuttuja	Ala- ja ylärajat
Puuston pituus	0,2-1-3-3,5 m
Mänty-, koivu- ja lehtikuusivaltaisuus	30-100 %
Etukasvuinen lehtipuusto	

Suurimmat hirvieläintuhojen riskit osuvat nuoriin taimikoihin. Puuston pituutta kuvaava muuttuja saa arvon 0, jos puuston pituus on pienempi kuin 0,2 m tai pidempi kuin 3,5 m. Jos puuston pituus on välillä 1-3 m, muuttuja saa arvon 1. Välillä 0,2-1 m muuttujan arvo kasvaa lineaarisesti 0:sta 1:een ja välillä 3-3,5 muuttujan arvo laskee lineaarisesti 1:stä 0:aan.

Mänty-, koivu- (tai yleisemmin lehtipuuvaltaisuus) ja lehtikuusivaltaisuus nostaa hirvieläintuhoon riskiä. Kuusikoissa hirvieläintuhot ovat harvinaisempia, vaikka toki niissä jonkin verran yleistyneet. Mänty-, koivu- ja lehtikuusivaltaisuutta kuvaava muuttuja saa arvoja 0-1, jos metsikkökuvion pääpuulaji on mänty, koivu tai lehtikuusi ja männyn, lehtikuusen ja lehtipuulajien yhteenlaskettu osuus on 30-100 % koko puuston tilavuudesta. Tällä välillä indeksi kasvaa lineaarisesti 0:sta 1:een.

Muuhun taimikkoon nähden etukasvuinen lehtipuusto nostaa metsikkökuvion hirvieläintuhoon riskiä. Muuttujaa käytetään indeksin laskennassa, jos metsikkökuvion pääpuulaji on mänty tai lehtikuusi. Muussa indeksi lasketaan vain kahden aiemmin kuvatun muuttujan avulla. Etukasvuista lehtipuustoa kuvaava muuttuja saa arvon 1, jos lehtipuuston tiheys on yli 1000 kpl/ha ja lehtipuun keskipituus on pidempi kuin pääpuulajilla.

2.2.6 Indeksien testaus

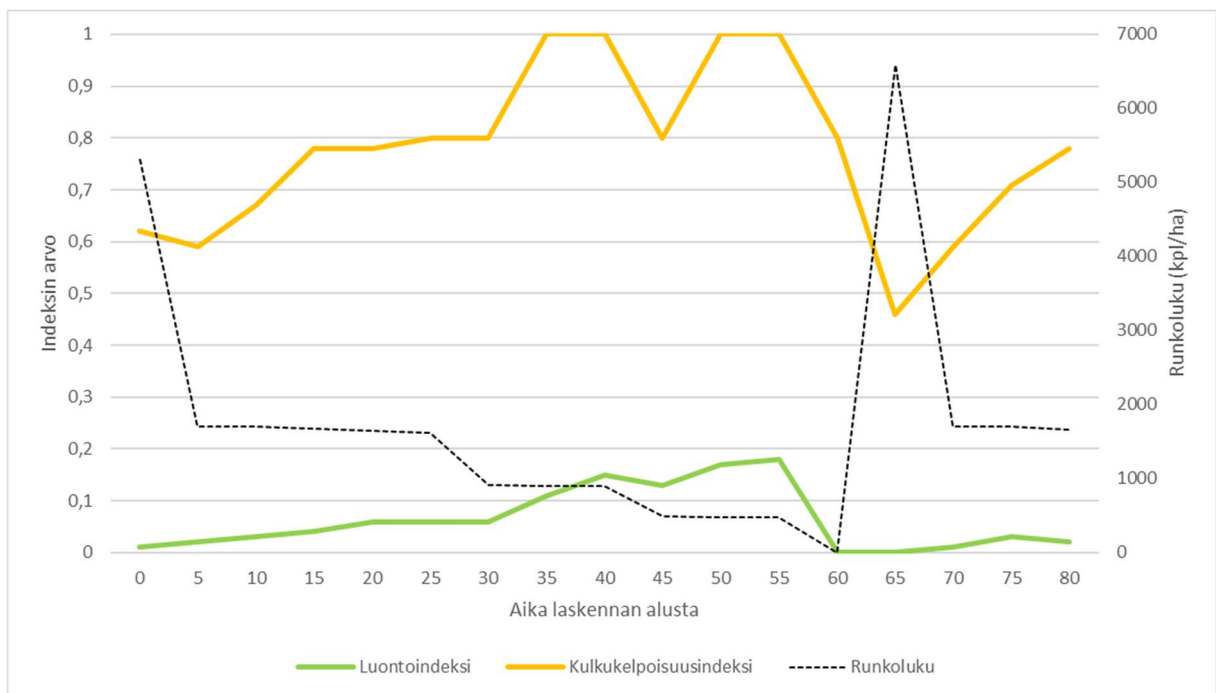
Indeksejä testattiin yksittäisillä kuvioilla simuloimalla metsikkökuvion kehitystä eri käsittelytavoilla ja tutkimalla indeksien arvojen kehitystä ajassa. Testauksissa keskityttiin luontoindeksiin ja kulkukelpoisuusindeksiin.

Testeillä pyrittiin varmistamaan indeksien looginen toiminta eri tilanteissa. Tähän tarkoitukseen sopivaa mitattuun luontotietoon perustuvaa referenssiaineistoa ei taida käytännössä olla olemassa, joten indeksien loogisen kehityksen arviointi tehtiin asiantuntija-arvioihin perustuen.

Kuvassa 1 on esitetty luontoindeksin ja kulkukelpoisuusindeksin kehitys metsikkökuvioilla (920639), joka on laskennan lähtötilanteessa noin viiden vuoden ikäinen tuoreen kankaan kuusen taimikko ja kehittyy 80 vuoden laskentajaksoilla uudistuskypsäksi ja edelleen nuoreksi kasvatusmetsäksi. Laskenta käsittelee metsikkökuvioita tasaikäisenä ja pääsääntöisesti yhden puulajin metsikkönä. Metsikön laskennallinen uudistaminen tapahtuu noin 65 vuoden iässä ja laskenta tuottaa uuden puuston istuttamalla.

Luontoindeksin arvo ei nouse kuvan 1 ja 2 esimerkikuvioilla missään vaiheessa korkealle. Tasaikäinen, pääsääntöisesti yhden puulajin puusto, aikainen uudistaminen ja maaston alhainen diversiteetti pitävät siitä huolen.

Kulkukelpoisuusindeksin arvo on laskentajakson alussa korkea, mutta laskee nopeasti taimikonhoidon seurauksena. Laskentajakson edetessä kulkukelpoisuusindeksin arvo kohoaa ja laskee harvennusten rytmissä, kunnes uudistamisen jälkeinen syntyvä ja luontaisesti täydentyvä vaikeakulkuinen taimikko taas tiputtaa arvon alas. Esimerkkikuvien tulkinnessa on hyvä ottaa huomioon, että laskenta kuvaa viiden vuoden jaksoja ja esim. kuvan 1 metsikkökuvioilla aikajaksoille 65 vuotta laskennan alusta osuu sekä istutus että taimikon varhaishoito.



Kuva 1. Luontoindeksin ja kulkukelpoisuusindeksin laskennallinen kehitys esimerkikiuviolla, joka on lähtötilanteeltaan nuori tasaikäinen kuusen taimikko (920639).

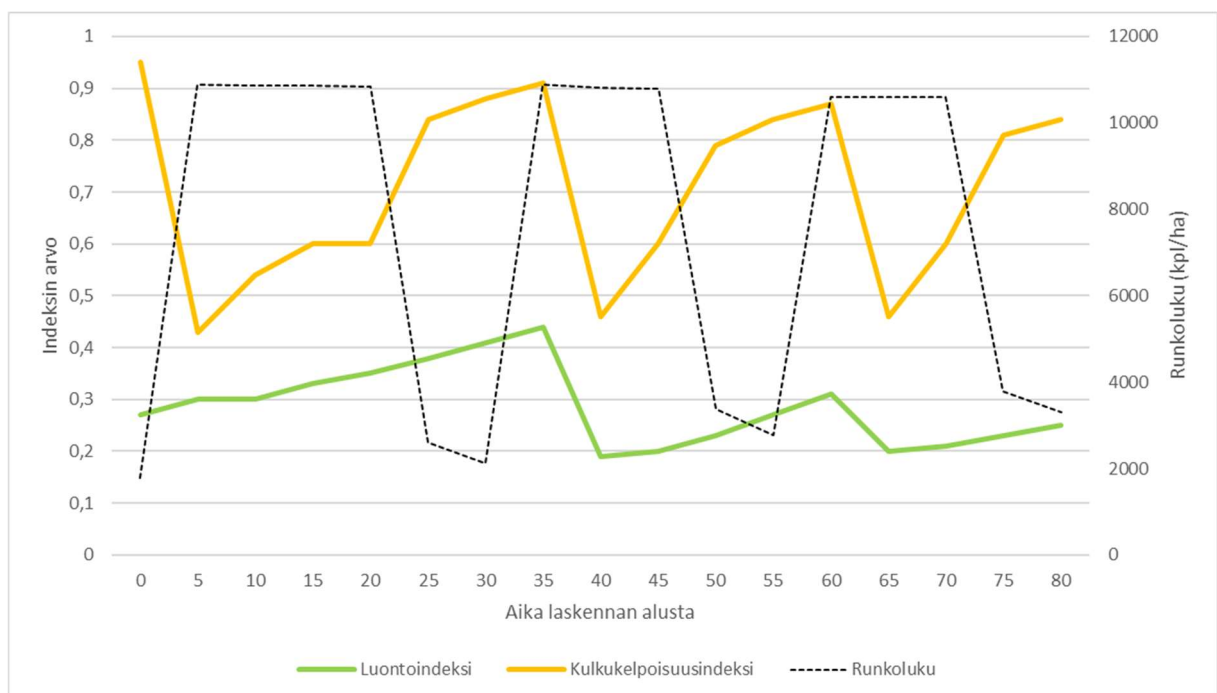


Kuva 2. Ilmakuva esimerkikiuviosta, joka on lähtötilanteeltaan nuori tasaikäinen kuusen taimikko (920639).

Kuvissa 3 ja 4 on esitetty luontoindeksin ja kulkukelpoisuusindeksin kehitys metsikkökuviolla, joka on laskennan lähtötilanteessa eri-ikäisrakenteinen metsikkö ja jota kasvatetaan laskennallisesti eri-ikäisrakenteisena. Metsikkökuviolle simuloituu poimintahakkuu heti laskentajakson alussa ja kaksi kertaa sen jälkeen (35 ja 60 vuotta laskennan alusta). Metsikkökuvion puusto kehittyy mäntyvaltaisesta kuusivaltaiseen sillä lähtötilanteessa männyt ovat metsikkökuvion suurimpia puita ja kuuset ovat vallitsevia alemmissä latvuserroksissa. Ihan pientä alemman latvuserroksen puustoa metsikkökuviolla ei lähtötilanteessa ole.

Laskentajakson alun poimintahakkuu ja siitä seuraava luontainen taimettuminen monipuolistavat puuston rakennetta ja nostavat luontoindeksin arvoa tasaisesti tilavuuden ja keski-ikäen kasvaessa. Myöhemmät poimintahakkuut laskevat tilavuutta ja keski-ikää säilyttäen kuitenkin saavutetun puuston monipuolisen rakenteen. Näiden poimintahakkuiden seurauksena luontoindeksin arvo laskee. Runkoluvun pudotukset jo ennen poimintahakkuuta ovat seurausta poimintahakkuun jälkeen syntyneen luontaisen taimiaineksen kuolemista.

Metsikkökuvion kulkukelpoisuusindeksi laskee alkuvaiheen poimintahakkuun ja taimettumisen myötä reilusti. Seuraavat poimintahakkuut aiheuttavat kulkukelpoisuusindeksiin saman vaikutuksen runkoluvun kasvaessa, keskipituuden pienentyessä sekä hakkuutähteiden ja muiden korjuujälkien haitatessa kulkua metsikkökuviolla.



Kuva 3. Luontoindeksin ja kulkukelpoisuusindeksin laskennallinen kehitys esimerkikiuviolla, joka on läh-
tötilanteeltaan mäntyvaltainen eri-ikäisrakenteinen metsikkö (920613).



Kuva 4. Ilmakuva esimerkikuvioista, joka on lähtötilanteeltaan mäntyvaltainen eri-ikäisrakenteinen metsikkö (920613).

3 Indeksien hyödyntäminen metsäsuunnittelulaskennoissa

3.1 Skenaariolaskentojen kuvaus

3.1.1 Optimoinnit

Skenaariolaskentojen tarkoituksena oli testata miten erilaiset tavoitteet ja tavoiteyhdistelmät vaikuttavat optimoituun metsäsuunnitelmaan. Skenaariolaskennat toteutettiin hyödyntämällä AFRYn olemassa olevaa monitavoiteoptimointialgoritmia, joka perustuu kaksivaiheiseen optimointiin.

Optimoinnin ensimmäisessä vaiheessa laadittiin optimaaliset metsäsuunnitelmat erikseen jokaiselle tavoitteelle (**yksitavoiteoptimointi**). Optimoinnin toisessa vaiheessa (**monitavoiteoptimointi**) jokaiselle kuvioille valittiin yksi toimenpideketju jostakin yksitavoiteoptimoinnin tuloksesta siten, että monitavoiteoptimoinnille annetut tavoitteiden väliset painoarvot toteutuivat.

Yksitavoiteoptimointiin käytettiin lineaarista J-optimointia, kun taas monitavoiteoptimointiin käytettiin Mixed Integer Linear Programming- tyyppistä optimointia. Monitavoiteoptimoinnissa maksimoitiin hyötyfunktion arvoa. Hyötyfunktion arvo muodostuu osatavoitteiden (talous, luonto, hiili, kulkukelpoisuus) painotetusta summasta. Kaikkien osatavoitteiden arvot ovat 0 ja 1:n välillä. Luonto- ja kulkukelpoisuusindeksi on laskentakaavansa puolesta 0 ja 1:n välillä, kun taas talous- ja hiili-indeksi muodostuu skaalamalla eri metsänkäsittelyvaihtoehtojen tavoitearvot (EUR tai CO2) 0 ja 1 välille siten, että paras vaihtoehto saa arvon 1, heikoin arvon 0 ja loput siltä väliltä.

Optimoinneista lopputuloksena saatuja metsäsuunnitelmia vertailtiin hakkuukertymän ja indeksien kehityksen osalta.

AFRY toteutti taulukoiden 11 ja 12 mukaiset optimointiskenaariot. Raportissa tulosten esittely on rajoitettu yksitavoitesuunnitelmien vertailuun, koska monitavoiteoptimoinnin toteutuksissa ilmeni ongelmia, joita ei saatu kokonaan ratkottua hankkeen loppuraportointiin mennessä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että indeksimäärittelyssä olisi vikaa.

Taulukko 11. Yksitavoiteoptimoinnit.

Optimointi	Tavoitefunktio	Rajoitteet
Yksitavoiteoptimoinnit		
Talous	Nettonykyarvon maksimointi 4% korolla	
Luonto	Luontoindeksin yli ajan summan maksimointi	Luontoindeksi 20-vuotiskausien lopussa ei saa olla alempi kuin kyseisen 20-vuotiskauden alussa
Hiili	Hiilipäästöjen yli ajan summan minimointi	
Kulkukelpoisuus	Kulkukelpoisuusindeksin yli ajan summan maksimointi	Kulkukelpoisuusindeksi 20-vuotiskausien lopussa ei saa olla alempi kuin kyseisen 20-vuotiskauden alussa

Taulukko 12. Monitavoiteoptimoinnit.

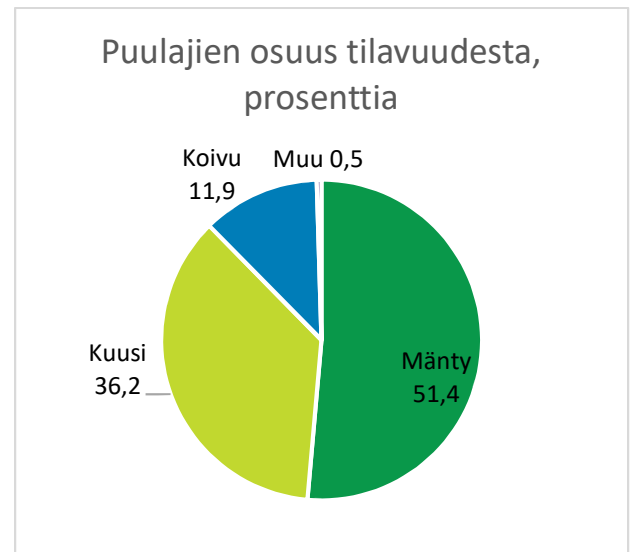
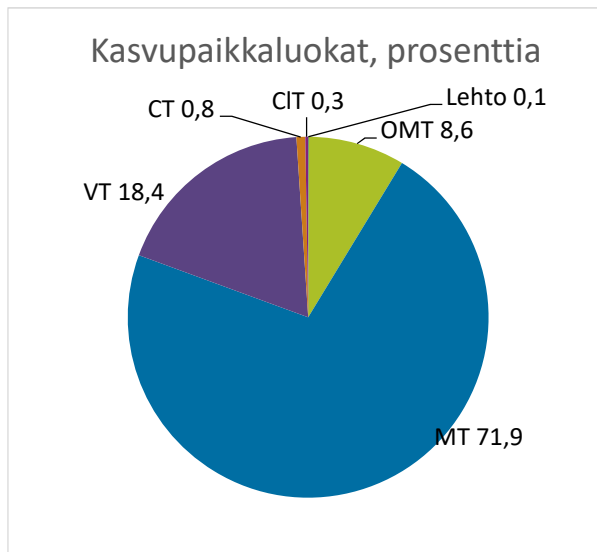
Optimointi	Taluspaino	Luontopaino	Hiilipaino	Kulkukelpoisuuspaino
Kaikkien tavoitteiden huomiointi	0.25	0.25	0.25	0.25
Talous ja monimuotoisuus	0.25	0.25	0	0
Talous ja ilmasto	0.5	0	0.5	0
Monimuotoisuus ja ilmasto	0	0.5	0.5	0
Virkistys	0	0.25	0.25	0.5

3.1.2 Testikiinteistön kuvaus

Metsäsuunnitelmat laadittiin Heinävedellä sijaitsevalle metsäkiinteistölle, josta tuottavaa metsämaata oli 297 ha. Kiinteistöstä 96.8 ha (n. 33%) oli metsävaratiedossa merkattu suojeluun ja siten kyseiset kuviot rajautuivat toimenpiteiden ulkopuolelle. Tuottavan metsämaan ikäluokkajakauma on kuvassa 5 ja kasvupaikkaluokka- ja puulajijakaumat kuvissa 6 ja 7.



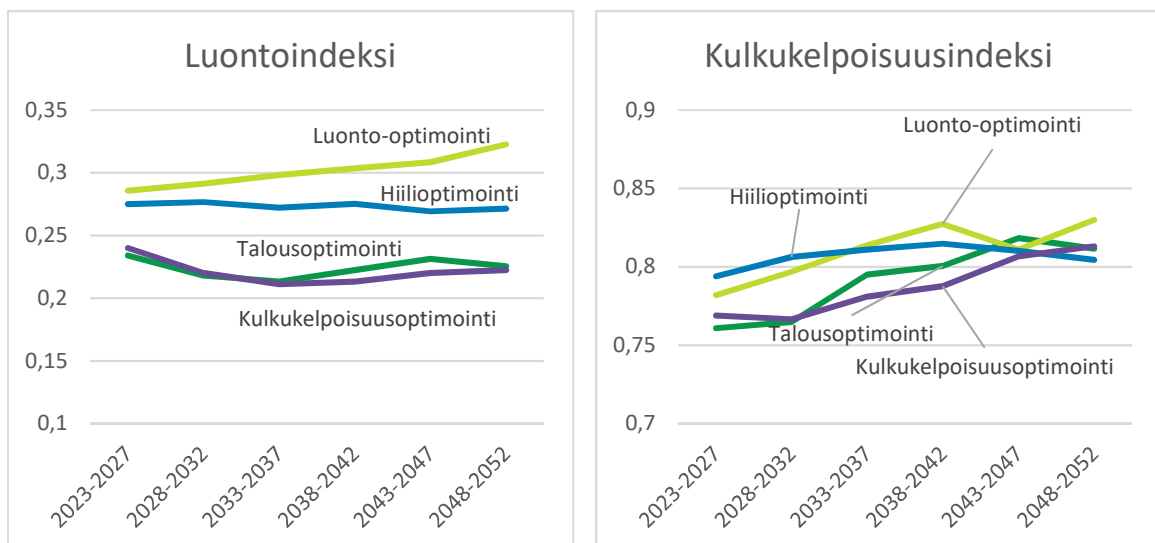
Kuva 5. Kohdekiinteistön ikäluokkajakauma.



Kuvat 6 ja 7. Kohdekiinteistön kasvupaikkaluokka- ja pääpuulajijakaumat.

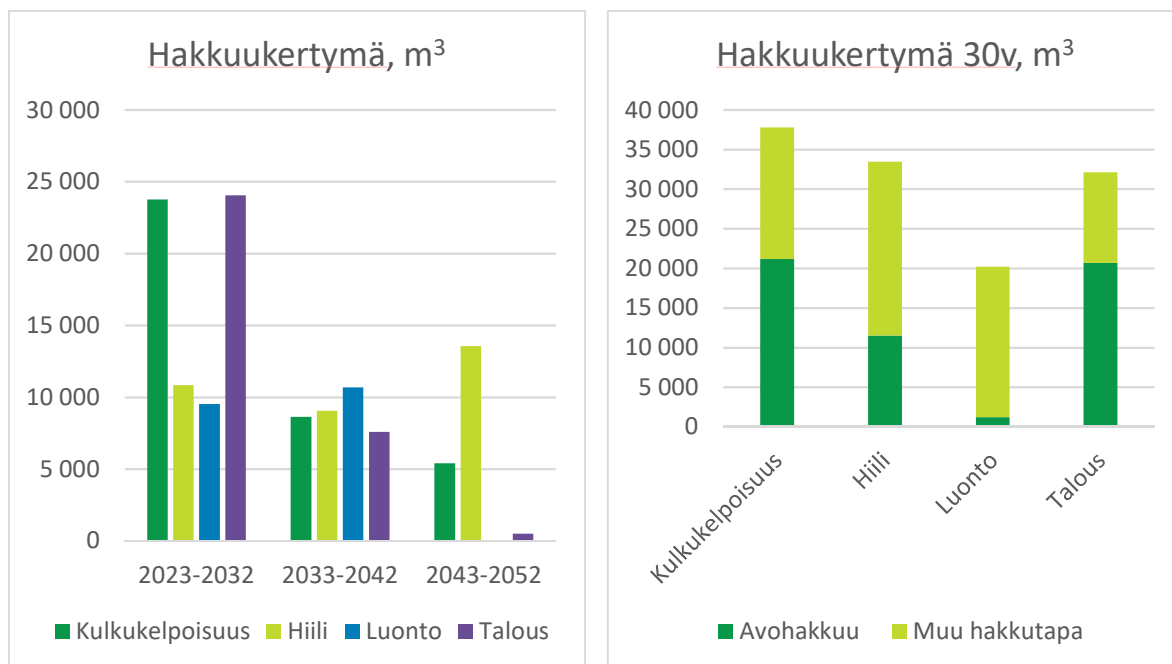
3.2 Skenaariolaskentojen tulokset

3.2.1 Indeksien kehitys



Kuva 8. Luonto- ja kulkukelpoisuusindeksien keskiarvon kehitys yksitavoitesuunnitelmissa

3.2.2 Hakkuukertymät



Kuva 9. Hakkuukertymät yksitavoitesuunnitelmissa 10-vuotiskausittain ja yhteensä 80v aikana.

3.3 Tulosten tarkastelu ja indeksien sovellettavuus

3.3.1 Tulosten tarkastelu

Tarkkailemalla luonto- ja kulkukelpoisuusindeksin tilatason keskiarvon kehitystä yli 30 vuoden suunnitelmakauden aikana havaittiin, että keskimääräisissä indeksiarvoissa oli suunnitelmien välillä melko pieni ero, mutta erot olivat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta odotusten mukaisia. Poikkeuksena oli kulkukelpoisuussuunnitelma, joka tuotti alhaisemman kulkukelpoisuusindeksin kuin luonto-optimointi.

Luontoindeksi oli keskimäärin korkeimmillaan suunnitelmassa, joka maksimoi luontoindeksin summaa yli suunnittelukauden. Hiilipäästöjä minimoivassa suunnitelmassa luontoindeksi oli keskimäärin korkeammalla kuin talous- ja kulkukelpoisuussuunnitelmissa.

Talous- ja kulkukelpoisuussuunnitelmat olivat luontoindeksin osalta hyvin samankaltaiset. Tämä johtuu siitä, että kulkukelpoisuusindeksin optimointi johtaa hyvin samankaltaiseen lopputulemaan kuin taloussuunnitelma. Kulkukelpoisuusindeksin määrittelyissä runkoluvun hillitsemisellä voi parantaa kulkukelpoisuutta, joka ohjaa optimointia tekemään taimikonhoidot ja harvennukset ajallaan. Indeksien arvoon vaikuttaa myös kuvion saavutettavuus, johon metsänhoidolla ei voi vaikuttaa.

Hakkuumääriä vertaillen huomattiin, että taloussuunnitelma odotuksien mukaisesti pyrkii tekemään hakkuut mahdollisimman aikaisin. Hakkuumäärissä talous- ja kulkukelpoisuussuunnitelmien välillä ei ollut merkittävää eroa, mutta hiili- ja luontosuunnitelmissa hakkuumäärät olivat selvästi alhaisemmat. Avohakkuukertymiä tarkastellessa huomataan, että luontoindeksin maksimointi suosii selvästi muita hakkuutapoja kuin avohakkuuta.

Testeissä havaittiin, että yksinkertainen indeksin summan maksimointi ei välttämättä ole oikea lähestymistapa etenkin luontoindeksin optimointiin. Mikäli indeksin summaa maksimoidaan, ei optimointi välttämättä pyri varjelemaan kohteita, jotka saavat jo sijaintinsa ja kasvupaikkansa puolesta korkeahkon indeksin arvon. Voi ajatella, että optimoinnin tulisi pyrkiä säilyttämään harvinaiset kasvupaikat ja

maastoltaan harvinaiset kohteet ennallaan myös puuston osalta, jottei maaston muodostama harvinainen elinympäristö häiriintyisi.

3.3.2 Indeksien sovellettavuus

Kehitetty luontoindeksi soveltuu hyvin kuvioiden luontoarvon vertailuun nykytilanteessa. Metsäsuunnittelun osana indeksien käyttökelpoisuutta heikentävät ne osaindeksit, jotka eivät reagoi simuloinnin tekemiin toimenpiteisiin. Esimerkkeinä toimenpiteisiin reagoimattomista osaindekseistä ovat todettu luontoarvo ja mitattu lahopuu, joiden oletetaan säilyvän yli suunnitteluajan. Osaindeksien sisällyttäminen on järkevää, mutta kun indeksejä ryhdytään käyttämään suunnittelulaskennassa, tulee varmistaa, että metsän kehitystä mallintava simulaattori päivittää osaindeksien arvoja, mikäli esimerkiksi todetun luontoarvon kuviolla toteutetaan toimenpide, joka heikentää todettua luontoarvoa. Lisäksi on tärkeää varmistaa, että eri tavoitteiden mukaiset simulaattorit kykenevät simuloimaan riittävän laajan paletin erilaisia toimenpiteitä tai ”ei-toimenpiteitä ollenkaan”-vaihtoehtoon.

4 Johtopäätökset ja jatkokehitystarpeet

4.1 Johtopäätökset ja suuntia jatkokehitykseen

Indeksien laskentaan sopivia julkisia aineistoja on saatavilla kohtuullisen hyvin. Suomalaisen metsä- ja luontotiedon taso on muihin maihin nähden hyvä.

Indeksien laskennan näkökulmasta yleisimmät aineistojen hyödyntämistä rajoittavat tekijät ovat aineistojen maantieteellinen laajuus ja aineistojen ajantasaisuus. Nämä molemmat vaatimukset ovat keskeisiä, jotta indeksien tulokset olisivat kattavasti laskettavissa ja ne vastaisivat mahdollisimman hyvin laskennan kohteena olevia metsikkökuvioita. Jos esimerkiksi ajantasaisuuteen liittyvä vaatimus ei täyty, voivat tulokset pahimmassa tapauksessa johtaa päätöksentekijää harhaan.

Vaikka muuttujien laskentaan sopivia julkisia aineistoja löytyy jo hyvin, ovat uudet aineistot toki tarpeen. Erityisesti erilaiset metsäluontoa kuvaavat tiedot olisivat merkityksellisiä, jotta metsäluonnon kuvaus syvenisi puumääristä entistä enemmän erilaisten erityispiirteiden suuntaan. Näitä voisivat olla esimerkiksi monimuotoisuudelle arvokkaat puulajit, puuston rakenteellisen vaihtelun tarkempi kuvaaminen ja lahoppuustoon liittyvät tiedot. Jos esimerkkien mukaisia tietoja olisi saatavilla metsikkökuvioille maantieteellisesti kattavasti ja suhteellisen ajantasaisena, mahdollistaisi se esimerkiksi hankkeessa määritellyn luontoindeksin kehittämisen uudelle tasolle.

Laskentamallien ennusteiden tarkkuus ja yksityiskohtaisuus on oleellinen tekijä pidemmän ajan ennusteissa ja indeksien laskennassa puustoa kuvaavien muuttujien osalta. Indeksien testauksen yhteydessä tehty havainto oli, että näissä laskennoissa laskennat pyrkivät pääosin yksinkertaistamaan ja yleistämään puustotietoja pidemmällä ajalla. Käytännössä tämä näkyi siten, että laskenta pyrki enemmän yhden puulajin metsikköön kuin sekapuustoiseen metsikköön. Tämä ilmiö oletettavasti hieman laskee esimerkiksi luontoindeksin tasoa pidemmällä ajalla nykyhetken puustotietoihin ja niiden vaihteluväliin nähden.

Erityisesti lahoppuusto osoittautui luontoindeksin osalta haastavaksi muuttujaksi. Lahoppuustotietoa ei käytännössä ole avoimessa metsävaratiedossa ja maastomittausten osalta mittausten menetelmät ja siten mittausten tarkkuus on hyvin vaihtelevaa. Mittausmenetelmiä on kyllä yhtenäistetty, mutta niiden jalkautuminen käytäntöön on vielä kesken.

Luontoindeksin määrittelyssä lahoppuustotiedon vaihtelevaan esiintymiseen liittyvää haastetta pyrittiin hallitsemaan ottamalla lahoppuusto laskentaan mukaan, jos se on mitattu ja toisaalta jättämällä pois, jos mittausta ei ole tehty. Tämä ratkaisu ei takaa parasta mahdollista lopputulosta, mutta oli kuitenkin käytökelpoinen nykyisen tiedon ja tietotason osalta.

Myös lahoppuuston laskennallinen kehitys ajassa toi haasteita indeksien määrittelyyn, sillä nykyiset laskentamallit eivät kuvaa lahoppuuston kehittymistä. Jos indeksien laskennassa oletetaan, että lahoppuuston määrä säilyy metsikkökuviolla lahoppuuston mittaushetken tasolla, syntyy indeksin pidemmän ajan laskennalliseen arvoon väistämättä useimmiten aliarviota. Olettaen esimerkiksi, että uutta lahoppuustoa käytännössä kuitenkin syntyy, kun metsikköä ei käsitellä. Jos tätä ilmiötä ei hallita, indeksin arvo käytännössä vääristyy ajan kuluessa. Toki on selvää, että lahoppuuston kehityksen laskennallinen mallintaminen on hankalaa, mutta yksikertaisetkin mallit ja yleensäkin se, että lahoppuustoa ”kuljetettaisiin” muun lasketun puustotiedon mukana, parantaisi tilannetta.

Indeksien määrittelyyn liittyvän jatkokehityksen näkökulmasta keskeistä on indeksien loogisen toiminnan varmistaminen. Hankkeen aikana tehdyissä testeissä katettiin toki osa metsikkökuvioiden vaihtelusta, mutta väistämättä iso osa jäi vielä kattamatta. Testien merkitys on näiden indeksien osalta sikäli

merkittävä, että testien kohteena on pääosin asiantuntija-arvioihin perustuvia indeksejä. Jos indeksit olisi mallinnettu ja testeihin olisi hyödynnettävissä käyttökelpoista referenssiaineistoa, tilanne olisi toinen.

Määriteltyjen indeksien käyttötärpeiden osalta luontoindeksi vaikuttaa muihin nähden kiinnostavimmalta. Siinä on potentiaalia metsällisten optimointilaskelmien lisäksi myös muihin analyysihin, esim. kytkeytyneisyyden arviointiin ja ennustamiseen. Esimerkiksi spatiaalisen optimoinnin työkaluilla tehtävä metsien hoidon ja käytön ohjaaminen kohti toisiinsa kytköksissä olevia monimuotoisuuskeskittymiä olisi mahtava lisä metsäsuunnittelijoiden työkalupakkiin.

Myös tuhoindeksit ovat ajankohtaisia erityisesti nyt kun keskustelu ilmastonmuutokseen sopeutumisesta käy kiivaana. Tuhoindeksien käyttöönottokynnys on kohtuullisen matala ja niiden avulla olisi helppo välittää tuhoriskeihin liittyvää tietoa metsäomistajille eri metsänomistajapalveluiden kautta.

Indeksien hyödyntäminen tilatasolla tai suuremmalla alueella vaatii ohjeistusta, jotta indeksien mahdollisesti yksitotinen tulkinta ei johda päätöksentekijää harhaan. Esimerkiksi luontoindeksin osalta yhden metsikkökuvion tarkastelu ja tavoite luontoindeksin kasvattamisesta todennäköisesti nostaa kyseisen metsikkökuvion monimuotoisuusarvoja, mutta tapahtuuko näin tilatasolla, jos tavoite on tilan kaikilla metsikkökuvioilla sama? Todennäköisesti ei, sillä ainakin pidemmällä suunnittelukaudella korostuvat myös ne piirteet, joista ei alussa ole puutetta. Esimerkiksi avointen alueiden osuus vähentyisi merkittävästi tai niitä ei olisi ollenkaan, jos tavoitteissa painotettaisiin vain luontoindeksin kasvua.

Skenaariolaskentojen perusteella kulkukelpoisuusindeksin optimointi nykyisellä indeksimäärittelyllä ei aiheuta merkittäviä muutoksia nettohyötyä optimoivaan suunnitelmaan verrattuna. Luontoindeksin optimointi sen sijaan vähentää hakkuumääriä selvästi ja suosii avohakkuun sijaan muita hakkuutapoja.

Päätösseminaarissa nostettiin esille, että monitavoitteisessa metsäsuunnittelussa tulisi testata tavoitteiden painotusten sijaan tavoitteille asetettavia tavoitearvoja. Tämän lisäksi monitavoiteoptimointiin ehdotettiin logiikkaa, joka pyrkii lisäämään metsätilalle sieltä lähtötilanteesta puuttuvia resursseja. Talous- ja hiilioptimoinnissa käytettävää skaalausmenetelmää ehdotettiin vaihdettavan lineaarisesta skaalauksesta epälineaariseen, jolloin simuloinnin tuottamien vaihtoehtojen erot tulevat paremmin esille.

Skenaariolaskentojen johtopäätöksenä voidaan todeta, että indeksien käyttäminen metsäsuunnittelulaskennassa edellyttää optimointialgoritmien huolellista räätälöintiä monitavoitteista päätöksentekoa tukevaksi.

5 Liitteet

Liite 1. Metsänomistajakyselyn tulokset.

6 Lähteet

Helmisaari, H.-S. ja Hallbäck, L. 1998. Tree biomass belowground. In: Andersson, F., Brække, F.H. & Hallbäck, L. (eds.) Nutrition and growth of Norway spruce forests in a Nordic climatic and deposition gradient. Tema Nord 566:80-90. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.

Liski, J., Lehtonen, A., Palosuo, T., Peltoniemi, T., Eggers, T., Muukkonen, P. ja Mäkipää, R. 2006. Carbon accumulation in Finland's forests 1922–2004 – an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. *Ann. For. Sci.* 63: 687–697.

Muukkonen, P. ja Mäkipää, R. 2006. Empirical biomass models of understorey vegetation in boreal forests according to stand and site attributes. *Boreal Environment Research* 11: 355-369.

Pukkala, T. 2005. Metsikön tuottoarvon ennustemallit kivennäismaan männiköille, kuusikoille ja rauduskoivikoille. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2005: 311–322.

Repola, J., Ojansuu, R. ja Kukkola, M. 2007. Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 53. [<http://tinyurl.com/33ecpb4>].

Tuomi, M., Rasinmäki, J., Repo, A., Vanhala, P. ja Liski, J. 2011 Soil carbon model Yasso07 graphical user interface. *Environmental Modelling & Software* 26(11): 1358–1362.

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. ja Väisänen, P. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisu.



Maistraatinportti 4 A

00240 Helsinki

tapio@tapio.fi

www.tapio.fi