



Hankkeen nimi ja koodi: Liito-orava-LIFE (LIFE17 NAT/FI/000469)

Action D3, Ecosystem function restoration

Part: Future ecosystem function via scenarios in Finland

13.3.2024

Anssi Ahtikoski, Ari Nikula, Vesa Nivala ja Soili Haikarainen

Metsänkäsittelyn vaikutus liito-oravalle suotuisiin elinympäristöihin

Työssä kartoitettiin kolmella maisema-alueella (Laajavuori, Sipilänperä ja Syrjävaara: kartat osoitteessa: <https://www.metsa.fi/projekti/liito-orava-life/liito-orava-lifen-hankejulkaisut/> --> kohta "D3") liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen ja vaihtoehtoisten metsänkäsittelytapojen välinen yhteys siten, että skenaariotarkastelussa pystyttiin edelleen laskemaan liito-oravalle suotuisien elinympäristöjen ylläpitämisen ja parantamisen kustannustehokkuus. Teknisesti vaihtoehtoiset metsänkäsittelytavat tuotettiin simuloimalla Motti-metsikkösimulaattorilla puuston kehityssennusteet ja liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen ennustamiseksi kehitettiin ennustemalli, jossa metsikkö- ja maiseman rakennepiirteitä kuvattiin joukolla indeksejä. Esimerkiksi, suotuisiksi liito-oravan elinympäristöiksi mallilla määriteltiin metsikkökuviot, joissa kuusen osuus oli yli 50 % puuston tilavuudesta, kuusten ikä vähintään 60 vuotta ja lehtipuiden osuus suurempi kuin 1 % puuston tilavuudesta. Koska liito-oravan esiintymisen metsikössä on havaittu riippuvan liito-oravan suosimien metsien määrästä metsikön ympäristössä ja yhteyksistä näiden metsiköiden välillä, määritettiin Pienimmän Kustannuksen Polkuanalyysilla (engl. Least Cost Path) kaikkien potentiaalisten pesimämetsiköiden väliset yhteydet kullakin metsänkäsittelytavalla (skenaariossa) eri aikapisteissä. Tulokset osoittivat, että kustannustehokkainta liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen ylläpitäminen oli alueilla, joilla talousmetsien käsittely oli jo ennestään rajoitettua, esimerkiksi metsien virkistyskäytön takia. Sen sijaan kalleinta liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen ylläpito ja määrän kasvattaminen oli yksityisissä talousmetsissä.

Yhden maisema-alueen (Laajavuori) osalta tulokset on jo julkaistu kansainvälisessä tiedesarjassa:

Ahtikoski, Anssi; Nikula, Ari; Nivala, Vesa; Haikarainen, Soili; Juutinen, Artti. 2023. Cost-efficient forest management for safeguarding Siberian flying squirrel (*Pteromys volans*) habitats in Central Finland. *Scandinavian journal of forest research*, 38(4):197-207 38(4):197-207. <https://doi.org/10.1080/02827581.2023.2208875>

Aineiston tuottamiseen on saatu Euroopan unionin LIFE Luonto-rahoitusta. Aineiston sisältö heijastelee sen tekijöiden näkemyksiä, eikä Euroopan komissio tai CINEA ole vastuussa aineiston sisältämien tietojen käytöstä.

The project has received funding from the LIFE Program of the European Union. The material reflects the views by the authors, and the European Commission or the CINEA is not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Tiivistelmä

Tässä raportissa tarkasteltiin EU Direktiivilajille, liito-oravalle (*Pteromys volans*) suotuisten elinympäristöjen ja metsänkäsittelyn välistä yhteyttä kolmella eri maisema-alueella Suomessa (Keski-Suomi ja Koillis-Suomi). Maisema-alueet edustivat kaupunkimetsiä, joissa korostuu myös virkistyskäyttö, yksityisiä talousmetsiä ja valtion maita. Kaikilla kolmella alueella oli tehty liito-oravahavaintoja. Tavoitteena oli määrittää vaihtoehtoisten metsänkäsittelytapojen kustannustehokkuus ylläpitää ja lisätä liito-oravalle suotuisia elinympäristöjä. Teknisesti tarkastelut tehtiin seuraavasti. Ensiksi vaihtoehtoisten metsänkäsittelytapojen mukaiset puuston kehitysennusteet laadittiin Motti-metsikkösimulaattorilla. Seuraavaksi kehitettiin liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen ennustemalli, jossa muuttujina olivat metsikkö- ja maiseman rakennepiirteisiin perustuvat indeksit. Lisäksi Pienimmän Kustannuksen Polkuanalyysilla (engl. Least Cost Path) laadittiin kaikkien potentiaalisten pesimämetsiköiden väliset yhteydet kullakin metsänkäsittelytavalla. Lopuksi kullekin tulevaisuuden ajanhetkelle (t_1 - t_{30}) laadittiin jokaisen metsänkäsittelytavan mukainen suotuisten elinympäristöjen ennuste ja ko. elinympäristöjen väliset yhteydet. Näitä verrattiin eri metsänkäsittelytapojen mukaisiin taloustuloksiin kustannustehokkuuden määrittämiseksi. Päätulokset osoittivat, että liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen ylläpito ja elinympäristöjen määrän lisääminen oli kustannustehokkainta silloin, kun kohdealueella oli entuudestaan hakkuurajoituksia – esimerkiksi virkistyskäytöstä johtuvia. Kalleinta liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen ylläpito ja elinympäristöjen määrän lisääminen oli yksityisissä talousmetsissä.

Abstract

The Siberian flying squirrel, SFS (*Pteromys volans*), is a mature mixed spruce-deciduous forest-dependent species with red-listed status and it is protected under EU's Habitats Directive. The report focused on three different landscapes in Finland (located in Central and North-East Finland) with existing SFS population and tackled with trade-offs between timber production and forest management contributing suitable habitats for SFS. One of the landscapes (559 hectares) represented municipal recreational forest area located within a city of app. 100 000 inhabitants, the second landscape (2057 hectares) consisted mainly of privately-owned commercial forests and the third landscape (4299 hectares) was of partly state forests and partly private forests. The site types ranged from barren to nutrient-rich with spruce or pine as the main tree species. Then, landscape-level modelling of the SFS habitat connectivity (conducted with *Least Cost Path* methodology) was combined with stand-level simulations to demonstrate how different management regimes maintain and generate suitable habitats for SFS, and how they affect timber revenues. The analyses were identical between the three landscapes. The main results indicated that by combining already existing restrictions (due to e.g., recreational purposes) on timber production with important SFS habitats is the most cost-efficient procedure to maintain and enhance suitable habitats for SFS through forest management. Further, maintaining and enhancing suitable habitats for SFS would be the most expensive (i.e., least cost-efficient) in private forests, compared to municipal and state forests.

Sisällys

Johdanto	4
1.1 Metsien kehitysennusteiden laskeminen	4
1.2 Metsikkö- ja maisematunnusten laskeminen ennustemallissa	5
1.3 Kohdealueiden perustiedot	7
Case Laajavuori	7
Case Sipilänperä	11
Case Syrjävaara	14
Johtopäätökset	19
Lähdeluettelo	20

Johdanto

Metsänkäsittelyllä voidaan siis suoraan vaikuttaa liito-oravan elinvoimaisuuteen (esim. Reunanen ym. 2002, Haakana ym. 2017, Selonen ja Mäkeläinen 2017). Tässä ekosysteemivaikutukset-osiossa tarkastellaan metsänkäsittelyn vaikutusta liito-oravalle suotuisien elinympäristöjen määrään ja laatuun kolmella eri kohdealueella Suomessa. Elinympäristöjen muutoksia tarkasteltiin skenaarioanalyysillä, jossa kohdealueille simuloitiin vaihtoehtoisia metsänkäsittelyjä Motti-metsikkösimulaattorilla (Salminen ym. 2005, Hynynen ym. 2015), minkä jälkeen käsittelyissä syntyneet metsikkörakenteet analysoitiin liito-oravan potentiaaliset elinympäristöt tuottavalla ennustemallilla.

Liito-oravan elinympäristön rakennepiirteet määritettiin maisemaluokittain (liito-oravalle soveltuvat metsät, liikkumiseen soveltuvat metsät, hakkuuaukeat, pellot, asustus ja vesistöt), ja rakennepiirteitä (mm. puuston ikä ja tilavuus, lehtipuuosuus) käytettiin rajoitteina skenaarioissa. Tarkastelujen tavoitteena oli selvittää, kuinka erilaisilla metsänkäsittelyn valinnoilla voitaisiin ylläpitää ja/tai parantaa liito-oravalle suotuisia elinympäristöjä ja kulkuyhteyksiä. Metsänkäsittelyvaihtoehdot puolestaan pohjautuivat Motti-metsikkösimulaattorilla tuotettuihin puuston kehitysennusteisiin. Edelleen Motin tuottamia puuston kehitysennusteita käytettiin lähtötietoina liito-oravan elinympäristön ennustemallissa, jolla laskettiin liito-oravalle suotuisat elinympäristöt kullekin kohdealueelle eri ajanhetkillä. Lisäksi liito-oravien liikkumiseen soveltuvat kulkuyhteydet (engl. corridors) ja elinympäristöjen kytkeytyneisyys (connectivity) laskettiin erillisellä paikkatietoanalyysillä (Least Cost Path – Ks. Ahtikoski ym. 2023). Lopuksi tarkasteltiin kuinka paljon näistä metsänkäsittelyn valinnoista aiheutuisi metsänomistajille mahdollisia tulonmenetyksiä. Samalla seurattiin vaihtoehtoisten käsittelyjen vaikutusta puuston hiilivarastojen kehitykseen.

1.1 Metsien kehitysennusteiden laskeminen

Puuston kehitysennusteet laadittiin Motti-metsikkösimulaattorilla. Motilla voidaan tarkastella metsänhoidon tai hoitamattomuuden, puulajivalinnan, sekä kasvatusketjujen tai yksittäisten metsänhoidon toimenpiteiden vaikutuksia puuston kehitykseen, hakkuukertymiin, metsänkasvatuksen kannattavuuteen ja puustoon sitoutuneeseen hiilen määrään (Salminen ym. 2005; Hynynen ym. 2015). Motti sisältää kahdenlaisia malleja: metsikkötason ja puutason malleja, jotka molemmat puolestaan pohjautuvat empiirisiin aineistoihin (esim. Hynynen ym. 2002, 2014, 2015). Metsikön puuston kehitys perustuu kuvauspuille kasvumalleilla tuotettuihin ennusteisiin, joihin lisäksi vaikuttavat metsien käsittely ja kasvuolosuhteet (maantieteellinen sijainti ja kasvupaikka). Mottia on Suomessa käytetty varsin laajasti sekä yksittäisten metsien tarkasteluissa (esim. Hynynen ym. 2005, Ahtikoski ym. 2012, Haapanen ym. 2016, Juutinen ym. 2018) että maisematason tarkasteluissa (Mönkkönen ym. 2014, Huuskonen ym. 2020, Haikarainen ym. 2021).

1.2 Metsikkö- ja maisematunnusten laskeminen ennustemallissa

Suotuisten liito-oravan elinympäristöjen ennustamiseksi kehitettiin joukko metsikkö- ja maiseman rakennepiirteisiin perustuvia indeksejä. Liito-oravat suosivat varttuneita tai vanhoja kuusivaltaisia metsiä, joissa on lehtipuita (Hanski 1998) ja käyttävät enimmäkseen kolopuita pesimiseen (Hanski ym. 2000). Kohdealueiden metsikkötiedoista poimittujen puuston iän ja keskiläpimitan välisen korrelaatioanalyysin mukaan metsiköt olivat 64-vuotiaita, kun niiden keskiläpimita oli 20 cm ($y=16.775e0.0672DBH$, $R^2=0.5148$). Näiden kriteerien mukaan suotuisiksi liito-oravan elinympäristöiksi määriteltiin metsikkökuviot (pesimämetsiköt), joissa kuusen osuus oli yli 50 % puuston tilavuudesta, kuusten ikä vähintään 60 vuotta ja lehtipuiden osuus suurempi kuin 1 % puuston tilavuudesta. Puulajisuhteiltaan liito-oravalle sopivat metsiköt luokiteltiin edelleen puulajin ja keskiläpimitan mukaan kolmeen luokkaan: i) tällä hetkellä sopivat metsät, joissa on suuria läpimitaltaan vähintään 20 cm haapoja, ii) metsät, joissa on läpimitaltaan 15–19,9 cm haapoja, jotka kehittyvät sopiviksi 30 vuoden sisällä, sekä iii) puulajisuhteiltaan sopivat metsät, joissa on tällä hetkellä suuria läpimitaltaan vähintään 25 cm koivuja. Muita lehtipuulajeja ei käytetty kriteereinä, koska niistä ei löytynyt tietoja metsikkötiedoista.

Liito-oravan esiintymisen metsikössä on havaittu riippuvan liito-oravan suosimien metsien määrästä metsikön ympäristössä (Hurme ym. 2005) ja yhteyksistä näiden metsiköiden välillä (Reunanen ym. 2002). Siksi yksi metsänkäsittelyskenaarioissa tarkastelluista toimintatavoista oli ylläpitää ja mahdollisesti myös parantaa yhteyksiä potentiaalisten pesimämetsiköiden välillä eli ylläpitää liito-oravan kannalta tärkeää maiseman konnektiivisuutta. Konnektiivisuuden huomioon ottamiseksi kullekin metsikkökuviolle laskettiin toinen joukko indeksejä kuvaamaan metsikön soveltuvuutta liito-oravan liikkumiseen (ks. Selonen ja Hanski 2003).

Liito-orava voi käyttää suhteellisen nuoria metsiä liikkumiseen (Selonen ja Hanski 2003), ja tässä tutkimuksessa määritettiin liikkumiseen sopivien metsien puuston vähimmäiskorkeudeksi 10 metriä. Kaikkien potentiaalisten pesimämetsiköiden väliset yhteydet laskettiin ArcGIS Desktop 10.6.1:n (<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>) työkalulla, joka laskee pienimmän kustannuksen polun (Least Cost Path) valittujen kohteiden välillä. Pienimmän kustannuksen polkuanalyysi etsii haluttujen kohteiden välille reitin, jonka kulkemiseen kuuluu pienin mahdollinen kustannus jollakin tavalla määriteltynä. Koska eri luontotyypeissä kulkemisen todelliset kustannukset liito-oravalle eivät ole tiedossa, noudatettiin yleisesti tutkimuksissa sovellettua menetelmää, jossa liikkumiskustannusten määrittelyn lähtökohtana käytetään metsien ja muiden elinympäristötyyppien soveltuvuutta liito-oravalle (Diniz ym. 2020). Analyysiä varten tutkimusalueet jaettiin 16 m × 16 m kokoihin ruutuihin ja kullekin ruudulle annettiin siinä kulkemisesta aiheutuva kustannus matkaysikköä (1 m) kohden (Taulukko 1). Suurimpana kulkuepäisyytenä käytettiin raportoituja liito-oravan liikkumisepäisyyksiä niiden syntymämetsiköistä (Selonen ja Hanski 2006). Kustannukset ja niiden mahdollistamat suurimmat liikkumisepäisyydet on esitetty Taulukossa 1.

Taulukko 1. Kustannukset metsien ja muiden luontotyyppien osalta, joita käytettiin pienimmän kustannuksen polkuanalyysissä. Pienimmän kustannuksen polku laskettiin jokaisen potentiaalisesti pesintään soveltuvan metsikköparin välille. Kunkin metsikön läpi kulkevien polkujen lukumäärää käytettiin painotuksena niissä metsänkäsittelyskenaarioissa, joissa maiseman konnektiivisuus otettiin huomioon. "Tulevaisuudessa potentiaalinen liito-oravan pesimämetsikkö" viittaa metsiköihin, joilla oli muuten samanlaiset ominaisuudet kuin liito-oravalle sopivissa metsiköissä, mutta joissa joko puiden ikä tai rinnankorkeuslähimittat täyttää luokan 1 kriteerit vasta 30 vuoden tarkastelujakson aikana. Liito-oravalle sopimattomat maisemaluokat (vedet, pellot, aukeat, tiet) eivät muodostaneet ehdotonta liikkumisestettä. Alle 64 m leveät aukeat ja tiet oli mahdollista ylittää. Vesistöjen osalta raja-arvona käytettiin 32 m.

Maisemaluokka	Maisemaluokan nimi	Kustannus	Kuvaus ja suurin liikkumismatka maisemaluokkaa pitkin
1	Potentiaalinen liito-oravan pesimämetsikkö	1	Suurin liikkumismatka rajoittamaton
2	Tulevaisuudessa potentiaalinen liito-oravan pesimämetsikkö vasta 30 v. tarkastelujakson aikana	22	Suurin liikkumismatka 7500 m
3	Liikkumiseen sopiva metsä	32	Puuston pituus vähintään 10 m, eivät täytä luokkien 1 ja 2 kriteerejä, suurin liikkumisetäisyys 5000 m
4	Liikkumiseste	2000	Taimikot, avoimet alueet, pellot, suurin liikkumisetäisyys 64 m
5	Vesi	4000	Suurin liikkumisetäisyys 32 m
6	Tiet	2000	Suurin liikkumisetäisyys 64 m

Kaikki metsiköt, joiden läpi kulki pienimmän kustannuksen polkuja, luokiteltiin niiden läpi kulkevien polkujen lukumäärän mukaan käyttämällä seuraavia arvoja: 1) Polkuja vähintään 500 (metsikön kautta pääsee noin 44 %:iin pesimämetsiköistä), 2) polkuja 200–499 (yhdistää 66 % pesimämetsiköistä) tai 3) polkujen määrä 50–199 (yhdistää 90 % pesimämetsiköistä). Polkumäärien raja-arvot valittiin siten, että ne jakoivat polkumäärät mahdollisimman lähelle 50 %, 75 % ja 90 % osuuksia pesimämetsiköiden määrästä.

Liito-oravan elinympäristö- ja maiseman konnektiivisuusindeksit laskettiin sekä tarkastelujakson alussa (skenaarioiden lähtötilanne) että 30 vuoden kuluttua tarkastelujakson lopussa, jotta voitiin vertailla, miten vaihtoehtoiset metsänkäsittelyskenaariot vaikuttavat liito-oravan elinympäristöjen kehittymiseen tarkastelujakson aikana.

1.3 Kohdealueiden perustiedot

Tarkastelujen kolme kohdealuetta, Laajavuori, Sipilänperä ja Syrjävaara, edustavat metsien ominaisuuksien ja rakenteen suhteen varsin erilaisia kokonaisuuksia: Laajavuori on Jyväskylän kaupunkialueella sijaitseva metsäalue, jossa painottuu virkistyskäyttö, Sipilänperä puolestaan edustaa keskisuomalaisia yksityisiä talousmetsiä ja Kainuussa sijaitseva Syrjävaara on pääosin valtion metsää. Valittaessa kohdealueita, niiden erilaisuus oli tarkoituksellista, jotta voitiin testata analyysimenetelmän toimivuutta sekä saatiin näkyviin metsänkäsittelyn vaikutuksia liito-oravan elinympäristöjen suojelun kustannustehokkuuteen erilaisissa olosuhteissa.

Case Laajavuori

Laajavuoren kohdealue (559 hehtaaria) edustaa kaupunkialueella olevaa metsäaluetta, jossa kaavoituksessa on painotettu virkistyskäyttöä (liikunta, ulkoilu, marjastus). Kohdealueen metsät ovat runsasravinteisia: lehtoja ja lehtomaisia kankaita on pinta-alasta noin 38 % ja tuoreita kankaita 53 %. Puuston keskitilavuus tarkastelujakson alussa oli noin 214 m³/ha ja ikäluokat muodostivat kaksihuippuisen jakauman, jossa ensimmäinen huippu oli 40–49-vuotiaat metsät ja toinen 110–119-vuotiaat metsät. Metsät olivat kuusivaltaisia, puuston kokonaistilavuudesta oli kuusta 57 %, mäntyä 29 %, koivua 13 % ja haapaa 2 %.

Kohdealueelle laadittiin neljä vaihtoehtoista metsänkäsittelyskenaariota: 1) *HMS* (metsänhoitosuosituksen mukainen metsänkäsittely, jossa ei lainkaan oteta huomioon liito-oravan elinympäristöjä), 2) *Suppea keinovalikoima* (hakkuut kielletty kuvioilla, joissa järeitä haapoja ja koivuja), 3) *Laaja keinovalikoima* (hakkuut kielletty kuvioilla, joissa järeitä haapoja, ja lisäksi elinympäristöjen kytkeytyneisyys varmistettu kieltämällä päätehakkuut kulkureiteiksi soveltuvilla kuvioilla) ja 4) *Kaikki keinot* (kaikenlaiset hakkuut kielletty elinympäristökuvioilla, sekä myös kulkureiteiksi soveltuvilla kuvioilla).

Edellä kuvattujen neljän skenaarion mukaisia metsänkäsittelykokonaisuuksia verrattiin nettotulojen nykyarvon ja liito-oravalle suotuisien elinympäristöjen määrän kesken. Yhtenä tavoitteena oli määrittää, kuinka paljon yksi lisähehtaari liito-oravalle suotuisaa elinympäristöä maksaa, kun vertailukohtana on *HMS*-skenaarion mukainen nettotulojen nykyarvo ja liito-oravalle suotuisien elinympäristöjen pinta-ala. Toisin sanoen, tarkastelussa selvitettiin kuinka paljon maksaa liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen lisääminen kohdealueella, Laajavuorella. Tarkastelun aikahorisontti oli 30 vuotta.

Laajavuorella osa alueista oli aineiston perusteella suojeltuja (179 ha), eikä niille sallittu hakkuuta tai muita käsittelyitä skenaarioissa. Liito-oravan elinympäristöjen ennustemallin mukaan kohdealueen talousmetsissä oli liito-oravalle suotuisia elinympäristöjä yhteensä 68 kuviolla, niiden yhteispinta-alan ollessa noin 77.6 ha (Kuva 1).

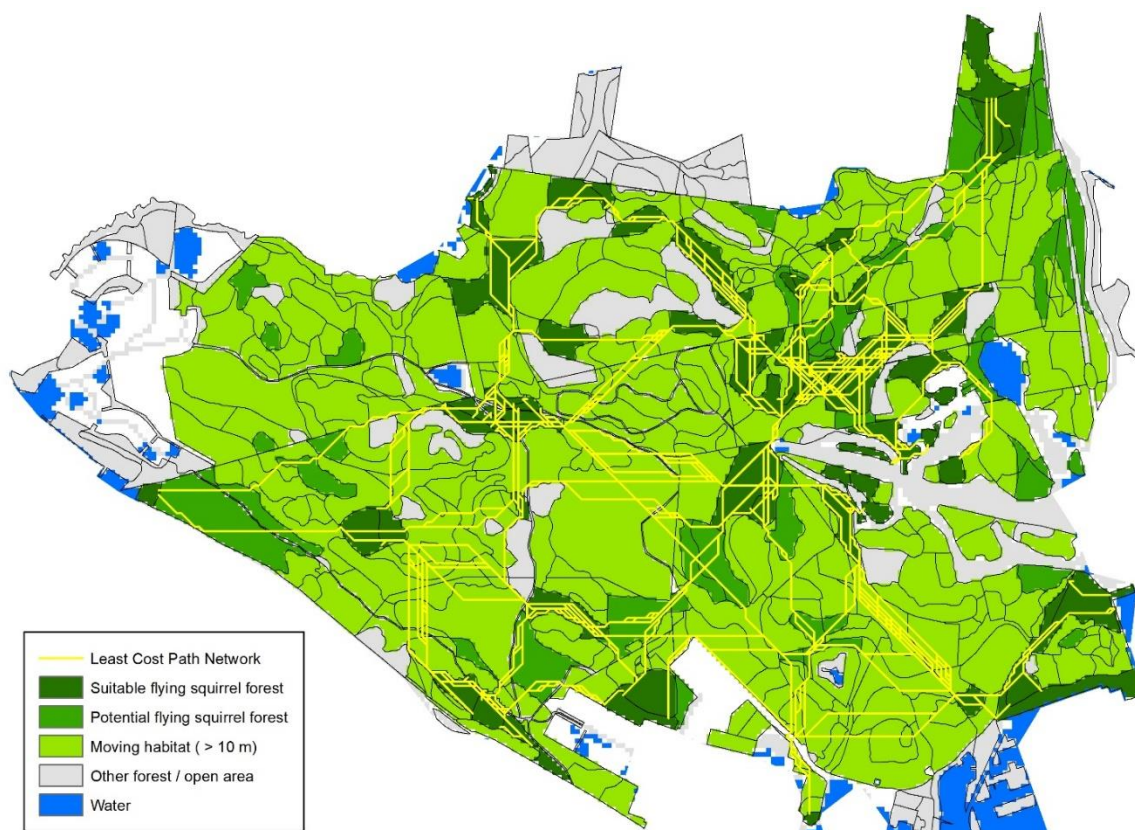
Tuloksista nähdään, että jo varsin pienillä metsänkäsittelyn muutoksilla saavutetaan Laajavuoren kohdealueella merkittävä parannus liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen pinta-alassa (Taulukko 2). Esimerkiksi *Suppealla keinovalikoimalla* (skenaario 2) voidaan liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen pinta-alaa kasvattaa *HSM*-skenaarion 87,2 hehtaaria peräti 120,4 hehtaariin, mikä vastaa noin 38 %-yksikön kasvua (Taulukko 2). Tällöin yksittäisen lisähehtaarin kustannukseksi tulee 13 398 € (Taulukko 2). Sen sijaan toisessa ääripäässä, kun *Laajasta keinovalikoimasta* siirrytään käyttämään *Kaikkia keinoja*, voidaan liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen pinta-alaa kasvattaa enää varsin vähän (Taulukko 2). Samalla myös lisähehtaarin kustannus kasvaa merkittävästi verrattuna *Suppean keinovalikoiman* vastaavaan (Taulukko 2).

Taulukko 2. Laajavuoren kohdealueella kolmen vaihtoehdoisen metsänkäsittelyskenaarion mukainen liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen pinta-alan lisäys ja kustannus verrattuna perusvaihtoehtoon, *HMS*. Laskentakorko 4 % (kustannusten laskenta).

Metsänkäsittelyskenaario	Kustannus lisähehtaaria kohden	Liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen pinta-ala
HMS (perusvaihtoehto)	0 € ¹⁾	87.2 hehtaaria
Suppea keinovalikoima	13 398 €	120.4 hehtaaria (Δ 33.2 ha) ²⁾
Laaja keinovalikoima	18 957 €	139.8 hehtaaria (Δ 52.6 ha)
Kaikki keinot	19 251 €	140.3 hehtaaria (Δ 53.1 ha)

¹⁾koska *HMS* on perusvaihtoehto, johon muita metsänkäsittelyskenaarioita verrataan, ei *HMS*:ssa myöskään muodostu kustannuksia, ²⁾ suluissa esitetty skenaarion lisähehtaarimäärä verrattuna *HMS*-skenaarioon. Kunkin metsänkäsittelyskenaarion aiheuttama nettotulojen nykyarvon menetys on kokonaisuudessaan laskettavissa kertomalla hehtaarikohtainen kustannus lisähehtaarimäärällä. Esimerkiksi, 13 398 €/ha * 33.2 ha = 444 813.6 € (laskentakorkokanta 4 %).

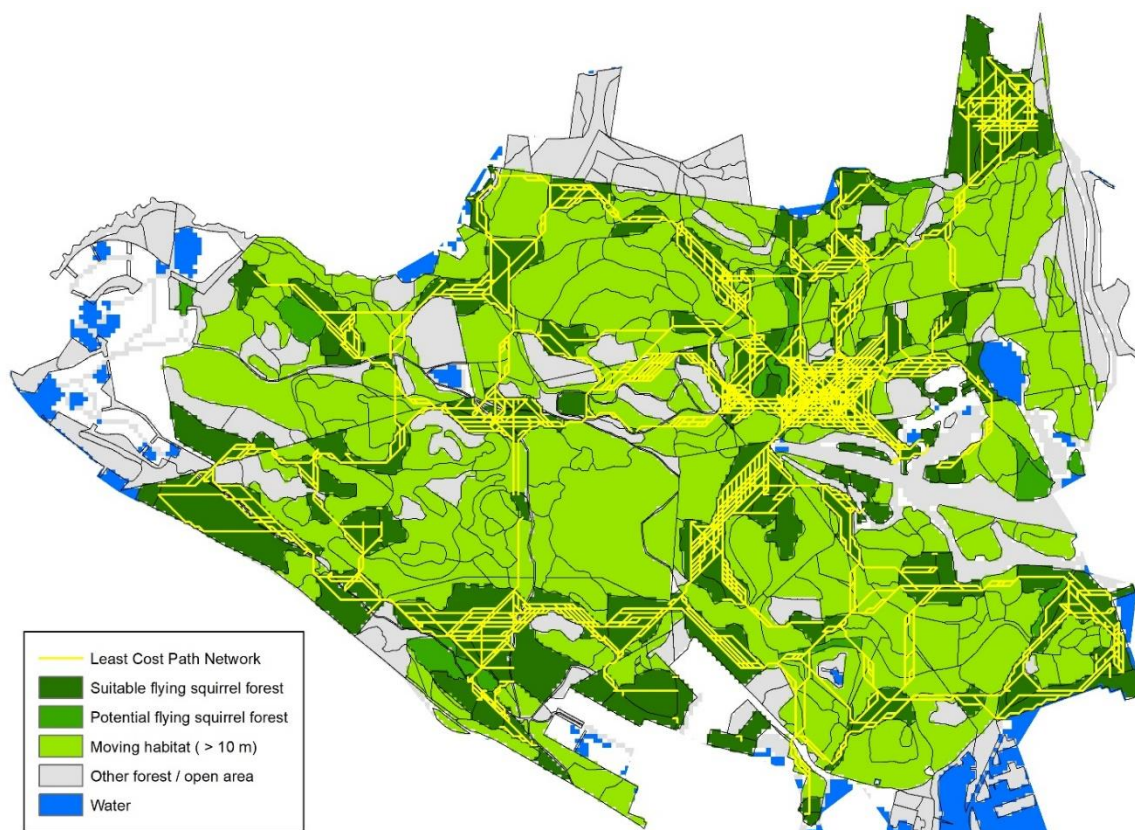
Karttatarkastelussa voidaan lisäksi osoittaa, kuinka paljon paremmaksi olosuhteet liito-oravalle muuttuisivat 30 vuodessa *Kaikki keinot*-skenaariossa (4). Kuvassa 1 on esitetty lähtötilanne ennen skenaarion mukaista metsien käsittelyä. Esimerkiksi, liito-oravalle suotuisia elinympäristöjä yhdistäviä kulkukäytäviä on suhteellisen vähän, samoin suotuisia elinympäristöjä (Kuva 1).



Kuva 1. Laajavuoren skenaariotarkastelun lähtötilanteen kartta, jossa tummanvihreällä värillä liito-oravalle suotuisat elinympäristöt (Suitable flying squirrel forest), keskivihreällä mahdolliset suotuisat elinympäristöt (Potential flying squirrel forest) ja vaaleanvihreällä liikkumisalueet (Moving habitat), joissa yksittäisten puiden vähimmäispituus yli 10 m. Keltaiset viivat edustavat kustannuspolkuanalysillä (LCP) laskettuja, liito-oravalle mahdollisia kulkukäytäviä, joita pitkin ne voivat siirtyä suotuisten elinympäristöjen välillä mahdollisimman pienin kustannuksin.

Kun 30 vuotta on noudatettu *Kaikki keinot* -skenaarion mukaista metsänkäsittelyä, on Laajavuoressa merkittävästi enemmän liito-oravalle suotuisia elinympäristöjä ja ennen kaikkea kulkukäytäviä vahvistamassa lajin elinvoimaisuutta alueella (Kuva 2).

Liito-oravan elinolosuhteiden parantamisella on myös mahdollisia positiivisia ilmastovaikutuksia. Näitä tarkasteltiin seuraavasti: Kullakin kohdealueella laskettiin erikseen kunkin metsänkäsittelyskenaarion mukainen puustoon sitoutunut hiili eri ajanhetkillä. Laajavuoressa vertailtu toteutettiin edellä kuvattujen neljän metsänkäsittelyskenaarion kesken. Tulosten mukaan Laajavuoressa liito-oravan elinympäristöjä huomioon ottavat metsäkäsittelyt kasvattavat metsiin sitoutuneen hiilen määrää verrattuna *HMS*-skenaarioon (Kuva 3).



Kuva 2. Laajavuoren kartta 30 vuoden kuluttua, kun metsänkäsittelyssä on noudatettu *Kaikki keinot*-skenaariota. Karttasymbolit samat kuin Kuvassa 1.



Kuva 3. Laajavuoren kohdealueella puustoon sitoutuneen lisähiilen määrä eri skenaarioissa tarkastelujakson lopussa verrattuna *HMS*-skenaarioon, tCO₂-ekv/ha.

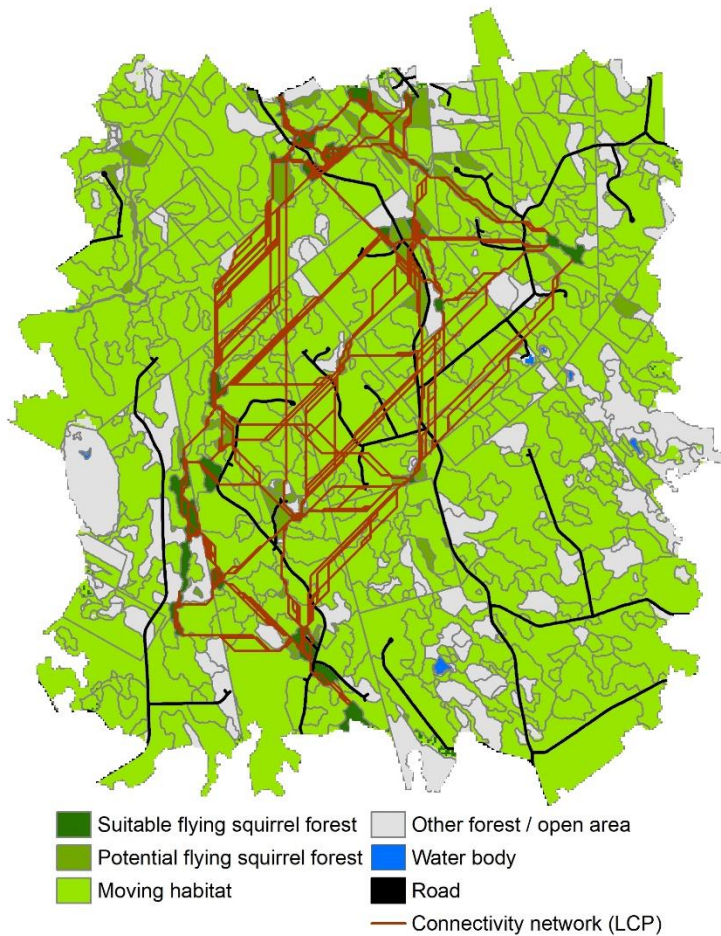
Case Sipilänperä

Sipilänperän (2 057 hehtaaria) kohdealueelle tyypillisiä ovat nuoret ja varttuneet kasvatusmetsät (1 720 ha) ja kuivahkon ja kuivan kankaan metsät (1 160 ha). Mänty on merkitty pääpuulajiksi 86 prosentilla pinta-alasta. Lähtökohtaisesti Sipilänperä siis edustaa ei-tyypillistä metsäaluetta liito-oravan elinympäristönä. Sipilänperälle laadittiin kaksi vaihtoehtoista metsänkäsittelyskenaariota: 1) *HMS* (metsänhoitosuosituksen mukainen metsänkäsittely, jossa ei lainkaan oteta huomioon liito-oravan elinympäristöjä) ja 2) *Kattava keinovalikoima* (hakkuut kokonaan kielletty kuvioilla, joissa liito-oravalle suotuisa elinympäristö, hakkuut kuitenkin sallittu kulkukäytävillä niin, etteivät kulkuyhteydet vaarannu).

Karuhkoista kasvupaikoista ja talousmetsäluonteesta huolimatta lehtipuuston läpimittajakaumalla tarkennettu ennustemalli tuotti Sipilänperän lähtötilanteessa liito-oravalle soveltuvia elinympäristöjä yhteensä 27 kuviolle (42 ha). Sipilänperällä haapaa oli niukasti, mutta vähitellen järetyvä koivu lisää lähitulevaisuudessa liito-oravalle potentiaalisia elinympäristöjä alueella.

Kuten olettaa saattaa, oli *HMS*-skenaarion mukainen hakkuukertymä suurempi kuin *Kattava keinovalikoima*-skenaariossa: seuraavan 30 vuoden aikana vuotuinen hakkuukertymä laski noin 30 %-yksiköllä (4,81 m³/ha vs. 3,38 m³/ha). Vastaavasti myös nettotulojen nykyarvo laski: *HMS*-skenaariossa se oli 3 149 €/ha kun *Kattava keinovalikoima* tuotti ainoastaan 2 082 €/ha (laskentakorkokanta 4 %). Toisaalta *Kattavalla keinovalikoimalla* aikaansaatiin merkittävä lisäys liito-oravalle suotuisien elinympäristöjen pinta-alassa: tarkastelujakson lopussa, vuonna 30, oli *Kattava keinovalikoima*-skenaariossa 103 hehtaaria liito-oravalle suotuisia elinympäristöjä, kun vastaava pinta-ala oli ainoastaan 42 hehtaaria *HMS*-skenaariossa (tämä vastasi lähtötilanteessa todettua määrää). Näin ollen, *Kattava keinovalikoima*-skenaario tuotti 61 hehtaaria lisää liito-oravalle suotuisia elinympäristöjä 30 vuoden tarkastelujaksolla. Kun tuota lisäpinta-alaa verrataan nettotulojen nykyarvon erotukseen, saadaan yhden lisähehtaarin kustannukseksi 35 982 € (laskentakorko 4 %), mikä on merkittävästi korkeampi kustannus kuin Laajavuoren kohdealueella (vrt. Taulukko 2).

Lähtötilanteessa (kuva 4) Sipilänperän alueella liito-oravan elinympäristöt puuttuvat alueen reunaosista. Alueella on runsaasti liikkumiseen sopivaa aluetta sekä jonkin verran tulevaisuudessa potentiaalisia liito-oravan elinympäristöjä.

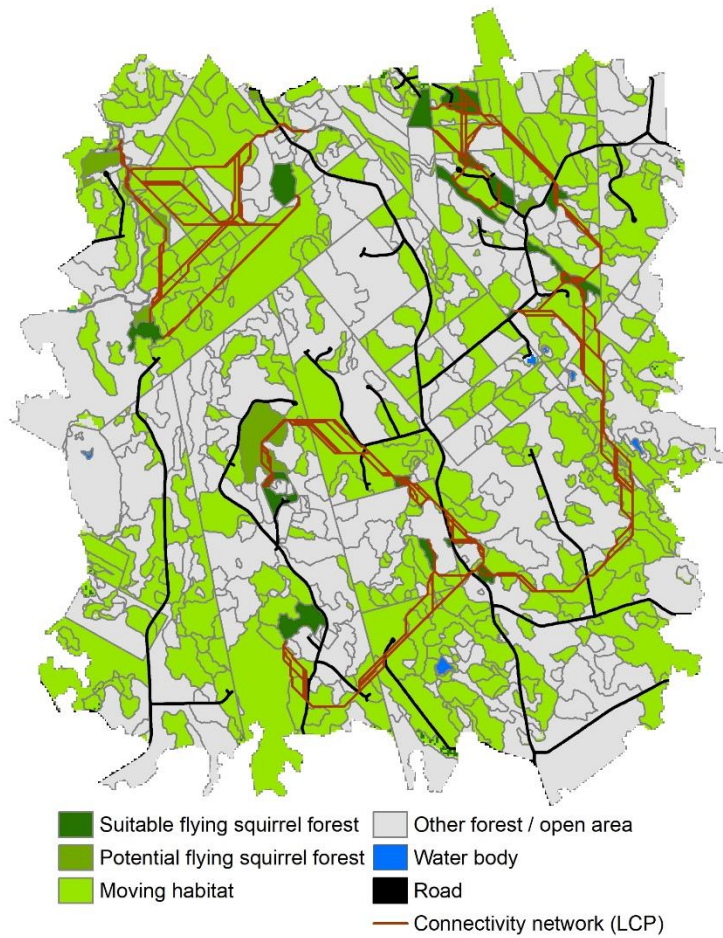


Kuva 4. Sipilänperän kartta alkutilanteessa. Karttasymbolit samat kuin Kuvassa 1, paitsi kulkukäytävät tässä esitetty ruskealla värillä.

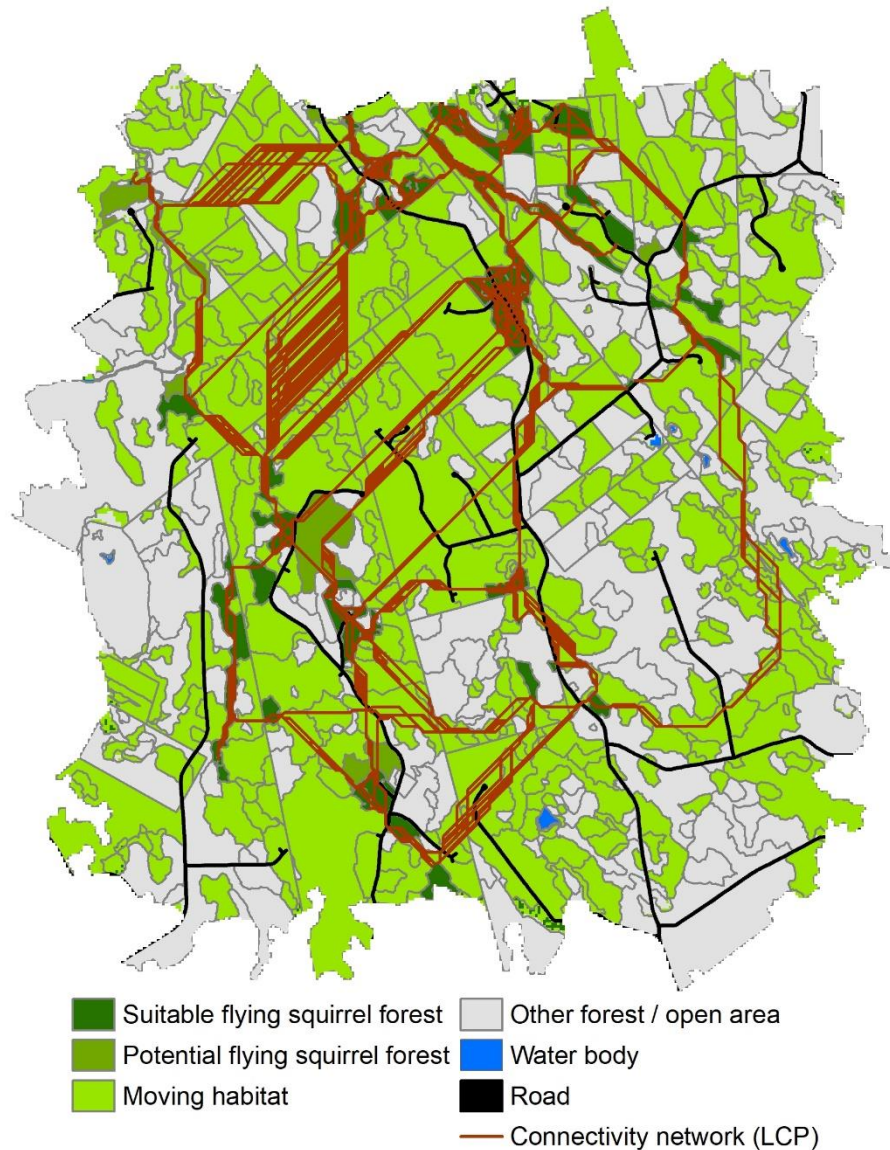
Kuvassa 5 nähdään *HMS*-skenaarion mukainen tilanne liito-oravalle suotuisista elinympäristöistä ja niitä yhdistävistä, varsin vähälukuisista kulkukäytävistä 30 vuoden tarkastelujakson lopussa.

Sen sijaan *Kattava keinovalikoima*-skenaariossa liito-oravan elinympäristöjä yhdistäviä kulkukäytäviä oli merkittävästi enemmän (Kuva 6). Myös varsinaisten elinympäristöjen lukumäärä on selkeästi suurempi kuin *HMS*-skenaariossa (Kuva 5).

Sipilänperällä puustoon sitoutuneen hiilen määrä tarkastelujakson lopussa vuonna 30 oli *Kattavassa keinovalikoimassa* 57,2 tCO₂-ekv/ha suurempi kuin *HMS*-skenaariossa. Lisäksi on huomion arvoista, että lähtötilanteessa puuston sitoutuneen hiilen määrä oli suurempi kuin *HMS*-skenaariossa 30 vuoden kuluttua (151,2 vs. 142,7 tCO₂-ekv/ha). Toisin sanoen, *HMS*-skenaarion mukainen metsänkäsittely pienensi puuston hiilivarastoa 30 vuoden tarkastelujaksolla.



Kuva 5. Sipilänperän kartta 30 vuoden skenaariotarkastelun lopussa, kun metsänkäsittelyssä on noudatettu HMS-skenaariota. Suotuisten elinympäristöjen metsikkökuvioita on säilynyt ja myös uusia on syntynyt alueen reunaosiin. Liikkumiseen sopivien metsien määrä on vähentynyt voimakkaasti. Karttasymbolit samat kuin Kuvassa 4.



Kuva 6. Sipilänperän kartta 30 vuoden tarkastelujakson lopussa, kun metsänkäsittelyssä on noudatettu *Kattava keinovalikoima*-skenaariota. Karttasymbolit samat kuin Kuvassa 4.

Case Syrjävaara

Pohjoisin, Syrjävaaran kohdealue (4 299 ha) oli kolmesta alueesta suurin. Alueen kokonaispinta-alasta 65 % oli kankaista ja loput turvemaita. Valtaosa kankaista oli luokiteltu tuoreiksi kankaiksi. Kohdealueen metsistä noin 70 % oli metsämaata ja 14 % kitumaata. Metsämaan kuvioilla puuston keskitilavuus oli 105 m³/ha. Puuston tilavuudesta 45 % oli mäntyä, 35 % kuusta ja 20 % lehtipuuta, pääasiassa hieskoivua. Eniten metsiä, noin kolmannes pinta-alasta, oli 40–49 vuoden ikäluokassa.

Kuten Sipilänperälle, myös Syrjävaaraan laadittiin kaksi vaihtoehtoista metsänkäsittelyskenaariota: 1) *HMS* (metsänhoitosuosituksen mukainen metsänkäsittely, jossa ei lainkaan oteta huomioon liito-oravan elinympäristöjä) ja 2) *Kattava keinovalikoima* (hakkuut kokonaan kielletty kuvioilla, joissa liito-oravalle suotuisa elinympäristö, hakkuut kuitenkin sallittu kulkukäytävillä niin, etteivät kulkuyhteydet vaarannu). Tarkastelun aikahorisontti oli sama kuin Sipilänperällä ja Laajavuorella: 30 vuotta.

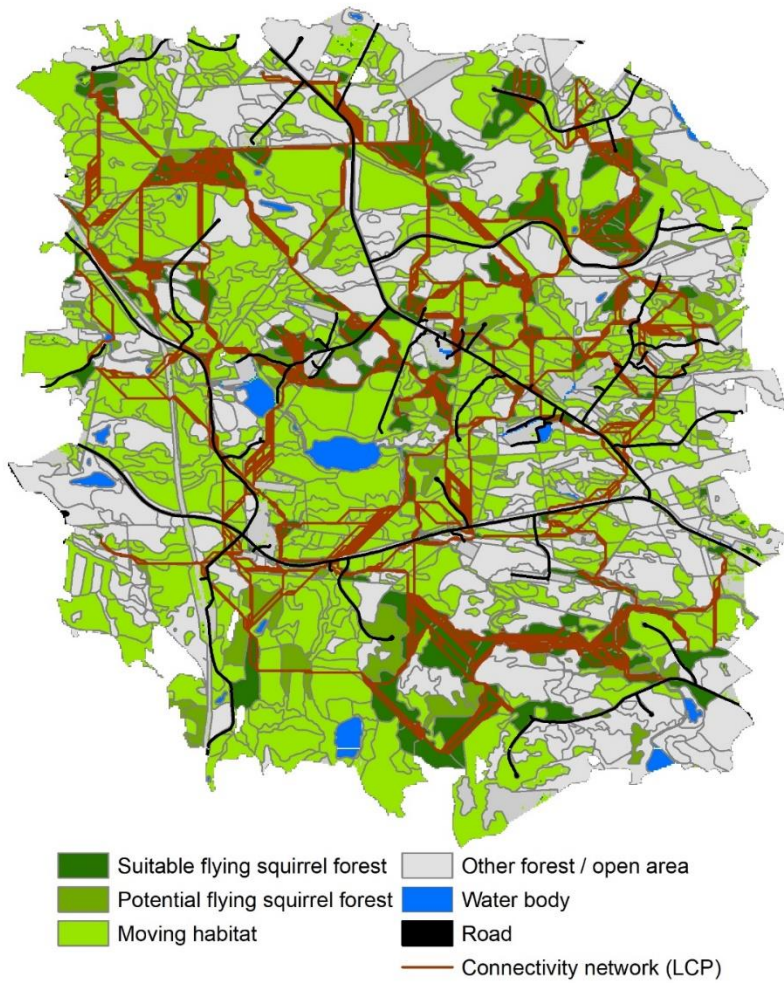
Ennustemalli tuotti pohjoisia talousmetsiä edustavalle Syrjävaaran kohdealueelle liito-oravalle soveltuvia elinympäristöjä yhteensä 145 kuviolle (512 ha) (Kuva 7). Syrjävaarassa *HMS*-skenaarion mukainen hakkuukertymä oli suurempi kuin *Kattava keinovalikoima*-skenaariossa: 30 vuoden aikana vuotuinen hakkuukertymä oli *HMS*-skenaariossa 3.19 m³/ha kun se *Kattava keinovalikoima*-skenaariossa oli ainoastaan 1,85 m³/ha (-42 %). Nettotulojen nykyarvo puolestaan laski suhteellisesti hakkuukertymääkin enemmän: *HMS*-skenaario tuotti 1 961 €/ha kun *Kattava keinovalikoima*-skenaarion mukainen lukuarvo oli ainoastaan 925 €/ha (laskentakorkokanta 4 %). Tämä vastaa noin 53 %-yksikön laskua.

Toisaalta *Kattava keinovalikoima*-skenaario aikaansai merkittävän lisän liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen pinta-alassa, ollen 30 vuoden kuluttua 507 hehtaaria suurempi verrattuna *HMS*-skenaarioon. Pinta-alalisäys vastaa peräti noin 11 %:ia kohdealueen koko metsämaan pinta-alasta (4 299 hehtaaria). Kun tuota lisäpinta-alaa verrataan nettotulojen nykyarvon erotukseen, saadaan yhden lisähehtaarin kustannukseksi 8 781 € (laskentakorko 4 %), joka on selvästi pienempi kustannus kuin Laajavuoren (Ks. Taulukko 2) tai Sipilänperän kohdealueilla.

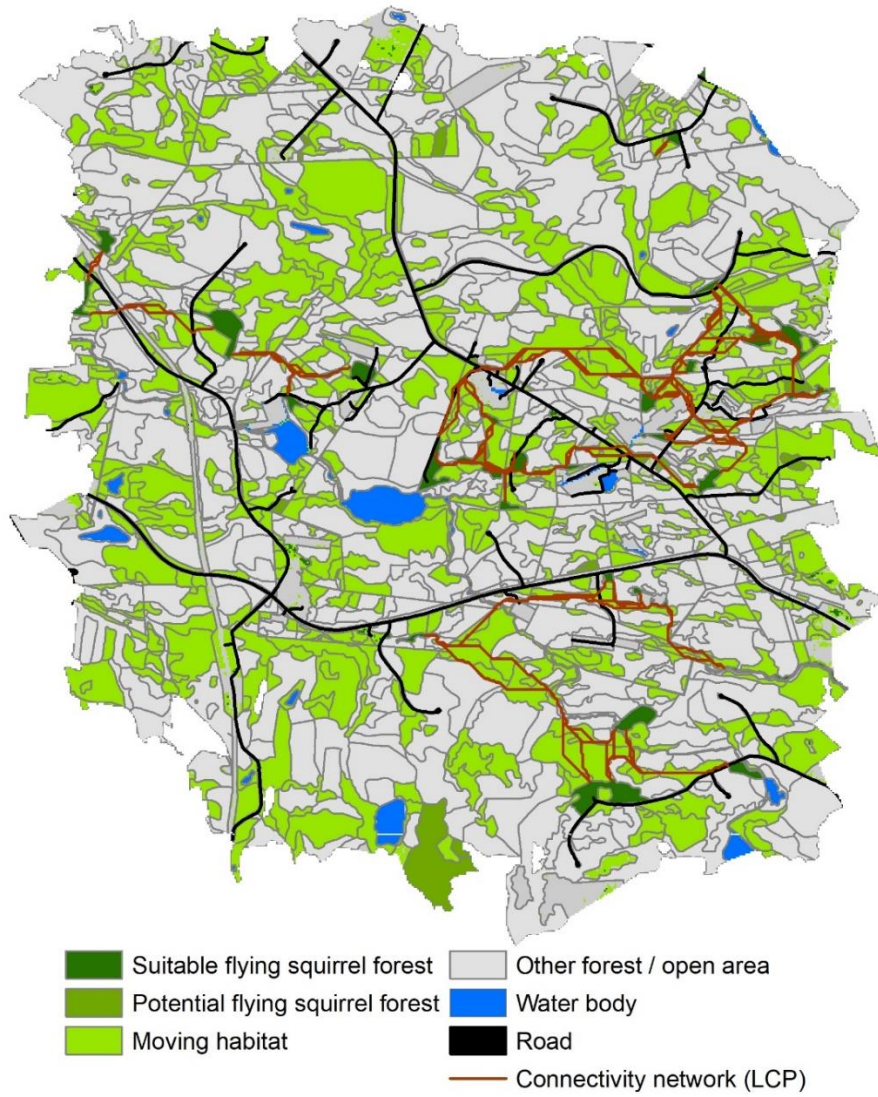
Lähtötilanteessa Syrjävaaran kohdealueella oli suhteellisen paljon liito-oravalle suotuisia elinympäristöjä ja kulkuväyliä (Kuva 7). *HMS*-skenaarion mukainen metsänkäsittely kuitenkin johti sekä suotuisten elinympäristöjen että kulkuväylien vähentymiseen 30 vuoden kuluessa (Kuva 8).

Kun metsänkäsittelyssä noudatettiin *Kattava keinovalikoima*-skenaariota, parantuivat liito-oravan elinolosuhteet 30 vuoden kuluessa merkittävästi (Kuva 9). Esimerkiksi, kulkukäytävien määrä oli moninkertainen verrattuna *HMS*-skenaarion mukaiseen kulkuväylien määrään (Kuva 9 vs. Kuva 8).

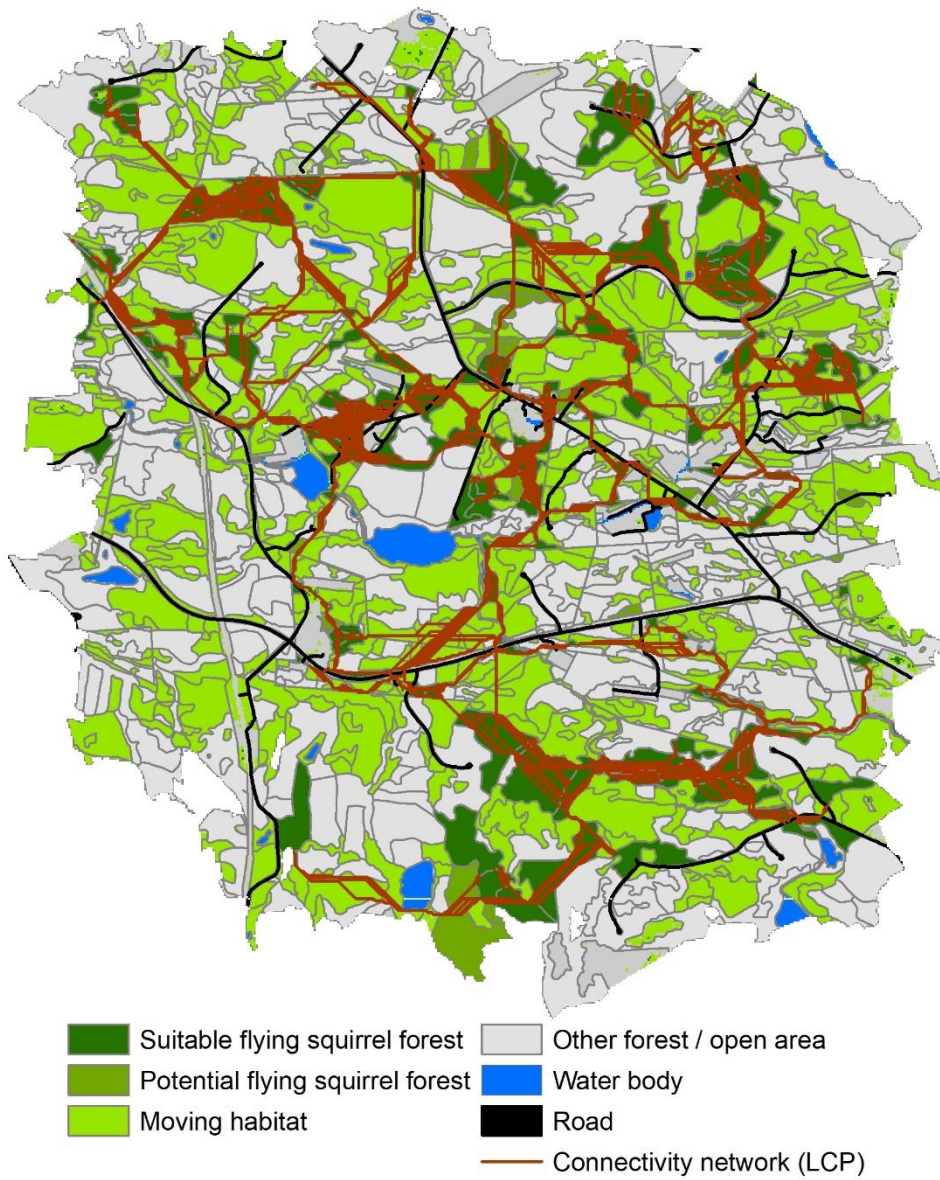
Myös Syrjävaarassa puustoon sitoutuneen hiilen määrä vuonna 30 oli suurempi *Kattavassa keinovalikoimassa* verrattuna *HMS*-skenaarioon (27,3 tCO₂-ekv/ha suurempi).



Kuva 7. Syrjävaaran kohdealue skenaariotarkastelun lähtötilanteessa. Karttasymbolit samat kuin Kuvassa 1, paitsi kulkukäytävät tässä esitetty ruskealla värillä.



Kuva 8. Syrjävaaran kartta 30 vuoden tarkastelujakson lopussa, kun metsänkäsittelyssä on noudatettu *HMS*-skenaariota. Karttasymbolit samat kuin Kuvassa 7.



Kuva 9. Syrjävaaran kartta 30 vuoden tarkastelujakson lopussa, kun metsänkäsittelyssä on noudatettu *Kattava keinovalikoima*-skenaariota. Karttasymbolit samat kuin Kuvassa 7.

Johtopäätökset

Koska kohdealueet, Laajavuori, Sipilänperä ja Syrjävaara, poikkesivat toisistaan merkittävästi sekä metsien sijainnin, rakenteen että pinta-alankin osalta, on haastavaa arvioida mitkä tekijät lopulta vaikuttavat liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen ylläpitämisen ja pinta-alan kasvattamisen kustannustehokkuuteen. Tässä raportissa esitetyjä tuloksia voidaan kuitenkin vertailla keskenään peilaten niitä lähtötilanteen olosuhteisiin. Taulukossa 3 on esitetty kohdealueiden lähtötilanteiden kuvaus ja päätulokset – niin liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen määrän kuin puuston sitoutuneen hiilen määrän osalta.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että liito-oravan elinympäristöjä suosivalla metsänkäsittelyllä saadaan aikaan myös ilmastohyötyjä, ts. puuston sitoutuneen hiilen määrä kasvaa. Toisaalta liito-oravaa suosivan elinympäristön pinta-alan kasvattaminen osoittautui kalliiksi, mutta vaihtelu oli kohdealueiden välillä erittäin suurta (Taulukko 3). Yksi syy kalliisiin kustannuksiin on eittämättä se, että liito-orava suosii vanhoja ja runsaspuustoisia metsiä, joiden hakkuuarvo on korkea (Ahtikoski ym. 2023). Jos tällaisia metsiä on kohdealueella paljon, muodostuvat tulonmenetykset suuriksi, mikä puolestaan nostaa liito-oravan elinympäristöä suosivan metsänkäsittelyn vaihtoehtoiskustannuksia.

Tässä tutkimuksessa käytetyillä paikkatietomenetelmillä tulonmenetyksiä on kuitenkin mahdollista arvioida ja edelleen jopa vähentää ja esimerkiksi kohdentaa kustannukset pidemmälle ajanjaksolle. Menetelmän avulla liito-oravalle suotuisten elinympäristöjen sijoittuminen ja niiden välinen konnektiivisuus voidaan tunnistaa. Koska liito-oravalle suotuisat elinympäristöt ovat usein metsiköitä, joihin myös suurin hakkuupaine kohdistuu, voidaan käytetyn menetelmän avulla tunnistaa muitakin metsiköitä, joiden sopivuutta liito-oravalle on mahdollista parantaa.

Menetelmä tunnistaa suotuisten elinympäristöjen lisäksi myös sellaisia elinympäristöjä, jotka soveltuvat liito-oravan elinympäristöksi tulevaisuudessa. Tämä näkyi mm. Sipilänperän kohdealueella, joka oli yleisluonteeltaan ns. tavallista talousmetsää. Näitä elinympäristöjä ja niiden välistä konnektiivisuutta on mahdollista kehittää pitkäjänteisellä suunnittelulla, jolloin suotuisten elinympäristöjen poistuminen hakkuiden yhteydessä korvautuu vähitellen uusilla.

Alueilla, joilla vanhojen, runsaspuustoisten metsien säästämiseksi on useita perusteita, kuten esimerkiksi Laajavuoren kohdealueen liito-oravan elinympäristöt ja virkistyskäyttö, voidaan saavuttaa synergiaetuja (Ahtikoski ym. 2023).

Taulukko 3. Kohdealueiden kuvaukset ja päätulokset.

Kohdealue	Kuvaus	Kustannus lisäpinta- alalle ¹⁾ lisäpinta-ala, ha ²⁾	Puustoon sitoutunut lisähiili, tCO ₂ -ekv/ha ⁴⁾
Laajavuori	<ul style="list-style-type: none"> pinta-ala 559 ha kaupunkimetsää (virkistyskäyttö) puuston keskitilavuus 214 m³/ha, kuusivaltaisia metsiä kaksihuippuinen ikäluokkajakauma 	13 398–19 251 €/ha ³⁾ 33.2–53.1 ha ³⁾	21.6–70.1 ³⁾
Sipilänperä	<ul style="list-style-type: none"> pinta-ala 2 057 ha yksityistä talousmetsää pääosin tuoreen ja kuivahkon kankaan nuoria ja varttuneita mäntyvaltaisia kasvatusmetsiä 	35 982 €/ha ⁵⁾ 61 ha	57.2 ⁵⁾
Syrjävaara	<ul style="list-style-type: none"> pinta-ala 4 299 ha yksityistä ja valtion omistamaa talousmetsää kolmasosa pinta-alasta turvemaita runsaasti tuoreiden kankaiden nuoria ja varttuneita kasvatusmetsiä 	8 781 €/ha ⁵⁾ 507 ha ⁵⁾	27.3 ⁵⁾

¹⁾Paljonko maksaa liito-oravalle suotuisan elinympäristön pinta-alan kasvattaminen hehtaaria kohden (€/ha), ts. lisähehtaarin kustannus kun laskentakorkokanta 4 %, ²⁾ liito-oravalle suotuisien elinympäristöjen lisäpinta-ala, joka saavutetaan 30 vuodessa, kun metsiä käsitellään vaihtoehtoisen skenaarion mukaisesti (skenaariot kuvattu kohdealueittain aiemmin tekstissä), ³⁾ vaihteluväli: eri metsänkäsittelyskenaarioiden mukaiset tulokset (Ks. Taulukko 2), ⁴⁾ puustoon sitoutunut lisähiili, kun metsänkäsittely pohjautunut vaihtoehtoihin metsänkäsittelyskenaarioihin, vertailuarvona HMS-skenaariion mukainen hiilen määrä vuonna 30, ⁵⁾ ainoastaan yksi vaihtoehtoinen metsänkäsittely (HMS-skenaariion lisäksi).

Lähdeluettelo

Ahtikoski, A., Salminen, H., Hökkä, H., Kojola, S., Penttilä, T. 2012. Optimising stand management on peatlands: the case of northern Finland. *Can. J. For. Res.* 42:247-259.

Ahtikoski, Anssi; Nikula, Ari; Nivala, Vesa; Haikarainen, Soili; Juutinen, Artti. 2023. Cost-efficient forest management for safeguarding Siberian flying squirrel (*Pteromys volans*) habitats in Central Finland. *Scandinavian journal of forest research*, 38(4):197-207.

Diniz, M.F., Cushman, S.A., Machado, R.B. and Júnior, P.D.M. 2020. Landscape connectivity modeling from the perspective of animal dispersal. *Landscape Ecology* 35: 41–58.

Haakana, H., Hirvelä, H., Hanski, I.K. and Packalen, T. 2017. Comparing regional forest policy scenarios in terms of predicted suitable habitats for the Siberian flying squirrel (*Pteromys volans*). *Scand J Forest Res* 32(2): 185-195.

Haapanen, M., Hynynen, J., Ruotsalainen, S., Siipilehto, J., Kilpeläinen, M.L. 2016. Realised and projected gains in growth, quality and simulated yield of genetically improved Scots pine in southern Finland. *Europ. J. For. Res.* 135: 997-1009.

Haikarainen, Soili; Huuskonen, Saija; Ahtikoski, Anssi; Lehtonen, Mika; Salminen, Hannu; Siipilehto, Jouni; Korhonen, Kari T.; Hynynen, Jari; Routa, Johanna. 2021. Does Juvenile Stand Management Matter? Regional Scenarios of the Long-Term Effects on Wood Production. *Forests* 12 1: 17 p.

Hurme E., Mönkkönen M., Nikula A., Nivala V., Reunanen P., Heikkinen T. ja Ukkola M. 2005. Building and evaluating predictive occupancy models for the Siberian flying squirrel using forest planning data. *Forest Ecology and Management* 216: 241–256.

Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H., Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. *Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja - The Finnish Forest Research Institute, Research Papers* 835. 116 p.

Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R., Liski, J. 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effect of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest Ecology and Management* 207: 5-18.

Hynynen, J., Salminen, H., Huuskonen, S., Ahtikoski, A., Ojansuu, R., Siipilehto, J., Lehtonen, M., Rummukainen, A., Kojola, S. & Eerikäinen, K. 2014. Scenario analysis for the biomass supply potential and the future development of Finnish forest resources. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 302. 106 pp. ISBN 978-951-40-2487-0 (PDF). Available: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp302.htm>.

Hynynen J, Salminen H, Ahtikoski A, Huuskonen S, Ojansuu R, Siipilehto J, Lehtonen, M. and Eerikäinen, K. 2015. Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *Europ J Forest Res* 134: 415-431.

Huuskonen, S., Haikarainen, S., Sauvala-Seppälä, T., Salminen, H., Lehtonen, M., Siipilehto, J., Ahtikoski, A., Korhonen, K.T. and Hynynen, J. 2020. Benefits of juvenile stand management in Finland – impacts on wood production based on scenario analysis. *Forestry: An international journal of forest research*. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz075>

Juutinen A, Ahtikoski A, Lehtonen M, Mäkipää R, Ollikainen M. 2018. The impact of a short-term carbon payment scheme on forest management. *Forest Policy Econ* 90 (2018): 115-127.

Michon, S. 2014. Comparison of tree cavity abundance and characteristics in managed and unmanaged Swedish boreal forest. Swedish University of Agricultural Sciences. Faculty of Forest Science. Examensarbete i ämnet biologi 2014:13. 26 p.

Mönkkönen, M., Juutinen, A., Mazziotta, A., Miettinen, K., Podkopaev, D., Reunanen, P., Salminen, H., Tikkanen, O-P. 2014. Spatially dynamic forest management to sustain biodiversity and economic returns. *Journal of Environmental Management* 134, 80-89.

Reunanen P., Mönkkönen M., Nikula A., 2002. Habitat requirements of the Siberian flying squirrel in northern Finland: comparing field survey and remote sensing data. *Ann Zool Fenn* 39: 7–20.

Salminen H, Lehtonen M, Hynynen J. 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Comput Electron Agric* 49:103–113.

Selonen, V., Hanski, I.K., 2003. Movements of the flying squirrel *Pteromys volans* in corridors and in matrix habitat. *Ecography* 26: 641–651.

Selonen, V. and Hanski, I.K. 2006. Habitat exploration and use in dispersing juvenile flying squirrels. *J Anim Ecol* 75: 1440-1449.

Selonen, V. and Mäkeläinen, S. 2017. Ecology and protection of a flagship species, the Siberian flying squirrel. *Hystrix* 28(2):134-146.