

Puutavaran tienvarsivarastojen automaattinen suunnittelu

Metsätehon tulokalvosarja 11/2026

Kirsi Rieki ja Jukka Malinen

Metsäteho Oy

Tiivistelmä

- Hyvä puutavaran tienvarsivarasto korjuukohteella on oleellinen osa puunkorjuuta ja puutavaran kuljetusta.
 - Tienvarsivaraston paikka tarvitaan mm. ajourasuunnittelun lähtötiedoksi.
 - Tienvarsivaraston sijaintiin vaikuttavat mm. maastonpiirteet ja tiestö sekä tilarajat ja maanomistussuhteet.
 - Tässä työssä kehitettiin yksinkertainen automaattinen menetelmä, joka tuottaa ehdotuksen käyttökelpoisista puutavaran tienvarsivarastoista käsittelykohteelle.
 - Menetelmä perustuu avoimiin paikkatietoaineistoihin, joiden avulla määritetään sekä varastointiin mahdolliset että siihen soveltumattomat alueet.
 - Automaattisella menetelmällä pystyttiin tuottamaan visuaalisesti arvioiden käyttökelpoisia ehdotuksia tienvarsivarastoista.
- Menetelmän avulla voidaan tukea korjuun suunnittelijan työtä jo nyt.
- Jatkossa menetelmää on mahdollista kehittää kattavammaksi.
 - Kuitenkin myös korjuun suunnittelijan harkintaa tapauskohtaisesti sopivimmista varastointiratkaisuista tarvitaan edelleen.

English summary

- A suitable roadside storage at a harvesting site is an essential part of timber harvesting and transporting.
- The location of roadside storage is needed, for example, as an input for strip road planning.
- The roadside storage is located based on e.g. terrain and road network features as well as forest estate boundaries and ownerships.
 - One harvesting site can have several suitable roadside storage locations.
- This work concentrated on developing a simple automated method, which proposes usable locations of roadside storages.
 - The method was tested for first thinning sites, but it is applicable also to other harvesting types.
- The method utilizes open geospatial datasets to identify areas that are both suitable and unsuitable for storing.
- Based on visual assessment, the method proposed usable roadside storage locations.
- The automated method can be used to support the work of operation planners.
- The storage planning method can be further developed to be more comprehensive.
 - However, consideration of best roadside storage locations by operation planners is also needed in the future.

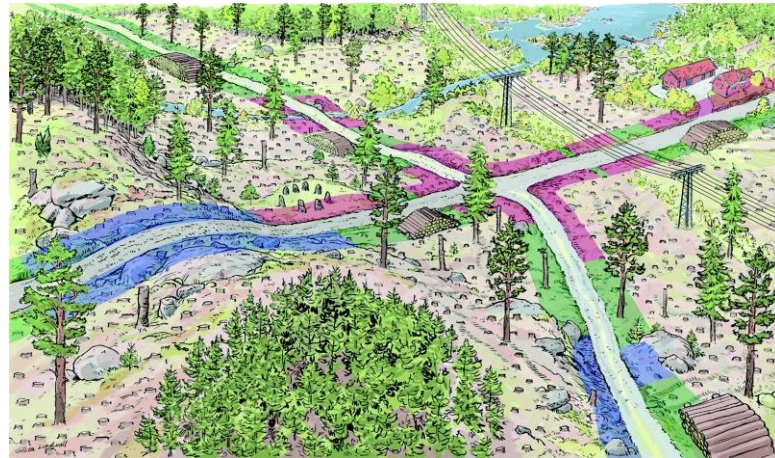
Johdanto

- Hyvä puutavaran tienvarsivarasto korjuukohteella on oleellinen osa puunkorjuuta ja puutavaran kuljetusta.
 - Se yhdistää puutavaran metsäkuljetuksen kohteelta varastolle sekä kaukokuljetuksen varastolta kohti käyttöpaikkaa.
 - Tienvarsivarasto avataan kohteelle yleensä ensiharvennuksen yhteydessä.
- Tienvarsivarasto suunnitellaan kohteen puunkorjuun suunnittelun alkuvaiheessa, sillä se on mm. ajourasuunnittelun keskeinen lähtötieto.
- Tienvarsivaraston sijoittamiseen vaikuttavat mm. maastonpiirteet ja tiestö sekä tilarajat ja maanomistussuhteet.
- Korjuun suunnittelun tueksi on viime vuosina kehitetty automaattisia työkaluja.
 - Skogforskissa on kehitetty työkalu kokoojaurien suunnitteluun (Willén ym. 2019a, 2019b) sekä tienvarsivarastojen sijaintien suunnitteluun (Flisberg ym. 2021). Kaupallisia työkaluja TimberTrail ja Loglanding myy Creative Optimization Sweden Ab.
 - MoniURA-työkalu tuottaa ehdotuksen koko korjuukohteen ajouraverkostosta (Riekki ym. 2025).
- Tavoitetilana on suunnitella sekä tienvarsivarasto, kokoojaurien sijainti että keruu-uraverkosto automaattisesti ja optimaalisesti lähikuljetusta varten.
 - Suunnittelun automatisoinnilla pyritään helpottamaan korjuun suunnittelijoiden ja koneiden kuljettajien työtä.

Hyvän tienvarsivaraston ominaisuuksia

Yhdellä korjuukohteella voi olla useita käyttökelpoisia tienvarsivarastoja.

- Tienvarsivaraston tavoiteominaisuuksia ovat mm.:
 - keskeinen sijainti ja hyvä saavutettavuus korjuualueelta nähtynä,
 - saavutettavuus yhdistelmäajoneuvolla: ajokelpoinen tie ja tarvittaessa kääntöpaikka,
 - sijainti tasamaalla ja suoran tieosuuden varressa,
 - kantava maapohja ja
 - riittävä koko, jotta puutavaralajit saadaan pidettyä erillään.
- Mahdollisuuksien mukaan tienvarsivarastoa ei sijoiteta
 - sähkölinjojen läheisyyteen,
 - asutuksen läheisyyteen,
 - tienristeyksiin tai huonon näkyvyyden tieosuuksille,
 - vesistöjen läheisyyteen,
 - turvemaille, tai
 - maastonmuodoiltaan jyrkille tai kivisille alueille.



Havainnollistus tienvarsivarastojen sijoittamiseen vaikuttavista maastonpiirteistä. Vihreällä värillä korostetut tienvarsialueet soveltuvat varastointiin. Punaiset alueet kuvaavat sähkölinjoja, asutusta, tienristeyksiä ja vesistöjä. Siniset alueet kuvaavat jyrkkiä maastonkohtia. Kuva: Flisberg ym. 2021.

Tavoite

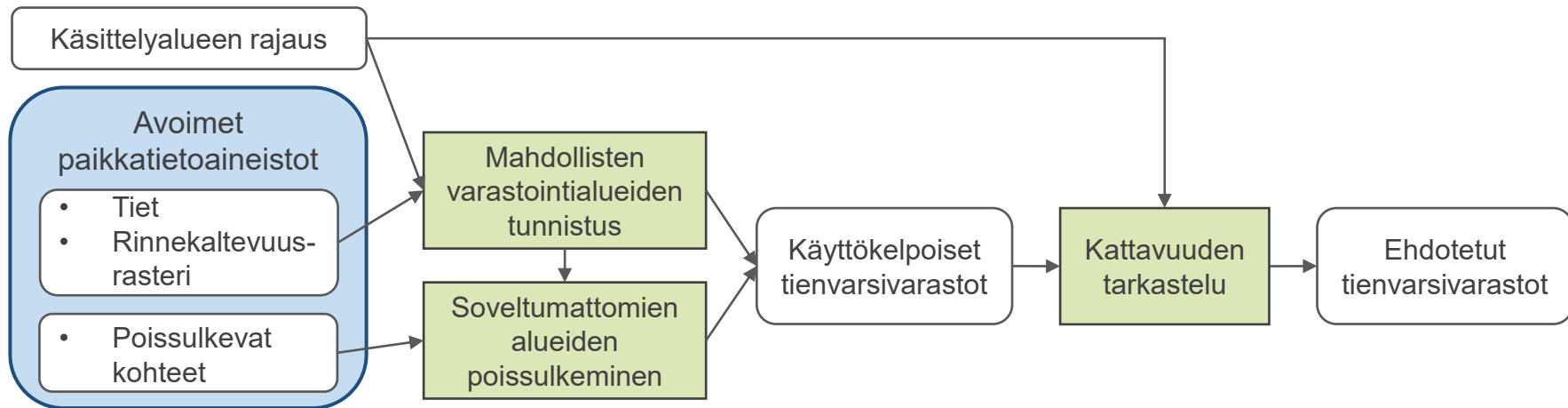
- Tämän työn tavoitteena oli kehittää yksinkertainen menetelmä puutavaran tienvarsivarastojen automaattisen suunnittelun tueksi.
- Tienvarsivarastojen suunnittelu täydentää osaltaan MoniURA-ajourasuunnittelutyökalua.
- Menetelmä tuottaa ehdotuksen käyttökelpoisten tienvarsivarastojen sijainneista avoimien paikkatietoaineistojen avulla.
 - Tavoitteena on ehdotusten hyvä luotettavuus ja toteuttamiskelpoisuus.
- Menetelmää testattiin toteutetuilla ensiharvennuskohteilla.
 - Oletettiin, että harvennuskertymä sisältää samaan pinoon varastoitavaa kuitupuuta.
 - Ehdotettujen tienvarsivarastojen soveltuvuutta arvioitiin visuaalisesti paikkatieto-ohjelmassa mm. kartta-aineistoihin ja toteutettuihin varastoihin nähden.

Aineisto

- Tutkimuksen aineistona oli 30 ensiharvennuskohdetta, joiden koko vaihteli noin 1,7 ha – 22,7 ha välillä.
- Kohteet sijaitsivat Keski- ja Pohjois-Suomessa.
- Metsätehon omistajat olivat toteuttaneet kohteiden korjuun kesä – marraskuussa 2025.
- Kaikki kohteet sijaitsivat kaukokuljetukseen soveltuvan tien varressa.
- Kohteilta oli käytettävissä korjuulla toteutettujen tienvarsivarastojen sijainnit, joita oli yhteensä 36 kpl.

Tienvarsivarastojen suunnittelumenetelmä

- Lähtötietona käytetään käsittelyalueen rajausta.
- Menetelmän vaiheet on kuvattu tarkemmin seuraavilla dioilla.
- Menetelmä toteutettiin Python-kielisenä ohjelmakoodina QGIS3-paikkatieto-ohjelmassa.
 - Toteutus sisältää kuvattujen vaiheiden lisäksi geometrioiden siistimistä.



Mahdollisten varastointialueiden tunnistamiskriteerit

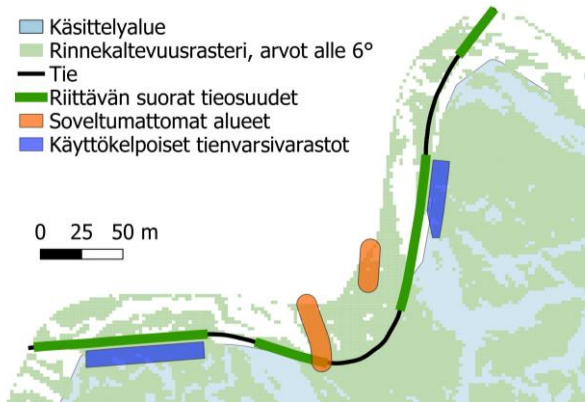
- Varastointialueen vähimmäispituus tien suuntaisesti on 25 m.
 - Tämän ylittävä kapasiteettitarve määritetään käsittelyalueen pinta-alan ja oletetun ainespuukertymän mukaisesti.
- Varastointialueet sijoitetaan kaukokuljetukseen soveltuvien teiden riittävän suorille osuuksille.
 - Soveltuvina tieluokkina käytetään Maanmittauslaitoksen **maastotietokannan auto- ja ajoteitä**.
 - Maastotietokannan muut tieluokat (talvitiet, polut ja ajopolut) eivät ole välttämällä liikennöitävissä yhdistelmäajoneuvoilla kaikkina vuodenaikoina.
- Varastointialueille tulee päästä käsittelyalueelta ilman, että ylitetään em. auto- tai ajoteitä.
 - Varastointi tien molemmin puolin sallitaan kuitenkin käsittelyalueen sisään suuntautuvilla metsätiepistoilla (maastotietokannan talvitiet ja ajopolut).
- Rinnekaltevuusrasterin pikselien arvot varastointialueilla ovat korkeintaan 6°.
 - Rinnekaltevuusrasteri laskettiin paikkatieto-ohjelmassa Maanmittauslaitoksen korkeusmallirasterista (pikselikoko 2 m x 2 m).
- Varastointialueiden määrittämisessä huomioidaan tien leveys sekä mahdollisuus kuormatraktorin kuorman purkamiseen käsittelyalueen puolelta.



Esimerkki mahdollisten varastointialueiden tunnistamiseen käytetyistä paikkatietoaineistoista: rinnekaltevuusrasteri ja suorat tieosuudet.

Tienvarsivarastoiksi soveltumattomat alueet

- Tienvarsivarastoiksi soveltumattomat alueet määritetään avoimista paikkatietoaineistoista. Poissulkevinä kohteina käytetään:
 - Metsäkeskuksen metsälain erityisen tärkeitä elinympäristöjä sekä
 - Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta
 - ojia, soita, vesikuoppia ja lähteitä,
 - kivikoita ja isoja yksittäisiä kiviä,
 - sähkölinjoja,
 - rakennettuja alueita (rakennetut maastokohteet, taajamat ja rakennukset) ja
 - kaukokuljetukseen soveltuvien teiden risteys- ja talviteitä, polkuja ja ajopolkuja.
- Poissulkeville kohteille tuotetaan puskurivyöhykkeet, joiden leveys määritetään kohteittain.
- **Käyttökelpoisten tienvarsivarastojen** aluerajaukset saadaan selville mahdollisten varastointialueiden ja soveltumattomien alueiden päällekkäisanalyysillä.
 - Määritetään myös käyttökelpoisten tienvarsivarastojen keskipisteet mm. ajourasuunnittelun lähtötiedoksi.
- Jos käyttökelpoisia tienvarsivarastoja ei ole, ehdotusta ei tuoteta.

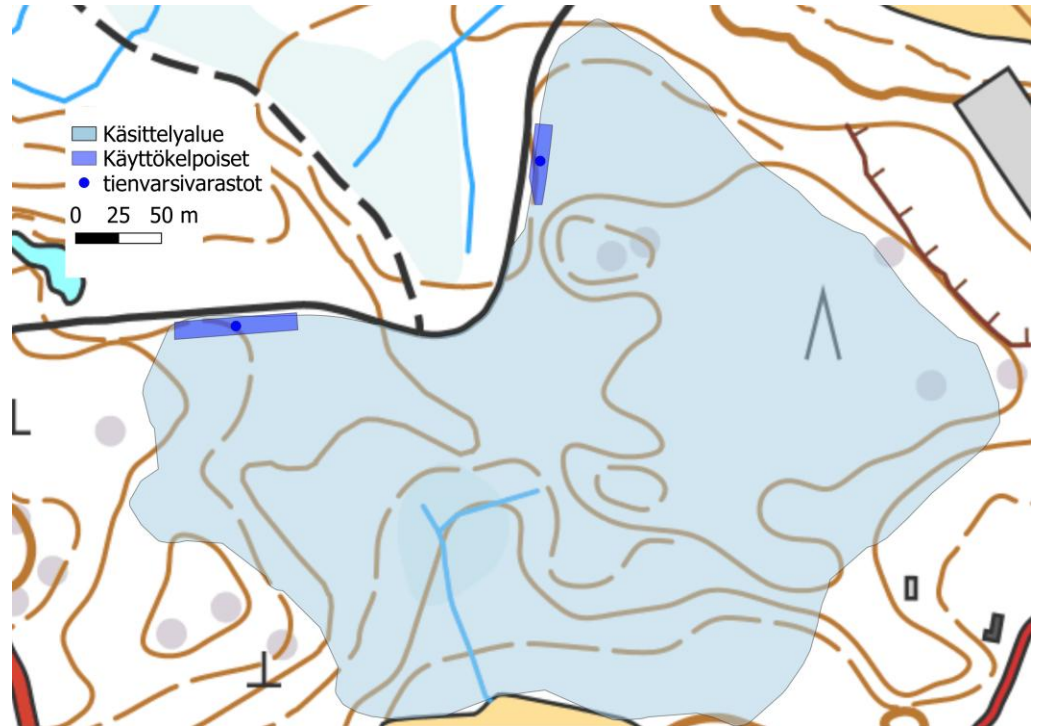


Esimerkki soveltumattomien alueiden paikkatietoaineistoista (oranssi) sekä päällekkäisanalyysin tuottamista käyttökelpoisten tienvarsivarastojen aluerajauksista (sininen). Peruskartta © Maanmittauslaitos.

Tienvarsivarastojen kapasiteetit ja kattavuus

- Korjuukohteen kapasiteettitarpeen ja käyttökelpoisten tienvarsivarastojen perusteella arvioidaan varastojen riittävyyttä.
 - Mikäli useiden varastojen yhteiskapasiteetti ylittää tarpeen, ehdotukseksi valitaan pienin kapasiteetiltaan riittävä määrä varastoja, jotka ovat käsittelyalueelta parhaiten saavutettavissa metsäkuljetuksessa.
- Kattavuus eli saavutettavuus metsäkuljetuksessa määritetään puskuroitujen varastojen sijaintien ja käsittelyalueen päällekkäisanalyysillä.
 - Puskurivyöhykkeiden pinta-alat vastaavat varastojen kapasiteetteja.
 - Mikäli käyttökelpoisia tienvarsivarastoja on useita, mutta niiden yhteiskapasiteetti ei riitä koko hakkuukertymän varastointiin, ehdotetaan joka tapauksessa kaikkia käyttökelpoisia varastoja.
- Tällöin ehdotus sisältää lisäksi tiedon kaukokuljetuksen tarpeesta jo korjuun aikana.

Tienvarsivarastojen kapasiteetit ja kattavuus, esimerkki



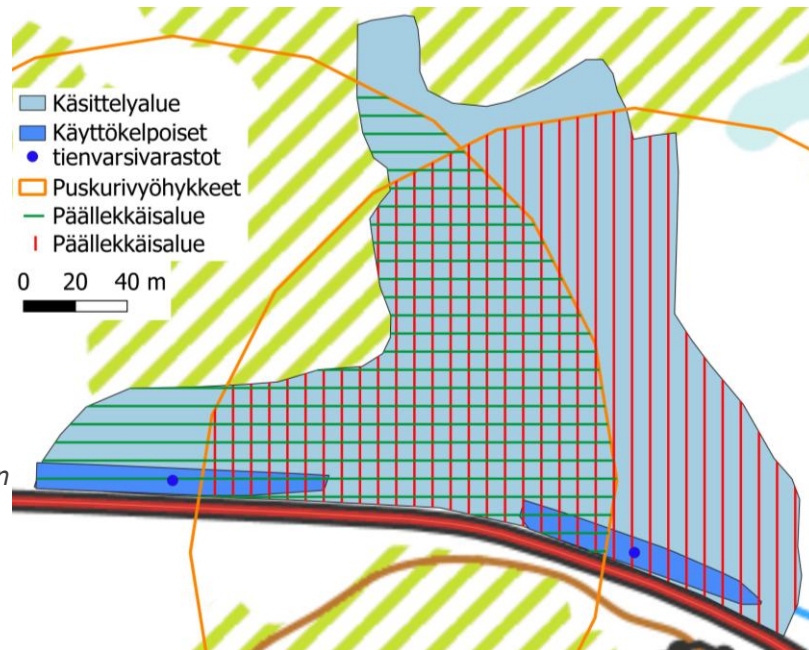
Ensiharvennuskohteella (n. 11,5 ha) on kaksi käyttökelpoista tienvarsivarastoa. Kohteelle tarvitaan vähintään 85 m pituudelta tienvarsivarastoa. Varastojen 1 ja 2 pituudet ovat 50 m ja 29 m. Ehdotus sisältää tällöin molemmat varastot ja tiedon kaukokuljetustarpeesta korjuun aikana.

Peruskartta © Maanmittauslaitos.

Tienvarsivarastojen kapasiteetit ja kattavuus, esimerkki

- Varaston keskipisteen puskurointisäteen määrittäminen kattavuuden tarkastelua varten:
 - Lasketaan käsittelyalueen pinta-alan neliöjuuri.
 - Määritetään varaston pituuden suhde tarvittavaan varaston pituuteen, ja edelleen tämän suhteen neliöjuuri.
 - Kerrotaan kohdan 1 tulos kohdan 2 tuloksella.
 - Valitaan pienempi kohtien 1 ja 3 tuloksista.

Kohteella (n. 2,9 ha) on kaksi käyttökelpoista tienvarsivarastoa. Varaston pituuden tarve on 34 m. Kumpi tahansa varastoista, 1 tai 2, riittää yksin koko kohteelle, sillä niiden pituudet ovat 70 m ja 63 m. Puskuroitujen varastojen ja käsittelyalueen päällekkäispinta-alat ovat 1,7 ha ja 2,4 ha, joten varasto 2 on paremmin saavutettavissa käsittelyalueelta ja sitä ehdotetaan.



Peruskartta © Maanmittauslaitos.

Menetelmän toimivuus

- Menetelmä tuotti 63 %:lle (19 / 30 kpl) aineiston ensiharvennuskohteista ehdotuksen tienvarsivarastoista.
- Kaikki ehdotetut tienvarsivarastot olivat paikkatieto-ohjelmassa toteutetun visuaalisen arvioinnin perusteella käyttökelpoisia ja perusteltavissa.
- Kun ehdotuksia verrattiin toteutettuihin varastoihin, havaittiin viiden ehdotetun varaston sijaitsevan samoissa kohdissa kuin toteutetut varastot.
 - Koska kohteilla voi todellisuudessa olla useita käyttökelpoisia varastoja, tulee vastaavuustuloksia arvioida lähinnä varastojen ominaisuuserojen kautta.
- Havaintoja varastojen vertailusta on koottu seuraavalle dialle.

Ehdotettujen ja toteutettujen tienvarsivarastojen eroja

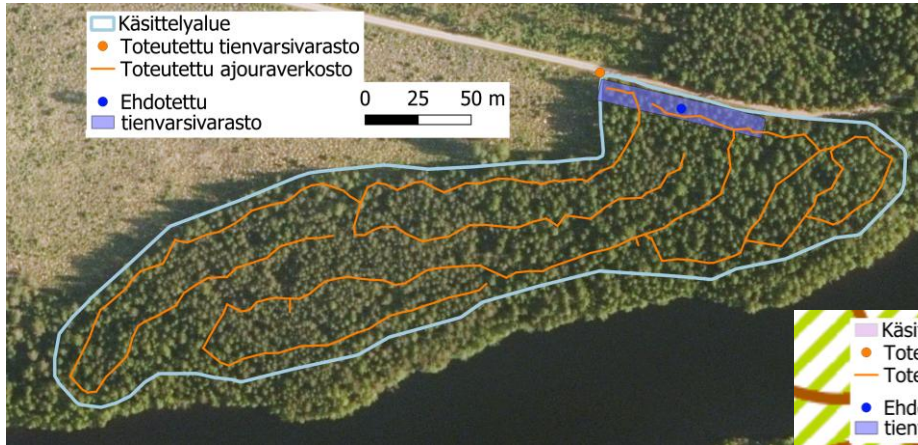
Tutkimuksen aineistossa:

- Mikäli maastoltaan täysin optimaalista sijaintia ei ollut tarjolla, oli toteutettujen tienvarsivarastojen sijoittamisessa tehty kompromisseja vältettävien kohteiden läheisyyden suhteen.
 - Esimerkiksi varastoja oli tehty ojien kohdalle – korjuun vuodenaika voi vaikuttaa tähän.
- Tiet vaikuttivat varastojen sijoittamiseen.
 - Toteutetut varastot sijaitsivat usein ajopolun tai talvitien varressa. Menetelmässä ajopolut ja talvitiet rajattiin sen sijaan pois mahdollisista varastointialueista.
 - Osa varastoista sijaitsi matalamman tieluokan ajotien varressa mutkaisemmassa kohdassa sen sijaan, että ne olisivat sijainneet korkeamman tieluokan (autotie III) suoralla osuudella.
 - Varastoja oli sijoitettu myös ajoteiden risteyksiin.

Muita vaikuttavia tekijöitä:

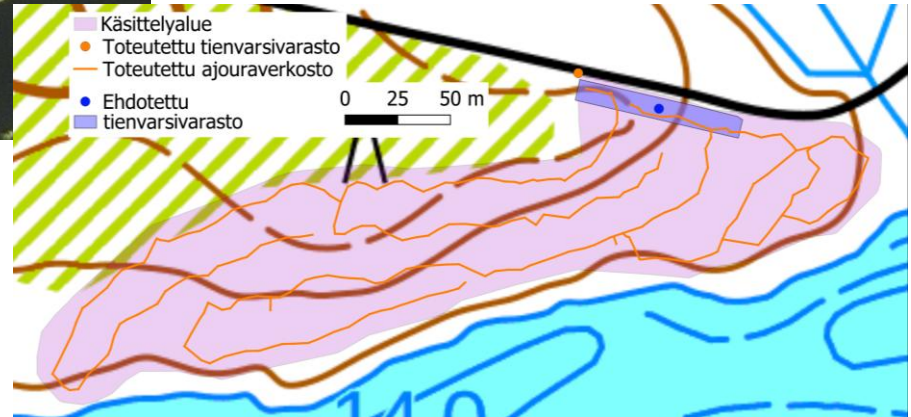
- Joskus korjuukohteella voi olla jo entuudestaan tienvarsivarasto, joka ei ole ominaisuuksiltaan paras mahdollinen. Tällöin olemassaolevaa varastoa voidaan kuitenkin käyttää, jotta ei tarvitsisi avata kokonaan uutta varastoa entisen lisäksi.
- Kaukokuljetuksen reititys korjuukohteelta eteenpäin voi vaikuttaa varastojen sijoittamiseen.
- Lisäksi toteutettujen varastojen sijoittamiseen on voinut vaikuttaa useita muita tapauskohtaisia tekijöitä.

Ehdotetut vs. toteutetut varastot, esimerkki

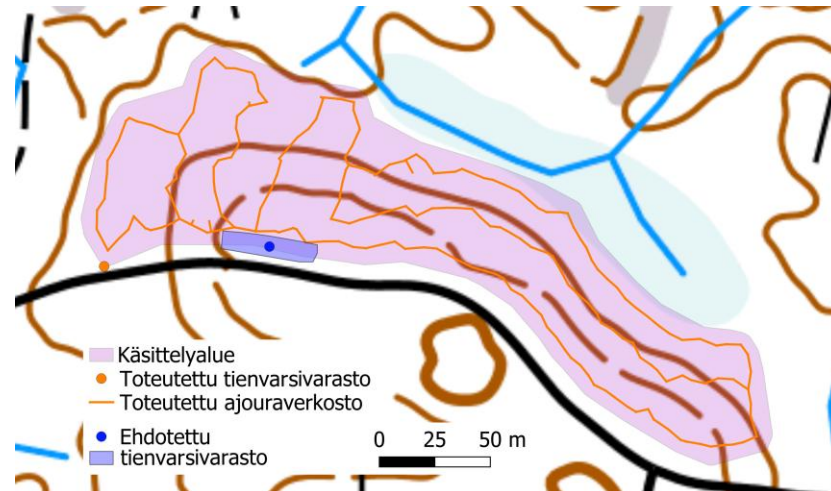
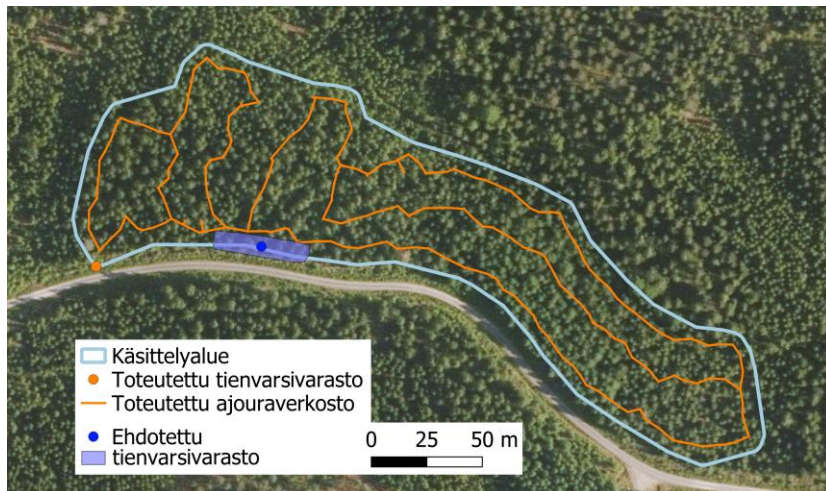


Menetelmän ehdottama ja toteutettu tienvarsivarasto sijaitsevat visuaalisen arvioinnin perusteella samassa kohdassa.

Ilmakuva ja peruskartta © Maanmittauslaitos.

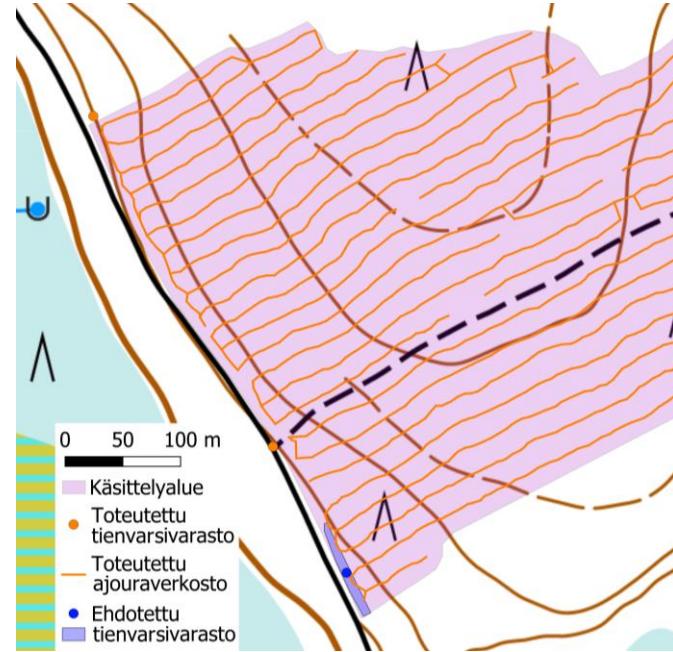
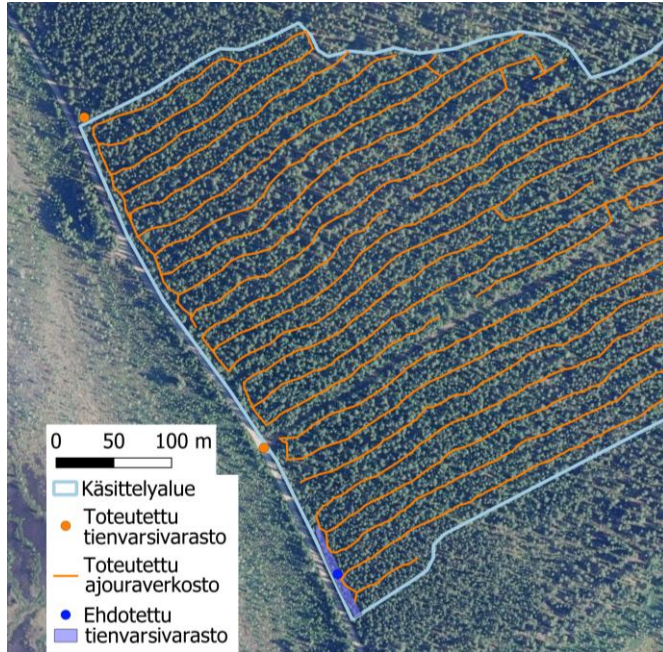


Ehdotetut vs. toteutetut varastot, esimerkki



*Menetelmän ehdottama varasto sijaitsee eri kohdassa kuin toteutettu varasto. Toteutetun varaston kohdalla maasto on hieman kaltevampaa kuin ehdotuksen kohdalla.
Ilmakuva ja peruskartta © Maanmittauslaitos.*

Ehdotetut vs. toteutetut varasto, esimerkki



Menetelmän ehdottama varasto sijaitsee eri kohdassa kuin toteutettu varasto. Ylemmän toteutetun varaston kohdalla maasto on kaltevampaa kuin ehdotuksen kohdalla. Alempi sijaitsee ajopolun kohdalla, joten menetelmä ei ehdota varastoa siihen kohtaan. Ilmakuva ja peruskartta © Maanmittauslaitos.

Pohdinta

- Testiaineiston perusteella menetelmä toimii tarkoituksenmukaisesti.
- Menetelmän tuottamien ehdotusten todellista käyttökelpoisuutta on kuitenkin tarpeen selvittää kattavammin, esimerkiksi haastattelemalla korjuun suunnittelijoita.
- Edelleen tarvitaan myös korjuun suunnittelijan harkintaa tapauskohtaisesti sopivimmista varastointiratkaisuista, sillä
 - kohteilla voi lähtökohtaisesti olla useita käyttökelpoisia varastoja,
 - maastossa ilmenevät mutta paikkatietoaineistoista puuttuvat ominaisuudet voivat vaikuttaa paljonkin varaston sijoittamiseen ja
 - käyttökelpoisia ehdotuksia ei voida suunnitella automaattisella menetelmällä kaikille korjuukohteille.
- Tienvarsivarastojen suunnittelumenetelmä soveltuu ensiharvennusten lisäksi myös muille harvennuksille ja päätehakkuille.

Jatkokehitysmahdollisuuksia

- Tienvarsivarastoja voidaan suunnitella varsinaisten korjuukohteiden lisäksi mille tahansa käytettävissä oleville alueille, kunhan ne ovat ajokelpoisten teiden varsilla.
 - Aluerajaukset voidaan antaa lähtötiedoiksi menetelmälle.
→ Menetelmä voi tällöin tuottaa ehdotuksia myös kohteille, jotka eivät sijaitse kaukokuljetukseen soveltuvan tien lähellä.
- Tarvittavaa varastointikapasiteettia voidaan jatkossa päivittää esimerkiksi käsittelyalueen puustotietojen perusteella.
 - Tällöin kaikille tavaralajeille varattaisiin vähimmäisvarastointikapasiteetti, ja lisäksi tarpeen mukaan pinojen erotteluun yhdellä varastolla lisäpituus 2 m / tavaralaji.
- Jatkossa menetelmää on mahdollista kehittää yksityiskohtaisemmaksi.
 - Esimerkiksi metsäkuljetuksen reittioptimoinnin perusteella voidaan ehdottaa useita tienvarsivarastoja, vaikka yhdenkin varaston kapasiteetti riittäisi.

Kirjallisuutta

- Flisberg P, Rönqvist M, Willén E, Forsmark V, Davidsson A (2021) Optimized locations of landings in forest operations. *Can. J. For. Res.* 2021, 52, 59-69. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2021-0032>.
- Ovaskainen H (toim.) (2022) Puuhuolto. Korjuun suunnittelu. Metsätehon opas. <https://puuhuolto.fi/korjuun-suunnittelu/>.
- Ovaskainen H (2023) Koneellinen puunkorjuu. Metsäteho Oy. Painokanava Oy, Joensuu.
- Rieki K, Ovaskainen H, Malinen J (2025) Metsäkoneiden ajouraverkoston automaattinen suunnittelutyöväline MoniURA. Metsätehon tulostulosarja 11/2025. <https://www.metsateho.fi/metsakoneiden-ajouraverkoston-automattinen-suunnittelytyovaline-moniura/>.
- Willén E, Flisberg P, Frisk M, Ala-Ilomäki J, Lindeman H, Salmivaara A, Ovaskainen H (2019a) Logging trail visualizations and post-harvest quality control. EFFORTE – ‘Efficient forestry by precision planning and management for sustainable environment and cost-competitive bio-based industry’ - hankkeen raportti. 47 s.
- Willén E, Davidsson A, Frisk M, Flisberg P, Rönqvist M (2019b) Decision support for proposing main extraction routes in final felling. Demonstration report: Södra. Arbetsrapport 1020-2019 (English version). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20190627094517/contentassets/e39c7a92aa344b25a05ed8c11274949a/arbeitsrapport-1020-2019---engelsk-version.pdf. [Viitattu: 11.8.2026]

Tämä tutkimus on toteutettu osana EU-rahoitteista OptiForValue-hanketta.



The OptiForValue project is supported by the Circular Bio-based Europe Joint Undertaking and its members under Grant Agreement N° 101157658. Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or CBE JU. Neither the European Union nor the CBE JU can be held responsible for them.