

Säästöpuutyökalu ReTreeT – ekologiset ja taloudelliset arvot säästöpuiden suunnittelussa

Metsätehon tulokalvosarja 8/2024

Mikko Kesälä¹, Kirsi Riekkö², Jukka Malinen²

Helsingin yliopisto¹, Metsäteho Oy²

Tiivistelmä

- Säästöpuut ovat hyvä keino ylläpitää monimuotoisuutta ja muita ekologisia arvoja talousmetsissä.
- Työssä kehitettiin avoimen lähdekoodin QGIS-työkalu, jolla voidaan tuottaa automaattinen ehdotus säästöpuiden systemaattisesta sijoittelusta ekologisiin arvoihin pohjautuen.
 - Ekologisia arvoja mallinnetaan monimuotoisuusindikaattorien sekä niistä koostettujen yhdistelmäskenaarioiden avulla.
 - Monimuotoisuusindikaattorit ovat Simpsonin monimuotoisuusindeksi, kosteusindeksi, lahoppuupotentiaali ja fosforin pidättyminen.
- Säästöpuutyökalulle annetaan lähtötiedoksi hakkuualueen raja-alue. Se tunnistaa alueen puut kaukokartoitusaineistoista ja tuottaa ehdotukset säästöpuuryhmien aluerajauksista, huomioiden runkokohtaisten ekologisten arvojen ryhmittäisyys.
- Säästöpuutyökalun toimintaa validoitiin toteutettujen päätehakkuukohteiden ja säästöpuuryhmien avulla yhdistämällä hakkuukone- ja maastomitattua aineistoa.
- Tulokset havainnollistivat työkalun indikaattorien vaikutusta säästöpuuehdotukseen.
 - Monimuotoisuusindeksin suuret arvot liittyvät sekapuustoisuuteen, ja kytkeytyvät osin myös lahoppuupotentiaaliin.
 - Kosteusindeksi: jos alueella on kosteita painanteita, noro- tai puroelinympäristöjä, indeksi korostaa hyvin korkean monimuotoisuuden alueita.
 - Lahoppuupotentiaali on suurimmillaan järeeässä lehtipuustossa.
 - Fosforin pidättyminen on oleellinen tekijä järvien ja lampien läheisyydessä.
- Tulosten pohjalta koostettiin korjuun suunnittelutyöhön soveltuvia, yleisluontoisia säästöpuutyökalun käyttövaihtoehtoja.
- Kokonaisuutena työ osoittaa, että säästöpuutyökalu tarjoaa mahdollisuuden säästöpuiden aiempaa täsmällisempään kohdentamiseen päätehakkuilla ja siten edesauttaa korkeampien ekologisten arvojen saavuttamisessa talousmetsissä.

Summary: Retention tree tool ReTreeT – ecological values in planning retention trees

- Retention trees are a diverse way to promote biodiversity and other ecological values in managed forests.
- An open source QGIS tool was developed in cooperation of Finnish Forest Center and University of Helsinki (UH) for planning retention trees before harvesting. The aim of the tool is to produce automated, systematical proposals of retention trees based on ecological values.
 - The ecological values are modelled by using tree-wise biodiversity indicators and scenarios combined of them.
 - The biodiversity indicators of ReTreeT are Simpson's biodiversity index, depth-to-water-index, dead wood potential and phosphorus retention.
- The delineation of the planned harvesting area is given as an input for ReTreeT. It identifies the trees within the area from canopy height map and extracts the tree species and diameter from 16 m grid -based remotely sensed forest inventory data, both openly available in Finland. The tool outlines proposals of retention tree group delineations, taking into account the spatial clustering of the ecological values.
- The tool was validated in cooperation of UH and Metsäteho Oy using combination of operative harvester data of 43 regeneration cutting sites and field recorded data of their retention trees. A scientific, peer-reviewed publication of ReTreeT tool is under preparation.
- The results showed how the biodiversity indicators affect the proposed delineation of retention trees.
 - Large values of Simpson's biodiversity index relate to mixed-species trees, and also partly to the dead wood potential.
 - Depth-to-water -index: in case of moist depressions or stream habitats at the area, this index emphasises the hotspots of high biodiversity.
 - Dead wood potential is most prominent at large-diameter deciduous trees.
 - Phosphorus retention is an essential factor near water bodies. Slightly under-average economical values of the retention trees were observed at waterfronts.
- Based on the results, generic alternatives were suggested for using the tool in operative planning of the harvesting work.
- As a whole, this work indicates that ReTreeT tool provides a means to plan and target retention tree groups at regenerative fellings more precisely based on ecological values. Thereby it helps in retaining the biodiversity in forest management.

Johdanto: talousmetsän luonnonhoito

- Suojelualueiden lisäksi tarvitaan muitakin keinoja ylläpitämään metsäelinympäristön monimuotoisuutta.
 - Talousmetsän luonnonhoito on osa vastuullista metsätaloutta.
- Talousmetsän luonnonhoidossa mielenkiinnon kohteena ovat mm.
 - arvokkaat elinympäristöt,
 - Suojatiheiköt,
 - lehtipuusto,
 - järeät puut,
 - lahopuu,
 - elinympäristöjen kytkeytyneisyys.
- Säästöpuut ovat yksi keino ylläpitää monimuotoisuutta ja muita ekologisia arvoja talousmetsissä.



Johdanto: säästöpuiden ympäristöarvot

- Säästöpuut ja -ryhmät tarjoavat elinympäristön useille lajeille ja mahdollistavat niiden selviytymisen metsänuudistamisvaiheen yli.
- Ne lisäävät lahoppuustoa, metsärakenteen vaihtelua ja sekapuustoisuutta sekä parantavat vanhan metsän kytkeytyvyyttä.
- Lisäksi säästöpuut ovat pitkäaikaisia hiilivarastoja ja vähentävät ravinteiden kulkeutumista vesistöön, jos ne sijaitsevat vesistön läheisyydessä.
- Näin ollen säästöpuut edistävät
 - monimuotoisuutta (suuriläpimittaiset lehtipuut ja puulajien vaihtelu),
 - vesiensuojelua (ravinteiden ja kiintoaineen pidättäminen) ja
 - ilmastoarvoja (hiilisidonta ja -varasto sekä puustossa että maaperässä).

Johdanto: säästöpuiden sijainnin vaikutus

- Suuremmat säästöpuuryhmät lisäävät parhaiten monimuotoisuutta ja lajien resilienssia.
- Säästöpuiden jättäminen ryhmiin lisää paikallista monimuotoisuutta.
- Säästöpuuryhmien tasainen jakaantuminen kuviolle taas lisää säästöpuiden kytkeytyvyyttä, mikä parantaa lajien mahdollisuutta selvitä ja lisääntyä elinalueella.
 - Monimuotoisuutta voidaan tarkastella paikallisesti, esimerkiksi yksittäisten lahopuiden avulla, ja maisematasolla esimerkiksi elinympäristöjen kytkeytyvyyden kautta.

Johdanto: säästöpuut sertifikaateissa

- Yleisimmät sertifikaatit ovat Suomessa PEFC ja FSC, joissa on ollut ohjeet säästöpuiden vähimmäismäärästä ensimmäisistä sertifikaattiasetuksista asti.
 - PEFC 2024:
 - Eläviä säästöpuita jätetään vähintään 10 kpl/ha.
 - Sertifikaatissa lueteltujen, ensisijaisesti säästettävien puiden puuttuessa säästöpuiksi jätetään rinnankorkeudeltaan vähintään 15 cm paksuja puita.
 - FSC 2023:
 - Varttuneen metsän hakkuissa ja uudistushakkuissa jätetään eläviä säästöpuita vähintään 10 kpl/ha. Puiden on oltava rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 20 cm/15 cm Etelä-/Pohjois-Suomessa.
 - Uudistushakkuissa näistä puita vähintään 5 kpl/ha tulisi olla rinnankorkeusläpimitaltaan 30 cm/25 cm. Jos näin ei ole, jätetään edellä mainittujen säästöpuiden lisäksi vähintään 10 kpl/ha rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 10 cm paksuisia puita.
 - Säästöpuiksi jätetään kummassakin sertifiointijärjestelmässä monimuotoisuudeltaan erityisiä puita, kuten petolintujen pesäpuita, kolopuita, aiemman puusukupolven puuyksilöitä tai muodoltaan poikkeuksellisia yksilöitä. Lisäksi pyritään säästämään esimerkiksi eri kotoisten puulajien puita, kuten järeitä katajia, kookkaita haapoja tai jaloja lehtipuita.
- Mihin säästöpuita tulee jättää sertifikaateissa?
 - PEFC:ssä säästöpuut suositellaan jätettävän ryhmiin sertifikaatissa esiteltujen arvokkaiden elinympäristöjen välittömään läheisyyteen sekä avosoiden tai vesistöjen ja pienvesien suojakaistoille.
- Säästöpuuohjeistukset ovat kehittyneet sertifikaattien päivityksissä, minkä takia laajoja yhteneväisiä käytäntöjä säästöpuiden suunnitteluun ei oleteta olevan.
 - Kuinka usein metsäkoneenkuljettaja tekee päätöksen säästöpuista ilman suunnittelutietoa?

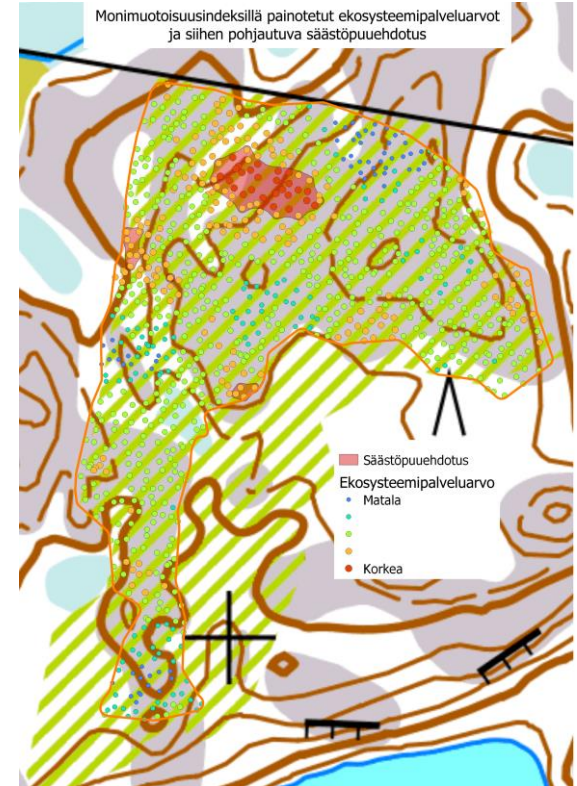


Tavoite: ReTreeT – Säästöpuutyökalu

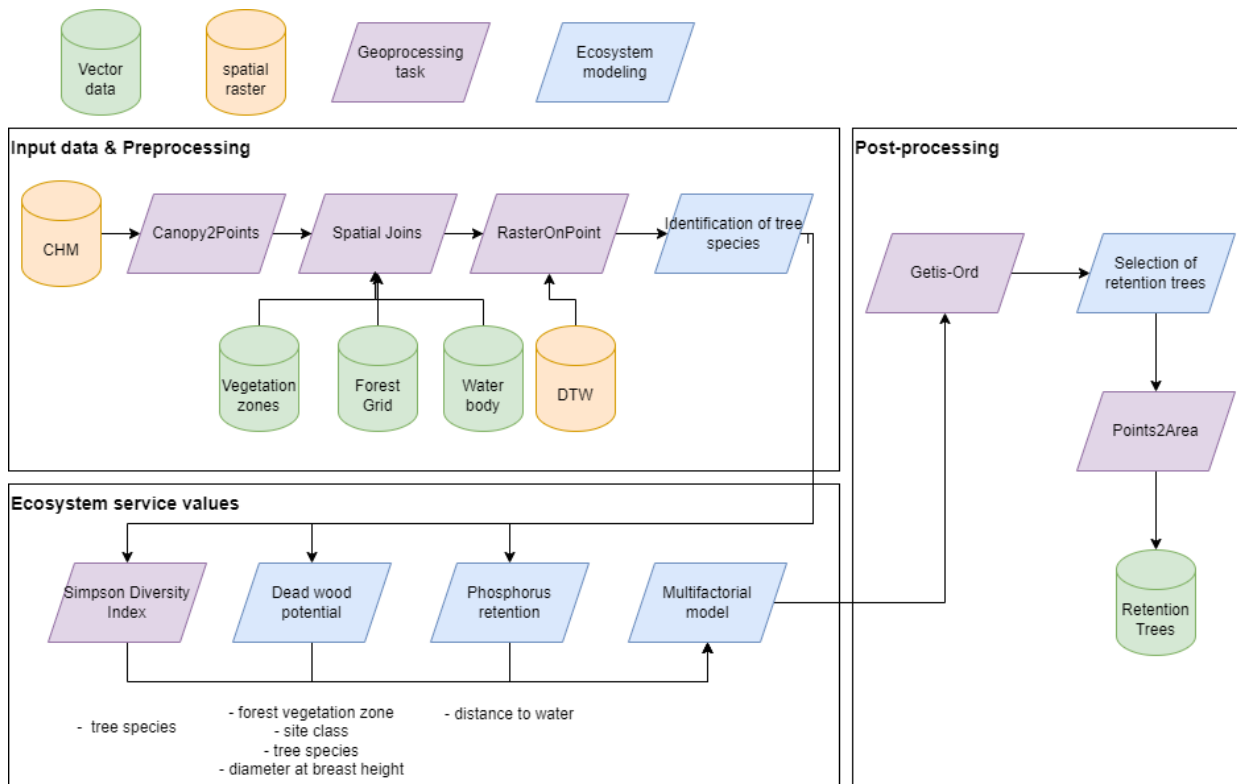
- Tavoitteena on tuottaa automaattinen ehdotus säästöpuiden sijoittelusta ekologisiin arvoihin pohjautuen.
- Sitä varten on kehitetty säästöpuutyökalu ReTreeT yhteistyössä Suomen metsäkeskuksen ja Helsingin yliopiston kanssa 2020 – 2023.
 - Tieteellinen jatkokehitys ja validointi on toteutettu yhteistyössä Helsingin yliopiston ja Metsätehon kanssa 2023 – 2024.
- Työkalun lähtökohtia:
 - Päätöksentekijä pystyy itse painottamaan eri arvoja (monimuotoisuus, vesiensuojelu, ilmasto).
 - Työkalun lähtöaineistot ovat avoimia.
 - Työkalun koodi on avointa.
- Työkalun avulla halutaan mahdollistaa säästöpuiden systemaattisen suunnittelun kehittyminen ja jalkauttaminen käytännön metsätalouteen.

Säästöpuutyökalun toimintaperiaate

- Annetaan lähtötiedoksi hakkuualueen raja.
- Alueen yksittäiset puut ja niiden tiedot haetaan kaukokartoitusaineistoista.
- Puille lasketaan monimuotoisuutta kuvaavat indikaattorit.
 - Näistä yhdistelemällä saadaan myös eri ekosysteemipalveluja kuvaavia indeksejä.
- Lasketaan ehdotukset säästöpuuryhmien aluerajauksista.
 - Alueet muodostetaan puukohtaisten indikaattorien tai ekosysteemipalvelujen indeksien ryhmittäisyyden perusteella.
- Säästöpuutyökalun koko prosessi on kuvattu yksityiskohtaisesti seuraavalla dialla 10, ja eri vaiheita esitellään dioilla 11-14.



Säästöpuutyökalu vuokaaviona



Menetelmä: puiden tunnistaminen kaukokartoitusaineistoista

- Puiden sijainnit on kartoitettu Metsäkeskuksen latvusmallista ns. local maxima -menetelmällä.
 - Latvusmalli (Canopy Height Model, CHM) on puuston pituutta kuvaava rasterimuotoinen paikkatietoaineisto, joka on tuotettu laserkeilausinventoinneista 1 m x 1 m tarkkuuteen.
- Puiden puulaji on tunnistettu Metsäkeskuksen avoimista hilatiedoista vertaamalla latvusmallista saatua puun pituutta hilan puulajikohtaisiin pituustietoihin.
- Puiden tunnistamiseen aiheutuu virheitä mm.
 - tiheästä latvuserroksesta ja alhaisesta pistetiheydestä, jotka heikentävät latvuksien erottamista ja alikasvoksen näkemistä ja
 - lajimäärityksen vaikeudesta sekapuustoisessa metsässä.

Menetelmä: puukohtaiset indikaattorit

Säästöpuutyökalussa lasketaan jokaiselle puulle seuraavat monimuotoisuusindikaattorit:

- Simpsonin monimuotoisuusindeksi (diversity, Ds),
- lahoppuupotentiaali (dead wood potential, DWP, Mikkonen ym. 2020),
- kosteusindeksi (depth-to-water, DTW, Salmivaara ym. 2020) ja
- fosforin pidättäminen (phosphorus retention, Pret, Palviainen ym. 2014).

Näiden lisäksi tässä työssä määritettiin:

- korkeus merenpinnan yläpuolella (digital elevation model, DEM),
- suhteellinen korkeus 30 metrin säteellä (FDEM),
- etäisyys kuvion laitaan (WDist) ja
- taloudellinen arvo (E).



Menetelmä: ekosysteemipalvelujen kuvaaminen

Ekosysteemipalvelujen (ES) priorisointeja kuvattiin skenaarioina indikaattorien avulla.

- Monimuotoisuus- eli biodiversiteettiskenaario:
 - Monimuotoisuusindeksi Ds: mitä korkeampi lähialueen (20 m säde) puuston lajivaihtelu on, sitä lajirikkaampi ympäristö.
 - Lahopuupotentiaali DWP: mitä todennäköisemmin puu on lahoamassa, sitä lajirikkaampi ympäristö.
 - Kosteusindeksi DTW: mitä lähempänä pohjavesi on maanpintaa, sitä lajirikkaampi ympäristö on erityisesti puro- ja noroelinympäristöissä (Mykrä ym. 2022).
- Ilmastoskenaario:
 - Kosteusindeksi DTW: mitä korkeammalla pohjavesi on, sitä enemmän ravinteita vapautuu.
 - Lahopuupotentiaali DWP: lahoavat puut ovat pitkäaikaisia hiilivarastoja.
- Vesiensuojeluskenaario:
 - Kosteusindeksi DTW: mitä korkeampana pohjavesi on, sitä enemmän ravinteita kulkeutuu vesistöön.
 - Fostorin pidätyminen Pret: mitä lähempänä hakkuu on vesistöä, sitä todennäköisemmin ravinteita kulkeutuu vesistöön.
- Lisäksi tutkittiin indikaattoreita (Ds, DWP, DTW, Pret) yksittäisinä tekijöinä.

Indikaattorien painokertoimet eri skenaarioissa.

	Ds	DWP	DTW	Pret
Painotetut skenaariot				
Tasa-arvoinen	0,25	0,25	0,25	0,25
Biodiversiteetti	0,34	0,49	0,17	0
Ilmasto	0	0,49	0,17	0,34
Vesiensuojelu	0	0	0,25	0,75
Yksitekijäskenaariot				
Ds	1,0	0	0	0
DWP	0	1,0	0	0
DTW	0	0	1,0	0
Pret	0	0	0	1,0



Menetelmä: ekosysteemipalvelujen ryhmittäisyys

- ES-arvot lasketaan säästöpuutyökalussa jokaiselle tunnistetulle puulle huomioiden lähiympäristö 30 m säteellä.
- Lähiympäristö huomioidaan julkaisun Getis & Ord (1992) kuvaamalla menetelmällä, jossa ES-arvon keskiarvo on nolla.
- Getis-Ord (G_i^*) -arvot kuvaavat ES-arvojen ryhmittäisyyttä.
- Arvoille toteutettiin Bonferroni-korjaus, jolloin ryhmittäisyyden raja-arvoiksi saadaan -4 ja 4 , jossa arvo 4 tarkoittaa korkeiden arvojen ryhmittäisyyden olevan 95 % todennäköisyydellä tosi ja vastaavasti toisin päin.
- Säästöpuutyökalu valitsee ehdotettavat puut korkean ryhmittäisyyden G_i^* perusteella.



Säästöpuutyökalun toiminnan validointi

Tässä työssä säästöpuutyökalun toimintaa tutkittiin päätehakatuille uudistusaloille toteutettujen säästöpuiden ja -ryhmien avulla. Validoinnissa selvitettiin mm.

- mihin säästöpuita jätetään ja
- miten ekosysteemipalvelujen ja muiden puukohtaisten indikaattorien arvot eroavat
 - ehdotetuilla säästöpuuryhmillä ja toteutetuilla säästöpuilla,
 - toteutetuilla säästöpuilla ja satunnaisesti valitulla säästöpuuryhmillä sekä
 - ehdotetuilla säästöpuuryhmillä ja satunnaisesti valitulla säästöpuulla.
- Taloudellisten arvojen määrittämistä varten säästöpuutyökalun tunnistamien puiden tukki- ja kuituosan tilavuudet laskettiin rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen pohjautuvilla yhtälöillä (Laasasenaho 1982).

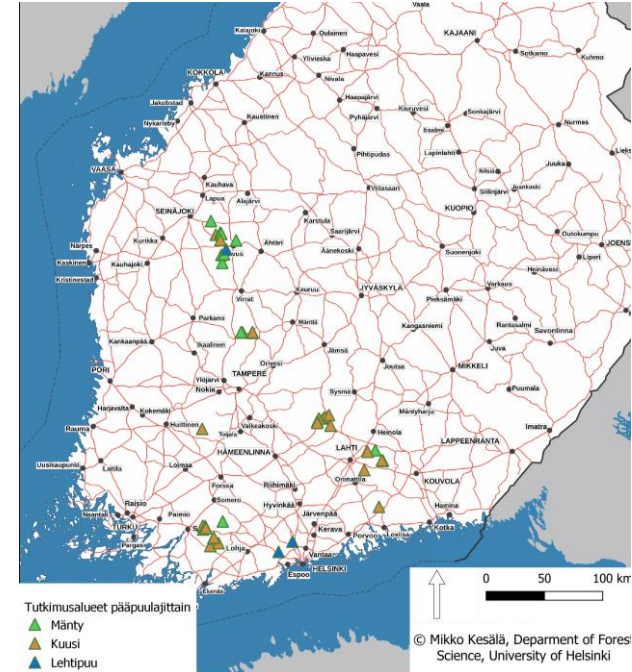


Validointiaineisto

- Validointiaineistona oli 43 päätehakattua uudistusala Etelä- ja Keski-Suomesta, joilta oli tallennettu hakkuukoneen hpr-tiedostot.
 - Kohteilta oli käytettävissä Suomen metsäkeskuksen latvuskartta ja hilamuotoinen metsävaratieto puustosta ennen hakkuuta, jotta säästöpuutyökalun ehdotukset pystyttiin tuottamaan.
 - Tutkimuskohteiden hakkuuajankohta oli ennen nykyisten sertifikaattien mukaisia ohjeistuksia.
- Kohteilta kartoitettiin säästöpuut maastotyönä.
 - Mitattiin säästöpuiden rinnankorkeusläpimitta, sijainti Trimble R12i -tarkkuuspaikantimella sekä tallennettiin puulaji.
 - Puut luokiteltiin tukki- tai kuiturungoiksi mittojen ja näkyvän laadun perusteella.

Kohteiden hakkuukoneaineisto oli kaksiosainen:

- Viideltä kohteelta oli käytettävissä sekä hakkuukoneen että hakkuulaitteen sijainnit.
 - Kohteille tuotettiin laskennallisesti hakkuuta edeltävä puukartta eli ns. toteuma-aineisto yhdistämällä hakkuukone- ja maastoaineistot. Tämä voitiin antaa säästöpuutyökalun lähtöaineistoksi kaukokartoitusaineistosta tunnistettujen puiden tilalle.
 - Tätä ns. tarkempaa validointiaineistoa käytettiin säästöpuutyökalun puukohtaisten indikaattorien ja toteuma-aineiston indikaattorien vertailuun.
 - Aineiston käsittely on kuvattu tarkemmin seuraavalla dialla.
- Muilta 38 kohteelta oli käytettävissä vain hakkuukoneen sijainnit.
 - Näitä kohteita käytettiin sekä toteutettujen säästöpuiden että säästöpuutyökalun ehdotusten ominaisuuksien tutkimiseen.



Tutkimuksen validointiaineiston sijainnit ja pääpuulaji.

Validointiaineiston käsittely

Hakkuukoneaineisto (43 kohdetta):

- Uudistusalojen rajaukset tuotettiin Metsätehon hakkuukonekuvioinnilla (Melkas ym. 2020).

Tarkempi validointiaineisto (viisi kohdetta, noin 15 900 runkoa):

- Hakkuulla kaadettujen puiden sijainnit eli poistumapuukartta tuotettiin jälkilaskennalla hpr-tiedostoon tallennetuista hakkuukoneen ja -laitteen sijainneista (Riekkö & Malinen, Metsätehon tulosalvosarja 8/2022).
- Jokaiselle kaadettulle rungolle tehtiin hpr-tiedostoon tallennetuille käyttöosan läpimitta- ja pituustiedoille Laasasenahon runkokäyränsovitus, josta edelleen saatiin estimaatit mm. rinnankorkeusläpimitalle ja koko puun pituudelle.
 - Runkokohtaiset tukki- ja kuituosan tilavuudet laskettiin yhteen hpr-tiedoista puiden taloudellisen arvon määrittämistä varten.

Maastomittaukset:

- Toteutetuista säästöpuista muodostettiin säästöpuualueet paikkatieto-ohjelmassa vyöhykkeiden avulla.
 - Alle viiden metrin etäisyydellä olevat puut määriteltiin olevan samaa säästöpuuryhmää.
- Maastomitattujen säästöpuiden pituudet estimoitiin Näslundin pituusmallilla, joka tehtiin kohteittain ympäröivän hakkuualueen kaadettujen runkojen sovitustuloksista.
- Estimoidun pituuden ja maastomitatun rinnankorkeusläpimitan avulla tuotettiin rungoille läpimitat Laasasenahon keskimääräisellä runkokäyrällä.
- Läpimitoista laskettiin edelleen runkokohtaiset tukki- ja kuituosan tilavuudet. Maastokartoitettu laatu huomioitiin siirtämällä tukkikokoisen mutta kuitulaatuisen rungon käyttöosan tilavuus täysin kuituosaan.



Validointimenetelmä

Hakkuukoneaineisto:

- Uudistusaloille laskettiin säästöpuutyökalun ehdottamat säästöpuualueet.
 - Ehdotettujen säästöpuiden määrä on sama kuin toteutuneilla säästöpuuryhmillä.

Tarkempi validointiaineisto:

- Säästöpuutyökalun validointia varten säästöpuuluokat ryhmiteltiin seuraavasti:
 - toteutetut säästöpuut,
 - ehdotetut säästöpuut ja
 - satunnaisesti valitut säästöpuut.
- Uudistusalojen alueilta valittiin hakkuuta edeltävästä puukartasta satunnaisesti (viisi kertaa) sama määrä säästöpuuta kuin toteutuneita säästöpuuta on jätetty.
- Kaikkien säästöpuuluokkien välisiä puukohtaisia monimuotoisuus- ja muita indikaattoreita (kts. dia 13) verrattiin Mann-Whitneyn U -testillä.

Tulokset: korjuussa toteutetut säästöpuut

- Toteutetuilla säästöpuualueilla fosforin pidättymisen arvot olivat tilastollisesti matalammat kuin satunnaisesti valitulla puuryhmällä.
 - Säästöpuut eivät ole rannan läheisyydessä tai suojavyöhykkeen jatkeena.
- Yksittäisillä säästöpuilla oli korkeita lahoppupotentiaalin arvoja.
- Säästöpuualueet olivat ympäristöään korkeammalla alueella.
- Taloudellisesti arvokkaimpia puita jätettiin vähemmän säästöpuualueelle verrattuna satunnaisesti valittuun puuryhmään.
 - Fosforin pidättymisalueilla eli rantojen läheisyydessä säästöpuiden taloudellinen arvo oli tilastollisesti keskimääräistä pienempi.



Tulokset: ReTreeT-säästöpuuehdotukset

- Työkalu tuottaa lähes poikkeuksetta korkeita ekosysteemipalveluarvoja.
 - Monimuotoisuusarvot olivat korkeat kaikissa skenaarioissa.
- Yksitekijäskenaarioiden (Ds, DWP, DTW, Pret) avulla saatiin selville puukohtaisten indikaattorien vaikutus ekosysteemipalveluihin.
 - Ekosysteemipalveluiden korkeat arvot eivät sijoitu samalla sijainnille.
 - Ds-skenaario tuotti vähäistä lahoppuupotentiaalia ja fosforin pidättymistä.
 - Fosforin pidättyminen oli vähäistä muissa yksitekijäskenaarioissa.
- Monitekijäskenaarioista tasa-arvoinen painotus oli paras.
 - Se tuotti korkeampia ekosysteemipalveluarvoja.
- Vesiensuojeluskenaario oli eniten samanlainen satunnaisesti valitun puuryhmän kanssa, lukuun ottamatta fosforin pidättymisarvoa.

Tulokset: säästöpuutyökalun validointi

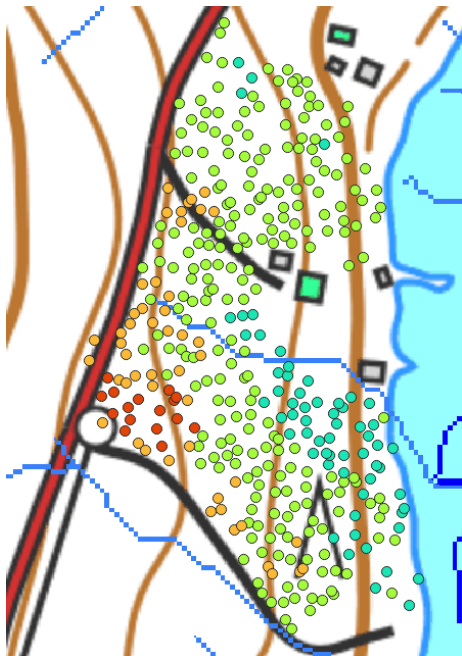
Säästöpuutyökalun validointitulokset ilmentävät eroja vaihtoehtoisina lähtötietoina käytettyjen puukarttojen välillä (kaukokartoitusaineistoista tunnistettu vs. toteuma-aineiston puukartta).

- Toteutettujen säästöpuiden ekosysteemipalveluarvot olivat korkeampia toteuma-aineistosta kuin kaukokartoitusaineistosta määritettynä.
- Kaukokartoitusaineisto yliarvioi monimuotoisuusarvojen ryhmittäisyyttä ja aliarvoi lahoppupotentiaalin arvojen ryhmittäisyyttä.
 - Puulajien monimuotoisuus on tasaisemmin sijoittunut suunnittelualueiden sisällä toteuma-aineistossa kuin kaukokartoitusaineistossa.
 - Lahoppupotentiaali on enemmän keskittynyt suunnittelualueiden sisällä toteuma-aineistossa kuin kaukokartoitusaineistossa.
- Kaukokartoituksen lahoppupotentiaaliskenaario kohdistaa säästöpuut puulajistoltaan monimuotoisille alueille toteuma-aineistosta laskettuna.
- Monimuotoisuusindeksin korkeat arvot eivät korreloi toteuma-aineiston ja kaukokartoitusaineiston välillä yksitekiäskenaariossa.
- Taloudelliset arvot ovat kohdistuneet samalla tavalla kaukokartoituksen ja maastoaineiston välillä.

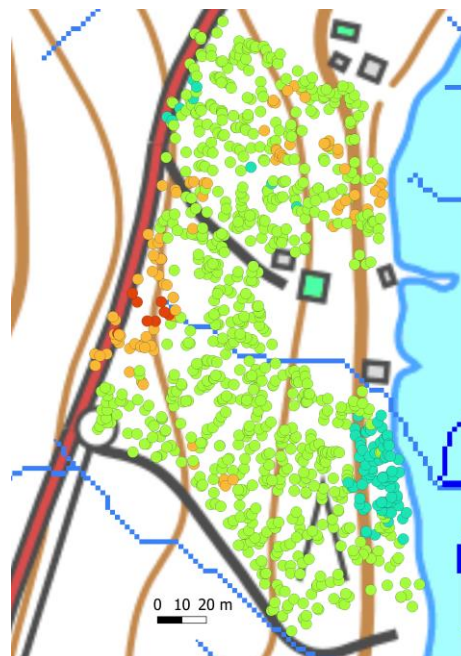


Esimerkki: kaukokartoitus- vs. toteuma-aineisto

Lahopuupotentiaali
kaukokartoitusaineiston puukartasta



Lahopuupotentiaali
toteuma-aineiston puukartasta

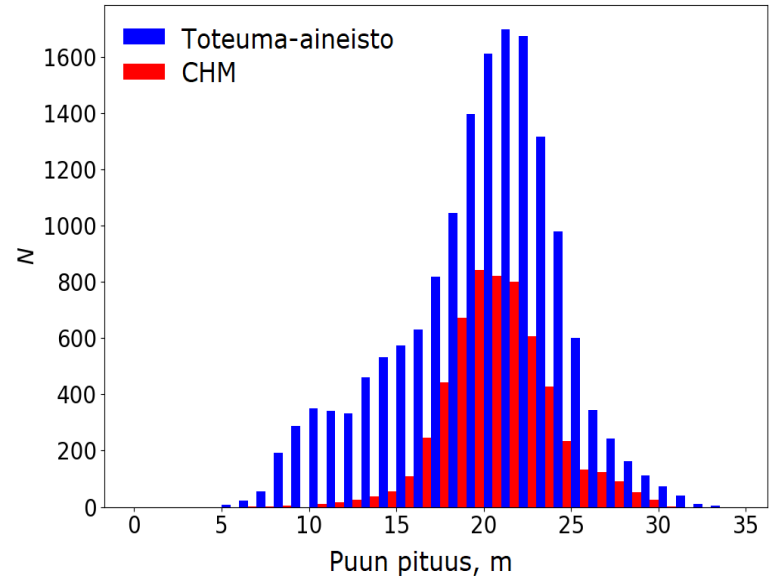


Puukohtaisen indikaattorin
ryhmäisyys
(Getis-Ord -indeksi)

- Alle -4
- -4 ... -2
- -2 ... 2
- 2 ... 4
- Yli 4

Kaukokartoitus- vs. toteuma-aineiston puukartat

- Metsäkeskuksen latvusmalli (CHM) sisältää vain osan päätehakkuualan rungoista.
 - Noin 17 m ja sitä pidemmistä puista likimain puolet sisältyy latvusmalliin.
 - Alle 15 m pitkät puut puuttuvat lähes täysin latvusmallista.



Puiden lukumäärät pituuden mukaan kohteille latvusmallista tunnistettuna.

Esimerkki: toteuma-aineiston yksitekiäskenaarioiden tulokset kartalla

Puukohtaisen indikaattorin
ryhmäisyys
(Getis-Ord -indeksi)

- Alle -4
- 4 ... -2
- 2 ... 2
- 2 ... 4
- Yli 4

Monimuotoisuusindeksi



Lahopuupotentiaali



Kosteusindeksi



Fosforin pidätyminen



Pohdinta: säästöpuiden suunnittelu

- Tämän työn aineiston säästöpuiden toteuttamisessa on huomioitu
 - maisema, jättämällä herkemmin säästöpuita korkeille alueille,
 - taloudellisesti vähäarvoisemmat alueet ja
 - osittain korkean lahoppuupotentiaalin alueet.
- Jatkossa erityisesti puulajivaihtelua ja vesistön läheisyyttä voidaan huomioida säästöpuiden suunnittelussa enemmän.
 - Toteuma-aineistossa on voitu jättää vesistön suojavyöhyke suunnittelualueen ulkopuolella, minkä takia vesistön läheisyys ei noussut esille tuloksissa.
 - Säästöpuiden sijoittaminen lähelle suojavyöhykettä lisää suojavyöhykkeen pinta-alaa, mikä parantaa ekosysteemipalveluarvoja erityisesti paikallisessa mittakaavassa.
 - Suuripinta-alaiset säästöpuuryhmät eivät välttämättä paranna ekosysteemipalveluarvoja maisemamittakaavassa. Näin ollen säästöpuiden täsmällisemmällä kohdentamisella, vaikkapa pienemmissä ryhmissäkin, voi olla saavutettavissa korkeampia ekosysteemipalvelujen arvoja.
- ReTreeT-säästöpuutyökalu ehdottaa korkeamman ekosysteemipalvelun alueita kuin mitä toteutetut säästöpuut edustavat.

Pohdinta: ekologisten indeksien vaikutus ReTreeT-säästöpuutyökalussa

- Monimuotoisuusindeksi Ds: tarkoitus oli kuvata isompien, ylhäältä päin erottuvien puiden puulajivaihtelua. Maastoaineistossa kuitenkin korostuu eniten lahoppuupotentiaali kaukokartoituksen korkean monimuotoisuusarvojen alueella.
- Lahoppuupotentiaali DWP: Jos alueella ei ole järeää lehtipuuta, järeät kuusikot korostuvat, missä ekosysteemi-arvot eivät välttämättä ole merkittävimpiä.
- Kosteusindeksi DTW korostaa kosteita alueita. Jos alueella on kosteita painanteita, tai noro-/puroelinympäristöjä, indeksi korostaa hyvin korkean monimuotoisuuden alueita.
 - Indeksi korostaa myös ojitettuja turvemaita, joiden monimuotoisuusarvot eivät ole merkittäviä. Ojitetuilla turvemaidella on tosin korkea arvo hiilensidonnasta näkökulmasta.
- Fosforin pidättymisessä ei oteta huomioon maalajia eikä vesien virtausreittiä, mikä heikentää indeksin luotettavuutta. Indeksia tulee käyttää vain vesistöjen lähistöllä.

Säästöpuutyökalun jatkokehittäminen

- Säästöpuiden sijaintien huomiointi:
 - ReTreeT ei huomioi säästöpuiden sijaintia kytkeytyvyyden näkökulmasta. Kytkeytyvyyden huomiointi parantaisi erityisesti eläinlajien monimuotoisuutta.
 - Ekosysteemipalvelutekijät eivät välttämättä ole samassa sijainnissa ja jokin ekosysteemipalveluista voi puuttua kokonaan. Näin ollen painotuksien tulisi perustua niihin indekseihin, mitkä poikkeavat voimakkaimmin suunnittelualueella.
- Kaukokartoitusaineistoihin perustuvan puukartan tunnistaminen:
 - Puiden sijainnin ja alikasvoksen tunnistaminen parantuisi, jos se perustuisi laserkeilattuun pistepilviaineistoon latvusmallin sijasta.
 - Puulajitulkinta tulisi vaihtaa hila-aineistotulkinnasta ilmakuvatulkintaan.
- Alikasvoksen huomiointi:
 - Alikasvosta ei tunnisteta ReTreeT-säästöpuutyökalussa, mikä näkyi monimuotoisuusindeksin arvojen jakauman erilaisuutena maastoaineiston ja kaukokartoitusaineiston välillä.
 - Alikasvos tulisi huomioida jatkossa, koska sen avulla saadaan mallinnettua paremmin puulajiston monimuotoisuus.

Säästöpuutyökalun käyttövaihtoehtoja korjuun suunnittelussa

- Jos halutaan puustoltaan monimuotoinen säästöpuuryhmä maastoon, painotetaan säästöpuutyökalun lahoppupotentiaalia.
 - Lahoppupotentiaali voi tosin tuottaa pienialaisia säästöpuualueita yksittäisten lehtipuiden ympärille.
- Jos halutaan kosteikkoelinympäristöön, esimerkiksi virtavesiuomien, norojen ym. yhteyteen sijoittuva säästöpuuryhmä, painotetaan säästöpuutyökalun kosteusindeksiä.
 - Lisänä haluttaessa lahoppupotentiaali.
- Jos käsittelyalue on sekapuustoinen, painotetaan säästöpuutyökalun monimuotoisuusindeksiä.
- Jos kohteella on järeää lehtipuustoa, painotetaan säästöpuutyökalun lahoppupotentiaalia.
- Jos käsittelyalue sijaitsee korkeintaan 50 m etäisyydellä järvestä, painotetaan säästöpuutyökalun fosforin pidättymis -indeksiä.

Phosphorus retention (Pret)
No weighting
Depth to water -index (DTW)
Significant
Tree diversity (Ds)
No weighting
Dead Wood Potential (DWP)
Low

Kuvakaappaus säästöpuutyökalun QGIS- käyttöliittymästä, jossa valitaan indeksien painotukset. Esimerkissä on valittu kosteusindeksi suurella painolla ja lisäksi lahoppupotentiaali pienellä painolla.

Kirjallisuutta

- Getis A, Ord JK (1992) The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis* 24, 189–206. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>
- Laasasenaho J (1982) Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Melkas T, Riekkilä K, Sorsa J-A (2020) Automated Method for Delineating Harvested Stands Based on Harvester Location Data. *Remote Sens.* 2020, 12(17), 2754. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/rs12172754>.
- Mikkonen N, Leikola N, Halme P, Heinäro E, Lahtinen A, Tanhuanpää T (2020) Modeling of Dead Wood Potential Based on Tree Stand Data. *Forests* 11. <https://doi.org/10.3390/f11090913>.
- Mykrä H, Annala M, Hilli A, Hotanen J-P, Hokajärvi R, Jokikokko P, Karttunen K, Kesälä M, Kuoppala M, Leinonen A, Marttila H, Meriö L-J, Piirainen S, Porvari P, Salmivaara A, Vaso A (2022) GIS-based planning of buffer zones for protection of boreal streams and their riparian forests. *Forest Ecology and Management* 528 (2023) 120639. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120639>.
- Palviainen, M., Finér, L., Laurén, A., Launiainen, S., Piirainen, S., Mattsson, T., & Starr, M. (2014) Nitrogen, phosphorus, carbon, and suspended solids loads from forest clear-cutting and site preparation: Long-Term paired catchment studies from Eastern Finland. *AMBIO*, 43(2), 218–233. <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0439-x>.
- Riekkilä K, Malinen J (2022) Poistumakuviointi hakkuulaitteen sijaintitiedosta. *Metsätehon tulosalvosarja* 8/2022. Saatavissa: <https://www.metsateho.fi/poistumakuviointi-hakkuulaitteen-sijaintitiedosta/>.
- Salmivaara A, Finér L, Jorri E-L, Leinonen A, Ala-Ilomäki J, Lindeman H (2020) Ohjeita kosteusindeksikarttojen käyttöön metsätaloudessa. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 92/2020, Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/546497>.

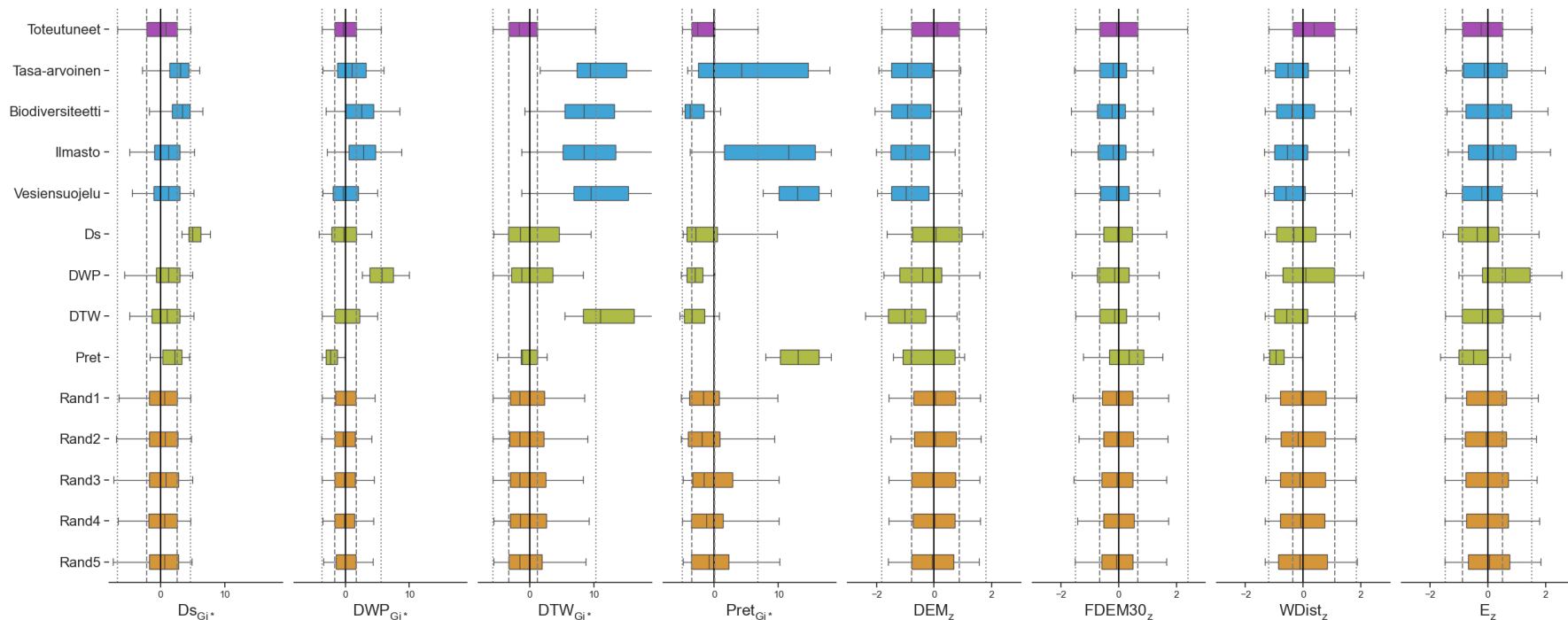


Liitteet



Liite I: Puukohtaiset indikaattorit säästöpuuluokissa

Indikaattoriarvo nolla edustaa kuvion keskiarvoa. Arvot alle -4 ja yli 4 edustavat ryhmittäisyyttä 95 % luottamustasolla



Liite II: Indikaattoreiden sijalukujen keskiarvo (Rank mean) ja Mann-Whitney U-testin tulokset

	DSGi*	DWPGi*	DTWGi*	PretGi*
Toteutuneet	14 7 596	8 7 988	14 5 735	10 1 022*
Tasa-arvoinen	3 11 874*^	4 9 641*^	2 13 184*^	4 1 625*^
Biodiversiteetti	2 12 500*^	3 11 789*^	4 12 474*^	14 714*^
Ilmasto	5 8 687*^	2 12 446*^	5 12 343*^	3 1 833*^
Vesiensuojelu	7 8 607*^	9 7 975	3 12 972*^	2 2 178*^
Ds	1 16 585*^	13 7 667*^	8 6 203*^	11 1 003*
DWP	6 8 641*^	1 16 634*^	7 6 204*^	12 773*^
DTW	8 8 331*^	5 8 451*^	1 14 021*^	13 714*^
Pret	4 10 085*^	14 3 378*^	6 6 255*^	1 2 190*^
Rand1	13 7 658	7 8 099	12 5 822	8 1 060
Rand2	10 7 856	12 7 765	11 5 844	9 1 050
Rand3	9 7 944^	11 7 938	10 5 888	6 1 172^
Rand4	12 7 661	10 7 964	9 5 970^	7 1 131^
Rand5	11 7 837	6 8 152	13 5 791	5 1 183^

Taulukon arvot ovat puukohtaisten indikaattoreiden sijalukujen keskiarvoja. Korostettuna oleva luku kertoo keskiarvon sijaa. Pieni sija ja suuri keskiarvo edustavat korkeaa indikaattoriarvoa ja toisin päin.

* Puuluokan indikaattoriarvot poikkeavat merkittävästi satunnaisvalinnasta

^ Puuluokan indikaattoriarvot poikkeavat merkittävästi toteutuneista säästöpuista



Liite II: Indikaattoreiden sijalukujen summa (Rank sum) ja Mann-Whitney U-testin tulokset

	DEMz	WDISTz	FDEMz	Ez
Toteutuneet	3 11 400	1 12 122*	5 9 975	12 8 503*
Tasa-arvoinen	10 7 403*^	10 8 346*^	12 8 986*^	9 9 005^
Biodiversiteetti	11 7 278*^	9 8 934*^	14 8 604*^	3 9 640^
Ilmasto	13 6 914*^	12 8 200*^	13 8 803*^	2 10 243*^
Vesiensuojelu	12 7 043*^	13 7 978*^	9 9 447*^	11 8 543*
Ds	1 11 647*	8 9 140*^	4 10 033	13 7 864*^
DWP	9 9 330*^	2 10 945*^	11 9 096*^	1 12 235*^
DTW	14 6 448*^	11 8 225*^	10 9 113*^	10 8 664*
Pret	8 9 672*^	14 4 868*^	1 11 868*^	14 6 638*^
Rand1	4 11 378	3 10 260^	8 9 772	7 9 275
Rand2	2 11 514	7 10 077^	3 10 105	8 9 117
Rand3	6 11 206	4 10 164^	6 9 846	6 9 315
Rand4	5 11 375	5 10 127^	2 10 188	5 9 374
Rand5	7 11 088	6 10 099^	7 9 783	4 9 638

Taulukon arvot ovat puukohtaisten indikaattoreiden sijalukujen keskiarvoja. Korostettuna oleva luku kertoo keskiarvon sijaa. Pieni sija ja suuri summaluku edustavat korkeaa indikaattoriarvoa ja toisin päin.

* Puuluokan indikaattoriarvot poikkeavat merkittävästi satunnaisvalinnasta

^ Puuluokan indikaattoriarvot poikkeavat merkittävästi toteutuneista säästöpuista





KIITOS