

# Ajourakone – hakkuukoneen kuljettajan apuväline korjuun suunnitteluun

---

Metsätehon tulokalvosarja 11/2019

Heikki Ovaskainen, Jarmo Hämäläinen, Asko Poikela, Tapio Räsänen  
Metsäteho Oy

Marko Määttä, Sakari Sarjakoski, Matias Lahti, Miika Salo  
CGI Suomi Oy

# Tiivistelmä

- Ajourakone on korjattavan leimikon kokoojaurien suotuisimpien sijaintien karttapohjainen laskenta- ja visualisointityöväline.
- Kokoojaurien sijoittamisessa Ajourakone hyödyntää maastotietokantaa, maanpintamallia, korjuukelpoisuusluokitusta ja puustotietoja. Lisäksi suunnittelussa huomioidaan säätiedot ja luontokohteet.
- Ajourakone tuottaa hakkuukoneenkuljettajan päätöstueksi karttapohjaisen esityksen, jossa havainnollistetaan kokoojaurille soveltuvat kulkuvyöhykkeet sekä koneita huonosti kantavat ja liian kaltevat maastonkohdat.
- Kokoojaurien kulkuvyöhykkeiden esittäminen antaa kuljettajalle mahdollisuuden toteuttaa keruurien suunnittelun siten, että vallitsevat korjuuolosuhteet, tuottava työskentely, koneiden ominaisuudet, työturvallisuus ja kuljettajan työtavat tulevat parhaalla tavalla huomioiduiksi.



# Johdanto

- Hankkeen tavoitteena oli kehittää ja testata paikkatietoa hyödyntävä laskenta- ja visualisointityöväline, jolla saadaan muodostettua korjattavalle leimikolle paikkatietomuodossa oleva ehdotus pääajouran eli *kokoojauran* sijoittamisesta.
- Kokoojauran sijaintiehdotusta voidaan hyödyntää sekä korjuutyömaan ennakkosuunnittelussa (puunhankintaorganisaatio ja korjuuyrittäjä) että korjuun operatiivisessa työmaasuunnittelussa (yrittäjä ja koneenkuljettaja).
- Kokoojauralaskennan lähtökohtana olivat maaston olosuhteet sekä valitut varastopaikat. Keskeisenä ajourasuunnittelun tavoitteena oli ehkäistä maaperävaurioiden syntymistä.
- Kokoojaura pyrittiin laatimaan lähtökohtaisesti harvennusleimikolle, mutta laskentamenetelmä soveltuu myös päätehakkuille.
- Hankkeessa kehitettyä työvälinettä kutsutaan Ajourakoneeksi.
- Ajourakoneen teknisestä toteuttamisesta vastasi CGI Suomi Oy Metsätehon ja sen osakkaiden määrittelyjen perusteella. CGI Suomi Oy omistaa Ajourakoneen tuoteoikeudet.
- Metsätehon tehtävänä oli toteuttaa myös kenttätestauksia osakkaiden kanssa.



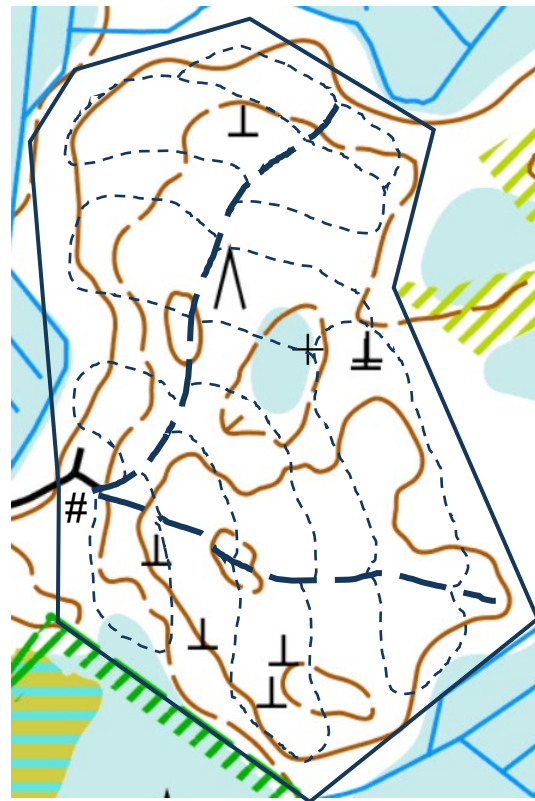
# Ajourasuunnittelun lähtökohtia

- Nykyisin leimikon ajourasuunnittelun tekee hakkuukoneenkuljettaja huomioiden ympäristö- ja työturvallisuustekijät sekä mahdolliset maanomistajan toiveet urien sijoittamisesta.
- Korjuukohteen ajourat voidaan jakaa karkeasti kahteen tyyppiin: **kokoojauriin**, jotka ovat sijoitettu kantaville ja tasaisille maastonkohdille ja joille kohdistuu useita ajokertoja, sekä pienempiin **keruu-urisiin**, jotka yhdistyvät kokoojauriin. Keruu-urat hakataan hakkuukoneella, ja niitä pitkin ajetaan korkeintaan muutamia kertoja kuormatraktorilla.
- Uraston linjaus alkaa varastopaikalta, josta lähtevä kokoojaura muodostaa useimmiten ajouraston päärunгон.
- Kokoojaurat pyritään sijoittamaan ja avaamaan (hakkaamaan) kantavimpiin ja tasaisimpiin maastonkohtiin välttäen myös liian suuria sivuttais- ja pitkittäiskaltevuuksia.
- Hakkuutähteitä pyritään käyttämään mahdollisimman paljon urilla kasvatettaviksi jäävien puiden juurien suojaamiseksi ja kantavuuden parantamiseksi.
- Tyypillisesti kosteikot, kivikot ja jyrkänteet rajataan uraston ulkopuolelle.
- Ajouraston suunnitteluun voidaan kuvata neljä leimikkotason menetelmää: keruu-ura-, kierto-, läpiajo- ja pistouramenetelmä.



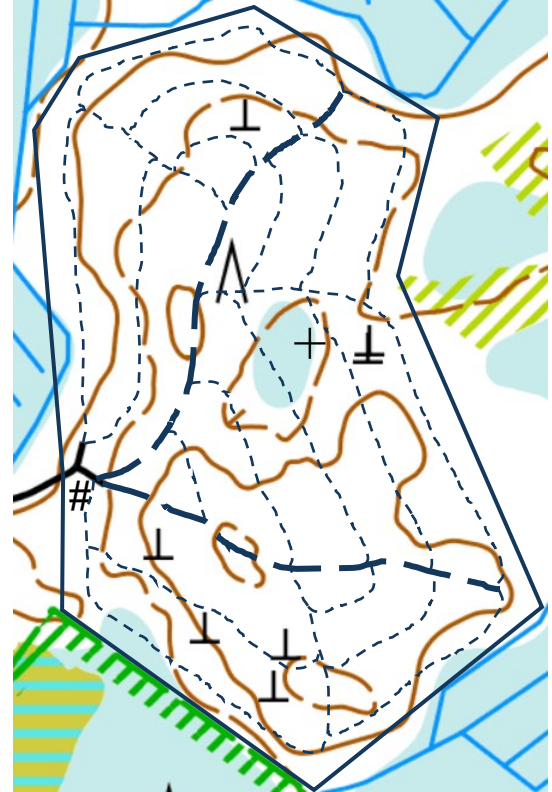
# Keruu-uramenetelmä

- Keruu-uramenetelmässä kokoojaurilta hakataan lenkin muotoisia keruu-uria, jotka käyvät kääntymässä korjattavan leimikon rajalla.
- Yksittäisen keruu-uran puutavara saadaan kuljetettua yhdellä tai kahdella kuormatraktorin ajokerralla.
- Keruu-uramenetelmä soveltuu kohteille, joissa kantavuus on paikoitellen heikko, mutta kokoojauran sijainti on selkeästi määritettävissä.
- Leimikon rajan kohtisuora lähestyminen vaatii kuljettajalta valppautta.



# Kiertomenetelmä

- Kiertomenetelmässä leimikkoa lähdetään kiertämään leimikon rajaa seuraten.
- Menetelmässä leimikon raja ja sen reuna saadaan käsiteltyä tarkasti.
- Menetelmä on systemaattinen ja soveltuu parhaiten kohteille, joissa maasto on kauttaaltaan kantavaa ja tasaista.
- Jos lähikuljetus tapahtuu yhtä aikaa hakkuun kanssa, niin tällä menetelmällä tulee helposti ylimääräistä ajamista.



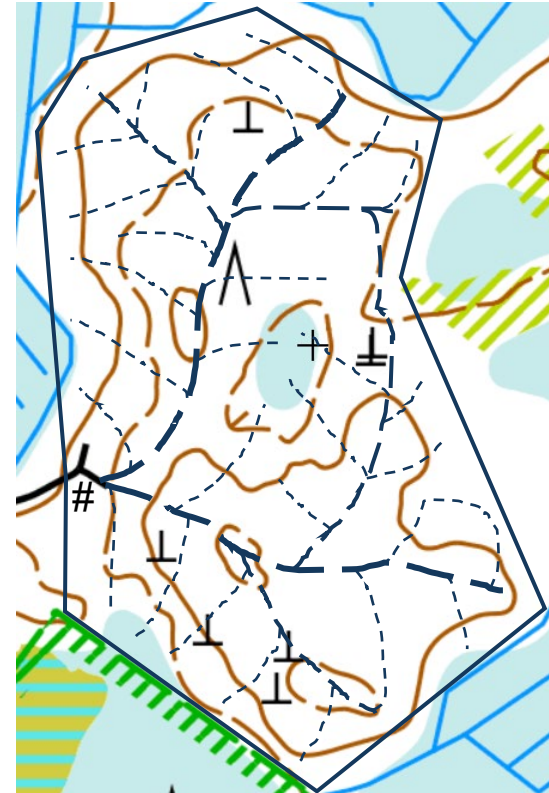
# Läpiajomenetelmä

- Läpiajomenetelmässä leimikko kierretään ensin ympäri leimikon rajaa seuraten.
- Kiertämisen jälkeen keruu-urat suunnataan pääasiassa leimikon poikki rajalta rajalle.
- Kokoojaurat sijaitsevat leimikon reunoilla ja tarvittaessa keskellä leimikkoa ajomatkan lyhentämiseksi.
- Menetelmä on systemaattinen ja soveltuu kohteille, joissa maasto on kauttaaltaan kantavaa ja tasaista.
- Jos lähikuljetus on tapahtuu yhtä aikaa hakkuun kanssa, niin tällä menetelmällä tulee helposti ylimääräistä ajamista.



# Pistouramenetelmä

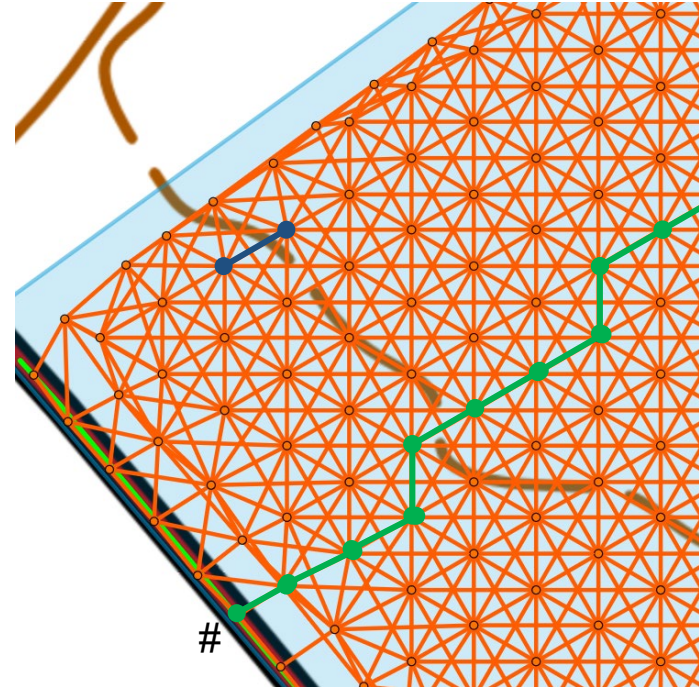
- Pistouramenetelmässä leimikolle määritetään muutamia selkeitä kokoojauran paikkoja, jotka havutetaan hyvin ja joita pitkin huomattavan suuri osa puutavarasta kuljetetaan varastopaikalle.
- Pistouramenetelmä soveltuu kohteille, joissa on huonosti kantavia tai hyvin kaltevia maastonkohtia.
- Pistouria hakataan kokoojaurilta huonosti kantaville maaston kohdille esim. kivennäismaalta suolle. Toinen käyttökohde on jyrkät rinteet, joissa konetta ei ole turvallista kääntää.
- Pistouralle peruutetaan tyhjällä kuormatraktorilla ja kuormaus tehdään pistosta kokoojauralle päin ajaen.
- Pistouramenetelmä soveltuu useimpiin korjuukohteisiin, sillä sen avulla kantavuudeltaan haastavat kohdat ja jyrkät rinteet saadaan käsiteltyä hyvin.
- Huonona puolena menetelmässä on, että pistourille kohdistuu edestakaisin ajoa.





# Ajourakoneen tekninen toteutus – suunniteltavan alueen mallintaminen

- Jotta suunniteltavalle korjuualueelle voidaan matemaattisesti määrittää kokoojauran optimoitu reitti, tulee korjuualueetta käsitellä laskennallisilla menetelmin.
- Tässä tapauksessa korjuualueen päälle viritetään reititysverkko, jonka perusrakenteena on **solmuja** ja niitä yhdistäviä **kaar**ia.
- Kaikille kaarille lasketaan kulkemiskustannusarvot, joita käytetään ”lyhimmän reitin” ts. varastopaikalle johtavan kokonaiskustannuksiltaan pienimmän **reitin** laskennassa.



# Ajourakoneen kenttätestaukset 2017

- Ajourakoneen kehitysversioita testattiin kentällä kahdessa jaksossa.
- Kuukauden mittaisessa 1. testausjaksossa syksyllä 2017 Ajourakoneesta pyydettiin palautetta kentältä Metsätehon osakkaiden kautta.
- Testijakson tavoitteena oli kokeilla ja hakea sopivia parametriasetuksia erilaisille leimikoille, jotta Ajourakoneeseen löydettäisiin hyvät perusasetukset.
- Saatu palaute kohdentui kuitenkin pitkälti käyttäjän mahdollisuuksiin vaikuttaa kokoojaurien sijoittamiseen ennen varsinaisen ajourasuunnitelman laskentaa, esimerkiksi suositeltavien ja pakollisten kulkureittien osoittaminen käyttäjän toimesta. Lisäksi oleellista oli lisätä käsittelyn ulkopuolelle jätettävien alueiden merkitsemismahdollisuus sekä maaperän kosteustason valitseminen. Em. toiminnallisuudet toteutettiin Ajourakoneeseen muokkaustyökaluvalikon muodossa.
- Palautetta kohdistui myös näytettävien uraston suureen määrään, jolloin hämärtyi ero kokooja- ja keruu-urien väliltä. Esitettävien urien määrää pystyi säätämään ajouraväli-parametria muuttamalla.
- Kritiikkiä tuli myös Ajourakoneen tavasta hakea kokoojauran sijaintia. Maastoltaan helpoilla korjuukohteilla oli totuttu edelläkuvattuihin kierto- ja läpiajomenetelmiin. Tämän sijaan Ajourakone esitti lähempänä pistouramenetelmää olevaa suunnittelutapaa.



# Ajourakoneen kenttätestaukset 2018

- Toinen testausjakso aloitettiin kevättalvella 2018 jatkuen kesän yli syyskuun loppuun. Testaaminen toteutettiin Metsätehon osakkaiden kautta.
- Testauksen tavoitteena oli, että Ajourakoneella laadittua kokoojaurasuunnitelmaa kokeillaan käytännön hakkuutyömaalla. Testaajaa pyydettiin laatimaan huoliteltu urasuunnitelma Ajourakoneella ja antamaan se koneenkuljettajalle toteutettavaksi.
- Kevättalven aikana palautetta kertyi melko niukasti, mutta saadun palautteen perusteella korkeuskäyrien ja kosteuden laskentaa kalibroitiin, maaston mikromuodot huomioitiin paremmin ja liikaa mutkittelua ja kulmikkuutta pyrittiin suoristamaan reiteistä. Puustotietojen huomioimisella todettiin voitavan ohjata kokoojuria kohtiin, joista kertyisi enemmän kantavaa risumattoa urille.
- Testausjaksoa jatkettiin kesän yli, mikä tuotti palautetta lähes 50 leimikolta.
- Isoimmaksi ongelmaksi Ajourakoneessa koettiin visualisointitapa esittää kokoojaurien sijainteja hyvin tarkkoina reittiviivoina.
- Kuljettaja saattoi joutua poikkeamaan reitistä esimerkiksi jonkin laskennassa huomioimattoman olosuhdetekijän takia, jolloin Ajourakoneen hyödyllisyys kyseenalaistui.
- Näin ollen todettiin, että reittikuvauksen eksaktiutta kannattaa vähentää ja visualisoida tarkkojen uraviivojen sijaan kokoojaurille soveltuvia vyöhykkeitä leimikolta.
- Lisäksi Ajourakoneeseen haluttiin ottaa mukaan maaperän kantavuustieto sääriippuvaisena dynaamisena elementtinä, puustotiedot ja luontokohteet.



# Ajourakoneen kehittäminen palautteen perusteella

- Kuten ajourasuunnittelun eri menetelmistä (kalvot 5-8) voidaan havaita, kokoojaurat sijoitetaan useimmiten suunnittelumenetelmästä riippumatta lähes samoihin maastonkohtiin ja kokoojaurien välisellä alueella vain keruu-urien toteutus vaihtelee.
- Viimeisimmän testauspalautteen perusteella Ajourakoneen toteutuksessa päätettiin laskea ja visualisoida parhaat kokoojaurien sijainnit **kulkuvyöhykkeinä**.
- Näin ollen on riittävää esittää vain kokoojaurien kulkuvyöhykkeet, jolloin keruu-urien laadintamenetelmän valinnassa voidaan huomioida parhaalla tavalla vallitsevat korjuuolosuhteet, tuottava työskentely, koneiden ominaisuudet, työturvallisuus ja kuljettajan työtavat.
- Kokoojaurien määrittäminen tehdään generoimalla leimikolle useita vaihtoehtoisia reittejä annetuissa rajoissa parametreja muuttamalla. Yksittäisten reittien yhdistelmästä muodostuu vyöhyke, joka on laskennallisesti paras maastonalue kokoojauralle.
- Testipalautteiden ja Ajourakoneen kehitystyön tuloksena reititysverkon kaarien arvojen laskennassa päädyttiin hyödyntämään seuraavassa esiteltäviä paikkatietolähteitä.



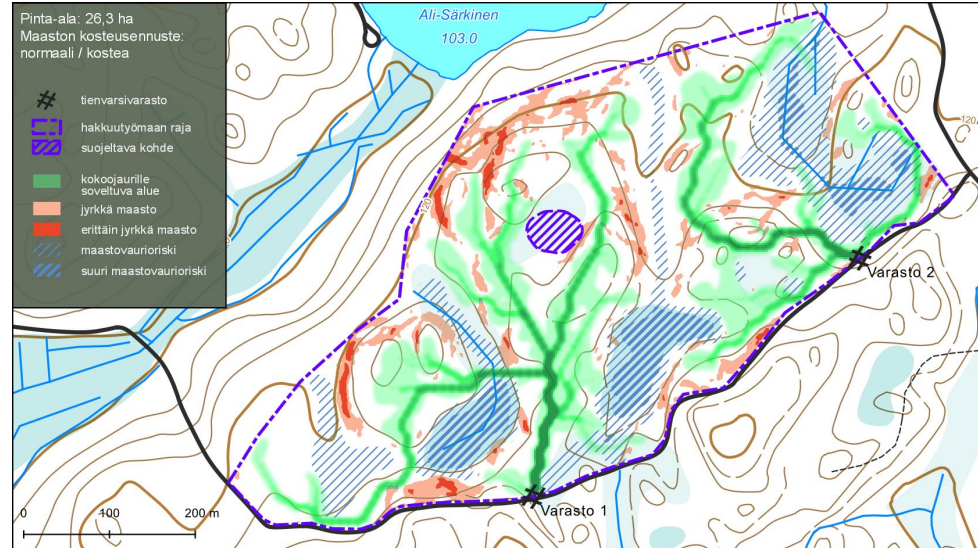
# Kaaren arvon laskennassa käytettävät paikkatietolähteet

- Kaarten kulkemiskustannusten (ks. kalvo 9) laskentaan käytettävät paikkatiedot kootaan useista tietokannoista hakkuutyömaan alueelle.
- Maastotietokannasta haetaan lähikuljetuksen kannalta oleelliset tiedot, kuten jyrkänteet, urat, ojat, suot jne.
- Korkeusmallin pohjalta lasketaan kaarten sivuttais- ja pitkittäiskaltevuudet sekä maanpinnan epätasaisuus.
- Metsävaratiedosta valitaan tarkin saatavilla oleva lähde.
- Kulkemiskustannukset lasketaan dynaamisesti mm. kuljetusajankohdan sääolosuhteiden ja käyttäjän asettamien kuormatraktorin tietojen perusteella.
- Käyttäjä voi myös tuoda kohteita omista tietokannoistaan sekä lisätä ja arvottaa kohteita manuaalisesti, esim. merkitäkseen suosittavan ojanylityspaikan tai estääkseen tietyn alueen tai uran käytön.

| Tietotuote                  | Spatiaalinen resoluutio (m) | Lähde              |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Maastotietokanta            | < 5                         | Maanmittauslaitos  |
| Korkeusmalli 2m             | 2                           | Maanmittauslaitos  |
| Korjuukelpoisuusluokitus    | 16                          | Suomen Metsäkeskus |
| Metsävaratieto              | 16                          | Suomen Metsäkeskus |
| Avainbiotoopit (10 §)       | < 10                        | Suomen Metsäkeskus |
| Kiinteät muinaisjäännökset  | < 10                        | Museovirasto       |
| Metsävaratieto (MVMI)       | 16                          | Luonnonvarakeskus  |
| Topografinen kosteusindeksi | 16                          | Luonnonvarakeskus  |
| Sademäärä                   | 7 500                       | Ilmatieteen laitos |
| Lämpötila                   | 7 500                       | Ilmatieteen laitos |
| Maankosteusindeksi          | 10 000                      | Ilmatieteen laitos |
| Metsäpaloindeksi            | 1 000                       | Ilmatieteen laitos |

# Ajourakone palautejaksojen jälkeen

- Ajourakoneen lopullisessa versiossa esitetään kolme pääasiaa: potentiaalisia kokoojauran kulkuvyöhykkeitä varastopaikat huomioiden, kaltevat maastonkohdat sekä suojeltavat/varoen käsiteltävät alueet.
- Lisäksi kartalla ilmoitetaan maastovaurioriskin voimakkuudesta.



# Ajourakone vs. ruotsalainen BestWay

- Ruotsissa on käytössä toimintaperiaatteiltaan Ajourakonetta vastaava päätehakkuun kokoojauraston suunnittelutyökalu *BestWay* (Willén ym. 2019a).
  - BestWay laskee ja esittää leimikon kokoojauralle eksaktin paikan.
  - BestWayn käyttämät paikkatietolähteet laskennassa ovat: korkeusdata Grid 2+, DTW-kartat (= pohjaveden korkeuskartat), puuston määrä rasterimuodossa ja kielletyt alueet.
  - Käyttäjän tulee määritellä: varastopaikka, leimikon rajat, mahdolliset kulkuväylät esim. vesistöjen ylityspaikat ja potentiaaliset uudet ympäristökohteet.
  - BestWay oli todettu kenttäpalautteessa hyödylliseksi työvälineeksi: tietoisuus kokoojaurien tulevista sijainneista mahdollisesti vahvistaa kokoojauran kohtia oksilla ja latvoilla jo hakkuuvaiheessa ja lisäksi hakkuukoneen kuljettaja pystyi varaamaan oksia ja latvoja tulevan kokoojauran varteen kuormatraktorille uran vahvistamiseen.
  - Lisäksi BestWaystä todettiin olevan eniten hyötyä yli kolmen hehtaarin leimikoilla sekä aloitteleville kuljettajille työn suunnittelun tukivälineenä.
  - BestWayn tuoteoikeudet omistaa SkogForsk.
- BestWay huomioi urien laskennassa myös kuormatraktORITYÖN ajankäytön pyrkien minimoimaan sitä yhdessä muiden uranlinjaamiskriteerien kanssa.
- BestWayn kaupallinen versio on TimberTrail, jota myy Creative Optimization Sweden Ab (Willén ym. 2019b).
- TimberTrail-ohjelmalla voidaan laskea ja havainnollistaa myös sopiva alue varastopaikalle tienvarsivyöhykkeen ominaisuuksien perusteella.
- Ajourakone eroaa BestWaystä monipuolisemman lähtöaineiston ja kokoojauran sijaintivyöhykkeenä esittämistävän perusteella. Ajourakone on suunniteltu apuvälineeksi sekä pääte- että harvennushakkuisiin.



# Ajourakonekonsepti avaa paljon mahdollisuuksia

- Puunkorjuun tuottavuuden ja kustannustehokkuuden parantaminen
  - Kantava ja kustannustehokas kokoojauraverkosto - ehdotus kuljettajalle ilman maastotarkastusta
- Kestävyyden hallinta
  - Maastovaurioiden minimointi urien sijoittelulla
  - Avainbiotooppien, uhanalaisten lajien ja vesien suojele (paikkatieto & käsittelyn opastus)
  - Säästöpuuryhmien sijoittaminen puusto- ja luontotiedon perusteella
- Työturvallisuus ja hyvinvointi
  - Maaston riskikohtien tunnistaminen ja ajosuuntien opastus edistää työturvallisuutta.
  - Opastusjärjestelmä helpottaa päätöksentekoa ja vähentää työn kuormittavuutta. Paikkatietojen analysoinnin sijasta kuljettaja valitsee järjestelmän ehdottamista vaihtoehdoista.
- Arbonaut Oy:n, yhteistyössä puunhankintaorganisaatioiden kanssa, kehittämiin ja Metsäkeskuksen jakamiin korjuukelpoisuuskarttoihin (Metsäkeskus 2018) nähden Ajourakoneen keskeinen ero on varastopaikkojen, kaltevuuksien kiellettyjen alueiden, luontokohteiden ja dynaamisen säätiedon kiinnittämisessä kokoojauravyöhykkeiden havainnollistamiseen.
- Tavoitteena on, että ajourakone tuotteistetaan rajapintapalveluksi, joka voidaan kytkeä osaksi metsäkoneyrittäjän ja/tai metsäyhtiön puunhankinnan tietojärjestelmiä.





# Ajourakoneen kehitysnäkymiä

- Ajourakone on luonteeltaan kuljettajan päätöstukijärjestelmä, jonka hyötypotentiaali ja rooli ovat omiaan vahvistumaan data- ja alustatalouden kehityksen myötä.
  - Hilatasoisen metsävaratiedon kattavuus ja tietosisältö paranevat.
  - Luontotiedon sisältö, kattavuus ja käytettävyys paranevat.
  - Muuttuvia sää- ym. olosuhteita kuvaavat aineistot ja niihin perustuvat kantavuusmallit kehittyvät.
  - Alustaratkaisut tehostavat datojen jakelua ja uusien lähteiden käyttöönottoa.
  - Monipuolistuva data parantaa entistä kehittyneempien data-analyysien edellytyksiä.
  - Kehittyvä sensortechniikka mahdollistaa automaattisen puunkorjuun laatu- ja tuotantotiedon keruun järjestelmän kehittämisen tueksi.



# Lähteitä

- Järvinen, T. 2017. Paikkatiedon hyödyntäminen koneellisen puunkorjuun ajourien suunnittelussa. [ENG: Geographic information in mechanical logging optimization] Diplomityö. Geoinformatiikka, Aalto Yliopisto. 44 s.
- Metsäkeskus. 2018. Korjuukelpoisuusluokitus. <https://www.metsakeskus.fi/korjuukelpoisuuskartat> [Viitattu: 16.8.2019]
- Ovaskainen, H. & Turunen, J. 2018. Hiljainen tieto lähikuljetuksen ajourasuunnittelussa. Metsätehon tulosalvosarja 10/2018. 24 p.
- Räsänen, M. 2019. Puunkorjuun tehostaminen ajourakone-sovelluksella. Maisterintutkielma, maatalous- ja metsätieteellinen tiedekunta, metsien ekologia ja käyttö, Helsingin yliopisto. 45 s.
- Turunen, J. 2018. Hiljainen tieto metsäkoneiden ajourasuunnittelussa: Haastattelututkimus. Opinnäytetyö. Luonnonvara- ja ympäristöala, Metsätalouden koulutusohjelma, Metsätalousinsinööri AMK, Lapin Ammattikorkeakoulu. 62 s. <https://www.theseus.fi/handle/10024/152143> [Viitattu: 16.8.2019]
- Willén, E., Flisberg, P., Frisk, M., Ala-Illomäki, 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. [https://www.luke.fi/efforte/wp-content/uploads/sites/14/2018/10/EFFORTE-D3.5-Logging-trail-visualizations-and-post-harvest-quality-control\\_final.pdf](https://www.luke.fi/efforte/wp-content/uploads/sites/14/2018/10/EFFORTE-D3.5-Logging-trail-visualizations-and-post-harvest-quality-control_final.pdf) [Viitattu: 9.8.2019]
- Willén, E., Davidsson, A., Frisk, M., Flisberg, P. & Rönnqvist, 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\\_49f042/contentassets/e39c7a92aa344b25a05ed8c11274949a/arbetsrapport-1020-2019---engelsk-version.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_49f042/contentassets/e39c7a92aa344b25a05ed8c11274949a/arbetsrapport-1020-2019---engelsk-version.pdf) [Viitattu: 15.8.2019]

