Puustovaurioiden määrittäminen ajouralle näkyvien vaurioiden perusteella

Metsätehon tuloskalvosarja 3/2019

Niklas Peltoniemi, Jyry Eronen, Teijo Palander, Itä-Suomen yliopisto

Heikki Ovaskainen, Metsäteho Oy

Kalle Kärhä, Stora Enso Oyj Metsä

ISSN 1796-2390

Metsäteho

Tiivistelmä

- Tulevaisuudessa puunkorjuun laadun mittaaminen ja raportointi voivat tapahtua automaattisesti työskentelyn yhteydessä esimerkiksi metsäkoneista käsin otettujen kuvien ja niiden kuvatulkinnan avulla.
- Kuvattaessa jäävää puustoa metsäkoneista on kuvaussuunta yleensä ajouralta poispäin, jolloin runkojen sivuilla ja takana olevat puustovauriot eivät näy kuvissa.
- Tämän tutkimuksen tavoitteena oli määrittää ajouralle päin näkyvien puustovaurioiden perusteella lasketun vaurioprosentin ja kaikkien vaurioiden perusteella lasketun kokonaispuustovaurioprosentin välinen riippuvuus sekä tarkastella myös muita kokonaispuustovauriomäärää selittäviä tekijöitä.
- Tutkimuksessa havaittiin, että ajouralle näkyvien vaurioiden perusteella lasketun vaurioprosentin ja kokonaispuustovaurioprosentin välillä on selkeä riippuvuus.
- Parhaiten ajouralle päin näkyviä ja ei-näkyviä runkovaurioita erotteli vaurion etäisyys ajouran keskilinjasta, vauriopuun vauriokulman suuruus ajouran keskilinjaan nähden sekä vaurion sijaintikorkeus rungolla.

Taustaksi

- Tuoreimman vuoden 2018 valtakunnallisen korjuujäljen tarkastusraportin mukaan korjuujälki arvioitiin hyväksi 55 %:lla harvennusleimikoista (Suomen metsäkeskus 2019).
  - Eniten huomautettavaa oli runsaista puustovaurioista, liian leveistä ajourista sekä liian voimakkaista harvennuksista.
- Suomen metsäkeskuksen (Leivo ym. 2017) mukaan puustovaurioprosentti ei saa ylittää 15 % harvennushakkuulla.
  - Mikäli 15 % ylittyy, puunkorjuu luokitellaan tällöin virheelliseksi.
  - Kun puustovaurioaste on alle 5 %, se on suositusten mukainen.
- Korjuuvauriot puunkorjuussa ovat riippuvaisia työskentelyolosuhteista leimikolla (mm. alikasvos, puuston lähtötiheys), koneen ominaisuuksista, korjuuajankohdasta sekä kuljettajan asenteesta ja panostuksesta laadukkaaseen työjälkeen (Sirén 1998).

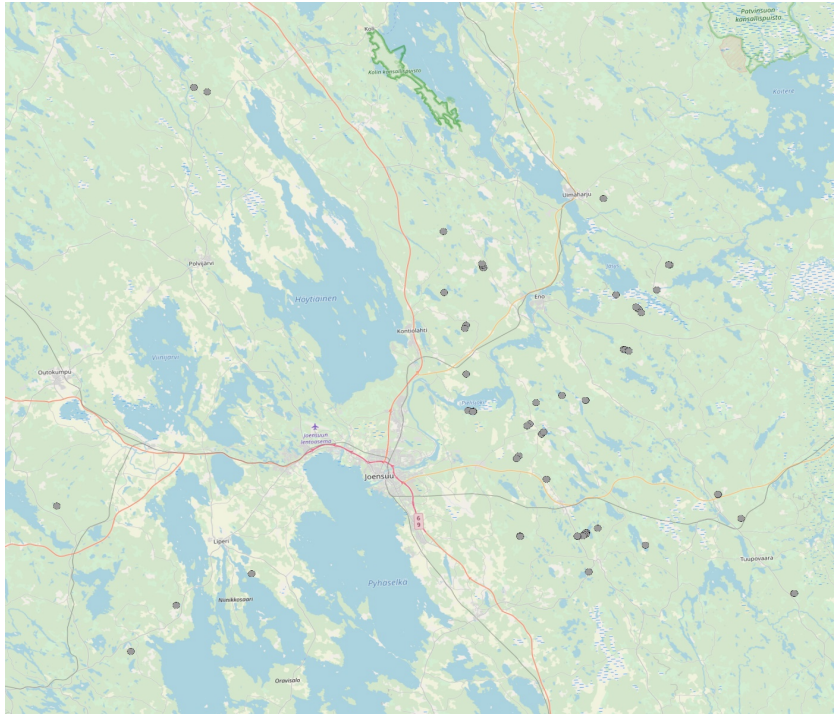
Kuva: Jyry Eronen

Johdanto

- Tulevaisuudessa puunkorjuun laadunhallinta ja laaturaportointi voivat tapahtua automaattisesti puunkorjuun yhteydessä esimerkiksi metsäkoneisiin kiinnitettyjen kameroiden ottamien kuvien ja niiden kuvatulkinnan avulla.
- Otettaessa kuvia metsäkoneista käsin on kuvaussuunta yleensä aina ajouralta poispäin, jolloin runkojen takana näkymättömissä olevat vauriot eivät tule kuvatuiksi.
- Näin ollen laaturaportoinnin luotettavuuden kannalta on erityisen tärkeää tietää kuvatulkintaan perustuvan järjestelmän tuottaman puustovaurioennusteen ja todellisten puustovaurioiden suhde.
- Tämän tutkimuksen päätavoitteena oli määrittää ajouralle päin näkyvien puustovaurioiden perusteella lasketun vaurioprosentin ja kaikkien vaurioiden perusteella lasketun kokonaispuustovaurioprosentin välinen riippuvuus.
- Lisäksi harvennushakkuun jälkeistä leimikon kokonaispuustovauriomäärää selitettiin siihen vaikuttavien muuttujien avulla.

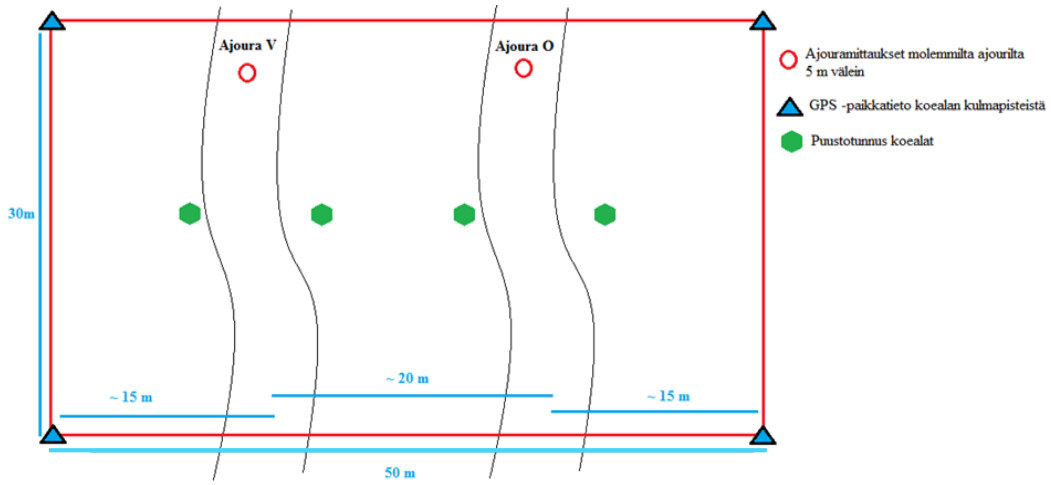
Tutkimuskohteet

- Tutkimuksessa käytetty aineisto kerättiin mäntyvaltaisilta harvennusleimikoilta Itä-Suomessa Joensuun seudulla kesä-lokakuussa 2017.
- Aineisto koostui 60 tutkimuskoealasta.
- Kukin koeala oli kooltaan 30×50 metriä eli 0,15 hehtaaria. Täten tutkimuksessa totaali-inventoitu yhteispinta-ala oli 9,0 hehtaaria.
- Inventoitujen harvennusleimikoiden kokonaispinta-ala oli 174,7 hehtaaria, joten totaali-inventoidut koealat kattoivat 5,2 % inventoitujen leimikoiden kokonaispinta-alasta.



Tutkimusleimikoiden sijainnit.

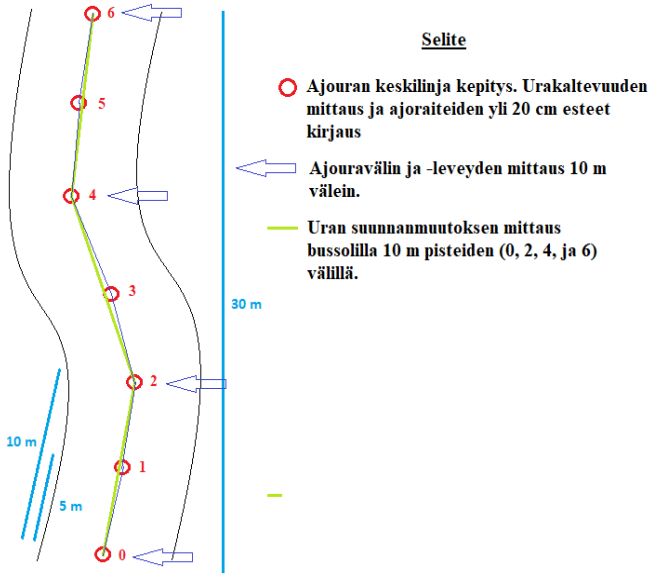
Koeala-asetelma



Tutkimuskoealan koko ja oppikirjamainen malli. Kuvanmukainen järjestely toteutui tutkimuksen jokaisella koealalla.

- Perustietoina koealoilta kirjattiin:
  - hakkuumenetelmä
  - leimikon pinta-ala
  - kuvionumero
  - mittauspäivämäärä
  - toteutuneen hakkuun ajankohta
  - kulmapisteiden sijaintitieto.
- Koealan puustotunnukset mitattiin neljältä ympyräkoealalta 10 metrin välein.

Ajouratietojen tallentaminen



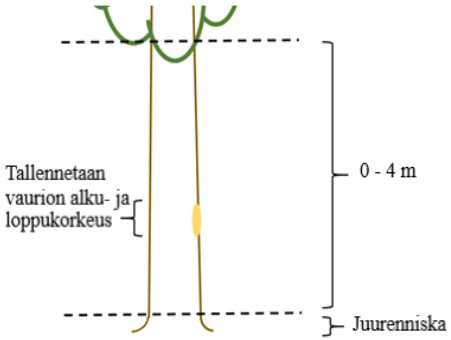
Mittausjärjestelyt koealan halkaisevilta ajourilta.

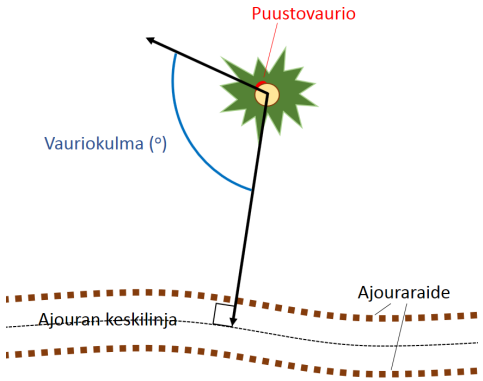
- Ajourista mitattiin
  - ajourien etäisyys koealan lyhyistä reunoista
  - ajouraväli
  - ajouraleveys.
- Lisäksi ajourien vakioiduista pisteistä mitattiin viiden metrin välein urakaltevuus ja kallistusta aiheuttavien kivien ja kantojen määrä ajouraraiteilla sekä ajouran suunnanmuutos kymmenen metrin välein.

Vauriotietojen tallentaminen

Koealoilta kerättiin seuraavat vauriotiedot ja -tunnukset puustovauriokohtaisesti:

- Puulaji (mänty, kuusi, koivu ja muu lehtipuu)
- Vauriopuun rinnankorkeusläpimitta ($d_{1,3}$) (cm)
- Vaurion alku- ja loppupisteen korkeus (cm) rungolla
- Vaurion korkeus ja leveys (cm)
- Vaurion kohtisuora etäisyys ajouran keskilinjasta (cm)
- Vauriopuun suunta ajouralle päin (°) ja vaurion keskipisteen käänteinen suunta (°) bussolilla. Näistä laskettu vauriokulma (α) -muuttuja (°) kohtisuoraan ajouralle päin.
- Vaurion kohtisuora näkyvyys ajouran keskilinjalle visuaalisesti sekä ajourakuva (1 = näkyy, 2 = ei näy / ei kuvaa)
- Vaurion vakavuus (1 = vain kuori irronnut, 2 = puuaineeseen ulottuva vakava vaurio)
- Arvio vaurion syntytavasta (1 = hakkuulaite, koura tai puomisto, 2 = kuormatraktorin pankot, 3 = koneiden telat, 4 = kaatovauriot, 5 = syöttövauriot, 6 = tuntematon aiheuttaja).





Vasemmalla kuvassa on vaurion korkeuden mittaus oletetusta katkaisupinnasta. Oikealla kuvassa on vauriopuun kohtisuora suunta ajouralle päin ja puustovaurion keskipisteen käänteinen suunta, jotka muodostavat yhdessä pienimmän vauriokulman α. Vauriokulmalla selitettiin syntyneiden puustovaurioiden näkymistä ajouralle päin.

Vauriomäärät tyypeittäin

- Tutkimuksessa inventoitiin yhteensä 558 puustovauriota yhteensä 9 ha:n alueelta.
- Inventoiduista runkovaurioista 61,3 % oli männyissä, 24,9 % kuusissa ja 13,8 % koivuissa.
- Valtaosa (83,9 %) puustovaurioista oli pintavaurioita ja loput (16,1 %) oli vakavia, puuaineeseen ulottuvia syvävaurioita.
- Vaurion syntytapa kyettiin määrittämään 443 puustovauriolle (taulukko 1).

Taulukko 1. Tutkimuksessa arvioidut vaurioiden aiheuttajat.

Vaurion aiheuttaja	Vauriot (kpl)	Osuus (%)
Koneen hakkuulaite, koura tai nosturi	225	40,3
Kuormatraktorin pankot	4	0,7
Koneiden telat	10	1,8
Kaatovauriot	127	22,8
Syöttövauriot	77	13,8
Tunnistamaton aiheuttaja	115	20,6

Vauriopuiden määrät koealoilla

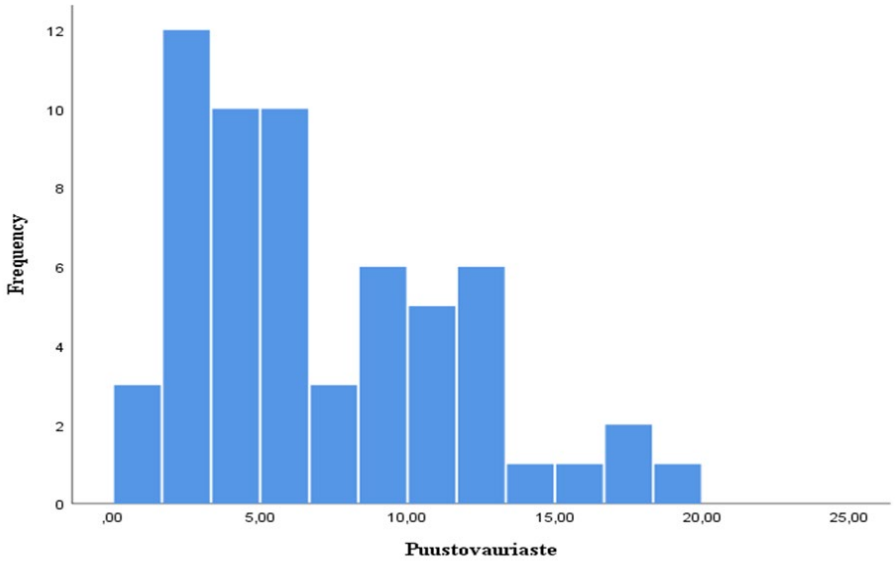
- Inventoitujen koealojen kokonaisvaurioprosenttien keskiarvo oli 7,2 % ja keskihajonta 4,6 %.
- Puita, joiden vaurio(t) näkyi(vät) ajouralle ajouralta kohtisuoraan katsottaessa (uravauriopuut), oli 183 kpl. Niiden perusteella laskettiin koealakohtainen uravauriopuiden vaurioprosentti.
- Tulosten perusteella uravauriopuiden lukumäärä kattoi yli kolmanneksen koealoilta löydetyistä vauriopuista (taulukko 2).

Taulukko 2. Koealakohtaiset tunnukset puusto- ja uravauriopuista sekä vaurioasteesta.

	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Vaurioituneet puut, % (461 kpl)	7,2	4,6	0,0	21,0
Uravauriopuut, % (183 kpl)	3,1	2,4	0,0	12,0
Puustovaurioprosentti, %	7,2	4,6	0,0	20,0
Uravauriopuiden vaurioprosentti, %	2,7	1,9	0,0	7,1

Puustovaurioprosentit koealoilla

- Tutkimuksessa inventoitiin yhteensä 461 vaurioitunutta, kasvamaan jätettyä runkoa.
- Näin ollen 84 puustovauriorungossa oli useampi kuin yksi puustovaurio.
- Kasvamaan jätetyn puuston runkoluvun ja vaurioituneiden puiden lukumäärän avulla määritettiin kullekin koealalle ominainen puustovaurioprosentti.
- Tutkimuksen tulosten perusteella suositusten mukainen 5 % alittui 41,7 %:lla mitatuista koealoista ja harvennuksen jälkeinen vaurioaste luokiteltiin virheelliseksi 6,7 %:lla koealoista (kuva).



Vaurioiden ominaisuuksia kuvailevia tunnuksia

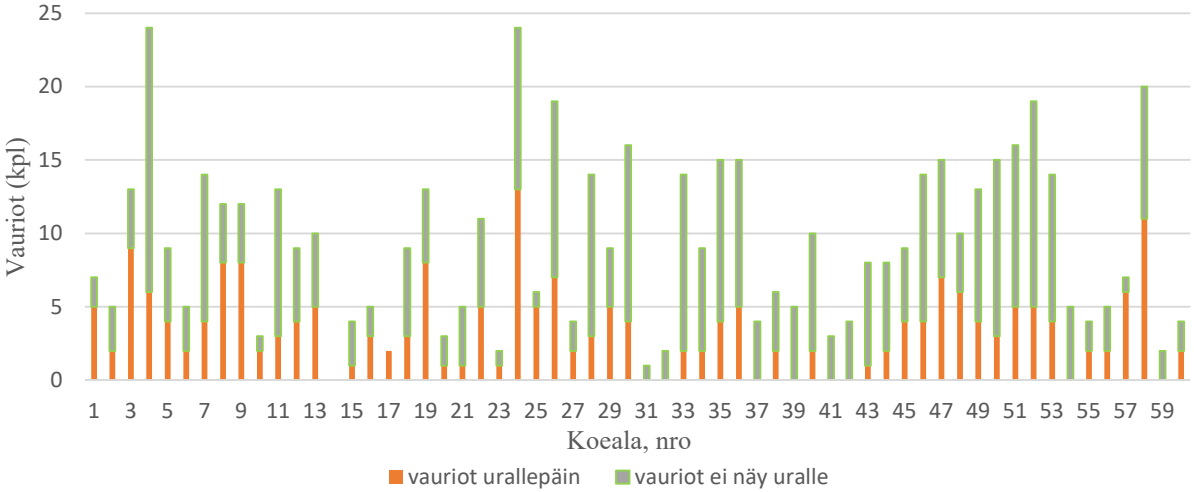
- Kaikkien havaittujen vaurioiden ominaisuuksia kuvailevien tunnusten avulla (taulukko 3).

Taulukko 3. Inventoitujen vaurioiden kuvailevia tunnuksia (N = 558).

Vaurion ominaisuustieto	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Vauriopuun rinnankorkeusläpimitta (cm)	14,8	3,7	7,0	27,0
Etäisyys ajouran keskilinjalta (cm)	638,0	399,0	111,0	2080,0
Vauriokulma (α) uran keskilinjaan (˚)	79,9	45,4	0,0	179,0
Alkupisteen korkeus rungolla (cm)	151,0	97,1	0,0	399,0
Loppupisteen korkeus rungolla (cm)	165,0	100,7	1,0	515,0
Keskipisteen korkeus rungolla (cm)	158,0	98,4	0,5	403,5
Vaurion leveys (cm)	5,0	3,0	1,0	45,0
Vaurion korkeus (cm)	13,9	19,1	1,0	280,0
Vaurion pinta-ala (cm^2)	79,2	144,7	2,0	1680,0

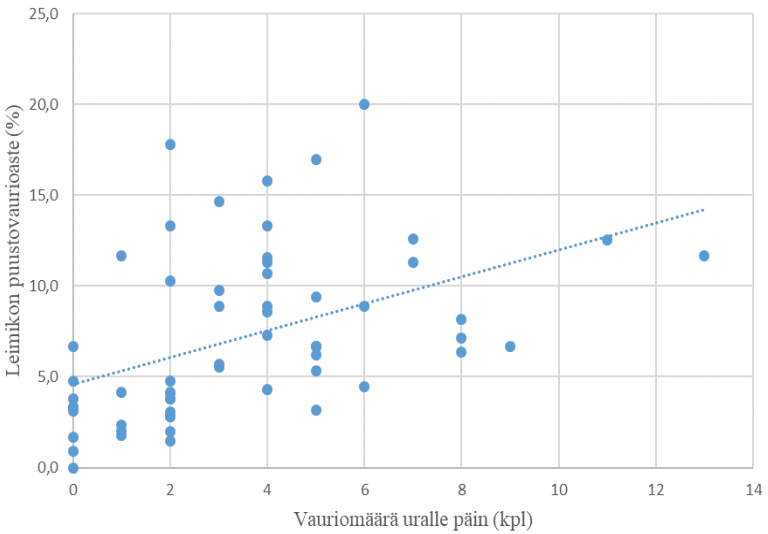
Vaurioiden näkyminen ajouralle

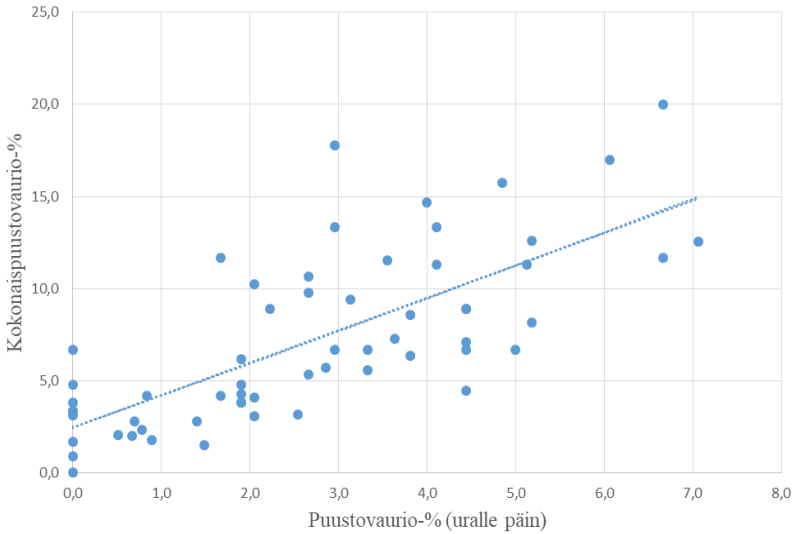
- Inventoinnissa havaitut vauriot luokiteltiin kohtisuoraan ajouralle näkyviin ja ei-näkyviin puustovaurioihin.
- Kohtisuoraan uralle näkyviä vaurioita oli yhteensä 211 kpl ja siten ajouralle päin piilossa olevia, ei-näkyviä vaurioita oli yhteensä 347 kpl.
- Ajouralle näkyvien puustovaurioiden osuus koealojen kokonaispuustovauriomäärästä oli keskimäärin 36,3 % (keskihajonta 23,7 %) (kuva).



Puustovaurioprosentin suhde uralle päin näkyviin vaurioihin

- Ajouralle näkyvien vaurioiden koealakohtaisella lukumäärällä havaittiin olevan positiivinen korrelaatio (r_s = 0,576) kasvatushakkuun jälkeiseen puustovaurioprosenttiin (vasemmanpuoleinen kuva).
- Ajouralle näkyvien vaurioiden perusteella lasketun puustovaurioprosentin ja kokonaispuustovaurioprosentin välillä oli selkeä riippuvuus. Muuttujien välinen korrelaatio (r_s = 0,765) oli tilastollisesti merkitsevä (oikeanpuoleinen kuva).





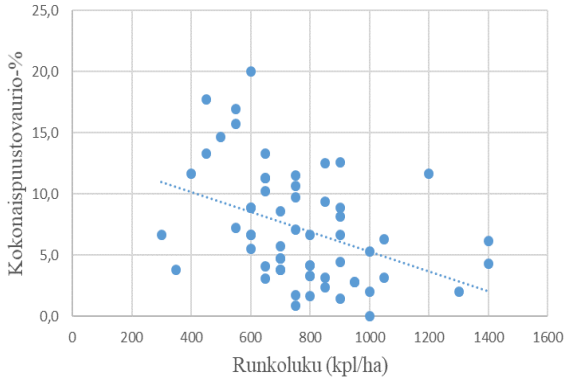
Koneiden kokoluokkien vaikutus puustovaurioihin

- Tutkimuksessa selvitettiin myös koealoilla työskennelleiden hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden koon vaikutusta syntyneisiin koealakohtaisiin vaurioprosentteihin. Luokittelevana tekijänä käytettiin koneiden painoluokkia.
- Hakkuukoneen koolla ei ollut selkeää vaikutusta vaurioprosenttiin (taulukko 4).
- Kuormatraktorin koolla sen sijaan oli vaikutus vaurioprosenttiin.

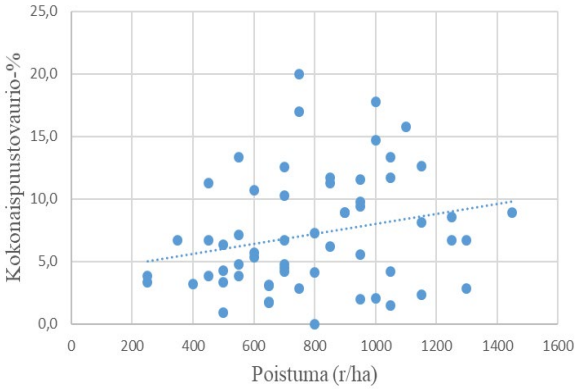
Taulukko 4. Koneen painoluokan vaikutus puustovaurioprosenttiin.

Painoluokka (tn)	Korjuuvaurioprosentti (%)			
Hakkuukone	**Keskiarvo**	**Keskihajonta**	**Minimi**	**Maksimi**
< 18	8,1	3,1	3,1	12,6
18 - 21	6,7	4,9	0,9	20,0
> 21	7,7	4,7	0	17,8
Kuormatraktori				
< 18	5,8	4,9	0	20
> 18	7,9	4,4	0,9	17,8

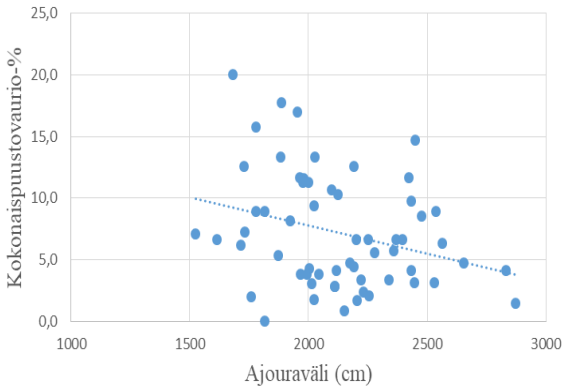
Puustovaurioprosentin riippuvuuksia eri tunnuksista



a) Kasvamaan jätetyn puuston runkoluvun ja puustovaurioprosentin välinen riippuvuus. Korrelaatio (r_s = -0,460).



b) Poistuman runkoluvun ja puustovaurioprosentin välinen riippuvuus. Korrelaatio (r_s = 0,258).

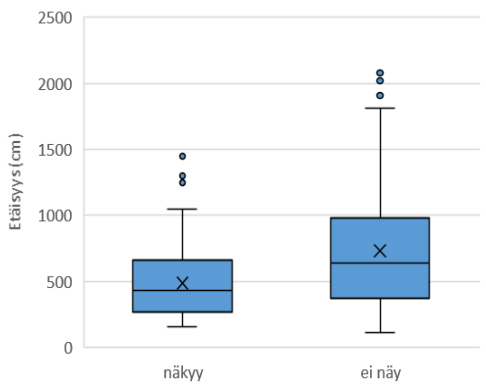


c) Ajouravälin ja puustovaurioprosentin välinen riippuvuus. Korrelaatio (r_s = -0,280).

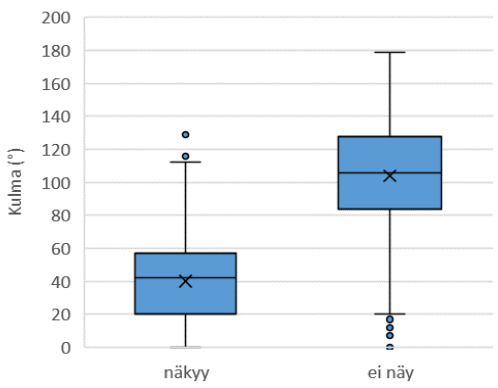
- Kokonaispuustovaurioprosentilla havaittiin olevan riippuvuutta kasvamaan jääneen puuston määrän, poistuman määrän ja ajouravälin etäisyyden kanssa.
- Korrelaatiotarkastelun perusteella leimikkotekijöistä puustovaurioprosenttia eivät selittäneet kasvamaan jätetyn puuston pohjapinta-ala (r_s = -0,107), keskipituus (r_s = 0,102), rinnankorkeusläpimitta (r_s = 0,140) tai poistuman järeys (r_s = -0,063).
- Myöskään ajouraleveys (r_s = 0,007) tai muut ajouramuuttujat (kaltevuus, suunnanmuutos, esteisyys) eivät selittäneet koealakohtaista vaurioprosenttia.

Ajouralle päin näkyviä ja ei-näkyviä vaurioita kuvaavia tekijöitä

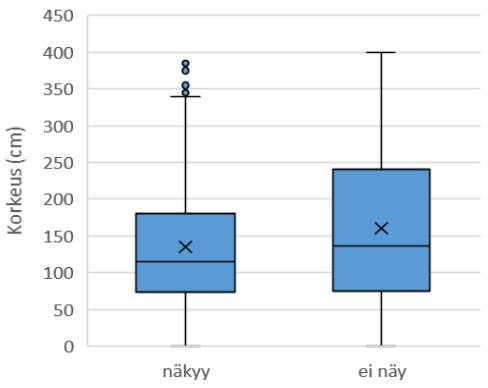
- Parhaiten ajouralle päin näkyviä ja ei-näkyviä runkovaurioita erotteli vaurion etäisyys ajouran keskilinjasta, vauriopuun vauriokulman suuruus ajouran keskilinjaan nähden sekä vaurion sijaintikorkeus rungolla.



Vaurion etäisyys uran keskeltä



Vaurion kulma uran keskilinjaan



Vaurion alkupisteen korkeus

Tulosten tarkastelua

- Tulosten perusteella puustovaurio, joka oli lähellä ajouraa, pienemmässä kulmassa ajouran keskilinjaan nähden sekä matalalla vaurioituneessa puussa, näkyi todennäköisemmin ajouralle päin.
- Myös suuremmalla runkoluvulla, pohjapinta-alalla ja ajouran kallistumalla sekä pienemmällä ajouran leveydellä puustovauriot näkyivät todennäköisemmin ajouralle päin.
- Vaurioiden dimensiot olivat lähes samanlaiset uralle näkyvillä ja ei-näkyvillä vaurioilla, joten näillä ominaisuuksilla ei ollut yhteyttä vaurion näkymiseen ajouralle.

Tulosten tarkastelua

- Inventoinneissa havaituista vaurioista hieman yli kolmannes näkyi kohtisuoraan ajouralle päin.
- Vaurio, joka on kaukana ja jonka vauriokulma ajouraan nähden on suuri sekä sijainti on korkealla rungossa, ei ymmärrettävästi näy ajouran keskeltä kohtisuoraan katsottaessa.
- Yllättävinä tuloksina voitiin kuitenkin pitää, että inventoitujen vaurioiden ominaisuuksista vaurion koko (tai dimensiot) ja vaurioituneen puun koko eivät vaikuttaneet näkyvyyteen uralle päin.
- Dimensioiden tarkastelussa huomattiin kuitenkin, että vaurion pituuden tai leveyden ollessa suurempi, vaurio näkyi todennäköisemmin uralle päin.
- Ajouralle näkyvien vaurioiden määrän lisääntyessä leimikon puustovaurioprosentin todettiin kasvavan merkitsevästi.

Päätelmät

- Tutkimuksessa pystyttiin löytämään ne puustovaurioiden ominaisuustiedot ja leimikkotekijät, joilla on vaikutusta puustovaurioiden ajouralle päin näkymiseen.
- Niin ikään kyettiin löytämään muuttujat, jotka selittivät leimikon kokonaispuustovaurioprosenttia.
- Tulokset tukevat automaattisen laadunhallintajärjestelmän kehittämistä luoden pohjaa sen rakentamiselle ja laskentaperiaatteille.

Viitteet

Leivo, J., Partanen, J., Nousiainen, M., Junttila, R., Kuoppala, H., Partamies, M. & Pirkonen, J. 2017. Maastotarkastusohje. Suomen metsäkeskus. Saatavissa: https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/maastotarkastusohje.pdf [Viitattu 8.4.2019].

Peltoniemi, N. 2019. Leimikon puustovaurioasteen määrittäminen ajouralle näkyvien runkovaurioiden perusteella. Metsätieteen pro gradu -työ. Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. 64 s.

Sirén, M. 1998. Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 694. 179 s.

Suomen metsäkeskus. 2019. Kasvatushakkuiden korjuujälki parani. Sivu julkaistu 14.2.2019. Saatavissa: https://www.metsakeskus.fi/uutiset/kasvatushakkuiden-korjuujalki-parani [Viitattu 8.4.2019].