

RUNKOPANKKI JA K-MSN –MENETELMÄ PUUSTOTIETOJEN JA PÖLKKYJAKAUMAN ENNUSTAMISESSA

- **Projektiryhmä**
 - Tapio Räsänen, Vesa Imponen ja Juha-Antti Sorsa
- **Rahoittajat**
 - Koskitukki Oy, Kuhmo Oy, Metsäliitto Osuuskunta, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj ja Vapo Timber Oy
- **Kumppanit**
 - Joensuun yliopisto: Ilkka Kuuramaa ja Jukka Malinen

Projektin tavoite ja tehdyt raportit

- **Tavoite**

- Tavoitteena oli kehittää ja testata uutta laskentamenetelmää (ns. ei-parametrinen k-lähimmän naapurin MSN-menetelmä) yksittäisen leimikon sekä useista leimikoista koostuvan varannon puustotietojen ja pölkkyjakaumien ennustamiseksi.
- Tavoitteena projektin tulokseksi oli k-MSN -ohjelmansovelluksen kehittäminen sekä Metsätehon tutkimustarpeisiin että ohjelmamoduulina liitettäväksi yritysten tietojärjestelmiin.
- Joensuun yliopiston hankkeen päätavoitteena oli selvittää MSN -menetelmän hakumuuttujien valintamenetelmiä.

- **Raportit**

- Metsätehon raportti 182, 14.1.2005: *Runkopankki ja k-MSN – menetelmä puustotietojen ja pölkkyjakauman ennustamisessa*
- Pro gradu –työ *Runkopankkia hyödyntävien ei-parametristen tukkijakauman ennustamismenetelmien hakumuuttujat* (Ilkka Kuuramaa, Joensuun yliopisto)

Leimikon ennakkotiedon käyttö puunhankinnassa

- Yksittäisen leimikon puutavaralajien kertymien ja pölkkyjakaumien arviointi
 - leimikkovalinnat ja työohjelmat korjuun suunnittelussa
 - puutavaralajien ja läpimitta- ja pituusluokkien valinta leimikkotasolla (katkontavaihtoehtojen simulointi ennen korjuuta)
 - omien metsien hakkuiden suunnittelu (kuviotiedoista muodostetut katkontatuloksen ennusteet)
- Leimikon hinnoitteluvaihtoehdot (hinnoittelusimuloinnit)
- Varannon (leimikkosuman) määrän ja rakenteen ennustaminen puutavaralajikertymien tasolla
 - puutavaralajien kausittaisten ja alueittaisten toimitusmahdollisuuksien arviointi eri katkonta- ja hinnoitteluvaihtoehtojen perusteella (hankinnan suuntaukset)
 - korjuuohjelman optimointi ja varastotason määrittäminen

k-MSN –menetelmän kuvaus (1)

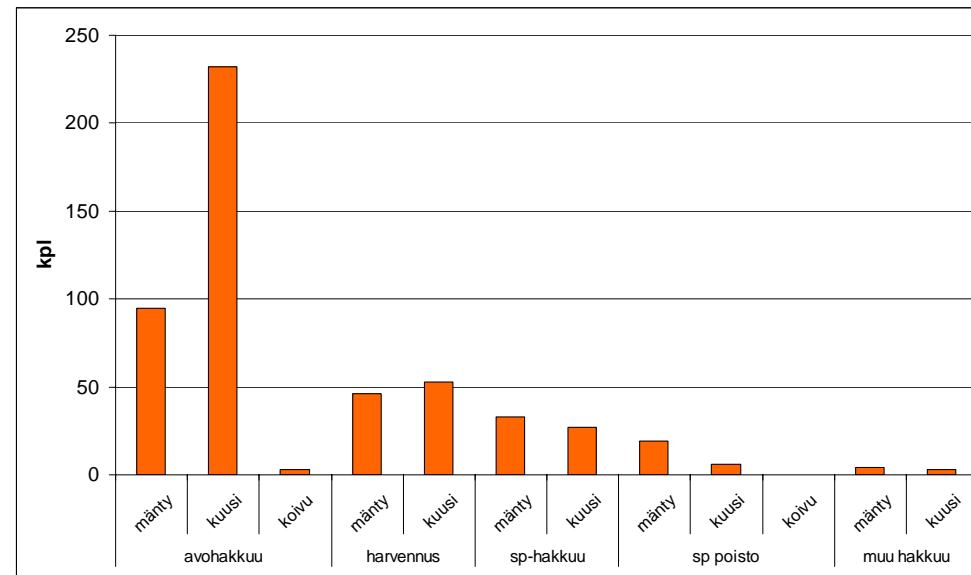
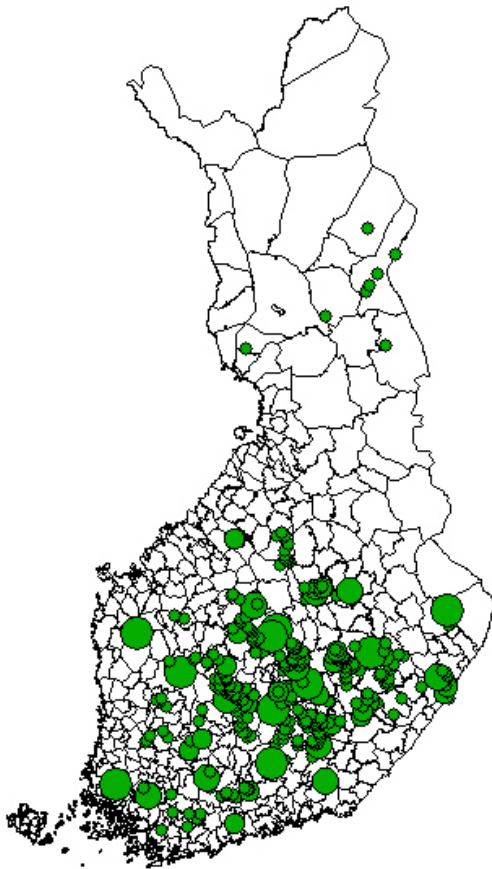
- Menetelmä perustuu ennustettavaa kohdetta mahdollisimman hyvin vastaavien leimikoiden valintaan runkopankkitietovarastosta
 - ennustettavasta kohteesta ja sen puustosta on oltava jotain arvioitua tai mitattua tietoa, jota menetelmä käyttää vastinleimikoiden hakutietona
 - k-MSN:ssä vastinleimikoiden määrä on vakio, esim. 5 tai 10
 - vastinleimikoilla on erilaiset painot niiden vastaavuuden mukaan
 - ennusteet muodostetaan vastinleimikoiden runkoja tai pölkkyyä valiten
- Tarvitaan hakkuukoneen runkokohtaisista mittaustiedoista (stm- ja/tai prd-tiedostoista) koottu runkopankki esim. tietokantamuodossa sekä apteeraussimulaattori
 - erityyppisiä leimikoita oltava runkopankissa riittävästi
 - optimaalisen runkopankin koon selvitystä ei aineistojen niukkuuden takia ole toistaiseksi pystytty tekemään

k-MSN –menetelmän kuvaus (2)

- kehittämisessä ja testauksissa käytetyt runkopankkiaineistot

Metsätehon runkopankki

- n. 400 hakkuukohtetta, pääosa päätehakkuita
- leimikoiden rungot apteerattu puutavaralajeiltaan yhteismitallisiksi MASI –simulaattorilla MSN-ennustamista varten



k-MSN –menetelmän kuvaus (3)

- laskentavaiheet

- 1) Hakumuuttujien eli selittäjien valinta. Hakumuuttujien tulee kuvata mahdollisimman hyvin puuston selitettäviä ominaisuuksia.
- 2) Selitettäviä (ennustettavia) ominaisuuksia kuvaavien muuttujien määrittäminen.
- 3) Etäisyysfunktioon tarvittavien hakumuuttujien ja selitettävien muuttujien välisten kanonisten korrelaatioiden laskeminen.
- 4) Painotusmatriisin laskeminen.
- 5) Laskennassa käytettävän naapureiden lukumäärän valinta.
- 6) K-MSN –menetelmän suorittaminen. Algoritmi valitsee samankaltaisimmat naapurit sekä minimoi etäisyysfunktion neliötä.
- 7) Estimaattien muodostaminen lähimpien naapureiden painotetuista keskiarvoista.

k-MSN –menetelmän kuvaus (4)

- testauksissa käytetyt puulajikohtaiset perushakumuuttujat

Mänty	Kuusi	Koivu
<ul style="list-style-type: none"> • pohjapinta-alan mediaanipuun rinnankorkeusläpimitta • ppa-mediaanipuun pituus • puulajiosuus (puulajin käyttöosan tilavuusosuus koko tilavuuskertymästä) • pohjapinta-ala • kohteen pinta-ala • pääpuulaji 	<ul style="list-style-type: none"> • pohjapinta-alan mediaanipuun rinnankorkeusläpimitta • ppa-mediaanipuun pituus • puulajiosuus (puulajin käyttöosan tilavuusosuus koko tilavuuskertymästä) • pohjapinta-ala • kohteen pinta-ala • ikä • jaksoisuus • pääpuulaji 	<ul style="list-style-type: none"> • pohjapinta-alan mediaanipuun rinnankorkeusläpimitta • ppa-mediaanipuun tilavuus • puulajiosuus (puulajin käyttöosan tilavuusosuus koko tilavuuskertymästä) • pohjapinta-ala • kohteen pinta-ala • hakkuutapa

- nämä muuttujat valikoituivat analyyseissä perushakumuuttujiksi
- myös erilaisia muuttujien muunnoksia testattiin

k-MSN –menetelmän kuvaus (5)

- selitettävät muuttujat

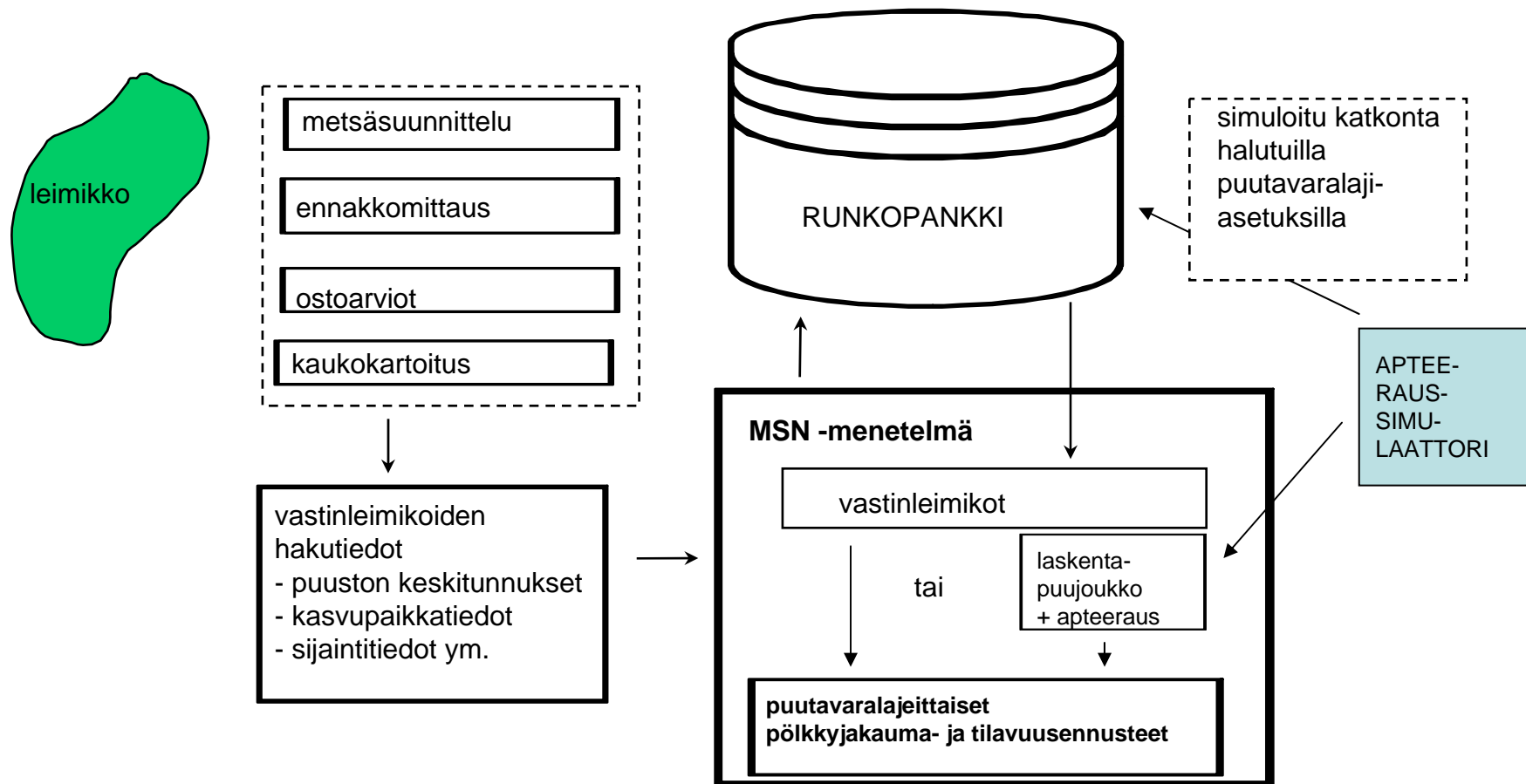
- Selitettäviksi muuttujiksi valittiin puulajeittain puuston määrää ja rakennetta kuvaavia muuttujia tai niiden muunnoksia, joiden selitysasteet regressioanalyysissä nousivat korkeimmiksi
- Selitettäviä olivat mm:
 - Näslundin pituuskäyrän parametrit a ja b tai niiden muunnokset
 - pohjapinta-alan prosenttiosuuspisteet 0, 20, 40, 60, 80 ja 100
 - runkolukusarjan ne $d_{1,3}$ -arvot, joissa ko. puulajin pohjapinta-alakertymä saavuttaa esim. 20 % koko ppa-kertymästä
 - prosenttiosuuspiste 0 = minlpm, po.piste 100 = maxlpm
 - po. pisteet kuvaavat tehokkaasti läpimittajakaumaa
 - tilavuus ($\ln(\text{tilavuus})$)
 - runkojen lukumäärä ($\ln(\text{runkolukumäärä})$)
 - keskijäreys ($\ln(\text{keskijäreys})$)

k-MSN –menetelmän kuvaus (6) - estimaattien muodostaminen

Pölkytysennuste voidaan muodostaa kahdella eri tavalla:

1. Vastinleimikoiden rungoista muodostetaan kohteelle laskentapuujoukko, joka pölkytetään apteeraussimulaattorilla
2. Muodostetaan kohteelle suoraan pölkkyykohtainen katkontatulos vastinleimikoiden pölkkyyjä poimien
 - edellyttää, että runkopankin kaikki leimikot pölkytetään etukäteen apteeraussimulaattorilla yhdenmukaisilla puutavaralajeilla ja läpimitta- ja pituusluokituksilla samansisältöisiksi
 - käyttöä varten on määritettävä pysyvät peruspuutavaralajit, jotta runkopankin apteerausta ei tarvitse ajaa joka kerta erikseen
 - menetelmää on sovellettu kehitystyössä, koska on todettu sen antavan luotettavampia tuloksia

k-MSN –menetelmän toiminnot



Tutkimuksessa käytetyt k- MSN –menetelmän ennustekyvyn kriteerit

- Kokonais- ja tukkitilavuuden keskimääräiset ennustevirheet
- Puulajin kokonais- ja tukkitilavuuden ennustevirheeltään alle 10 %, alle 20 % ja alle 30 % olevien leimikoiden osuus kaikista testausyhdistelmän leimikoista
- Tukkiprosentin ennustetarkkuus
- Tukkipuutavaralajien pölkkyjakaumien ennusteasteet ja jakaumaasteet
 - pölkkyjakautuman ennusteaste kuvaa miten hyvin puutavaralajin ennustetut pituus-/läpimittaluokittaiset pölkkyosuudet vastaavat leimikon todellisia (tässä tutkimuksessa apteraaussimuloinneilla muodostettuja) vastaavia osuuksia
- Kokonais- ja tukkitilavuuksien ennustevirheet sumatasolla tarkastellen
 - puumäärä kumuloituvasti 100 simuloinnissa leimikoiden ollessa satunnaisessa järjestyksessä

Menetelmän testaukset

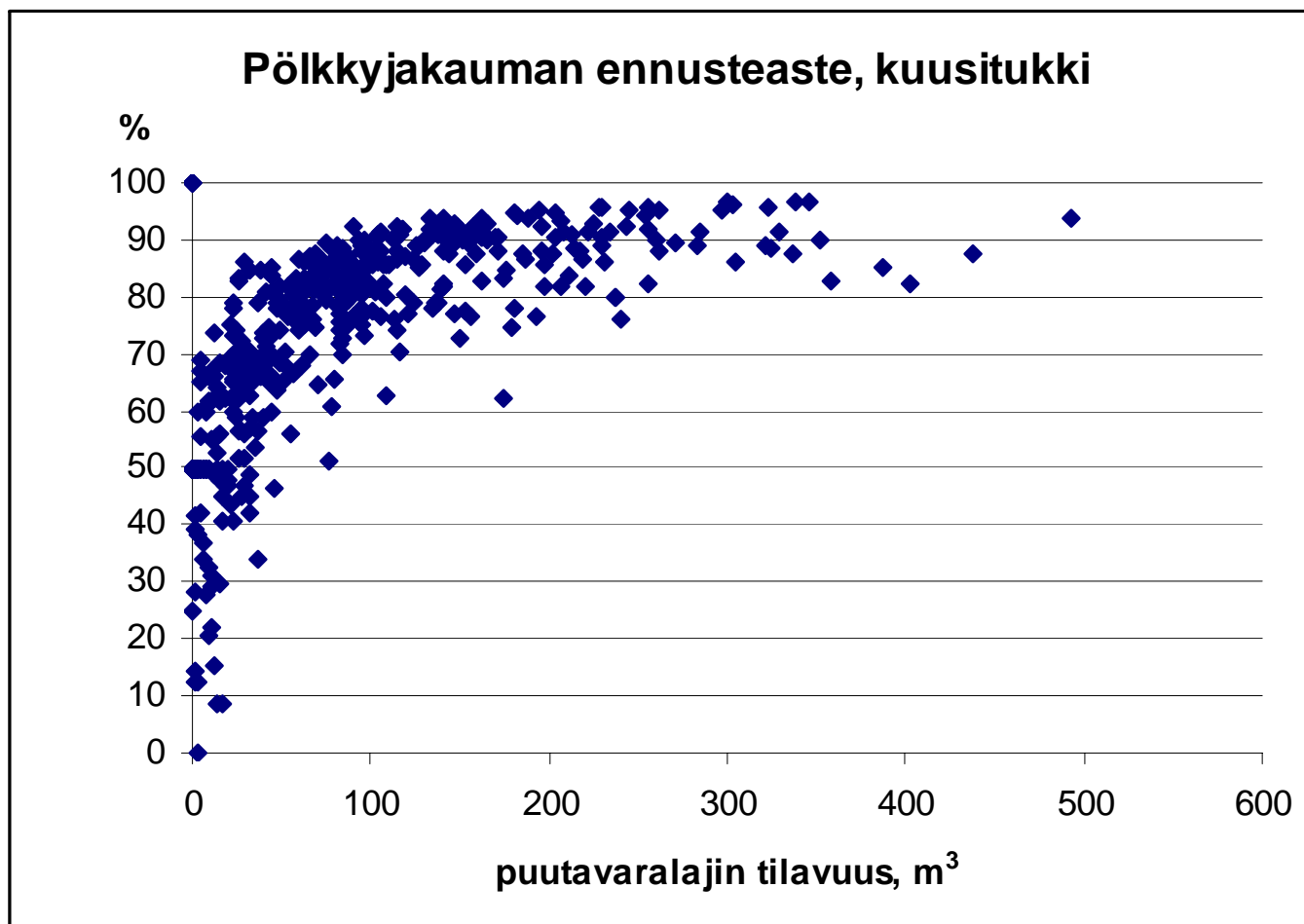
- Testausta varten muodostettiin erilaisia testausyhdistelmiä (kuusella 15 ja männyllä 14), joissa kokeiltiin erilaisia laskentatekijöitä sekä rajattiin aineistoa:
 - kuusisorvitukki mukana ennusteissa tai jätettiin pois
 - puulajikohtaiset perushakumuuttujat muuten aina mukana, mutta osassa testausyhdistelmiä pinta-ala jätettiin pois
 - kohteille asetettiin minimirunkomäärävaatimuksia (kpl/ha)
 - pinta-alavirheellisiksi tulkittujen kohteiden poisto osassa testausyhdistelmiä
 - skaalaustekijänä pinta-ala tai puulajin edustama osuus leimikon pinta-alasta
 - $k=10$ tai $k=5$
 - perushakumuuttujien lisäksi hakumuuttujina pohjapinta-alan prosenttiosuuspiste 25 tai 75 tai molemmat
- ennusteet tehtiin kaikille kohteille puulajeittain erikseen
- hakumuuttujatietona leimikon todelliset muuttujien arvot
 - herkkyysanalyyseissä simuloitiin muuttujiin satunnaisvirhettä

paras
tulos
koko-
nais-
tilavuu-
dessa

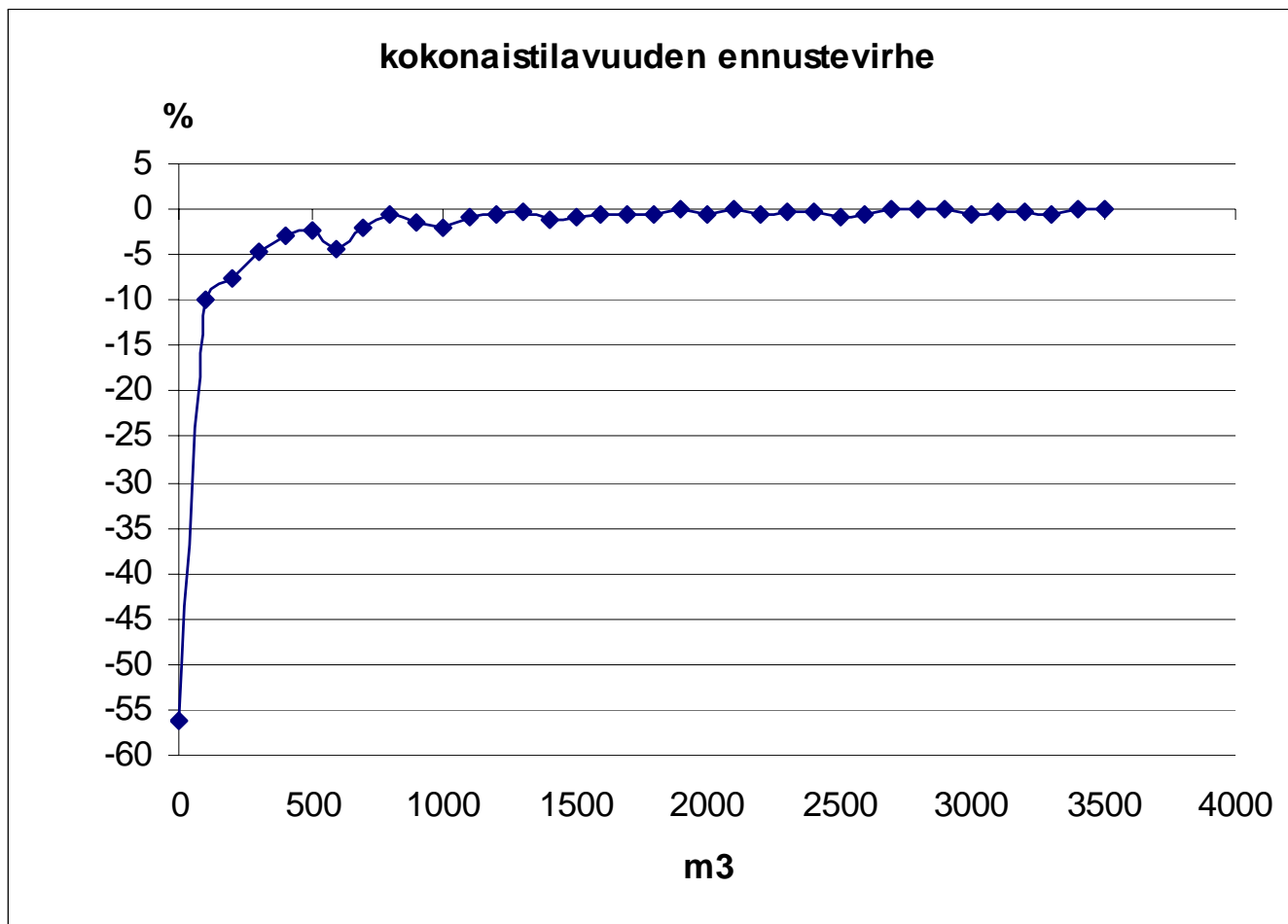
Testaus- yhdistelmä	Tilavuusennusteen virhe, %			
	kuusi		mänty	
	tukki	kokonaistilavuus	tukki	kokonaistilavuus
1	3,5	3,3	1,1	0,6
2	3,8	3,5	1,7	1,3
3	3,1	2,8	-0,5	-1,0
4	-0,9	0,1	12,1	11,4
5	0,4	1,4	18,0	17,2
6	3,1	3,8	2,6	2,5
7	0,3	0,0	12,5	11,6
8	1,7	1,4	18,9	17,8
9	4,9	4,8	4,6	4,0
10	1,9	1,6	13,4	12,7
11	1,8	1,5	15,0	15,0
12	1,3	1,1	11,1	10,4
13	0,7	0,9	11,0	10,4
14	1,6	1,6	12,3	11,8
15	1,2	1,5		

Testaus- yhdistelmä	Ennustevirhetasojen 10, 20 ja 30 % alittavien leimikoiden osuus testiaineistossa, % - kokonaistilavuus - tukkitilavuus					
	kuusi			mänty		
	< ±10 %	< ±20 %	< ±30 %	< ±10 %	< ±20 %	< ±30 %
1	45,0	69,5	79,8	48,2	73,5	82,3
	38,5	65,1	77,2	42,4	67,7	78,0
2	46,9	71,6	82,3	45,3	72,7	85,3
	39,9	65,1	79,1	38,5	67,6	79,9
3	54,9	79,1	86,3	47,8	77,5	86,8
	45,7	70,7	82,9	40,1	68,1	79,1
4	44,3	68,5	78,8	22,0	42,3	55,4
	38,3	61,7	75,3	16,7	33,6	50,5
5	48,0	70,2	79,2	31,1	48,6	62,8
	37,9	60,6	75,4	18,6	36,4	53,1
6	41,5	63,6	72,6	35,1	55,4	66,2
	37,7	59,1	70,4	23,0	43,6	59,0
7	44,5	68,5	78,8	21,6	41,9	55,2
	39,8	64,9	76,7	20,3	39,3	53,9

Kuusitukin pölkkyjakauman ennusteaste leimikon tilavuuden mukaan



Sumatarkastelu, kuusen kokonaistilavuusvirheen kehittyminen - 100 simuloinnin keskiarvo



Hakumuuttujien virheiden vaikutukset ennusteiden tarkkuuteen - kuusi, viiden simuloinnin keskiarvot

testaus- yhdis- telmä	Hakumuut- tujatiedon virhetaso	Kokonais- tilavuuden ennuste- virhe, %	Tukkitila- vuuden ennuste- virhe, %	Kokonaistilavuuden ennustevirheen 10, 20 ja 30 % alittavien leimikoiden osuus, %		
				< ±10 %	< ±20 %	< ±30 %
7	0 %	0,00	0,26	45	69	79
	±10 %	-0,04	-0,34	42	68	81
	±25 %	0,50	-1,39	26	44	61
12	0 %	1,05	1,30	47	73	82
	±10 %	1,00	0,82	45	70	84
	±25 %	2,50	0,49	24	45	61

Päätelmät (1)

Hakumuuttajat käytännön sovellusten kannalta

- hakumuuttajien valinta subjektiivisesti johtaa yhtä hyvään lopputulokseen kuin valinta automaattisesti
 - hakumuuttajien määrä pysyy kohtuullisena
- hakumuuttajiksi on syytä valita sellaisia muuttujia, jotka voidaan helposti ja kustannustehokkaasti määrittää käytännössä tai jotka ovat jo valmiina olemassa leimikkoa suunniteltaessa esimerkiksi metsäsuunnitelmatiedoissa
- puuston määrää ja rakennetta sekä puulajisuhteita kuvaavat keskitunnukset ovat tärkeimpiä
- puuston laatua kuvaavia yleisiä ja ennustusmenetelmään soveltuvia tunnuksia on vaikea määrittää
 - testauksissa sellaisia ei ole ollut mukana
- pinta-alatieto on tärkeä tunnus laskentamenetelmässä
 - käytetään skaalaustekijänä ennusteen muodostuksessa

Päätelmät (2)

- käytännössä hakumuuttujatietoon sisältyy aina virhettä ja epävarmuutta, mikä vaikuttaa ennusteiden luotettavuuteen
 - mittausepävarmuudeltaan suuria tunnuksia olisi vältettävä
 - tieto on tarvittaessa päivitettävä esim. kasvumalleilla
- harvennuskohteiden vastinleimikoiden valinnassa vaihtoehtoisia hakumuuttujia on vielä testattava
 - esim. tieto siitä, onko metsikköä harvennettu jo aiemmin
 - puuston jaksoisuuden kuvaaminen
 - runkopankkikohteiden rajaaminen hakkuutavan mukaan
- uusia puustoa kuvaavia hakumuuttujien tietolähteitä ovat erilaiset kaukokartoitussovellukset, esim. korkearesoluutioiset numeeriset ilmakuvat ja yksittäisten puiden automaattinen tulkinta niiltä
 - runkojen lukumäärä puulajeittain ?
 - runkolukusarjaestimaatit latvusmallien avulla ?

Päätelmät (3)

Menetelmän ennustekyky

- menetelmä on käyttökelpoinen, jos sillä voidaan ennustaa leimikosta puulajeittain sekä puuston määrä että järeys ja rakenne harhattomasti ja riittävän luotettavasti hakumuuttujatiedon vaihdellessa normaaleissa rajoissa
- runkopankkiaineiston määrä ja edustavuus ratkaisevia
 - aineiston todellista merkitystä oli vaikea selvittää
- kokonais- ja tukkitilavuusestimaatit pystytään muodostamaan harhattomasti ja tarkasti
 - testauksissa tilavuusestimaatin virhe 0 – 1 % tasolla
- puuston järeiden ja rakenteen ennustamista kuvaavat pölkkyjakaumien ennusteasteet olivat kohtuullisen hyviä
 - kuusella suuremmat ennusteasteet kuin männyllä, pienillä kertymillä ja mm. harvennuksilla ennusteasteet heikompia

Päätelmät (4)

Estimaattien tarkkuuteen ja luotettavuuteen vaikuttavat:

- runkopankin määrä ja edustavuus
- puuston määrää ja rakennetta sekä leimikkoa muutoin kuvaavien hakumuuttujien valinta
- hakumuuttujien sisältämä systemaattinen tai satunnainen virhe
- vastinleimikoiden määrä eli k:n arvo menetelmässä
- ennustetuloksen skaalauksessa käytettävä tekijä (pinta-ala?)
- runkopankin pölkytyksen simuloinneissa käytetyt puutavaralajit ja niiden läpimitta- ja pituusluokkien määrä
- runkojen laatutekijöiden mukainen apteerauksen simulointi
 - edellyttäisi leimikon puulajikohtaisesti määritettäviä laatutunnuksia ja niiden mukaista vikaisuuksien satunnaista generointia apteerattaviin runkoihin
 - ei vielä toteutettu simulaattoriin

Menetelmän sovellukset käytäntöön

- Menetelmän käyttöön tarvitaan
 - runkopankki (tietokantana tai muuna tietovarastona)
 - apteraussimulaattorisovellus
 - MSN-sovellus ja käyttöliittymä
 - rajapinnat puunhankinnan muihin tietojärjestelmiin (leimikon työmaasuunnittelun ja puukaupan järjestelmät)
- Runkopankkia voidaan hyödyntää puunhankinnan suunnittelussa laajemminkin
- k-MSN –menetelmästä on tehty Metsätehossa sovellus, jota käytetään MASI –simulaattorin käyttöliittymän kautta
 - tehty Joensuun yliopiston Fortran-koodin pohjalta
 - varsinainen menetelmän ydin (ohjelmakoodi) voidaan räätälöidä moduuliksi yritysten käyttöön

k-MSN –
menetelmän
käyttöliittymä
MASI –
simulaattorissa

The screenshot shows the MSN software interface with the following elements:

- Top Bar:** MSN logo and window controls.
- Search Criteria:**
 - Käytettävissä olevat apt-tiedostojen nimet:** msn_all_apt.xml
 - Valittu apt-tiedoston nimi:** msn_all_apt.xml
 - MSN-haku:** Tee MSN-haku, Kaikki kohteet
 - MSN-menetelmä:** KNN (selected), LAN
 - Runkojen min. ikä/vha:** [Empty field]
- Syötetiedot MSN-haule:**
 - Puuolajikohtaiset ennakkotiedot:** Tulosteet
 - Puuolaji:** Mänty, Kuusi (selected), Koivu, ennakkoviite
 - Ennakkotiedot:**
 - Pituus- ja leveyskoordinaatit P: [] I: []
 - Pinta-ala [ha]
 - Valtupuuston ikä [vuotta] [80]
 - Pihkos [%] [70]
 - Pohjapinta-ala [m2 /hehtaari] [17]
 - Keskiäireys1 [tlav./runkojen km]
 - Keskiäireys2 [med puun tilavuus]
 - Mediaanipuun [ppa] D13 [mm]
 - Mediaanipuun [ppa] pihkos [dm]
 - Alakvarttipuun [ppa] D13
 - Yläkvarttipuun [ppa] D13
 - Kasvupaikkatyyppi:** Lehto, Lehtomaisen kangas, Tuore kangas, Kuvakko kangas, Kuusi kangas, Kuvakko kangas, Tuvenmaa
 - Hakutapa:** Avohakku, Havemaa, Semen- tai suorasädehakku, Semen- tai suorasäiden poisto, Muu hakkuu
 - Puuston jaksotus:** Yksijaksoinen (selected), Kaksijaksoinen, Eri-ikästrakenteinen
- Buttons:** Tallenna ennakkotiedot, Hae ennakkotiedot, Tyhjennä kentät, Hae ennakkotiedot Runkopankista
- Field:** Runkopankki-kohteen tunnus: []