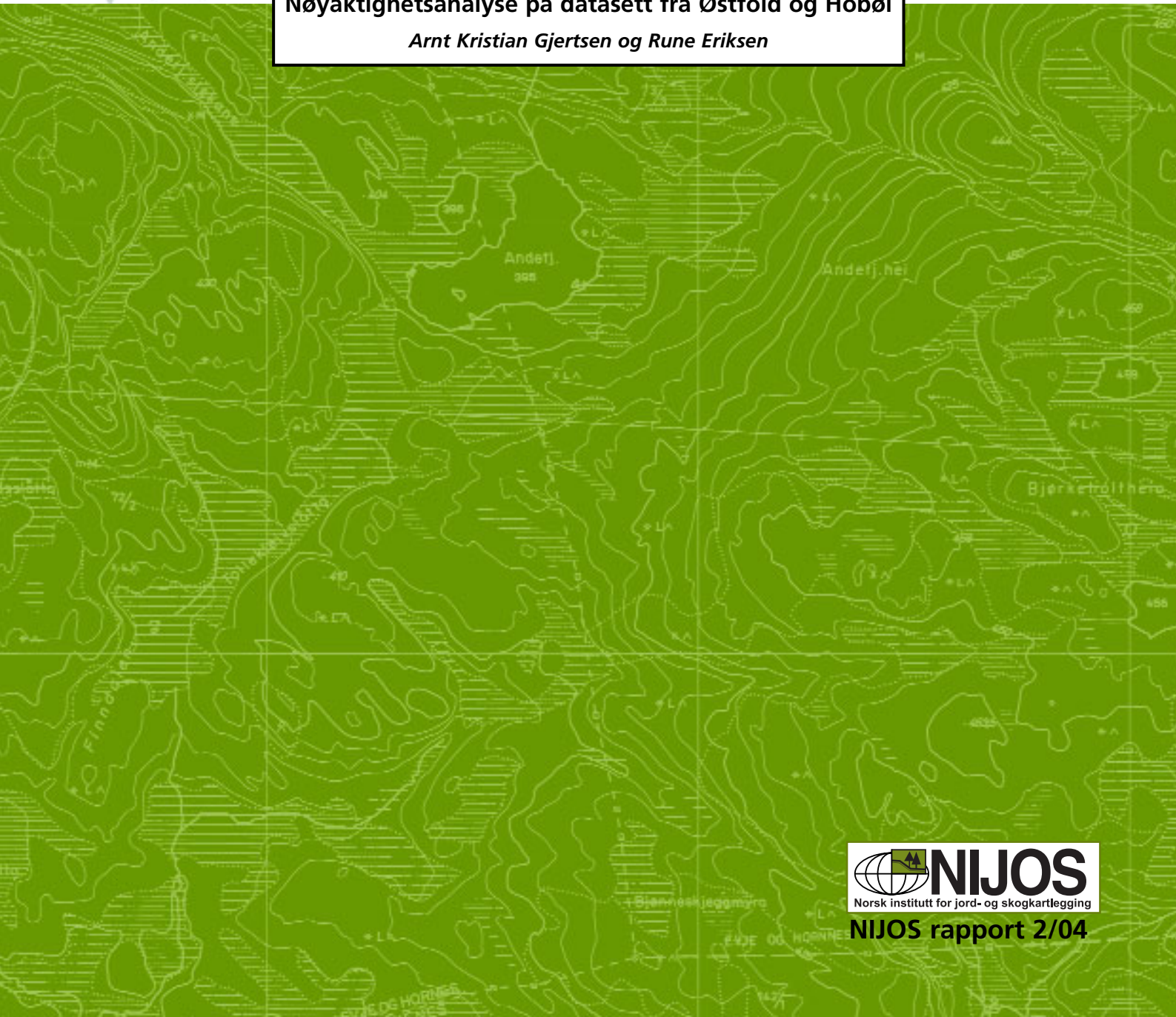
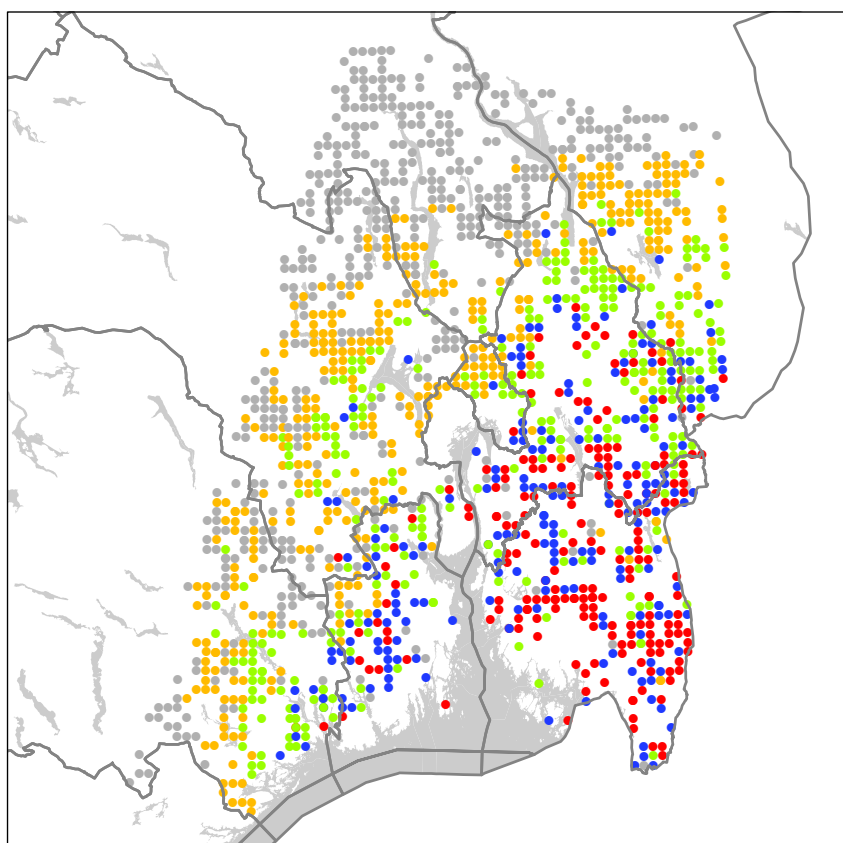


Test av MSFI-metoden
 Nøyaktighetsanalyse på datasett fra Østfold og Hobøl
Arnt Kristian Gjertsen og Rune Eriksen




Test av MSFI-metoden

Nøyaktighetsanalyse på datasett fra Østfold og Hobøl



Arealvekter (ha)

- 0
- 0,09 - 20
- 21 - 92
- 93 - 188
- 189 - 910

 km
0 9 18 36


Test av MSFI-metoden

**Nøyaktighetsanalyse på datasett fra Østfold
og Hobøl**

**Arnt Kristian Gjertsen
Rune Eriksen**

**Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, Ås
NIJOS-rapport 02/2004
ISBN-nr. 82-7464-317-8**

Forsidebilde: MSFI-produserte arealvekter (hektar) tilordnet Landsskogflatene
brukt for å kartlegge Østfold.

Tittel:	Test av MSFI-metoden Nøyaktighetsanalyse på datasett for Østfold og Hobøl	NIJOS nummer:	02/2004
Forfatter:	Arnt Kristian Gjertsen, Rune Eriksen	ISBN nummer:	82-7464-317-8
Oppdragsgiver:	NIJOS	Dato:	23.12.03
Fagområde:	Landsskogtakseringen, fjernmåling	Sidetall:	52
<p>Utdrag: NIJOS har analysert nøyaktigheten til en metode for flerkilde skogressurskartlegging (MSFI). MSFI bruker prøveflatedata fra Landsskogtakseringen, DMK, og et satellittbilde. Prøveflatene brukes som kalibreringsdatasett og data fra satellittbildet knyttes til alle flatene. MSFI beregner arealvekter til flatene i kalibreringsdatasett basert på hvor typiske de er for inventeringsområdet, som kan være et større område som en kommune eller et fylke. Mål på likhet baseres på data fra satellittbildet. For å finne nøyaktigheten til estimatene har en kryssvalideringsmetode blitt utviklet. Den estimerer prøveflatene en for en og beregner til slutt statistikk på nøyaktigheten. Metoden kan brukes til å justere parametere til MSFI og for å analysere feil. Resultater fra MSFI ble testet mot Landsskogtakseringens resultat for Østfold og en kontrolltakst for Hobøl kommune. Det ble konkludert med at MSFI er følsom for fordelingen i kalibreringsdatasettet. Hvis fordelingen til en bestandsparameter er vesentlig annerledes enn i inventeringsområdet, så vil det føre til relativt dårlige estimater. Årsaken er at billedata ikke alltid skiller godt nok mellom de ulike parameterklassene. Med stort overlapp i bildeverdiene mellom to klasser, så vil den klassen som er representert med flest prøveflater bli tilsvarende mer vektlagt. Hvis kalibreringsdatasettet ikke er representativt mht. denne parameteren, så vil det føre til et dårlig estimat. MSFI kan forbedres med satellittdata som skiller bedre på parameterverdier som skal kartlegges.</p>			
<p>Abstract: NIJOS has analysed the accuracy to a multi-resource forest inventory method (MSFI). MSFI uses plot data from the National Forest Inventory (NFI), land type map, and satellite image data. NFI data are used as calibration data, and image data are connected to the NFI plots. MSFI estimates area weights to all NFI plots based on similarity in image values between a query pixel and all plots. A cross-validation method has been developed and used to analyse the estimation errors. The method is also used to adjust parameters of MSFI. Results from MSFI have been compared with results from NFI for a county and an independent survey of a municipality. It was found that MSFI was very sensitive to the distribution of the calibration dataset. If the distributions are very different in the calibration set and in the inventory area, MSFI will give inaccurate estimates. This is explained with a high degree of overlap in image space between several parameter values. When two such values overlap, the one with the higher number of representatives will be relatively more often selected. To improve MSFI, remotely sensed data that can better discriminate between the parameter values are needed.</p>			
Andre NIJOS publikasjoner fra prosjektet:			
Emneord:	Keywords:	Ansvarlig underskrift:	Pris kr.: 187,-
Skog, Landsat TM, kNN, MSFI	Forest, Landsat TM, kNN, MSFI		
Utgiver:	Norsk institutt for jord- og skogkartlegging Postboks 115, 1431 Ås Tlf.: 64949700 Faks: 64949786 e-mail: nijos@nijos.no		

Innhold

Innhold	iv
Figurer	v
Tabeller.....	vii
Innledning.....	9
Målsetting.....	9
Datasett.....	10
Kalibreringsdata	10
Kartdata	15
Bilddata.....	15
Metoder	16
MSFI.....	16
For et gitt estimeringselement P i skogmaska.....	17
Test av sammenheng mellom bilddata og prøveflatedata	17
Nøyaktighetsanalyse.....	17
Resultater og analyse.....	20
Sammenheng mellom Landsat TM data og skogsparametere.....	20
Kryssvalidering av MSFI	26
Test av optimalt antall nærmeste naboer k.....	26
Test av optimal kanalkombinasjoner.....	26
Test med ulike metoder for valg av naboskap.....	27
Test med ulike kalibreringsdatasett.....	28
Analyse av en prøveflate og dens naboskap – et eksempel.....	30
Analyse av RMSE	35
Test mot Landsskogdata for Østfold	37
Test mot områdetakst av Hobøl kommune	40
Oppsummering og konklusjon	45
Appendiks.....	49
Resultater fra kryssvalidering med MSFI 1	49
Resultater fra kryssvalidering med MSFI 2	50
Resultater fra kryssvalidering med MSFI 3	51
Referanser.....	52

Figurer

- Figur 1. Lokalisering av Landsskogflatene som har blitt brukt som kalibreringsdatasett. I Østfold, Akershus, og Oslo var det i tillegg til permanente flater også temporære flater. I alt var det 2296 prøveflater, derav 766 temporære. 11
- Figur 2. Bestandstreslag på prøveflatene i kalibreringsdatasett 3. 14
- Figur 3. Hogstklasser på prøveflatene i kalibreringsdatasett 3. 15
- Figur 4. Spredning i TM4 innenfor de ulike hogstklassene i TM4. Boksene viser 50% av alle observasjonen og horisontal strek i boksene medianverdiene. 21
- Figur 5. Spredningen i TM4 innefor de ulike treslagsklassene. Lauvdominerte flater har høye verdier i forhold til gran- og furudominerte flater. Furu har mindre spredning enn lauv og gran. 21
- Figur 6. Spredning i TM4 innen hogstklasser for grandominerte flater. N = 1064. 22
- Figur 7. Spredning i TM4 innen hogstklasser for furudominerte flater. N = 846. 22
- Figur 8. Spredning i TM4 innen hogstklasser for lauvdominerte flater. N = 314. 23
- Figur 9. Alder plottet mot TM4 for alle grandominerte prøveflatene. N = 1064. $r = -0.45$ 23
- Figur 10. Alder plottet mot TM4 for alle furudominerte prøveflatene. N = 846. $r = -0.33$ 24
- Figur 11. Alder plottet mot TM4 for alle lauvdominerte prøveflatene. N = 314. $r = -0.18$ 24
- Figur 12. Spredning i TM4 for treslag og hogstklasser. N = 2296, derav 1064 grandominerte flater, 846 furudominerte og 314 lauvdominerte. Flater med treslag 0 er hogstflater (hogstklasse 1). 25
- Figur 13. Spredning i TM4 for treslag og hogstklasser. Utvalg der alle flater har > 20 meter til bestandskant. N = 855, derav 423 grandominerte flater, 322 furudominerte, 92 lauvdominerte og 18 i treklasse 0. Flater med treslag 0 er hogstflater (hogstklasse 1). .. 25
- Figur 14. Treffprosent for treslag (global nøyaktighet) mot antall flater som er brukt i estimeringen. Figuren viser at rundt 8 flater (nærmeste naboer) gir best resultat for treslag. 26
- Figur 15. Middelerdien for 10 vekter. Ser at nærmeste flate har relativt stor vekt. 26
- Figur 16. Resultat fra kryssvalidering for treslag. Treslagene var inndelt i grandominert, furudominert, og lauvdominert. Treff angir om flata ble riktig estimert eller ikke. 30
- Figur 17. En prøveflate (ID 13071081) som blir kryssvalidert (ring rundt) og de 8 kNN flatene (med kvadrater rundt) som MSFI har definert som naboskap. I kryssvalideringa blir estimatet for prøveflata basert på disse 8 flatene. Prøveflata er lauvdominert, og av flatene i naboskapet er 4 lauvdominert, 3 grandominert, og 1 uten treslagsklasse (hogstklasse 1). For nominelle parametere kan MSFI enten bruke modalverdien eller verdien mest størst totalvekt. Her er modalverdien brukt. 31
- Figur 18. Prøveflata med ID 13071081 og alle 8 naboflatene i plottet i TM4 og TM5-kanalene. Vi ser at den nærmeste flata er en grandominert flate. Med $k = 1$ ville estimatet blitt gran, med $k = 3$ ville estimatet blitt lauv, med $k = 4$ ville estimatet også blitt lauv. Når to klasser har likt antall i naboskapet, så brukes vektene for å avgjøre hvilken klasse som skal brukes som estimat. 32
- Figur 19. Prøveflata med ID 13071081 og alle andre prøveflater plottet i TM4 og TM5-kanalene. Det ligger mange granflater i nærheten, og flere av disse har blitt silt bort ved bruk av kriterier som bonitet, geografisk avstand, og høydeforskjell. Hvis kun TM4 og 5 hadde vært brukt ville flata blitt estimert som grandominert for de fleste verdier av k . Sirkel sentrert rundt prøveflata viser hvilke 8 flater som ligger nærmest: det er 5 granflater og 3 lauvflater. 32
- Figur 20. Treslagskart for Hobøl kommune. Ulike MSFI-kjøringer er gjort for sammenlikning: (a) full randomisering, dvs. tilfeldig utplukk av alle prøveflatene; (b) siling med bl.a. bonitetskart har blitt gjort og deretter tilfeldig utplukk av prøveflatene i

søkesettet; (c) siling men uten bruk av bonitet, satellittdata brukt; (d) siling med bruk av bonitet, satellittdata brukt (normal kjøring med MSFI). Kalibreringsdatasett 1 er brukt. 34

Figur 21. Fordeling av observert alder – MSFI-estimert alder. Feilen er sentrert rundt 0 og normalfordelt (skjevhet = -0,46). 36

Figur 22. Observert alder (obs) plottet mot MSFI-estimert alder (estim1). 37

Figur 23. Arealvekter i hektar for prøveflatene i kalibreringsdatasett 3. 43

Figur 24. Treslagsfordeling i Østfold. Resultat fra MSFI. Bebyggelsesklasser er fra N250. Legg merke til dominansen av lauvskog på Hankø. 44

Figur 25. Fordeling av forenklet utviklingstrinn i Østfold. Resultat fra MSFI. Bebyggelsesklasser er fra N250. 45

Tabeller

Tabell 1. Antall prøveflater fordelt på sesong for kalibreringsdatasett 1. Både permanente og temporære flater er med.	12
Tabell 2. Antall prøveflater fordelt på fylker for kalibreringsdatasett 1. Både permanente og temporære flater er med.	12
Tabell 3. Oversikt over dominerende treslag fordelt på hogstklasser i kalibreringsdatasett 1.	12
Tabell 4. Oversikt over dominerende treslag fordelt på bonitetsklasser i kalibreringsdatasett 1. Bonitetsklassene kodet som 12, 13, 14, 15 tilsvarer lav, middels, høy, og særs høy bonitet.	13
Tabell 5. Andel flater fordelt på dominerende treslag og avstand til bestandskant (FBK).	13
Tabell 6. Kalibreringsdatasett. Datasett med prøveflater fra Landsskogtakseringen brukt i MSFI-kjøringer og fordeling på dominerende treslag. (For delte flater er treslag for del 1 brukt.)	14
Tabell 7. Statistikk over billedata fra Landsat 5 TM. Utvalget er pikslene over alle prøveflatene brukt som kalibreringsdatasett.	16
Tabell 8. Feilmatrix. Kolonner angir observerte verdier og rader estimerte verdier.	18
Tabell 9. Lineær korrelasjon mellom TM-kanaler og bestandsdata. N=761 og 857 for FBK 1 og 2.	20
Tabell 10. Nøyaktighetsstatistikk. Kalibreringsdatasett 3 ble brukt.	28
Tabell 11. Nøyaktighet for ulike MSFI-kjøringer.	29
Tabell 12. Feilmatrix for treslag. Kjøring av MSFI med bruk av bonitetskart og med kalibreringsdatasett 2. Kolonnene representerer feltobserverte verdier mens radene representerer estimerte verdier.	29
Tabell 13. Statistikk over andel treff fordelt på avstand til bestandskant.	29
Tabell 14. Statistikk over treslag for Hobøl kommune. Kjøring b er uten bruk av satellittdata og kjøring d er med.	35
Tabell 15. Analyse av RMSE. Feilavvik er kvadratroten av feilvarians.	35
Tabell 16. Statistikk for feil i estimat av alder (år). Feil 1 er feil med ett estimat for hver flate, feil 2 er feil med 5 estimater for hver piksel.	36
Tabell 17. Statistikk over vektorer fra MSFI fordelt på fylker. Delte flater er telt med to ganger i kolonne merket «N». I kolonne «Maksimum» er største vekt gitt til ei flate, i «Middel» er middelverdien til vektene til alle flatene, i «Sum» er summen gitt over alle vektene. Vekt x 0,09 ha gir vekt i hektar.	37
Tabell 18. Estimert arealfordeling for dominerende treslagsklasser i Østfold. Kalibdata og kalibdatasett refererer til kalibreringsdatasett i Tabell 6.	38
Tabell 19. Estimert arealfordeling for hogstklasser i Østfold. Kalibdata og kalibdatasett refererer til kalibreringsdatasett i Tabell 6.	39
Tabell 20. Estimert arealfordeling for sammenslåtte hogstklasser i Østfold. Kalibdata og kalibdatasett refererer til kalibreringsdatasett i Tabell 6.	39
Tabell 21. Estimert aldersfordeling i Østfold. Kalibdata og kalibdatasett refererer til kalibreringsdatasett i Tabell 6.	40
Tabell 22. Estimert volum (m ³) uten bark på produktiv mark i Østfold. Differanse er beregnet mellom Landsskog og MSFI med kalibdata 1. Kalibdata refererer til kalibreringsdatasett i Tabell 6.	40
Tabell 23. Statistikk over vektorer fra MSFI fordelt på fylker. Delte flater er telt med to ganger i kolonne merket «N». Kolonne «Maksimum» er største vekt gitt til ei flate, «Middel» er middelverdien til vektene til alle flatene, «Sum» er summen over alle vektene. Vekt x 0,09 ha gir vekt i hektar.	41
Tabell 24. Estimert arealfordeling til dominerende treslag i Hobøl.	42

Tabell 25. Estimert arealfordeling til hogstklasser i Hobøl.	42
Tabell 26. Estimert volum (m ³) uten bark fordelt på treslag i Hobøl.....	42
Tabell 27. Forkortelser for skogparametere.	49

Innledning

NIJOS har tidligere testet ut et system for kartlegging og inventering av skogressurser basert på prøveflater, kartdata, og satellittbilder. En metode kalt Multi-Source Forest Inventory (MSFI) ble testet i 1998 i samarbeid med prof. Erkki Tomppo ved METLA, Finland. Siden 1999 har NIJOS utviklet et eget system for å utføre MSFI, og en produksjonslinje for hele prosessen har blitt utviklet i Visual C++ og AML.

Opprinnelig så NIJOS for seg følgende nytteverdier av MSFI:

1. Oversikter over skogressurser i områder som ikke er tilstrekkelig dekket med prøveflater fra Landsskogtakseringen
2. Oversikter over skogressurser for andre typer områder enn fylker, f.eks. områder bestemt av fysiografiske egenskaper som f.eks. nedbørsfelt.
3. Mulighet for å kunne redusere antall prøveflater uten å få redusert nøyaktighet

Oversikter over skogressurser omfatter estimater på totaltall for inventeringsområdet – som volum fordelt på treslag, arealandeler for treslag, hogstklasser, og aldersklasser – og kart som viser hvordan ulike skogtyper og bestandsegenskaper er fordelt innenfor området.

I et tidligere prosjekt (Gjertsen og Tomter 1998) ble MSFI utprøvd for Hobøl kommune og mange ulike skogparametere ble testet. Det viste seg at MSFI var uegnet til å estimere de fleste skogparametrene som ble testet, og disse parametrene hadde liten eller ingen korrelasjon med data fra satellittbildet. Siden MSFI ikke kan gi nøyaktige estimater for de fleste parametrene som Landsskogtakseringen måler, så kan ikke metoden tilfredstille målsetting nr. tre over. Det ble imidlertid konkludert med at MSFI kunne gi tilfredsstillende resultater for noen få, men sentrale, parametere som areal fordelt på dominerende bestandstreslag og areal fordelt på utviklingstrinn (forenkla hogstklasser). Volumestimater viste seg å være unøyaktige, dvs. utenfor et 95%-konfidensintervall basert på en kontrolltakst for kommunen.

Siden utprøvingen av MSFI på Hobøl kommune, har MSFI blitt brukt til å produsere kart over treslag og utviklingstrinn for Østfold, Akershus, Oslo, og Vestfold. Som mål på nøyaktighet for kartene har vi til nå måttet vise til testen som ble utført i Hobøl. Det er imidlertid ønskelig med aktuell dokumentasjon på nøyaktigheten for hvert område som produseres. I tillegg er det flere parametere til MSFI-metoden som bør justeres for nye områder og nye datasett, og for å finne optimale løsninger trengs derfor en metode for å teste nøyaktigheten til MSFI.

Nøyaktigheten til MSFI kan rutinemessig måles på to ulike måter: 1) ved å kjøre metoden på et helt fylke og så sammenligne MSFI-estimater med Landsskogtakseringen estimater, og 2) ved å teste nøyaktigheten på rasternivå. Det siste er en test på MSFI-kartets nøyaktighet og forteller hvor ofte et rastelement i kartet er tilordnet riktig klasse.

Målsetting

Hovedmålsettingen i prosjektet var å utvikle metode for nøyaktighetskontroll av MSFI.

Prosjektet hadde følgende delmål:

- Utvikle metode for å måle nøyaktighet på rastelementnivå
- Analysere feilkilder og hvordan de virker
- Lage et dokument som basis for vurdering av metoden og videre bruk og utvikling

Datasett

Multi-Source Forest Inventory (MSFI) er en automatisk, flerkilde-skoginventeringsmetode, hvor ulike datakilder brukes for å kartlegge skogressurser. Sentrale datakilder er skogdata, bildedata og kartdata. Skogdataene gir informasjon om skogressursene på nøyaktig lokaliserte flater. Bildedata kalibreres mot skogdataene (kalibreringsdatasettet) ved å knytte bildeverdier til skogdataene. Kartdata brukes for å avgrense skogområder fra andre arealtyper og for å skille mellom ulike markslagstyper. I det følgende omtales de ulike datasettene for MSFI nærmere.

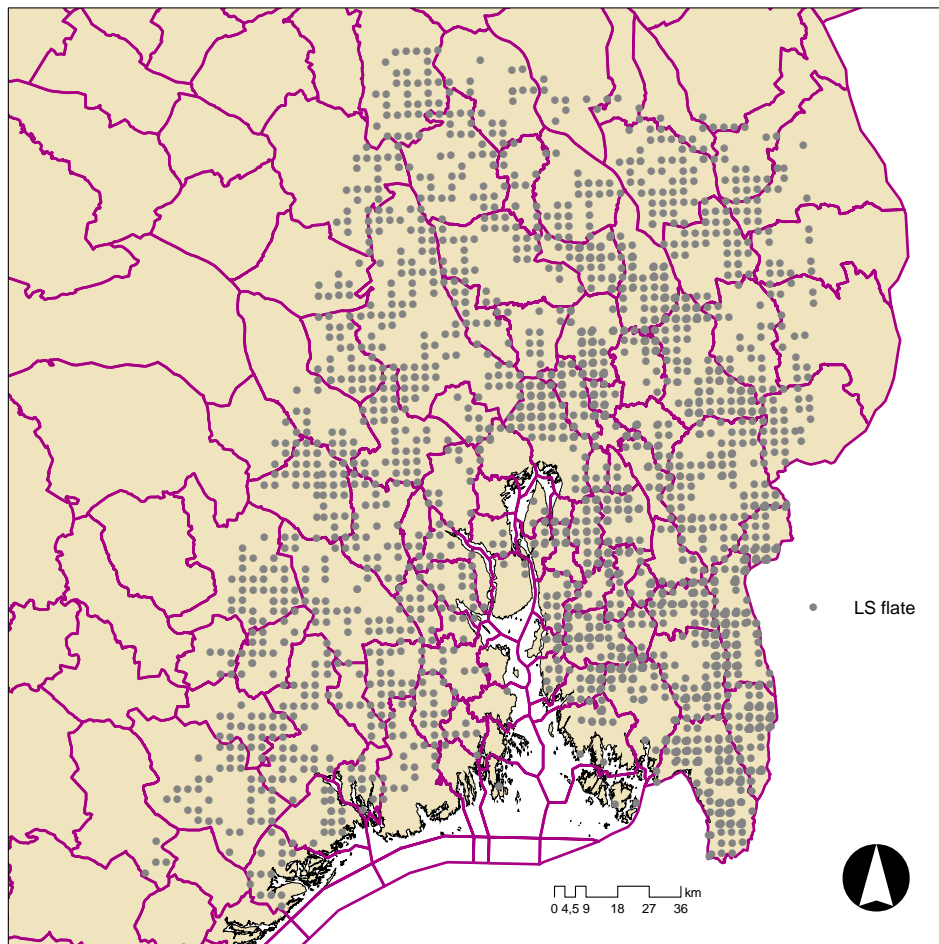
Kalibreringsdata

Prøveflater fra Landsskogtakseringens 7. takst (perioden 1995–99) ble brukt som kalibreringsdatasett. Flater fra fylkene Østfold, Akershus, Oslo, Hedmark, Oppland, Buskerud, Vestfold, og Telemark ble tatt ut av Landsskogtakseringens database og tilrettelagt for bruk. Alle flatene er lokalisert med GPS og nøyaktighet på lokaliseringen var forventet å være ca. 10 meter eller bedre i 99% av tilfellene. Undersøkelser i 2003 hvor to uavhengige GPS-målinger på LS-flater ble sammenlignet har imidlertid vist at det for ca. 7% av flatene var en differanse mellom de to målingene på over 10 meter, og i ca. 3% av tilfellene var differansen over 15 meter (Rune Eriksen, pers. komm.). I Figur 1 vises lokaliseringen av alle kalibreringsflatene.

Observasjoner og målinger av treparametere gjøres innenfor ei flate på 250 m², dvs. innenfor en sirkel med radius 8,92 m. Målinger av alder og volum og vegetasjonstype er eksempler på parametere som måles innfor en slik sirkel. Bestandsparametere måles innenfor et areal på 1 daa i et bestand som flatesentrum ligger i; eksempler på slike parametere er hogstklasse og bestandstreslag.

I Tabell 1 gis en oversikt over antallet observerte flater i de ulike årene eller sesongene innenfor perioden. Det framgår at fordelingen er noe ujevn, med få flater fra 1996 og flest fra 1999. Forklaringen på dette har å gjøre med når GPS-målinger ble innført: Først fra 1997 ble det rutine med GPS-målinger for både permanente og temporære flater.

I alt 766 (33%) av totalt 2296 flater er temporære, og 96% av de temporære flatene ligger i Østfold og Akershus; de resterende ligger i Oslo. I Tabell 2 gis en oversikt over antall flater innenfor de ulike fylkene. Vi ser at om lag 50% av flatene ligger i Østfold og Akershus.



Figur 1. Lokalisering av Landsskogflatene som har blitt brukt som kalibreringsdatasett. I Østfold, Akershus, og Oslo var det i tillegg til permanente flater også temporære flater. I alt var det 2296 prøveflater, derav 766 temporære.

I Tabell 3 vises en krysstabulering av bestandstreslag mot hogstklasser. Gran er treslaget som dominerer på flest prøveflater, og grandominerte flater er jevnt fordelt på hogstklassene 2–5, mens furudominerte flater har relativt stor andel i hogstklasse 5 (36% mot 25% for gran). For lauvredominerte flater er hele 61% av flatene i hogstklasse 2 og relativt få (6%) i hogstklasse 5.

I Tabell 4 vises en krysstabulering av treslag mot bonitetsklasser. Furu dominerer i lav bonitet med 69% av alle tilfellene, mens i høy bonitet utgjør furu kun 13%. Gran og lauv har begge en lav prosentandel i lav bonitet og en stor andel i klassene middels og høy bonitet.

På permanente flater blir det registrert avstand til nærmeste bestandskant i klassene < 20 m og > 20 m. Avstanden til bestandskant vil antakelig ha noe å si for hvor god sammenhengen er mellom bildedata og feltmålte skogsparametere. Med mindre avstand vil større arealer med andre skogforhold påvirke verdiene i bildeelementene. I Tabell 5 vises en krysstabulering av treslag mot avstand til bestandskant (FBK). Lauvredominerte flater har en betydelig større andel (62%) av flatene i klassen «< 20 m til bestandskant» enn gran- og furudominerte flater har (46% og 41%).

Tabell 1. Antall prøveflater fordelt på sesong for kalibreringsdatasett 1. Både permanente og temporære flater er med.

<i>Sesong</i>	<i>Antall</i>	<i>Prosent</i>
1995	333	14,5
1996	215	9,4
1997	555	24,2
1998	502	21,9
1999	691	30,1
Totalt	2296	100,0

Tabell 2. Antall prøveflater fordelt på fylker for kalibreringsdatasett 1. Både permanente og temporære flater er med.

<i>Fylke</i>	<i>Antall</i>	<i>Prosent</i>
Østfold	635	27,7
Akershus	572	24,9
Oslo	63	2,7
Hedmark	205	8,9
Oppland	201	8,8
Buskerud	316	13,8
Vestfold	107	4,7
Telemark	197	8,6
Totalt	2296	100,0

Tabell 3. Oversikt over dominerende treslag fordelt på hogstklasser i kalibreringsdatasett 1.

		HOGSTKLASSER					Totalt	
		1	2	3	4	5		
TRESLAG	0	N	72	0	0	0	0	72
		% innen	100,0%	,0%	,0%	,0%	,0%	100,0%
		TRESLAG	100,0%	,0%	,0%	,0%	,0%	3,1%
		% innen HKL	100,0%	,0%	,0%	,0%	,0%	3,1%
	Gran	N	0	273	298	227	266	1064
		% innen	,0%	25,7%	28,0%	21,3%	25,0%	100,0%
		TRESLAG	,0%	43,3%	53,5%	51,2%	44,8%	46,3%
		% innen HKL	,0%	43,3%	53,5%	51,2%	44,8%	46,3%
	Furu	N	0	167	214	157	308	846
		% innen	,0%	19,7%	25,3%	18,6%	36,4%	100,0%
		TRESLAG	,0%	19,7%	25,3%	18,6%	36,4%	100,0%
		% innen HKL	,0%	26,5%	38,4%	35,4%	51,9%	36,8%
	Lauv	N	0	190	45	59	20	314
		% innen	,0%	60,5%	14,3%	18,8%	6,4%	100,0%
		TRESLAG	,0%	60,5%	14,3%	18,8%	6,4%	100,0%
		% innen HKL	,0%	30,2%	8,1%	13,3%	3,4%	13,7%
Totalt		N	72	630	557	443	594	2296
		% innen	3,1%	27,4%	24,3%	19,3%	25,9%	100,0%
		TRESLAG	3,1%	27,4%	24,3%	19,3%	25,9%	100,0%
		% innen HKL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell 4. Oversikt over dominerende treslag fordelt på bonitetsklasser i kalibreringsdatasett 1. Bonitetsklassene kodet som 12, 13, 14, 15 tilsvarer lav, middels, høy, og særs høy bonitet.

			BONITETSKLASSER				Totalt
			Lav	Middels	Høy	Særs høy	
TRESLAG	0	N	10	27	28	7	72
		% innen TRESLAG	13,9%	37,5%	38,9%	9,7%	100,0%
	Gran	BONITET	1,9%	2,4%	4,7%	10,3%	3,1%
		N	106	523	380	55	1064
	Furu	% innen TRESLAG	10,0%	49,2%	35,7%	5,2%	100,0%
		% innen BONITET	20,2%	47,0%	64,3%	80,9%	46,3%
	Lauv	N	359	409	78	0	846
		% innen TRESLAG	42,4%	48,3%	9,2%	,0%	100,0%
	Totalt	% innen BONITET	68,5%	36,7%	13,2%	,0%	36,8%
		N	49	154	105	6	314
		% innen TRESLAG	15,6%	49,0%	33,4%	1,9%	100,0%
		% innen BONITET	9,4%	13,8%	17,8%	8,8%	13,7%
		N	524	1113	591	68	2296
		% innen TRESLAG	22,8%	48,5%	25,7%	3,0%	100,0%
		% innen BONITET	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell 5. Andel flater fordelt på dominerende treslag og avstand til bestandskant (FBK).

			FBK		Totalt
			kant < 20 meter	kant > 20 meter	
TRESLAG	Ingen trær	N	36	18	54
		% innen TRESLAG	66,7%	33,3%	100,0%
	Grandominert	N	355	423	778
		% innen TRESLAG	45,6%	54,4%	100,0%
	Furudominert	N	221	323	544
		% innen TRESLAG	40,6%	59,4%	100,0%
	Lauvdominert	N	149	93	242
		% innen TRESLAG	61,6%	38,4%	100,0%
Totalt		N	761	857	1618
		% innen TRESLAG	47,0%	53,0%	100,0%

For å kunne teste i hvor stor grad fordelingen av treslag i kalibreringsdatasettet påvirker resultatene fra MSFI ble det laget datasett hvor antall flater ble justert slik at det var like mange flater med gran-, furu-, og lauvtdominans. Det framgår av Tabell 3 at det var 314 flater med lauvdominans mot 846 med furudominans og 1064 med grandominans. Etter at flater som lå utenfor satellittbildet, under skyer, eller flater med unormale bildeverdier var

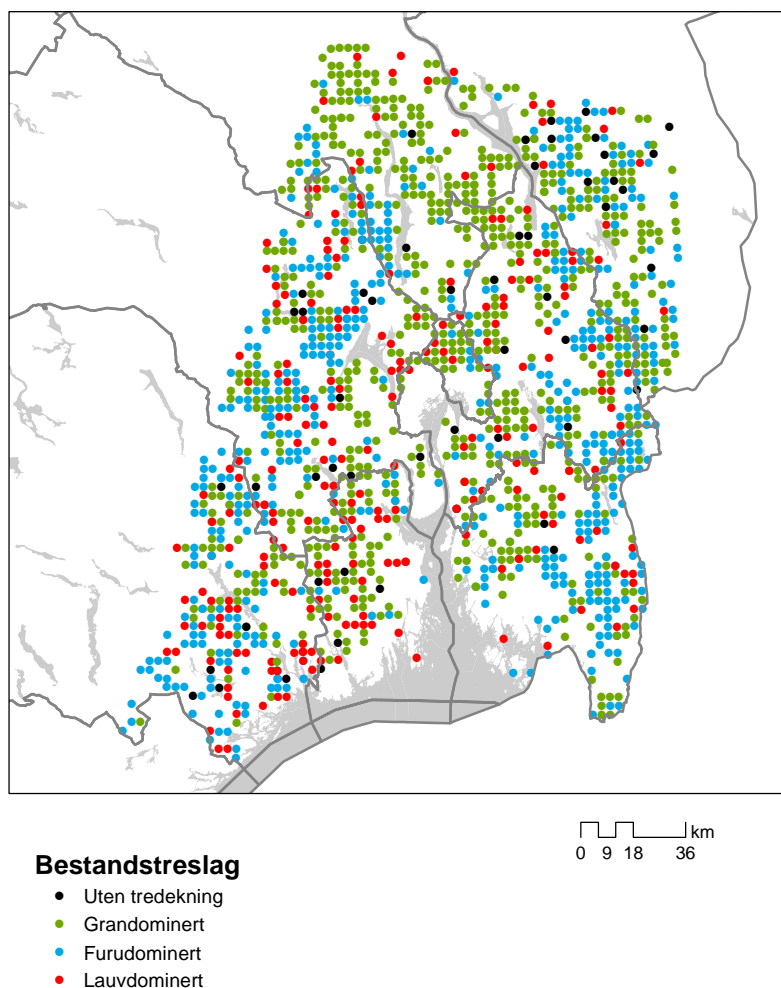
blitt fjernet fra datasettet, ble antallet flater med gran- og furudominans redusert til samme antall som lauvtrede flater. Utvalget av gran- og furuflatene som ble fjernet var tilfeldig.

Kalibreringsdatasett som ble brukt framgår i Tabell 6. Kalibreringsdatasett 1 og 2 har med temporære flater i tillegg til permanente, mens kalibreringsdatasett 3 kun har med permanente flater.

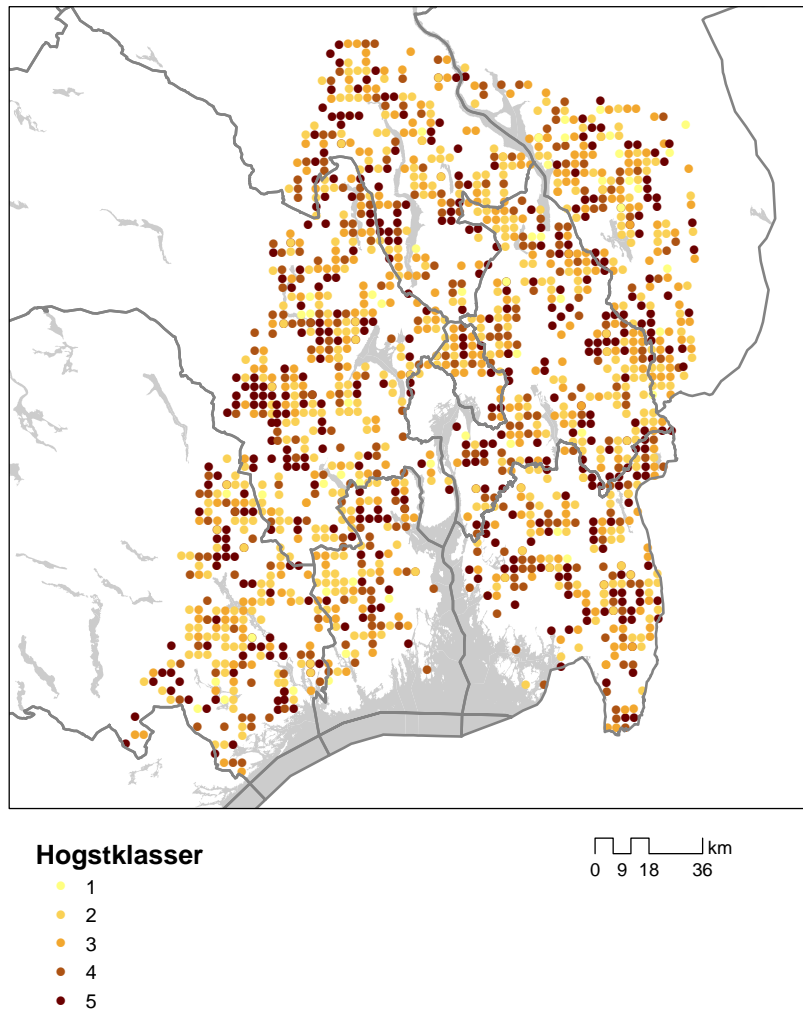
Tabell 6. Kalibreringsdatasett. Datasett med prøveflater fra Landsskogtakseringen brukt i MSFI-kjøringer og fordeling på dominerende treslag. (For delte flater er treslag for del 1 brukt.)

Kalibrerings-datasett	Beskrivelse	Gran		Furu		Lauv		Sum	
		N	%	N	%	N	%	N	%
Kalibdata 1	Alle flater	1075	48	848	38	320	14	2243	100
Kalibdata 2	Alle typer flater, likt antall gran, furu, lauv	313	33	318	33	330	34	961	100
Kalibdata 3	Permanente flater	750	50	520	35	225	15	1495	100

I Figur 2 og Figur 3 vises kart over treslag og hogstklasser for prøveflatene i kalibreringsdatasett 3. Vi ser av Figur 2 hvordan treslagene gran og furu er klumpvis fordelt i landskapet. Lauv opptrer mer sporadisk og sjelden i større klumper. For hogstklasser er fordelingen mer jevn. Vi ser at det er kun to prøveflater i Østfold i hogstklasse 1.



Figur 2. Bestandstreslag på prøveflatene i kalibreringsdatasett 3.



Figur 3. Hogstklasser på prøveflatene i kalibreringsdatasett 3.

Kartdata

Digitalt Markslagskart (DMK) ble brukt for å lage ei skogmaske som definerer området med produktiv skog i Østfold. Alle arealer med skog som ikke er impediment ble reklassifisert til verdien 255 og alle andre til verdien 0. Skogmasken ble rastret og består av 2.697.525 rasterelementer som tilsvarer 30x30 m i terrenget og utgjør dermed et samlet areal på 242.777 ha. Til sammenligning opererer Landsskogtakseringen med et produktivt skogareal for Østfold på 234.000 ha, dvs. en forskjell på 8.777 ha eller 3,8%.

Et bonitetskart med 30x30 m rasterelementer ble også avledet fra DMK. Aktuell bonitet (ASKOG) ble rekodet til klassene lav, middels, og høy bonitet. Bonitet gir informasjon om vekstforhold som kan brukes for å skille mellom treslag. F.eks. ser en av Tabell 4 at furu dominerer over gran og lauv på lav bonitet.

En høydedatamodell eller terrengmodell (DTED) fra Statens kartverk ble brukt for å kunne avgrense søk etter prøveflater innen et gitt høydeintervall. Rasterstørrelsen var opprinnelig på 100x100 m, og en avledet terrengmodell med 30x30 m rasterelementer ble derfor avledet.

Bildedata

Et satellittscene tatt 30.7.1999 av Landsat 5 Thematic Mapper ble brukt for å knytte informasjon i prøveflatene til ikke-kartlagte områder. Thematic Mapper (TM) er en optisk sensor som måler reflektert lys i 6 bånd og emittert varmestråling fra jordas overflate i ett

bånd. De 7 kanalene dekker den synlige delen av spekteret med tre kanaler i hhv. det blå, grønne, og røde området (TM1,2,3); den infrarøde delen av spekteret med 3 kanaler i de nærinfrarøde og mellominfrarøde områdene (TM4,5,7), og en kanal i det termiske området (TM6), se Tabell 7. Bildeelementene eller pikslene tilsvarer et område på bakken på ca. 30x30 m, dvs. ca. 0,9 daa. Bildet ble ortofotokorrigert og georeferert til samme koordinatsystem (EUREF89, UTM32) som kartdataene. I tabellen vises statistikk for TM-kanalene. Det framgår at det er størst spredning (sdt.avvik) på verdiene i TM4 og TM5. I de andre kanalene er standardavviket lavt, og for kanalene i det synlige området ligger standardavviket mellom 2,3 – 3,7. Liten spredning i en kanal tyder på at kanalen ikke er så følsom for variasjonen i bildescenen, og dermed de kvaliteter og kvantiteter som skal kartlegges.

Tabell 7. Statistikk over bildedata fra Landsat 5 TM. Utvalget er pikslene over alle prøveflatene brukt som kalibreringsdatasett.

Kanal	μm	Område	N	Minimum	Maksimum	Middel	Std. avvik
TM 1	0,45 – 0,52	Blå	2296	44	124	52,04	3,468
TM 2	0,52 – 0,60	Grønn	2296	13	62	21,10	2,268
TM 3	0,63 – 0,69	Rød	2296	11	86	18,72	3,669
TM 4	0,76 – 0,90	Nærinfrarød	2296	6	129	60,28	15,786
TM 5	1,55 – 1,75	Midlere infrarød	2296	5	165	46,67	14,982
TM 6	10,4 – 12,5	Termisk infrarød	2296	114	148	125,48	3,409
TM 7	2,08 – 2,35	Midlere infrarød	2296	0	115	15,25	5,975

Metoder

MSFI

Multi-Source Forest Inventory (MSFI) er en metode for å estimere skogparametere basert på flere tilgjengelige datakilder. Den grunnleggende ideen til metoden er å utnytte billige og lett tilgjengelige datasett –surrogatdatasett – for å estimere og kartlegge skogparametere. En forutsetning for å bruke surrogatdata er at det er en statistisk sammenheng mellom disse og skogparametere som skal estimeres.

Som surrogatdata bruker MSFI følgende datasett:

- satellittbilder
- DMK-avledete kartdata som bonitetskart og skogmaske over produktiv skog
- terrengmodell eller høydedata

Landsskogtakseringens prøveflater ble brukt for å kalibrere satellittbildet til skogparametrene. Kalibreringen gjøres ved å knytte bildedata til prøveflatene fra de pikslene som prøveflatene ligger innenfor. Dermed etableres en sammenheng mellom skogdata som skal estimeres og bildedata som brukes for estimeringen.

Når surrogatdataene er tilrettelagt for MSFI, består rastelementene innenfor skogmaska av en datavektor med bildedata fra satellittbildet, bonitetsdata fra bonitetskartet, og høydedata. MSFI løper gjennom alle rastelementene i tur og orden og estimerer skogparametere basert på datavektoren og kalibreringsdatasettet. For et gitt rastelement som skal estimeres (estimeringselementet) kan kartdata brukes for å sile ut flater i kalibreringsdatasettet. Bonitet kan f.eks. brukes for å ta ut de kalibreringsflatene som ikke er i samme bonitet som estimeringselementet. Gjennom å sile ut prøveflater på denne måten dannes et søkesett som er

en delmengde av kalibreringsdatasettet. I tillegg til bruk av kartdata kan MSFI bruke geografisk avstand fra estimeringselementet til prøveflatene i utsilingen: Prøveflater som ligger mer enn en gitt avstand fra estimeringselementet kan siles ut. Etter utsilingsprosessen er søkesettet definert. En har nå et sett av prøveflater som har flere egenskaper til felles med estimeringselementet. De kan f.eks. ha samme bonitet, ligge i samme høydesone, og ligge innenfor en bestemt geografisk område. Fra et kalibreringsdatasettet med 2000 prøveflater kan søkesettet etter utsiling i et typisk tilfelle bestå av kun 500 flater. Et estimat for estimeringselementet skal gjøres på basis av disse gjenværende flatene. Billedataene brukes så for å finne de k flatene i søkesettet som ligner mest.

I MSFI brukes en estimeringsmetode som kalles kNN. kNN-metoden er en såkalt nærmeste-nabo metode hvor estimatene baseres på de k nærmeste flatene i bilderommet. Som et mål på nærhet bruker MSFI kvadratet av euklidisk distanse, $d_i^2 = \sum_{j=1}^L \delta_j (DN_{j,P} - DN_{j,i})^2$, hvor δ_j er vekt for kanal j , $DN_{j,i}$ er pikselverdien i kanal j for prøveflate i , $DN_{j,P}$ er pikselverdien i kanal j for estimeringselementet \mathbf{P} , L er antall kanaler i satellittbildet, og i løper gjennom alle prøveflatene i søkesettet. De k nærmeste flatene blir gitt en vekt som er omvendt proporsjonal med avstanden, $w_i = 1/d_i^2$. Vektene blir normalisert slik at summen av alle k vektene blir 1.

Metoden fungerer dermed i korte trekk slik:

For et gitt estimeringselement \mathbf{P} i skogmaska

- Sil ut alle kalibreringsflater som har en annen bonitet enn \mathbf{P}
- Sil ut alle kalibreringsflater som ligger x meter høyere eller lavere enn \mathbf{P}
- Sil ut alle kalibreringsflater som har en geografisk avstand på mer enn x km fra \mathbf{P}
- Bruk alle gjenværende kalibreringsflater, søkesettet, og finn de k flatene som ligger nærmest i bilderommet (naboskapet). Som mål på nærhet brukes euklidisk distanse.
- Beregn vekter for de nærmeste k prøveflatene (naboskapsflatene I_P)
- Normaliser vektene slik at summen blir 1
- Estimer skogparametere basert på naboskapsflatene med tilhørende vekter

MSFI kan lage rasterkart over enkeltparametere og estimere totalvekter for alle prøveflatene i kalibreringsdatasettet. For rasterkart blir hvert estimeringselement estimert med

$$\hat{y}_P = \sum_{i \in I_P} w_{P,i} \times y_i .$$

Totalvekten for en bestemt prøveflate er summen av alle vektene som

rasterelementene innenfor skogmaska har gitt flata. Totalvekta er en form for arealvekt, og arealet vekta tilsvarer er vektsum for flata multiplisert med arealet til et rasterelement. Siden vektene for et rasterelement normaliseres til 1, så vil den totale vektsummen til alle kalibreringsflatene bli lik antall rasterelementer i skogmaska. Totalvektene brukes for å estimere parameterverdier for hele området i skogmaska, f.eks. totalt volum gran:

$$\hat{y} = A_P \sum_{i=1}^n C_i \times y_i ,$$

der A_P er arealet til et rasterelement, n er antall prøveflater i

kalibreringsdatasettet, og C_i er totalvekta for prøveflate i .

Test av sammenheng mellom billedata og prøveflatedata

Sammenhengen mellom billedata og utvalgte skogparametere fra kalibreringsdatasettet ble studert og testet ved å plote verdier fra ulike TM-kanaler mot utvalgte skogparametere og ved å beregne den lineære korrelasjonskoeffisienten som et mål på lineær sammenheng.

Nøyaktighetsanalyse

Test av nøyaktighet til MSFI har blitt gjennomført på tre nivåer:

- rasternivå

- kommunenivå
- fylkesnivå

På rasternivå ble det undersøkt hvor nøyaktig resultatene er for rastelementer, på kommunenivå ble estimatene sammenlignet med resultatene fra en utvidet kontrolltakst i sammenheng med en områdetakst i 1998, og på fylkesnivå ble estimatene testet mot statistikk fra Landsskogningsringens resultater for Østfold.

For nominelle variabler vil en estimert verdi for et rastelement være enten riktig eller gal. Nøyaktigheten på rasternivå for slike variabler dokumenteres i en såkalt feilmatrix (se eksempel i Tabell 8). Ut fra feilmatrixa kan en lese hvor ofte klassen K1 har blitt til K1 på kartet. Summen av de diagonale elementene gir det totalt antall riktige prediksjoner eller estimater og global nøyaktighet beregnes i dette tilfellet som $(4+5+5)/22 = 14/22 = 64\%$. I tillegg til global nøyaktighet kan det beregnes nøyaktighet for hver enkelt kategori: f.eks. ser vi at for K3 så er 5 av totalt 10 tilfeller blitt estimert riktig, mens de resterende tilfellene har blitt feilklassifisert til K1 med 3 tilfeller og K2 med 2 tilfeller. I alt 5/10 eller 50% av K3 tilfellene ble riktig predikert. Dette er et mål på produsentens nøyaktighet. En bruker av et kart vil derimot ofte vite hvor ofte en gitt kategori på kartet er korrekt. Hvor ofte er rastelementene som er tilordnet kategorien K3 på kartet korrekt? Ved å leste langs radene i tabellen ser en at for K3 så er det i kartet totalt 6 rastelementer i denne kategorien. Vi ser videre at 5 er korrekt tilordnet, og det tilsvarer en treffprosent på 5/6 eller 83%. Vi har dermed to ulike mål på nøyaktigheten for kategoriene. Vi ser at K3 har fått et netto tap på 4: det er observert 10 tilfeller, men kun 6 tilfeller har blitt tilordnet kategorien. K3 har «mista» 3 tilfeller til K1 og 2 til K2, mens den kun har «fått» 1 tilfelle fra K1 og 0 fra K2.

Tabell 8. Feilmatrix. Kolonner angir observerte verdier og rader estimerte verdier.

	<i>K1</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>Sum</i>
<i>K1</i>	4	1	3	8
<i>K2</i>	1	5	2	8
<i>K3</i>	1	0	5	6
<i>Sum</i>	6	6	10	22

For kontinuerlige variabler, som måler fysiske størrelser, blir nøyaktigheten målt som et avvik fra sann verdi, $e = \hat{y} - y$. y representerer den sanne, men ukjente verdien og \hat{y} vårt estimat.

En vanlig feilteori er at en observert verdi består av to ledd: den sanne verdien og en tilfeldig feil $\hat{y} = y + e_t$. En slik antakelse er ofte ikke helt i samsvar med realitetene. Noe av feilen kan også skyldes systematisk feil, dvs. feil som påvirker alle målingene i samme retning (positiv eller negativ). For å reflektere dette deles feilkomponenten inn i to komponenter, tilfeldig feil og systematisk feil, og vi får dermed $\hat{y} = y + e_t + e_s$, hvor e_t er tilfeldig feil og e_s systematisk feil. Tilfeldig feil fører til større variasjon i de observerte verdiene. En viktig egenskap til tilfeldige feil er at de ikke har en ensartet virkning på hele utvalget: negative og positive feil forekommer like ofte og summen for hele utvalget er 0. Systematisk feil derimot har en ensartet virkning på hele utvalget og skyver alle målingene i en bestemt retning. Dette fører til enten overestimering eller underestimering. Systematiske feil kan ha mange årsaker. Ved f.eks. måling av lengder så kan en feil i kalibreringen av en målestav føre til systematisk for høye eller for lave verdier. Slike feil lar seg ikke korrigerer ved å gjenta målingene mange ganger (med samme målestav).

Middelfeilen uttrykkes matematisk som $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}$
 $= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e} + \bar{e})^2} = \sqrt{s_e^2 + \bar{e}^2}$. Det første leddet er feilvariansen og det andre leddet er feilmiddelet. Feilvariansen tilsvarer tilfeldig feil mens feilmiddelet tilsvarer systematisk feil.

For å kunne teste en modell så trengs et uavhengig testdatasett med kjente verdier som modellen skal predikere. Av praktiske grunner vil ofte et slikt uavhengig testdatasett ikke være tilgjengelig. I slike situasjoner vil kryssvalidering være en nyttig erstatning. I kryssvalidering blir hver *i*te observasjon estimert hvor observasjon *i* er utelatt og RMSE blir

$$\text{følgelig: } RMSE_{cv} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i^{-i} - y_i)^2}.$$

Tilfeldige feil kan reduseres gjennom å summere flere uavhengige målinger eller prediksjoner. Gitt flere uavhengige variabler X_1, X_2, \dots, X_n hvor alle har samme variasjon

σ^2 , så vil estimatoren $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ ha variasjonen σ^2 / n . Dvs. ved å kombinere flere

uavhengige målinger og ta et gjennomsnitt, så reduseres variasjonen i prediksjonen med en faktor n . Ved å la f.eks. fire observatører måle diameteren på det samme treet og så ta et aritmetisk gjennomsnitt av alle målingene, så kan en redusere den tilfeldige feilen med en faktor 2. Tilsvarende vil en kunne redusere feilen på en prediksjon av volum i et rasterelement ved å foreta flere uavhengige prediksjoner. I praksis vil det imidlertid være problematisk å få til flere uavhengige prediksjoner for en bestemt rasterelement. Hvis derimot verdier for et bestand skal predikeres og det fins mange rasterelementer innenfor bestandet kan en anta at en har flere uavhengige prediksjoner av bestandet. Ved å summere og ta et gjennomsnitt av alle prediksjonene vil en dermed kunne redusere den tilfeldige feilen. Imidlertid vil det alltid være en hvis autokorrelasjon mellom piksler i et bilde, slik at antakelsen om uavhengighet ikke vil være helt korrekt.

For å kunne teste hvor mye MSFI forbedrer estimatene ut over helt tilfeldig utplukk av prøveflater, har metoden blitt testet med to ulike grader av randomisering:

Siling av flater gjøres som normalt og deretter blir det trukket ut k tilfeldige prøveflater blant de gjenværende flatene i søkesettet. Metoden er en test på hvor mye bruk av satellittbilledata forbedrer prediksjonen.

Søkesettet er hele kalibreringsdatasettet, og det plukkes ut k prøveflater helt tilfeldig fra søkesettet. Metoden er en test på hvor mye MSFI-metoden forbedrer predikeringen utover en predikering basert på tilfeldig utplukk av flater.

For å undersøke i hvilken grad feilen kan reduseres på rasterelementnivå ved å kombinere flere uavhengige estimater ble det gjennomført fem estimater der lokaliseringen til pikslene over prøveflatene ble forskjøvet. For å få til dette ble følgende gjort:

- MSFI med normale koordinater for alle prøveflatene
- MSFI med x-koordinaten til prøveflatene addert med +15 meter
- MSFI med x-koordinaten til prøveflatene addert med -15 meter
- MSFI med y-koordinaten til prøveflatene addert med +15 meter
- MSFI med y-koordinaten til prøveflatene addert med -15 meter

Ved å forandre på koordinatene til prøveflatene ble flatene forskjøvet i forhold til pikslene og flatene fikk dermed nye tilordna pikselverdier. Siden prøveflatene ofte beskriver et område som bare delvis omfatter området innenfor et piksel, så vil en slik forskyvning kunne gi noen av flatene et mer representativt piksel. Ved å kombinere alle fem estimatene skal RMSE bli redusert dersom det meste av feilen er tilfeldig feil. I tillegg vil testen gi en indikasjon på hvor kritisk en mer presis GSP-lokalisering av prøveflatene er.

Resultater og analyse

Sammenheng mellom Landsat TM data og skogsparametere

Sammenhengen mellom bildedata og skogsparametere ble testet ved å beregne den lineære korrelasjonskoeffisienten r . I Tabell 9 vises korrelasjonen mellom kanalene TM2, TM4, og TM5 og noen sentrale skogsparametere. Datasettet ble delt i to ulike deler hvor avstand til bestandskant (FBK) var enten over eller under 20 m (se Tabell 5). Det framgår at korrelasjonen er størst når avstand til bestandskanten er over 20 m. Ett unntak er for volum lauv der korrelasjonen er lavere for datasettet med > 20 m til bestandskant. Lavest korrelasjonsverdier finner vi for TM2 (grønt lys) og høyest for TM4 (nærinfrarødt lys). Skogsparametere med høyest korrelasjon med TM-kanalene var alder, middelhøyde (MH), utviklingstrinn (HKLE), og volum uten bark pr. hektar (VUPRHA). I HKLE er hogstklassene gruppert i 3 klasser hvor 2 og 3, og 4 og 5 er slått sammen og 1 er alene. Alle skogsparametrene har en eller flere tilfeller av r med absoluttverdi over 0,4. Ved å kvadrere tallverdien for r finner en hvor stor andel av variasjonen i en parameter som kan forklares av den lineære sammenhengen. Fra tabellen ser vi at korrelasjonen mellom alder og TM4 for datasettet med FBK = 2 er $-0,556$. Det betyr at ca. 31% av variasjonen i alder kan forklares som en lineær funksjon av TM4. TM2, 4, og 5 var de beste kanalene fra hhv. den synlige delen av spekteret, nærinfrarøde delen av spekteret, og den mellominfrarøde delen av spekteret. TM6 ga svært lave korrelasjoner, de fleste ikke signifikant forskjellig fra 0.

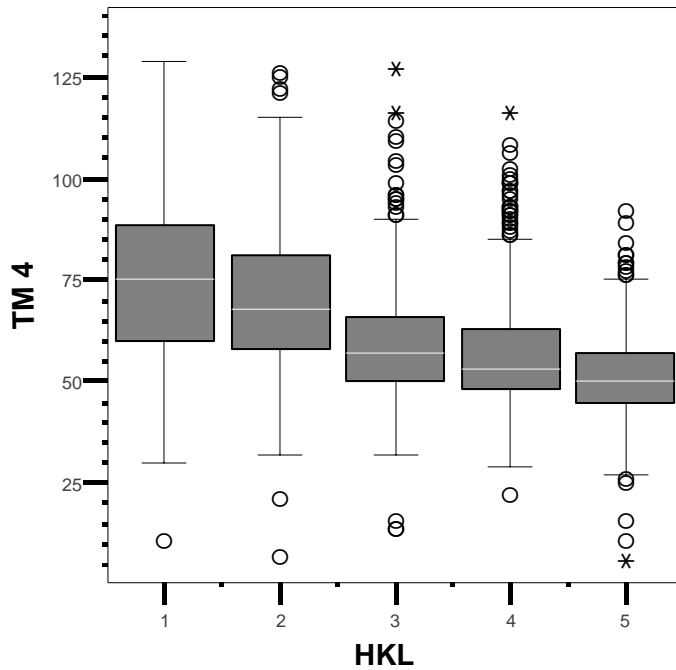
Tabell 9. Lineær korrelasjon mellom TM-kanaler og bestandsdata. N=761 og 857 for FBK 1 og 2.

FBK	TM2		TM4		TM5	
	1	2	1	2	1	2
ALDER	-0,170	-0,329	-0,313	-0,556	-0,198	-0,389
HKLE	-0,135	-0,293	-0,213	-0,472	-0,155	-0,304
MH	-0,110	-0,432	-0,129	-0,533	-0,134	-0,462
VUPRHA	-0,030	-0,438	-0,092	-0,442	-0,141	-0,483
VUPRHAG	-0,141	-0,336	-0,135	-0,322	-0,193	-0,362
VUPRHAF	-0,089	-0,146	-0,162	0,344	-0,108	-0,183
VUPRHAL	0,203	-0,116	0,287	0,053	0,229	-0,059
TRPRHA	-0,032	-0,358	0,062	-0,163	-0,058	-0,329

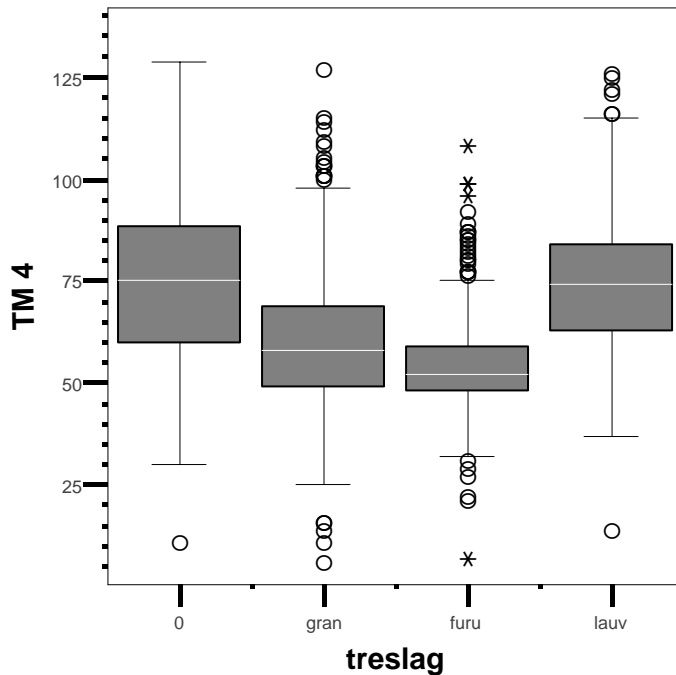
I Figur 4 og Figur 5 er hogstklasser og treslagsklasser plottet mot TM4. Vi ser at verdier for TM4 er avtagende med hogstklassene, og at det samtidig er overlapp mellom klassene. Nedre og øvre grenser for boksene er hhv. 25 og 75% percentilene. Den horisontale linja i boksene markerer medianverdien. Sirkler og stjerner utenfor boksenes armer viser uteliggere og ekstreme verdier. For treslag ser vi at lauv har høyere verdier enn gran og furu; samtidig har flater uten trær (hogstflater) stor spredning og noe høyere en lauvklassen. Furu har liten spredning i forhold til gran og lauv.

I de neste tre figurene (Figur 6, Figur 7, og Figur 8) vises plott av hogstklasse mot TM4 for de tre treslagene gran, furu, og lauv. Vi ser igjen at det er overlapp mellom hogstklassene. For gran er det en jevnt avtakende tendens med hogstklassene. For furu er det en tydelig forskjell mellom hogstklasse 2 og de andre hogstklassene. Hogstklasse 3 og 4 er svært like, mens hogstklasse 5 har noe lavere verdier. Spredningen er forholdsvis lav innen de ulike

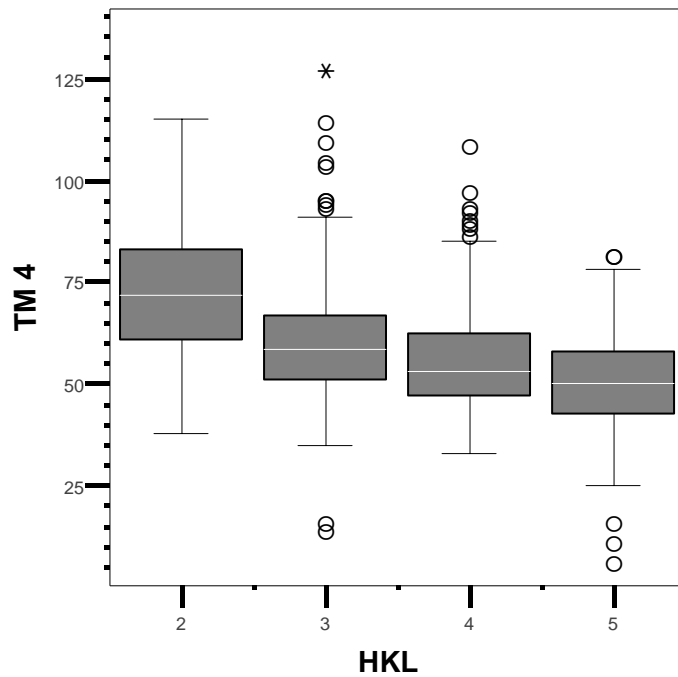
hogstklassene. Lauv har høy spredning innen alle hogstklassene, og det er liten forskjell mellom hogstklasser.



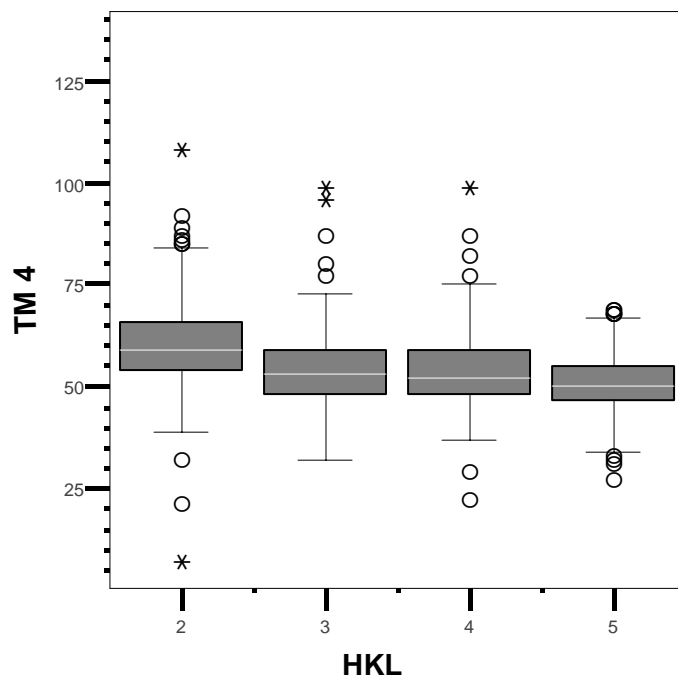
Figur 4. Spredning i TM4 innenfor de ulike hogstklassene i TM4. Boksene viser 50% av alle observasjonen og horisontal strek i boksene medianverdiene.



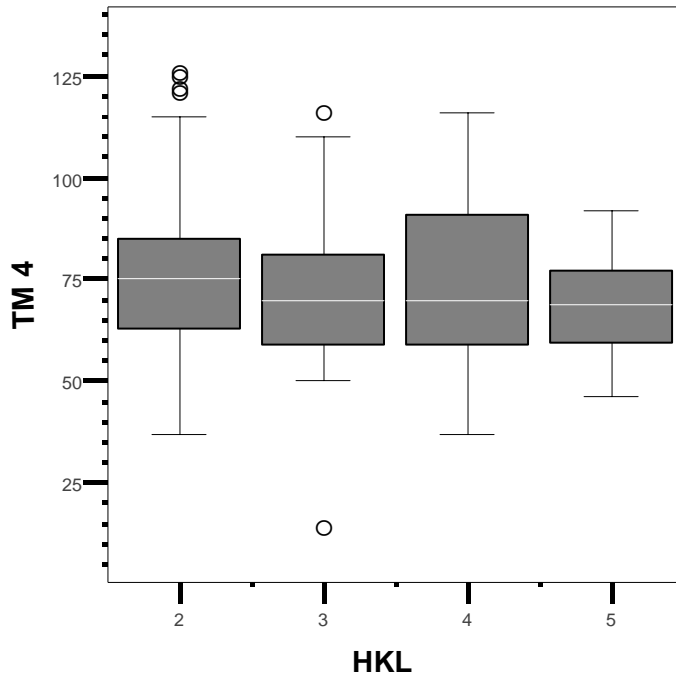
Figur 5. Spredningen i TM4 innefor de ulike treslagsklassene. Lauvdominerte flater har høye verdier i forhold til gran- og furudominerte flater. Furu har mindre spredning enn lauv og gran.



Figur 6. Spredning i TM4 innen hogstklasser for grandominerte flater. N = 1064.

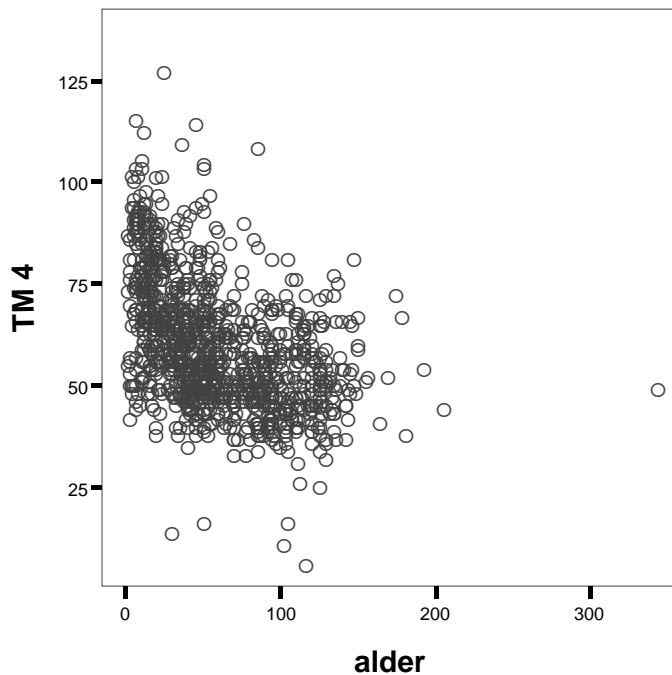


Figur 7. Spredning i TM4 innen hogstklasser for furudominerte flater. N = 846.

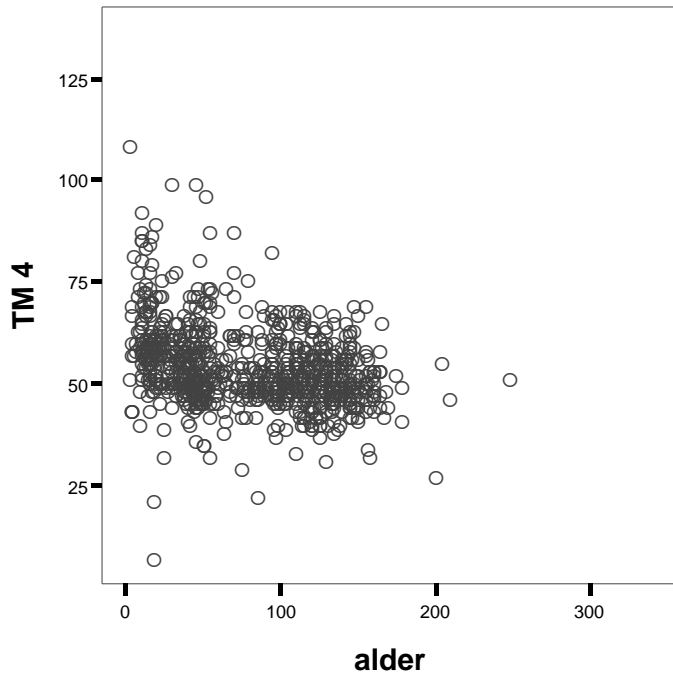


Figur 8. Spredning i TM4 innen hogstklasser for lauvdominerte flater. N = 314.

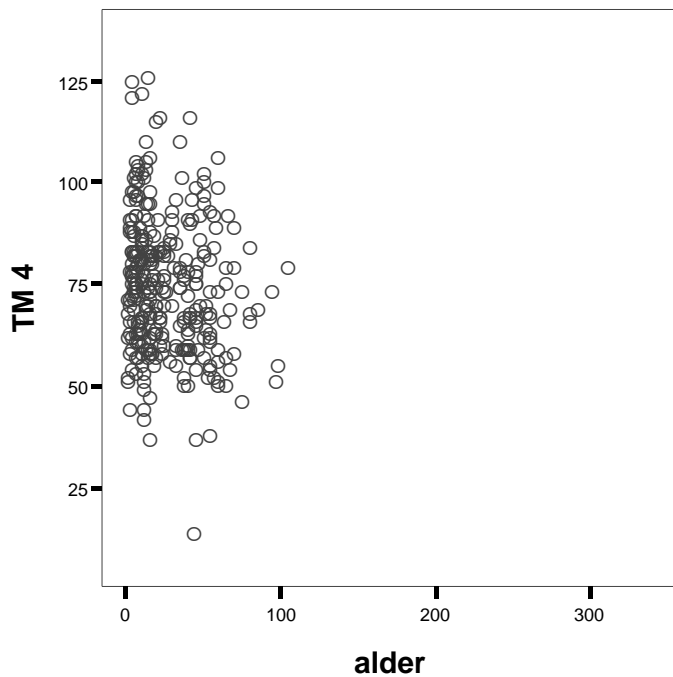
I de tre neste tre figurene (Figur 10, Figur 11, Figur 12) er alder for hhv. gran, furu, og lauv plottet mot TM4. Vi ser klarest sammenheng mellom gran og alder ($r = -0,45$), der verdiene i TM4 avtar med alder. For furu er det kun en svak sammenheng ($r = -0,33$) med noe avtakende verdier, og for lauv er det ingen synlig sammenheng ($r = -0,18$).



Figur 9. Alder plottet mot TM4 for alle grandominerte prøveflatene. N = 1064. $r = -0,45$.

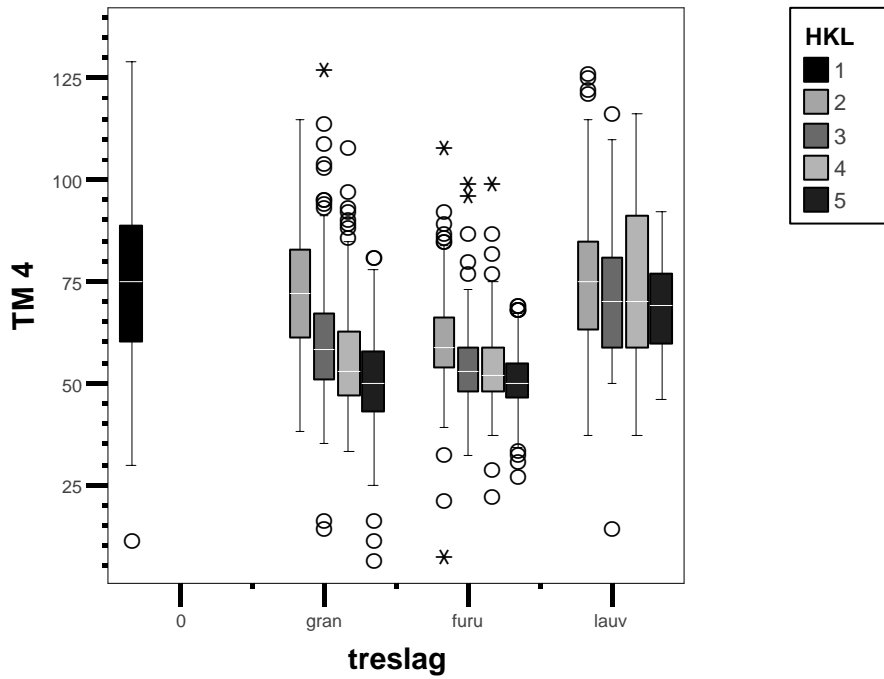


Figur 10. Alder plottet mot TM4 for alle furudominerte prøveflatene. N = 846. $r = -0.33$.

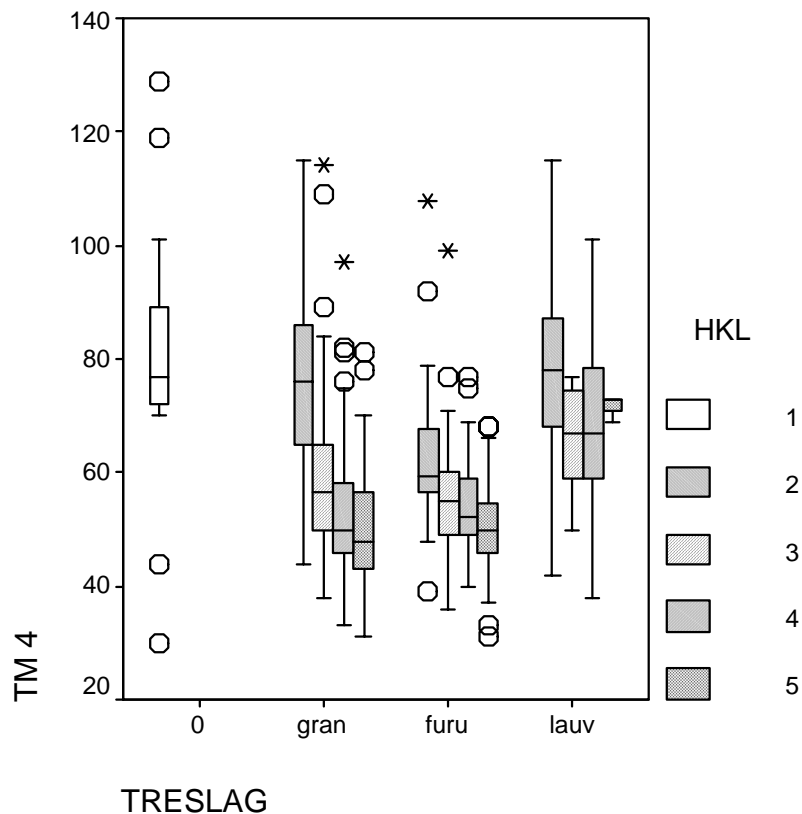


Figur 11. Alder plottet mot TM4 for alle lauvdominerte prøveflatene. N = 314. $r = -0.18$.

I Figur 12 og Figur 13 er treslag gruppert i hogstklasser plottet mot TM4. I figurene kan treslag i de ulike hogstklassene sammenlignes. I den første figuren er alle prøveflater tatt med, mens det i den andre kun er prøveflater > 20 m til bestandskant. Vi ser at for hogstklasse 2 har gran og lauv svært like verdier, mens furu har lavere verdier. Hogstklasse 2 skiller seg noe mer ut fra de andre hogstklassene når avstand til bestandskant er større enn 20 m (se Figur 13); særlig er dette tydelig for gran og lauv.



Figur 12. Spredning i TM4 for treslag og hogstklasser. N = 2296, derav 1064 grandominerte flater, 846 furudominerte og 314 lauvdominerte. Flater med treslag 0 er hogstflater (hogstklasse 1).



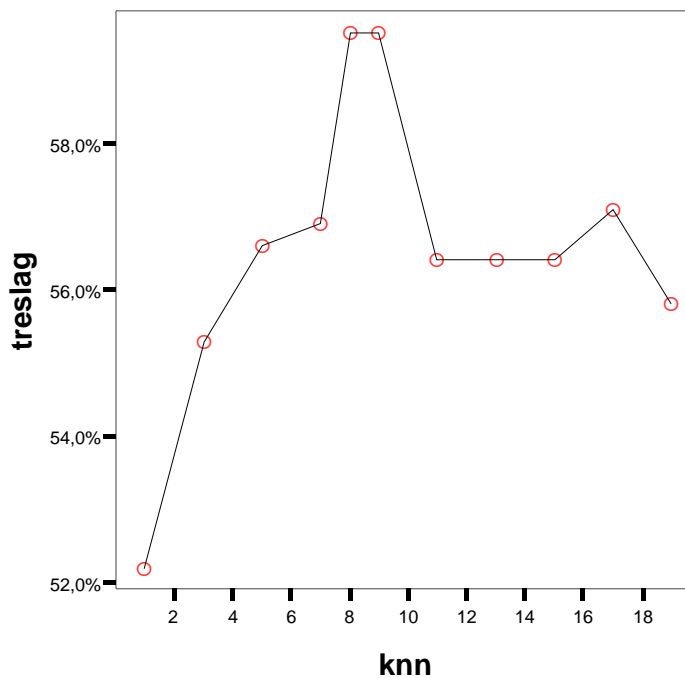
Figur 13. Spredning i TM4 for treslag og hogstklasser. Utvalg der alle flater har > 20 meter til bestandskant. N = 855, derav 423 grandominerte flater, 322 furudominerte, 92 lauvdominerte og 18 i treklasse 0. Flater med treslag 0 er hogstflater (hogstklasse 1).

Kryssvalidering av MSFI

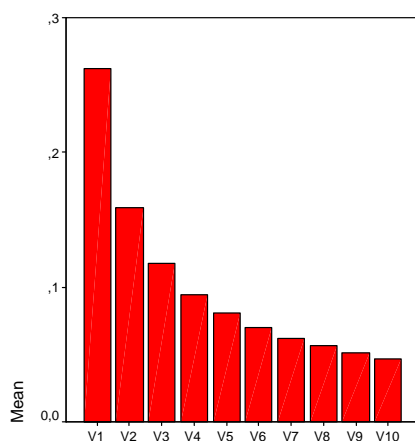
Test av optimalt antall nærmeste naboer k

Antall nærmeste naboer en viktig parameter for MSFI. Hvor stor k skal være må bestemmes empirisk og kan gjøres ved å foreta flere testkjøringer av MSFI-programmet der k endres suksessivt fra 1 og oppover. I Figur 14 framgår hvordan treffprosenten for treslag endret seg med k . Når k var i intervallet 8–10 ble størst treffprosent oppnådd. Treffprosenten er markant lav når $k = 1$ og den stiger raskt når k øker til 8. Når k er større enn 10 så avtar treffprosenten langsomt.

I Figur 15 vises hvordan vektene avtar i gjennomsnitt for $k = 10$ naboer. En ser at nærmeste nabo har stor vekt i forhold til de andre naboene og at vektene avtar gradvis.



Figur 14. Treffprosent for treslag (global nøyaktighet) mot antall flater som er brukt i estimeringen. Figuren viser at rundt 8 flater (nærmeste naboer) gir best resultat for treslag.



Figur 15. Middelerdien for 10 vekter. Ser at nærmeste flate har relativt stor vekt.

Test av optimal kanalkombinasjoner

Ulike kombinasjoner og vektninger av TM-kanalene ble utprøvd. Først ble en og en TM-kanal brukt som bildedata alene. Deretter ble det brukt kombinasjoner av flere kanaler. Det ble også

forsøkt med ulike vektorer på kanalene. Dårligst resultater ble oppnådd ved å bruke de synlige kanalene (TM1, TM2, TM3) og termisk kanal (TM6) alene. De infrarøde kanalene TM4 og TM5 ga best resultater når de ble brukt alene. Ved bruk av tre kanaler var flere kombinasjoner omtrent like gode: TM1, 4, 5; TM2, 4, 5; TM3, 4, 5; og TM4, 5, 7. Best resultat ble imidlertid oppnådd ved å bruke alle kanalene og med følgende kanalvektorer: 1, 1, 1, 2, 2, 1, 1 for hhv. TM1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Denne kombinasjonen ble dermed valgt.

Test med ulike metoder for valg av naboskap

For å teste i hvor stor grad bruk av satellittbilledata og MSFI-metoden som helhet forbedrer prediksjonen utover en rent tilfeldig metode, ble seks ulike kjøringar av MSFI-programmet med kalibreringsdatasett 3 utført:

1. MSFI med bruk av bonitet for å definere et søkesett og bruk av billedata for å finne de k nærmeste flatene (naboskapet)
2. MSFI uten bruk av bonitet for å definere et søkesett og bruk av billedata for å finne de k nærmeste flatene (naboskapet)
3. MSFI med bruk av bonitet for å definere et søkesett og tilfeldig utplukk av k flater som naboskap
4. MSFI uten bruk av bonitet for å definere et søkesett og tilfeldig utplukk av k flater som naboskap
5. Tilfeldig utplukk av k flater fra hele kalibreringsdatasettet med $k = 8$
6. Tilfeldig utplukk av k flater fra hele kalibreringsdatasettet med $k = 1$

I Tabell 10 vises resultatene for noen sentrale skogparametere. Treffprosentene som er oppgitt gjelder for produsentens nøyaktighet. For treslag ser vi at høyest treffprosent oppnås med kjøring nr. 1. Det framgår at bruk av bonitet i silingen av flater forbedrer treffprosenten for treslag. Alder og volum (VUPRHA) ble også noe forbedret, mens middelhøyde (MH) ikke ble forbedret. Vi ser at kjøringar med tilfeldig utplukk har overveiende dårligere treffprosent og RMSE. Med bruk av $k = 1$ og tilfeldig utplukk fra hele kalibreringsdatasett 3 (kjøring nr. 6) får en et resultat som gjenspeiler fordelingen i materialet. I Tabell 6 vises fordelingen mellom treslagsklasser i kalibreringsdatasett 3, og vi ser at treffprosenten for gran, furu, og lauv er svært nær deres andeler i datasettet. Gran får høyest treffprosent i kjøring 3 med en økning i treffprosent fra 75,3% i kjøring 1 til 79,6% i kjøring 3; derimot er treffprosenten for lauv gått ned fra 32,9% til 8,4%.

Når utplukket gjøres helt tilfeldig vil treffprosenten for treslagene være fullstendig styrt av fordelingen i kalibreringsdatasettet. Bruk av billedata skal gjøre utplukket mindre tilfeldig, og brukt av billedata gjorde treffprosenten for lauv høyere, men lauv har fortsatt mye lavere treffprosent enn gran og furu. En forklaring ligger i fordelingen mellom antall gran-, furu-, og lauvdominerte flater i kalibreringsdatasettet, en annen i graden av overlapp mellom klassene i bildekanalene: I kalibreringsdatasett 3 er fordelingen hhv. 50%, 35%, 15% mellom gran, furu, og lauv. I Figur 12 og Figur 13 ser vi at gran overlapper i stor grad med lauv. Siden det er så mange flere grandominerte flater, så vil sjansen for at et naboskap til en lauvflate skal inneholde et flertall grandominerte flater være relativt stor.

Tabell 10. Nøyaktighetsstatistikk. Kalibreringsdatasett 3 ble brukt.

<i>Kjøring</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>		
<i>kNN</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>1</i>	<i>Statistikk</i>	<i>Enhet</i>
Treslag	63,1	57,3	58,3	46,5	43,8	37,7	Treff	%
Gran	75,3	68,5	79,6	68,8	65,1	50,9	Treff	%
Furu	64,2	58,3	54,6	36,2	34,4	31,7	Treff	%
Lauv	32,9	28,0	8,4	6,7	4,0	15,1	Treff	%
Alder	39,1	41,1	42,9	47,4	47,4	64,2	RMSE	år
<i>MH</i>	64,5	64,5	69,5	71,7	70,5	92,8	RMSE	dm
<i>VUPRHA</i>	92,2	97,5	97,4	105,3	106,3	135,9	RMSE	m ³

Test med ulike kalibreringsdatasett

Gran- og furudominerte flater har fått større treff enn lauvdominerte flater. Det ble først spekulert på om dette skyldes at lauvskogen i større grad opptrer som kantsoner langs vassdrag og mot åpne arealtyper. Dette ville medføre at ei flate med flatesentrum i et lauvskogbestand i stor grad er representert med blandingspikslar. En stor del av arealet i pikselen vil da være dekket av andre skogtyper, spesielt granskog. Statistikk i Tabell 5 bekrefter at lauvskogdominerte flater har størst andel flater nær kantsoner, og lauvdominerte flater vil dermed i større grad enn gran- og furuflater være representert med blandingspikslar. Blandingspikslar reduserer den spektrale forskjellen i bildedataene mellom de ulike treslagsklassene. Et rent lauvskogbestand, som er representert med en blandingspiksel, vil kunne ligne mye på et granbestand med innslag av lauvtrær.

I Figur 5 så vi at lauvdominerte flater har gjennomgående høyere verdier i TM4 enn gran- og furudominerte flater og skiller seg bedre ut. Dette burde bety at nøyaktigheten for lauv skulle bli bedre enn for gran og furu. Når dette likevel ikke er tilfellet kan forklaringen ligge i kalibreringsdatasettet. For å teste effekten av en skjev fordeling i kalibreringsmaterialet mellom treslagstypene, ble det laget et kalibreringsdatasett der antallet gran-, furu-, og lauvdominerte flater var likt.

I Tabell 6 vises statistikk for kalibreringsdatasettene som ble brukt, og i Tabell 11 er resultatene fra 8 ulike kjøringar presentert. Vi ser at når antallet flater er balansert (kalibreringsdatasett 2) så øker treffprosenten for lauv fra 30% til 61%, dvs. samme nivå som for gran og furu. Samtidig ser vi at treffprosenten for furu holder seg stabil rundt 65%, mens treffprosenten for gran går ned fra 73% til 51%. Hadde vi brukt et kalibreringsdatasett hvor alle flatene var lauvdominerte ville det gitt 100% treff i estimatene for lauvdominerte flater. Tilsvarende gjelder for andre treslag, og eksemplet demonstrerer hvorfor gran har fått så høy treff med kalibreringsdatasettene 1 og 3 (se Tabell 6) der ca. 50% av flatene er grandominerte.

Vi ser av Figur 12 at gran overlapper mer med lauv enn det furu gjør, og det er særlig gran i hogstklasse 2 som har stort overlapp. Samtidig ser vi at gran også har større overlapp med furu enn det lauv har. I tillegg har furu mindre spredning enn gran og lauv. Det betyr at furuflater i gjennomsnitt vil ligge nærmere hverandre i bilderommet enn gran og lauvflater vil.

Når kNN brukes som estimeringsalgoritme, så vil både hvor godt flatene ligger samlet i bilderommet og det relative antallet ha betydning for resultatet for en klasse. Når antall granflater ble redusert og gjort likt antall lauv- og furuflater, så økte antall feilestimer av gran til lauv fra 7% til 26% (se feilmatiser for treslag i appendiks). I Tabell 12 vises feilmatisa fra kryssvalideringa der MSFI ble kjørt med kalibreringsdatasett 2 og siling med bonitet. Av matrisa kan vi se at gran oftere forveksles med lauv enn det furu gjør: 82 (26%) tilfeller mot 40 (13%). Gran får dårligst treffprosent med et balansert kalibreringsdatasett

fordi gran overlapper mye med både lauv og furu, samtidig som lauv og furu ikke overlapper så mye med hverandre.

Tabell 11. Nøyaktighet for ulike MSFI-kjøringer.

		Treslag	Gran	Furu	Lauv	Alder	Vol.	MH
Kalibrerings-datasett		treff	treff	treff	treff	rmse	rmse	rmse
	Siling	%	%	%	%	år	m ³	dm
1	Med bonitet	63,0	73,3	67,9	28,7	37,9	93,0	64,7
1	Uten bonitet	57,9	66,1	62,4	30,9	40,2	98,7	65,3
2	Med bonitet	54,8	50,5	64,8	60,9	37,4	89,6	70,1
2	Uten bonitet	53,9	48,9	63,5	60,6	38,5	94,9	69,8
3	Med bonitet	63,6	75,7	65,2	32,9	38,6	90,8	64,2
3	Uten bonitet	58,0	68,1	60,2	29,8	40,2	97,2	64,1

Tabell 12. Feilmatrix for treslag. Kjøring av MSFI med bruk av bonitetskart og med kalibreringsdatasett 2. Kolonnene representerer feltobserverte verdier mens radene representerer estimerte verdier.

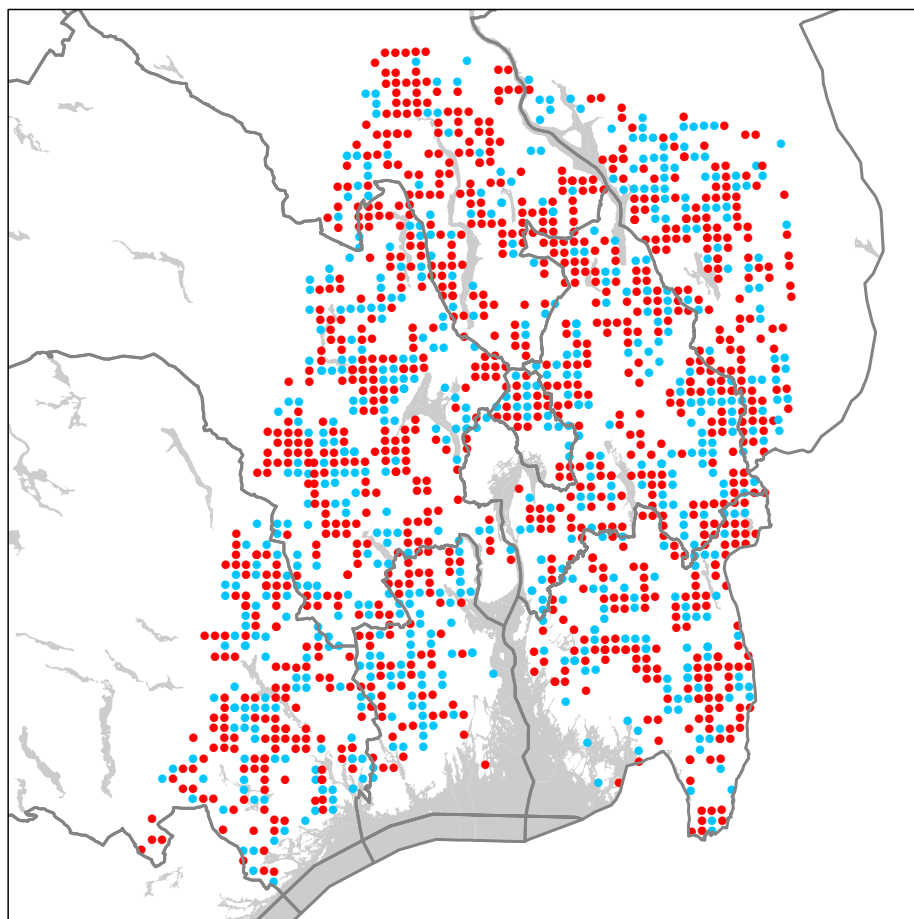
Klasse	0	Gran	Furu	Lauv	Total	Treff %
0	4	2	0	7	13	30,8
Gran	21	158	72	68	319	49,5
Furu	12	71	206	54	343	60,1
Lauv	40	82	40	201	363	55,4
Total	77	313	318	330	1038	
Treff %	5,2	50,5	64,8	60,9		54,8

Av Tabell 11 ser vi at bruk av bonitetsmaske i utsiling av flater øker treffsikkerhet på treslag. I lav bonitet dominerer furuflater med hele 69% av flatene (Tabell 4), og ved siling på bonitet vil det for et estimeringssegment i lav bonitet være 20% grandominerte, hele 69% furudominerte, og kun 9% lauvdominerte flater å velge blant. Sjansen for å plukke ut et flertall av flater med furudominans er dermed relativt høy. Når bonitet ikke brukes for å sile ser en av Tabell 11 at særlig gran- og furudominerte flater får færre treff. Av Figur 5 og Figur 12 ser vi at det er større overlapp i TM4 mellom gran og furu enn mellom disse og lauv. Når bonitet ikke blir brukt vil derfor feilklassifisering mellom gran og furu øke mest.

I Figur 16 vises et kart med resultat fra kryssvalideringen av treslag. Prøveflatene er kodet med «feil» og «riktig» ettersom flata ble riktig estimert eller ikke. Tabell 13 viser statistikk over andel treff fordelt på parameteren «Avstand til bestandskant», dvs. om avstanden er under eller over 20 m. Vi ser at det ikke er stor forskjell i treffprosent med 61,1 % for avstand kant < 20 m mot 63,4% for avstand kant > 20 m.

Tabell 13. Statistikk over andel treff fordelt på avstand til bestandskant.

	Kant < 20 meter		Kant > 20 meter		Totalt	
	N	Kol %	N	Kol %	N	Kol %
Feil	268	38,9%	313	36,6%	581	37,6%
Riktig	421	61,1%	543	63,4%	964	62,4%
Totalt	689	100,0%	856	100,0%	1545	100,0%



Treff riktig treslag

- Feil
- Riktig

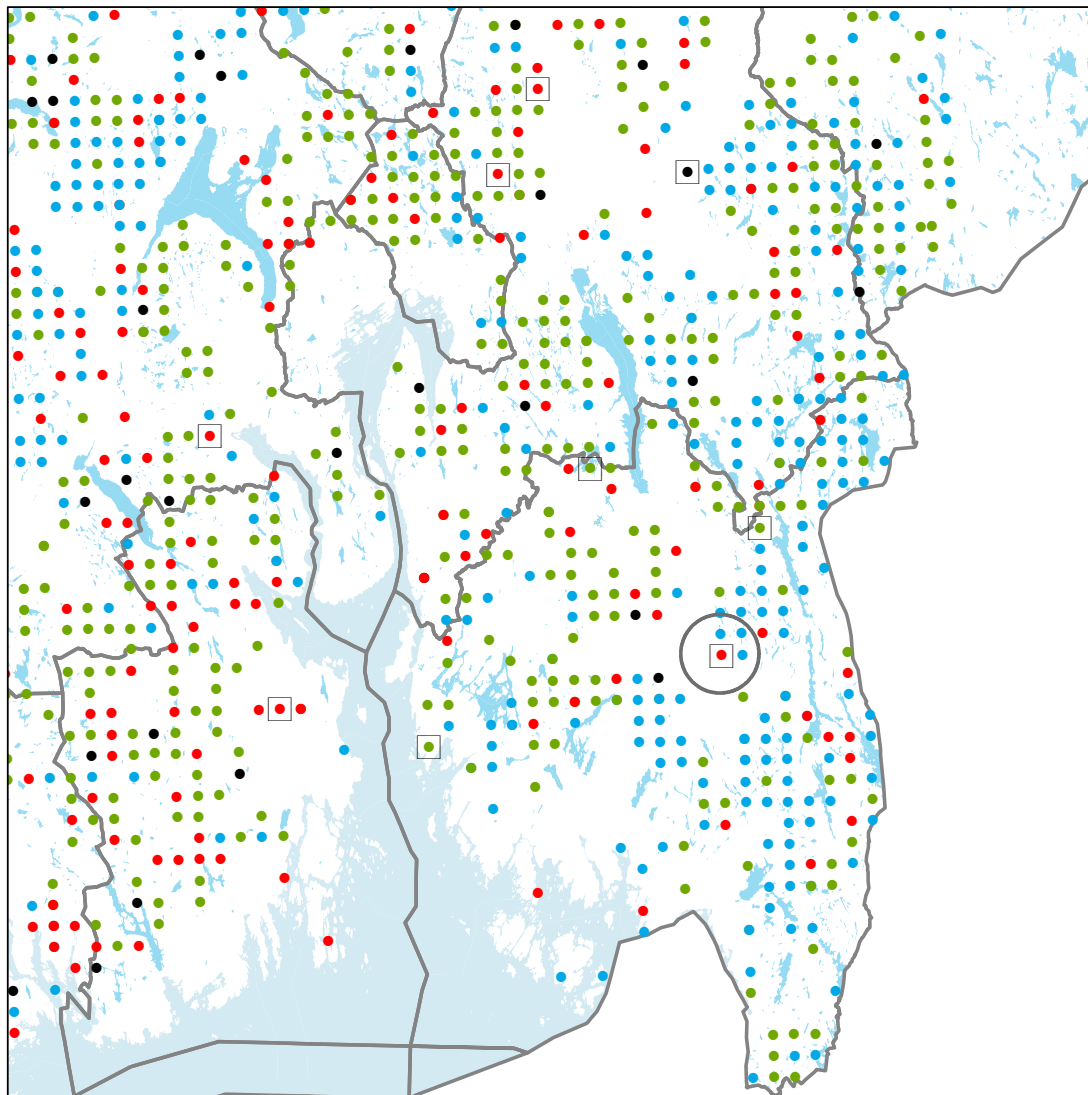
0 9 18 36 km

Figur 16. Resultat fra kryssvalidering for treslag. Treslagene var inndelt i grandominert, furudominert, og lauvdominert. Treff angir om flata ble riktig estimert eller ikke.

Analyse av en prøveflate og dens naboskap – et eksempel

I Figur 17 vises et eksempel på ei prøveflate og hvilke 8 prøveflater som ble plukket ut som dens naboskap. Det er tegnet en ring rundt flata som skal kryssvalideres og kvadrater rundt alle flatene i naboskapet. I naboskapet er 4 flater lauvdominert, 3 grandominert, og en med treslag 0, dvs. flate i hogstklasse 1. Alle 3 naboflater i Østfold er grandominerte, dvs. i feil treslagsklasse. De 4 lauvflatene er funnet i Vestfold (1), Buskerud (1), og Akershus (2). I Figur 18 har flata (ID 13071081) blitt plottet sammen med alle naboflatene i bildekanalene TM4 og 5. Vi ser at det er ei granflate som ligger nærmest, så hvis k ble satt til 1, ville estimatet blitt gran. I Figur 19 har alle prøveflatene blitt plottet. Her ser vi at det er mange granflater som ligger nærme. Flere av disse har blitt silt bort og ble dermed ikke med i søkesettet. Hvis siling ikke hadde blitt gjort, så ville flata blitt tilordnet klassen grandominert med de fleste valg av k . En sirkel sentrert over flata som skal estimeres viser hvilke 8 andre prøveflater som ligger nærmest. Vi ser at det er 5 granflater og kun 3 lauvflater, og i dette tilfellet ville flata dermed blitt tilordnet klassen gran. Det er relativt få furuflater i nærheten av prøveflata.

kNN-naboer til en LS-flate

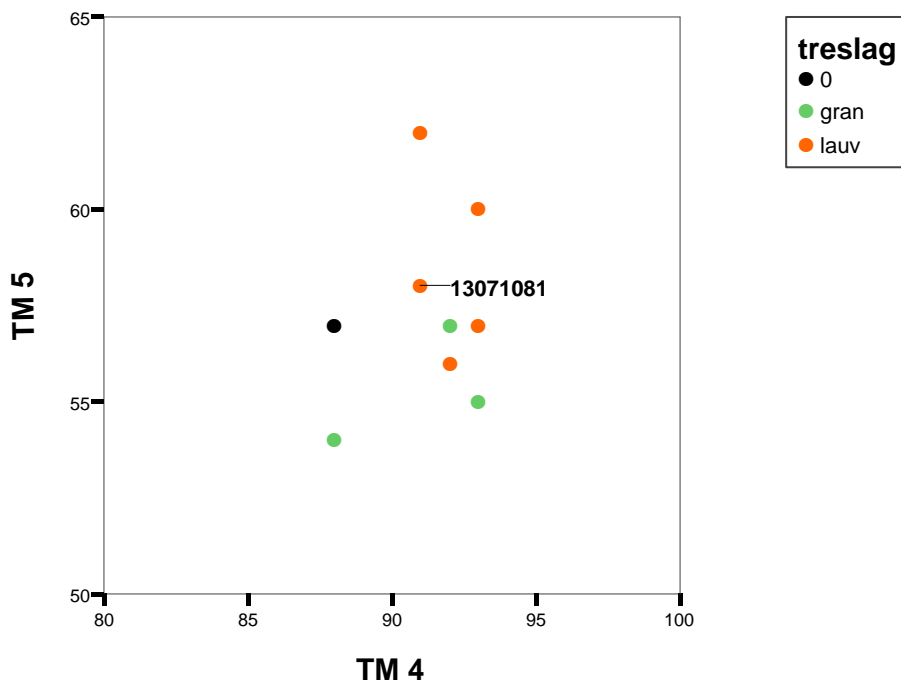


Bestandstreslag

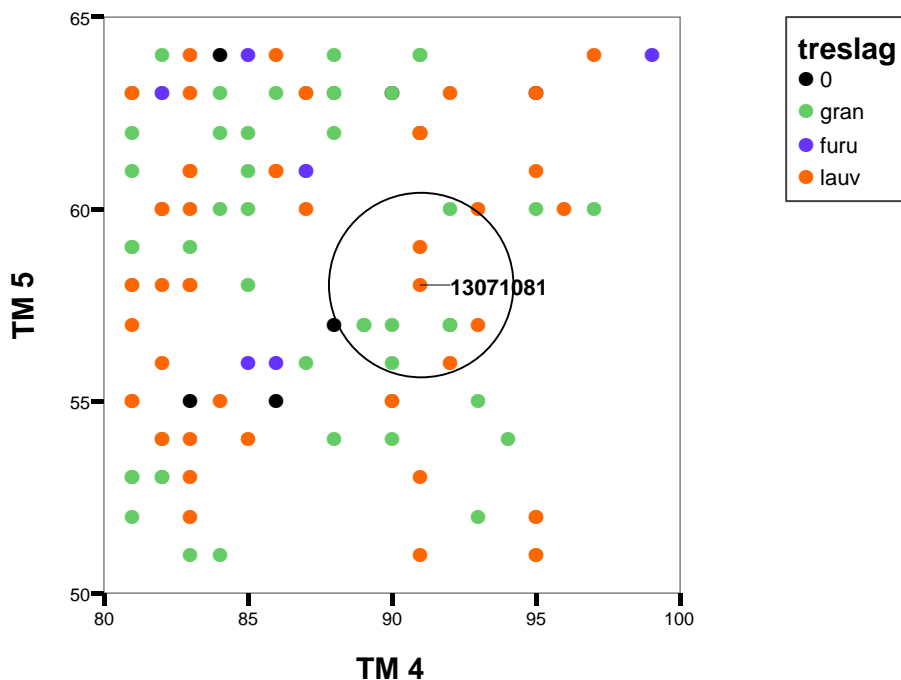
- Uten tredekning
- Grandominert
- Furudominert
- Lauvdominert
- Bestandstreslag selection

0 9 18 km

Figur 17. En prøveflate (ID 13071081) som blir kryssvalidert (ring rundt) og de 8 kNN flatene (med kvadrater rundt) som MSFI har definert som naboskap. I kryssvalideringa blir estimatet for prøveflata basert på disse 8 flatene. Prøveflata er lauvdominert, og av flatene i naboskapet er 4 lauvdominert, 3 grandominert, og 1 uten treslagsklasse (hogstklasse 1). For nominelle parametere kan MSFI enten bruke modalverdien eller verdien mest størst totalvekt. Her er modalverdien brukt.



Figur 18. Prøveflata med ID 13071081 og alle 8 naboflatene i plottet i TM4 og TM5-kanalene. Vi ser at den nærmeste flata er en grandominert flate. Med $k = 1$ ville estimatet blitt gran, med $k = 3$ ville estimatet blitt lauv, med $k = 4$ ville estimatet også blitt lauv. Når to klasser har likt antall i naboskapet, så brukes vektene for å avgjøre hvilken klasse som skal brukes som estimat.

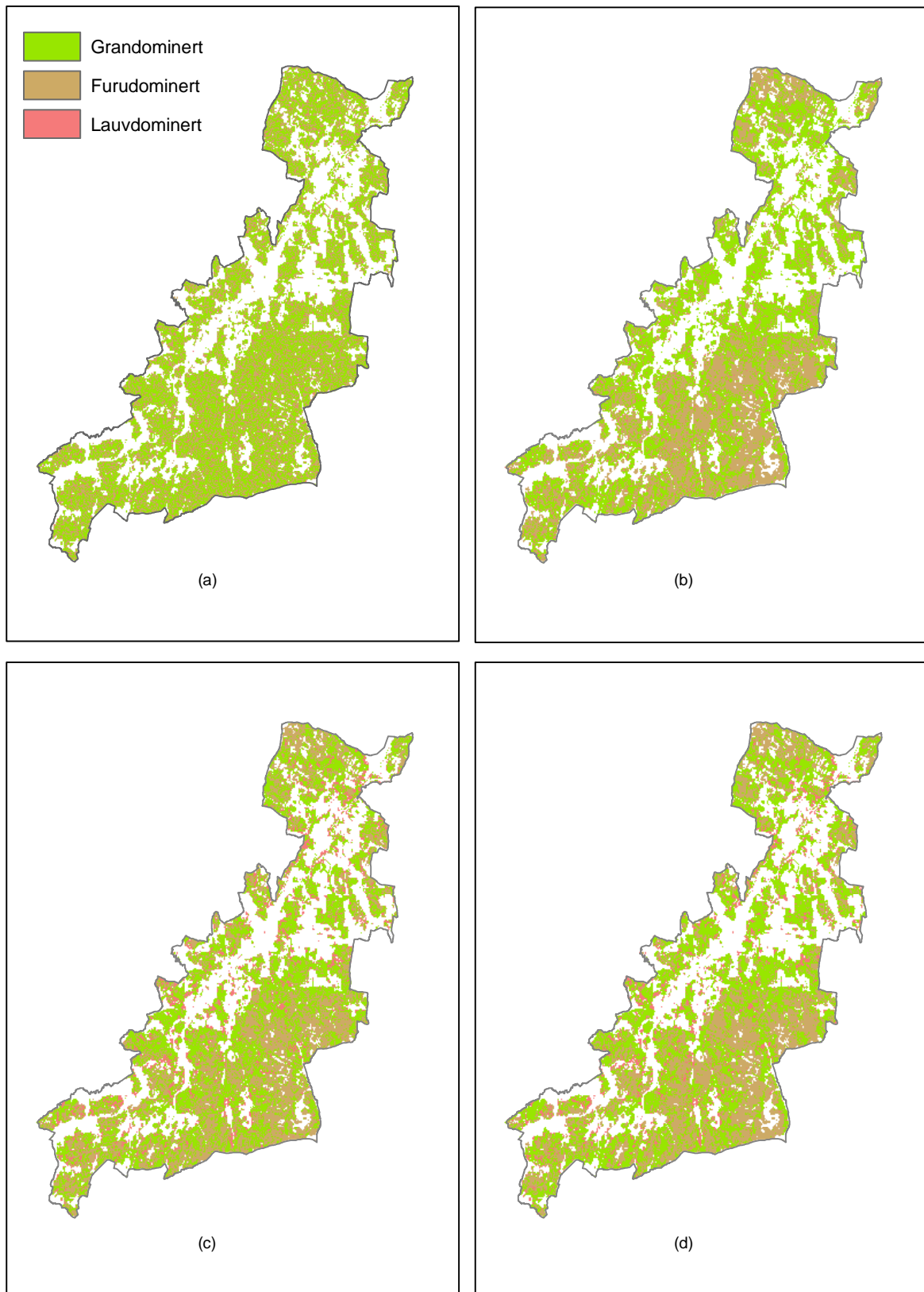


Figur 19. Prøveflata med ID 13071081 og alle andre prøveflater plottet i TM4 og TM5-kanalene. Det ligger mange granflater i nærheten, og flere av disse har blitt silt bort ved bruk av kriterier som bonitet, geografisk avstand, og høydeforskjell. Hvis kun TM4 og 5 hadde vært brukt ville flata blitt estimert som grandominert for de fleste verdier av k . Sirkel sentrert rundt prøveflata viser hvilke 8 flater som ligger nærmest: det er 5 granflater og 3 lauvflater.

Eksempelet med flata ID 13071081 illustrerer noen viktige egenskaper med kNN-metoden. Metoden er en såkalt ikke-parametrisk metode, dvs. at klassene ikke modelleres vha. statistikker basert på et treningsdatasett. I parametriske metoder brukes ofte middelerdi og

varians for å måle sentral tendens og spredning i alle bildekanalene for hver klasse. Disse parametrene er de eneste som må bestemmes for beskrive en normalfordeling. Ukjente piksler blir så klassifisert ved å beregne hvilken klasse pikselen med størst sannsynlig tilhører. Med kNN derimot velges de k **nærmeste** pikslene til et ukjent piksel, og derfor er metoden svært følsom for det relative antallet treningspiksler (kalibreringspiksler) i de ulike klassene.

Hvis klassene er godt separert i bilderommet, så vil begge metoder gi et svært godt resultat. Det er når det er betydelig grad av overlapp at de vil gi ulike utslag. kNN-metoden vil underestimere den klassen som har færre treningsflater, mens en parametriske metode ikke nødvendigvis vil gjøre det samme. For areal typer eller klasser som forekommer sjeldent i landskapet og i kalibreringsdatasettet er det derfor to forhold som er viktig for resultatet: 1) hvor stort er overlappet i bilderommet mellom denne klassen og andre klasser, og 2) det relative antallet kalibreringsflater. Flater i hogstklasse 1 (hogstflater) har stort overlapp med andre klasser (se Figur 12) og forekommer relativt sjeldent (3,1%). Denne klassen vil derfor relativt ofte bli klassifisert til andre klasser som overlapper og som forekommer mer hyppig i kalibreringsdatasettet. (Hogstflater vil antakelig lettere kartlegges med endringsdeteksjon, dvs. ved å bruke bilder fra to eller flere tidspunkter. Bildene kan normaliseres til hverandre ved regresjonsmetoder, og deretter kan et differansebilde beregnes. Ved å terskle differansebildet vil en få ut arealer hvor det har skjedd store endringer i arealdekket, f.eks. hvor gammel skog har blitt til hogstflater.)



Figur 20. Treslagskart for Hobøl kommune. Ulike MSFI-kjøringer er gjort for sammenlikning: (a) full randomisering, dvs. tilfeldig utplukk av alle prøveflatene; (b) siling med bl.a. bonitetskart har blitt gjort og deretter tilfeldig utplukk av prøveflatene i søkesettet; (c) siling men uten bruk av bonitet, satellittdata brukt; (d) siling med bruk av bonitet, satellittdata brukt (normal kjøring med MSFI). Kalibreringsdatasett 1 er brukt.

I Figur 20 vises fire forskjellige MSFI-kart over treslag i Hobøl kommune. I alle kjøringene (a, b, c, d) har kalibreringsdatasett 1 blitt brukt. I (a) har naboskapet til hvert rastelement blitt plukket helt tilfeldig, og antallet elementer i de ulike treslagsklassene skal være tilnærmet lik antallet i kalibreringsdatasettet. Vi ser at grønnfargen som tilsvarer gran dominerer i kartet, og gran utgjør ca. 48% av flatene i kalibreringsdatasettet. I (b) har kartdata, bl.a. bonitetskart, blitt brukt for siling av flater, og deretter har naboskapet blitt trukket tilfeldig fra søkesettet. Vi ser at det har blitt et tydelig mønster i kartet med klar fordeling mellom grandominerte og furudominerte områder. Lauvklassen er derimot lite strukturert og er spredt utover som enkeltstående rastelementer. I (c) har flatene blitt silt uten å bruke bonitetskart og deretter har naboskapet blitt definert ved bruk av billedata. Furu dominerer i lav bonitet, og et bonitetskart vil derfor være til stor hjelp for å skille gran og furu. Vi ser likevel at gran- og furu har blitt klart definert i atskilte områder. I tillegg har det blitt større lauvarealer. I (d) har flatene blitt silt med bruk av bonitetskart og naboskapet har blitt definert ved bruk av billedata. Forskjellen til (c) er ikke så stor, men det er noe mindre innblanding av granelementer i furudominerte områder. I Tabell 14 vises statistikk for fordeling på treslag for to av kjøringene: b og d. Kjøring b er uten bruk av satellittdata og kjøring d er med. Vi ser at forskjellen i statistikken ikke er stor mellom de to kjøringene. Men Figur 20 viser at kartene er ulike med mer konsentrasjon av lauvdominerte flater i kartet der satellittbildet ble brukt.

Tabell 14. Statistikk over treslag for Hobøl kommune. Kjøring b er uten bruk av satellittdata og kjøring d er med.

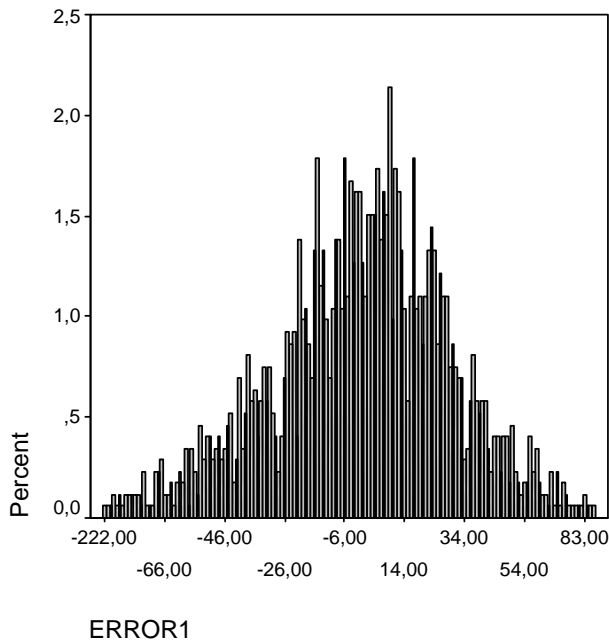
Kjøring	Enhet	Gran	Furu	Lauv
b	ha	4334	3856	1266
b	%	45,8	40,8	13,4
d	ha	4422	3628	1362
d	%	47,0	38,5	14,5

Analyse av RMSE

MSFI-programmet rapporterer RMSE for alle kontinuerlige variabler og deler RMSE i feilmiddel og feilvariasjon. I Tabell 15 vises feilstatistikk for tre skogsparametere. Det framgår at feilmiddelet ligger nær 0 og at det meste av RMSE skyldes feilvariasjon, altså tilfeldig feil. Figur 21 viser fordelingen av feilene for alder. Histogrammet er jevnt fordelt på begge sider av 0, og har en tilnærmet normalfordeling. Et mål på dette er skjevhet («skewness»). Når tallverdien for skjevhet < 1 så indikerer det at fordelingen er normalfordelt, og i dette tilfellet er skjevheten -0,46.

Tabell 15. Analyse av RMSE. Feilavvik er kvadratrotten av feilvarians.

Statistikk	Volum	Alder	MH
Enhet	m ³	år	dm
RMSE	91,96	37,96	64,32
Feilmiddel	-1,41	-0,21	0,10
Feilavvik	91,95	37,96	64,32



Figur 21. Fordeling av observert alder – MSFI-estimert alder. Feilen er sentrert rundt 0 og normalfordelt (skjevhet = -0,46).

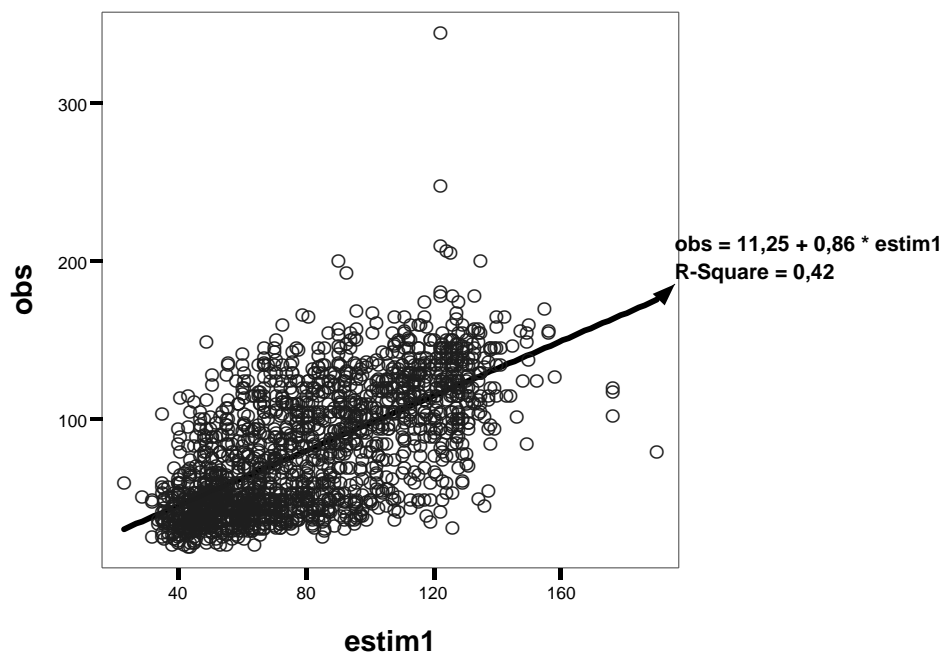
Tilfeldig feil kan reduseres ved å foreta flere uavhengige gjentak av en måling eller estimering. Det ble gjennomført en test der koordinatene til prøveflatene ble endret ± 15 m i øst-vest og nord-sør retning. I Tabell 16 sammenlignes resultatet for alder der «Feil 1» representerer feil i MSFI-estimat basert på uendret lokalisering av prøveflatene og «Feil 2» feil i MSFI-estimat basert på et gjennomsnitt av fem estimater. MSFI basert på fem estimater har redusert tallverdiene til minimum- og maksimumfeilene og feilvariansen er noe mindre. Reduksjonen er imidlertid mye mindre enn $\sqrt{5}$. Det tyder på at de fem estimatene ikke er helt uavhengige og dermed vil feilene ofte trekke i samme retning. En visuell gjennomgang av estimatene for alle flatene viser også at dette ofte er tilfellet.

Samtidig viste resultatene for de fem ulike kjøringene at resultatet ikke blir dårligere når koordinatene endres med ± 15 m. Dette skyldes nok delvis at sammenhengen mellom billedata og bakkemålte data ikke er optimal: arealet som er målt på bakken tilsvarer ikke helt arealet som måles i bildepikselen. Bestandsparametere referer f.eks. til et bestand som i mange tilfeller kun delvis fyller arealet som bildepikselen dekker. Treparametere referer til sirkelflater som utgjør kun 28% av arealet til en Landsat 5 TM piksel. Bildepikslene vil derfor alltid være influert av arealer som ikke er representative for de feltmålte verdiene.

Tabell 16. Statistikk for feil i estimat av alder (år). Feil 1 er feil med ett estimat for hver flate, feil 2 er feil med 5 estimater for hver piksel.

	<i>N</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maksimum</i>	<i>Middel</i>	<i>Std. avvik</i>
Feil 1	1732	-222,00	110,00	-,3164	30,34453
Feil 2	1732	-217,60	89,60	-,3331	28,86323

I Figur 22 er observert alder plottet mot estimert alder. Det er stor spredning rundt regresjonslinja, og modellen forklarer kun 42% av variasjonen i observert alder.



Figur 22. Observert alder (obs) plottet mot MSFI-estimert alder (estim1).

Test mot Landsskogdata for Østfold

I Figur 23 vises arealvektene til prøveflatene i kalibreringsdatasettet etter MSFI-kjøring for Østfold, og i Tabell 17 vises statistikk over arealvektene fordelt på fylker. Vi ser at flatene i Østfold, Vestfold, og Akershus har fått flest store vekter, og at flatene i Østfold og Akershus til sammen har 61% og 28% av vektene. Bruk av geografisk avstand og høydeforskjell har nok hatt betydning for dette mønsteret. I Figur 24 og Figur 25 vises MSFI-kart over treslagsfordeling og hogstklasser. Vi ser at furu opptrer i større sammenhengende arealer enn gran. Gran opptrer ofte i kanter mot dyrka mark og ellers langs sprekkedaler der jorddybden er større enn oppe på kollene, der furu dominerer. I Østfold finner vi på kartet kun én stor konsentrasjon av lauvskog, og det er på Hankø; ellers opptrer lauvskogen i mindre enheter. Hogstklasse 1 utgjør en liten del av arealet i kartet. Derimot ser vi en tydelig struktur i fordeling mellom hogstklasse 2 og 3 på den ene siden og hogstklasse 4 og 5 på den andre. Vi ser at de eldre hogstklassene opptrer i store, sammenhengende arealer, mens de yngre er preget av flere små flater. De furudominerte arealene er dominert av eldre hogstklasser.

Tabell 17. Statistikk over vekter fra MSFI fordelt på fylker. Delte flater er telt med to ganger i kolonne merket «N». I kolonne «Maksimum» er største vekt gitt til ei flate, i «Middel» er middelveidien til vektene til alle flatene, i «Sum» er summen gitt over alle vektene. Vekt x 0,09 ha gir vekt i hektar.

Fylke	N	N%	Maksimum	Middel	Sum	Sum%
Østfold	671	27,7%	10.112	2436	1.634.668	60,6%
(Hobøl)	22	0,9%	3.540	1981	43.578	1,6%
Akershus	603	24,9%	6.822	1245	751.032	27,8%
Oslo	65	2,7%	4.397	443	28.802	1,1%
Hedmark	213	8,8%	3.916	287	61.170	2,3%
Oppland	215	8,9%	954	16	3.375	0,1%
Buskerud	332	13,7%	3.567	169	56.102	2,1%
Vestfold	110	4,5%	3.799	989	108.816	4,0%
Telemark	212	8,8%	2.852	253	53.561	2,0%
Totalt	2421	100%	10.112	1114	2.697.525	100,0%

I Tabell 18 vises statistikk over arealfordeling til treslag for to ulike kjøringer med MSFI og fra Landsskogtakseringen. Både statistikk beregnet fra MSFI-kartene (MSFI kart) og fra arealvektene som MSFI har estimert (MSFI vektorer) er presentert i tabellen. Vi ser at de to ulike måtene å beregne statistikken på gir forskjellig resultat. Lauvtredominert areal har fått mindre areal i kartet enn arealestimatet basert på arealvektene fra MSFI tilsier: 8,1% mot 11,5%. Arealestimater for dominerende bestandstreslag basert på arealvektene fra MSFI med kalibreringsdatasett 3 ligger svært nær resultatene fra Landsskogtakseringen. Fordelingen i kalibreringsdatasettet er 50%, 35%, og 15% (Tabell 6) for gran, furu, og lauvtre så MSFI har trukket estimatene i riktig retning.

Når kalibreringsmaterialet har jevn fordeling på treslag så endrer resultatet seg relativt mye for gran og lauv. Estimert andel gran har gått ned fra 36,3% til 26,3% og andel lauvtre har gått opp fra 11,5% til 22,9%. Gran og lauv har forholdsvis stor spektral overlapp (gran i hogstklasse 2 og lauvtre) (Figur 12) og i tillegg har de lik fordeling på bonitetsklasser, slik at bruk av bonitetskart ikke hjelper for å skille disse treslagene. Når et estimeringssegment ligger i et område med spektral overlapp mellom gran og lauv, så vil den relative andelen gran- og lauvflater i kalibreringsdatasettet være avgjørende for hvilket av de to treslagene som i et typisk tilfelle har flest flater innenfor naboområdet (se Figur 19).

Resultatene over viser at fordelingen i kalibreringsdatasettet har stor innvirkning på estimatene til MSFI. Metoden gir gode estimater for et fylke når en stor andel av kalibreringsflatene ligger i samme fylke og har en fordeling som er representativ. Når fordelingen ble manipulert og gjort vesentlig annerledes, så viste resultatene over at estimatene ble vesentlig dårligere. Den svake korrelasjonen mellom billedata og skogparametrene er årsaken. Svak korrelasjon betyr mer tilfeldig vektlegging av flater, og dermed vil fordelingen i kalibreringsdatasett ha stor betydning.

Tabell 18. Estimert arealfordeling for dominerende treslagsklasser i Østfold. Kalibdata og kalibdatasett refererer til kalibreringsdatasett i Tabell 6.

Metode	Kalibdata	Enhet	Gran	Furu	Lauv	Sum
MSFI kart	3	n	996177	1476746	217645	2690568
		%	37,0	54,9	8,1	100,0
MSFI vektorer	3	%	36,3	52,2	11,5	100,0
		MSFI kart	2	n	649685	1479170
%	24,2			55,1	20,7	100,0
MSFI vektorer	2	%	26,3	50,7	22,9	100,0
		Landsskog	%	37	52	11

I Tabell 19 vises statistikk over arealfordelingen til hogstklasser for to MSFI-kjøringer basert på kalibreringsdatasett 2 og 3 sammen med statistikk fra Landsskogtakseringen. MSFI-kartene underestimerer hogstklasse 1 og 4 og overestimerer hogstklasse 5 kraftig. Statistikk basert på MSFI-vektorer viser et helt annet bilde med mindre avvik fra Landsskogtakseringen. Vi ser at med kalibreringsdatasett 3 så er hogstklasse 5 overestimert i forhold til Landsskog med 4,6% og tilsvarende er hogstklasse 1, 3 og 4 underestimert med hhv. 0,6%, 2,5% og 1,3%. Med kalibreringsdatasett 2 så viser tabellen tilsvarende resultater. Vi ser at estimatet for hogstklasse 5 er nærmere Landsskogtakseringens estimat med en overestimert på 1,2%. Av tabellen ser vi at prosentandelene i kalibreringsdatasettene er hhv. 25,3% og 21,1% for hogstklasse 5. MSFI har trukket estimatet i riktig retning og mye nærmere Landsskogtakseringens estimat. En høyere andel hogstklasse 5 i kalibreringsdatasett 3 enn i

kalibreringsdatasett 2 kan forklare hvorfor MSFI har gitt et høyere estimat med bruk av kalibreringsdatasett 3.

I kalibreringsdatasettene ble hogstklasser reklassifisert til tre klasser: hogstklasse 1 i klasse 1, hogstklasse 2 og 3 i klasse 2, og hogstklasse 4, og 5 i klasse 3. Resultater for denne forenkla hogstklasseinndeling er presentert i Tabell 20. Vi ser at klasse 1 og klasse 2 er underestimert og klasse 3 er overestimert i begge MSFI-kartene. Resultater basert på MSFI-vekter gir bedre estimater som ligger nærmere estimatene til Landsskogtakseringen. Vi ser at klasse 2 er noe underestimert og klasse 3 noe overestimert med rundt 2–3%. Igjen ser vi fra fordelingene i kalibreringsdatasettene at MSFI har trukket estimatene i riktig retning.

Resultatene over viser at statistikk basert på MSFI-kartene og på MSFI-vektene kan være svært ulike og at statistikk fra kartene er mest unøyaktig. Resultatene forteller at kartene ikke skal brukes for å lage statistikk, men kun for å vise den geografiske fordelingen til skogparametrene. Igjen viser resultatene at fordelingen i kalibreringsdatasettene virker inn på MSFI-estimatene.

Det er forventet at MSFI gir gode resultater på fylkesnivå siden kalibreringsflatene er representative. En nyttig funksjon som MSFI kan ha er å lage estimater på store landområder som er definert på tvers av fylkesgrenser, f.eks. områder bestemt av fysiografiske forhold. Når Landsskogtakseringen har et utilstrekkelig antall flater i et slikt område, så kan MSFI være en aktuell inventeringsmetode. Et overslag over nøyaktigheten for slike områder må baseres på nøyaktigheten som oppnås for fylker.

Tabell 19. Estimert arealfordeling for hogstklasser i Østfold. Kalibdata og kalibdatasett refererer til kalibreringsdatasett i Tabell 6.

	Kalibdata	Enhet	Hogstklasse					Sum
			1	2	3	4	5	
MSFI kart	3	n	15176	583180	544353	402440	1152376	2697525
		%	0,6	21,6	20,2	14,9	42,7	100,0
MSFI vekt	3	%	2,0	23,1	17,5	21,8	35,7	100,0
MSFI kart	2	n	31764	608918	494533	466469	1095841	2697525
		%	1,2	22,6	18,3	17,3	40,6	100,0
MSFI vekt	2	%	4,4	21,4	18,1	23,8	32,3	100,0
Landsskog		%	2,6	23,1	20,0	23,1	31,1	100,0
Kalibdatasett 3		%	3,3	29,4	23,4	18,6	25,3	100,0
Kalibdatasett 2		%	7,6	31,9	20,9	18,5	21,1	100,0

Tabell 20. Estimert arealfordeling for sammenslåtte hogstklasser i Østfold. Kalibdata og kalibdatasett refererer til kalibreringsdatasett i Tabell 6.

	Kalibdata	Enhet	Forenkla hogstklasse			Sum
			1	2	3	
MSFI kart	3	n	5829	1045969	1645727	2697525
		%	0,2	38,8	61,0	100,0
MSFI vekt	3	%	2,0	40,5	57,4	100,0
MSFI kart	2	n	13725	1082731	1601069	2697525
		%	0,5	40,1	59,4	100,0
MSFI vekt	2	%	4,4	39,5	56,1	100,0
Landsskog		%	2,6	43,1	54,2	100,0
Kalibdatasett 3		%	3,3	52,8	43,9	100,0
Kalibdatasett 2		%	7,6	52,8	39,7	100,0

I Tabell 21 vises statistikk over arealfordeling til aldersgrupper fra to MSFI-kjøringer og fra Landsskogtakseringen. MSFI-kartene har svak sammenheng med statistikken fra Landsskogtakseringen og viser en overrepresentasjon i de midlere årsklassene og for liten arealandel i de unge og de eldre årsklassene. MSFI-estimatene basert på arealvektene ligger mye nærmere Landsskogtakseringens resultater. I aldersklassen 121–160 år er det et avvik på 4,6% hvor MSFI med kalibreringsdatasett 3 har overestimert. I aldersklassen 21–40 år har MSFI med kalibreringsdatasett 2 underestimert med 3,8%. Ellers ligger estimatene nær opp til Landsskogtakseringen. Fra fordelingene i kalibreringsdatasettene ser vi at MSFI stort sett har trukket estimatene nærmere Landsskogtakseringen.

Tabell 21. Estimert aldersfordeling i Østfold. Kalibdata og kalibdatasett refererer til kalibreringsdatasett i Tabell 6.

	Kalibdata	Enhet	Aldersgrupper (år)						
			1-20	21-40	41-60	61-80	81-120	121-160	>160
MSFI kart	3	%	3,2	14,8	23,8	18,5	29,9	9,7	0,0
MSFI vekt	3	%	19,7	14,2	14,6	8,9	21,3	20,5	0,7
MSFI kart	2	%	7,0	22,3	16,9	12,8	31,5	9,5	0,0
MSFI vekt	2	%	23,7	9,7	15,8	8,5	22,2	18,1	2,0
Landsskog		%	20,2	13,5	14,8	11,5	22,8	15,9	1,4
Kalibdatasett 3		%	23,7	18,4	18,4	7,6	19,1	11,9	1,0
Kalibdatasett 2		%	30,2	15,1	19,2	7,9	16,1	10,2	1,3

Estimert volum fordelt på treslagene gran, furu, og lauv er presentert i Tabell 22. Tallene for MSFI har blitt beregnet med arealvektene som MSFI lager for alle flatene i kalibreringsdatasettet (jf. formel s. 17). En ser at totalvolum er noe underestimert, og mest for MSFI med kalibreringsdatasett 2. Volum gran har størst avvik med en underestimering på litt over 2 mill. m³. Furu har blitt overestimert med bruk av kalibreringsdatasett 1 og litt underestimert med kalibreringsdatasett 2. Volum lauv er i begge tilfellene overestimert, og mest med kalibreringsdatasett 2. Landsskogtakseringen opererer med et produktivt skogareal på 234.000 ha mens skogmaska som har blitt brukt av MSFI for Østfold er på 242.777 ha, dvs. skogmaska representerer et 3,5% større areal enn det Landsskogtakseringen bruker. En kan justere for dette ved å øke volumestimatene til Landsskogtakseringen med 3,5%. Estimaten for furu og lauv vil da komme nærmere resultatene fra MSFI, mens for gran vil forskjellen øke.

Tabell 22. Estimert volum (m³) uten bark på produktiv mark i Østfold. Differanse er beregnet mellom Landsskog og MSFI med kalibdata 1. Kalibdata refererer til kalibreringsdatasett i Tabell 6.

	Kalibdata	Enhet	Gran	Furu	Lauv	Sum
MSFI vekt	1	m ³	11.853.090	10.648.039	3.240.110	25.736.467
		%	46,1	41,4	12,6	100,0
MSFI vekt	2	m ³	11.476.223	9.502.354	4.154.683	25.133.627
		%	45,7	37,8	16,5	100,0
Landsskog		m ³	13.996.714	10.079.616	2.945.707	26.992.037
		%	51,7	37,3	10,9	100,0

Test mot områdetakst av Hobøl kommune

I 1998 ble det utført en utvidet kontrolltakst i forbindelse med en områdetakst i Hobøl kommune. Resultatene fra MSFI for kommunen er sammenlignet med kontrolltaksten i Tabell 24, Tabell 25, og Tabell 26. Kalibreringsdatasett 1 ble brukt i MSFI-kjøringen. I Tabell 23 er MSFI-vektene fordelt på fylker presentert. Vi ser at 49,6% av totalvekta er gitt til flater i Østfold og 31,6% til flater i Akershus. Kontrolltaksten var en utvalgsundersøkelse og det ble beregnet 95%-konfidensintervaller for estimatene.

Tabell 24 viser at estimert arealandel til treslagsklasser ligger utenfor 95%-intervallet. For gran er estimatet under intervallet mens for furu og lauv er estimatene i overkant. Totalarealet er ca. 4% større for MSFI; det skyldes at arealtallene fra kontrolltaksten ble justert i forhold til et 4% mindre areal. Men selv om tallene justeres for denne forskjellen, så ligger MSFI-estimatene utenfor. I en tidligere utprøving av MSFI (Gjertsen og Tomter 1998) var imidlertid arealestimatene innenfor 95%-intervallet. En viktig forskjell er kalibreringsdatasettene: i utprøvingen i 1998 var prøveflatene mer konsentrert til Østfold og Akershus og kalibreringsdatasettet hadde 2–3% mer gran- og 2–3% mindre andel furudominerte flater. Kalibreringsdatasettet var altså mer representativt for Hobøl i utprøvingen i 1998 enn i denne studien. En annen forskjell ligger i metoden: i 1998 ble ikke bonitetskart brukt for å sile ut kalibreringsflater i feil bonitetsklasse.

Prosentfordelingen av treslagsklasser i MSFI-kartet er hhv. for gran, furu, og lauv: 4980 ha (52%), 3581 ha (37%), og 1094 ha (11%). Vi ser at gran har større arealandel og lauv mindre arealandel i kartet enn statistikken basert på MSFI-vektene tilsier, mens furu har samme arealandel. En forklaring på denne ulikheten er at det i forholdsvis mange tilfeller er grandominerte flater i flertall over lauvdominerte flater for en estimeringspiksel, og en piksel blir klassifisert til den klassen med størst frekvens.

Tabell 14 viser at bruk av satellittdata har trukket arealestimatene av gran og furu i riktig retning, men areal lauv har derimot blitt litt mer overestimert. Forbedringene er imidlertid små. I kalibreringsdatasett 1 er fordelingen hhv. 48%, 38%, og 14% for gran-, furu-, og lauvdominerte flater. Fra Tabell 24 ser vi at MSFI-estimatene ligger svært nære disse tallene.

Estimater utenfor 95%-intervallet for kommunen tyder på systematisk feil i metoden (Kåre Hobbestad, pers. komm.). Det må være fordelingen i kalibreringsmaterialet sammen med noe svak sammenheng mellom billedata og skogparametere som er årsaken.

Tabell 23. Statistikk over vektet fra MSFI fordelt på fylker. Delte flater er telt med to ganger i kolonne merket «N». Kolonne «Maksimum» er største vekt gitt til ei flate, «Middel» er middelveidien til vektene til alle flatene, «Sum» er summen over alle vektene. Vekt x 0,09 ha gir vekt i hektar.

	<i>N</i>	<i>N %</i>	<i>Maksimum</i>	<i>Middel</i>	<i>Sum</i>	<i>Sum %</i>
Østfold	671	27,7%	412,07	79,61	53420,93	49,6%
(Hobøl)	22	0,9%	204,67	104,68	2302,98	2,1%
Akershus	603	24,9%	337,60	56,39	34002,93	31,6%
Oslo	65	2,7%	87,80	17,38	1129,42	1,0%
Hedmark	213	8,8%	180,06	15,39	3277,14	3,0%
Oppland	215	8,9%	90,56	1,63	351,41	0,3%
Buskerud	332	13,7%	283,91	16,43	5454,14	5,1%
Vestfold	110	4,5%	294,00	61,57	6773,17	6,3%
Telemark	212	8,8%	119,94	15,31	3245,71	3,0%
Totalt	2421	100,0%	412,07	44,47	107654,85	100,0%

Tabell 25 viser en klar overestimering av hogstklassene 3 og 4 og en underestimering av hogstklasse 5, mens hogstklassene 1 og 2 er innenfor 95%-intervallet. Totalt skogareal for kontrolltaksten ca. 4% mindre enn for MSFI, men en justering av tallene for dette endrer ikke på analysen over. Tilsvarende statistikk fra MSFI-kartet er hhv. for hogstklasse 1 til 5: 54 ha (1%), 2842 ha (29%), 2874 ha (30%), 1127 ha (12%), 2792 ha (29%), og vi ser at kun hogstklasse 4 ligger innenfor 95%-intervallet. Dette viser at arealstatistikk basert på kartet og på arealvektene kan være svært ulik. Kartets funksjon er først og fremst å vise hvor ulike skogtyper er lokalisert, mens statistikk bør baseres på arealvektene fra MSFI. For Hobøl var imidlertid statistikk basert på kartet nærmest kontrolltaksten. For Østfold så vi at det motsatte

var tilfellet. Slås arealestimatene for hogstklassene 4 og 5 sammen så får vi 51% fra kontrolltaksten og 46% fra MSFI. I kalibreringsdatasett 1 (se Tabell 3) er imidlertid 45% av flatene i disse to klassene, så MSFI har derfor ikke endret mye på denne fordelingen. Billedata skiller ikke så godt mellom hogstklassene 3, 4 og 5 og det forklarer hvorfor MSFI ikke har klart å trekke opp estimatet for hogstklasse 5 for Hobøl.

I kalibreringsdatasett 1 er det 26% flater i hogstklasse 5 mot 19% i hogstklasse 4 (se Tabell 3), og med stort overlapp i billedataene mellom disse to klassene (se Figur 12) vil dermed klassifikasjonen av enkeltpiksler gå i favør av hogstklasse 5. Dette er grunnen til at kartet har mindre areal i hogstklasse 4 og mer i hogstklasse 5 enn estimatene basert på arealvektene.

For volum er totaltallet for kontrolltaksten 1,019 mill. m³ mot 1,143 mill.m³ for MSFI. Når volum fordeles på treslag så ser vi at gran ligger tett oppunder nedre grense for 95%-intervallet, mens furu og lauv er tydelig overestimert.

En potensiell og viktig nytteverdi for MSFI er å gi ressursoversikter over områder som er for små for Landsskogtakseringen, dvs. områder med få prøveflater. Resultatene over viser imidlertid at nøyaktigheten til MSFI-estimatene var vesentlig lavere for Hobøl enn for Østfold. Hobøl ble valgt som testområde fordi kommunen har mer granskog enn gjennomsnittet for Østfold. MSFI-estimatene av arealfordelingen til treslagsklassene lå svært nær fordelingen i kalibreringsdatasettet. Samtidig var estimatene signifikant forskjellig fra kontrolltaksten. Resultatene forteller at metoden er avhengig av at kalibreringsdatasettet er representativt for inventeringsområdet.

Tabell 24. Estimert arealfordeling til dominerende treslag i Hobøl.

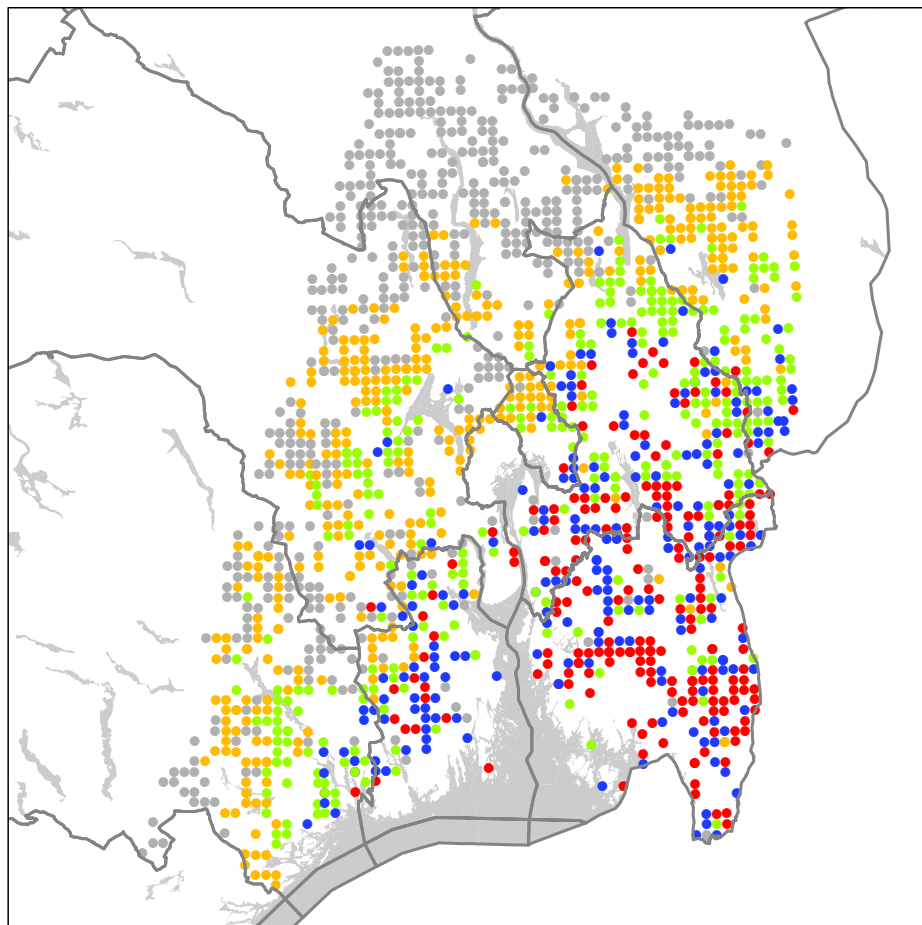
Treslag	Kontrolltakst					MSFI			
	Est. Ha	%	Mfeil ha	95%-intervall		Est. ha	%	Diff.	
				Nedre ha	Øvre ha			ha	%
Gran	5197	57	148	4907	5486	4422	47	775	15
Furu	3028	33	137	2759	3296	3628	39	-600	-20
Lauv	866	10	85	701	1032	1362	14	-496	-57
Totalt	9091	100				9412	100	-321	-4

Tabell 25. Estimert arealfordeling til hogstklasser i Hobøl.

HKL	Kontrolltakst					MSFI			
	Est ha	%	Mfeil ha	95%-intervall		Est. ha	%	Diff.	
				Nedre ha	Øvre ha			ha	%
1	201	2	42	118	284	277	3	-76	-38
2	2544	27	130	2288	2799	2515	26	29	1
3	1742	19	114	1519	1964	2411	25	-669	-38
4	1154	12	96	966	1342	2016	21	-862	-75
5	3652	39	144	3370	3933	2469	25	1183	32
Totalt	9293	100				9689	100	-396	-4

Tabell 26. Estimert volum (m³) uten bark fordelt på treslag i Hobøl.

Treslag	Kontrolltakst					MSFI		
	Est. m ³	Mfeil m ³	95%-intervall		Est. m ³	Diff. m ³	%	
			Nedre m ³	Øvre m ³				
Gran	723.729	33.345	658.374	789.084	643.775	79.954	11	
Furu	201.143	11.692	178.226	224.059	333.443	-132.300	-66	
Lauv	93.890	7633	78.930	108.851	166.276	-72.386	-77	
Totalt	1.018.762				1.143.295	-124.533	-12	



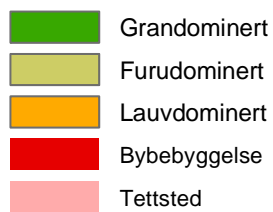
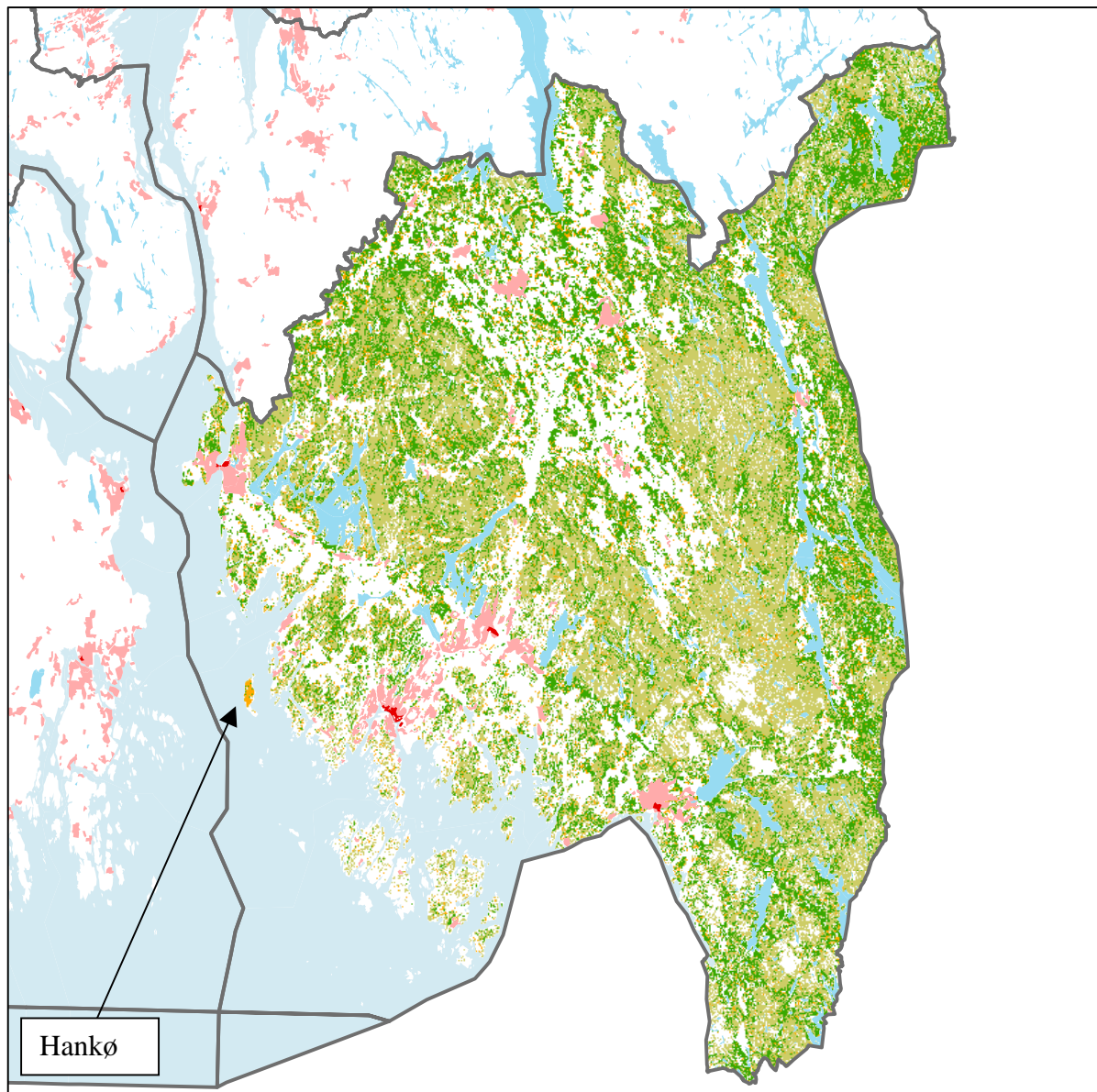
Arealvekter (ha)

- 0
- 0,09 - 20
- 21 - 92
- 93 - 188
- 189 - 910

0 9 18 36 km

Figur 23. Arealvekter i hektar for prøveflatene i kalibreringsdatasett 3.

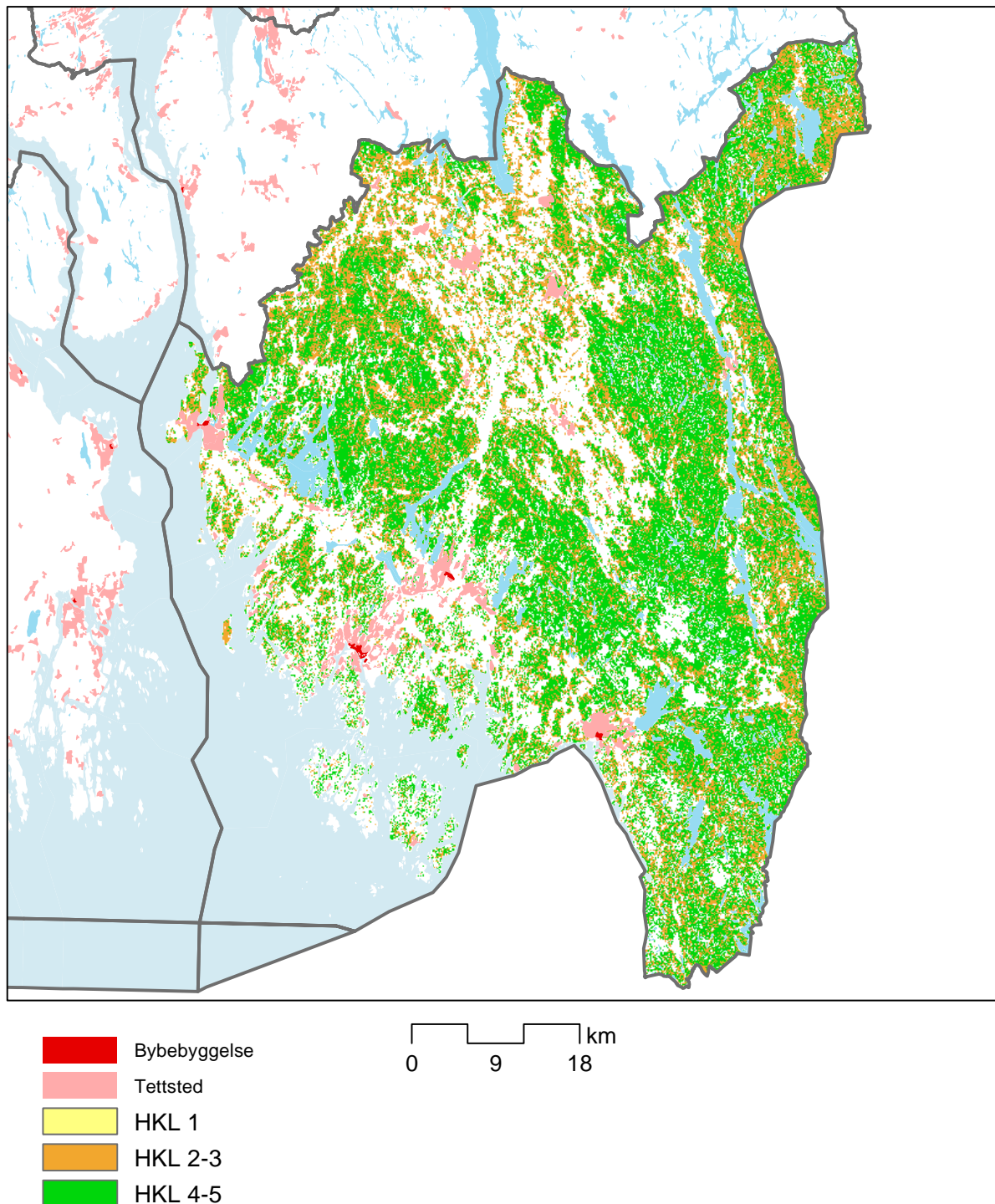
MSFI-kart over treslag i Østfold



0 9 18 km

Figur 24. Treslagsfordeling i Østfold. Resultat fra MSFI. Bebyggelsesklasser er fra N250. Legg merke til dominansen av lauvskog på Hankø.

MSFI-kart over utviklingstrinn i Østfold



Figur 25. Fordeling av forenklet utviklingstrinn i Østfold. Resultat fra MSFI. Bebyggelsesklasser er fra N250.

Oppsummering og konklusjon

En metode for kryssvalidering av MSFI har blitt utviklet og testet. Metoden fungerer ved at én og én prøveflate holdes utenfor settet av prøveflater som brukes som kalibreringsdatasett for så å bli estimert av MSFI basert på de gjenværende flatene. Resultatene fra kryssvalideringen rapporteres i form av nøyaktighetsstatistikk. For nominelle parametere rapporteres feilmatrixe

med tilhørende mål for global nøyaktighet og nøyaktighet for hver enkelt klasse, og for kontinuerlige parametere rapporteres RMSE faktorisert i feilmiddel og feilvarians. Kryssvalideringen gir estimater til nøyaktigheten på rasternivå.

Med statistikken som kryssvalideringen gir har det vært mulig å teste MSFI med ulike parametervalg og ulike kalibreringsdatasett. Virkningen av størrelsen på naboskapet, dvs. hvor mange naboflater et estimat ble basert på, ble testet ved å variere antall naboflater fra 1 til 30. Det ble funnet at nøyaktigheten steg kraftig fra 1 nabo for å nå en topp på mellom 8–10 naboer. Deretter sank nøyaktigheten gradvis. For de resterende testene ble 8 naboer derfor brukt. Andre parametere som kan justeres er største tillatte geografiske avstand fra estimeringselementet til kalibreringsflatene og største tillatte høydeforskjell. Disse parametrene må justeres i hver tilfelle og det lar seg enkelt gjøre ved å bruke kryssvalideringen. På datasettet som ble brukt i denne testen ble 100 km og 150 m valgt som grenser.

Landsat 5 TM datasett fra 30.7.1999 ble brukt som bildedata. MSFI knytter verdier fra alle kanalene i bildet til prøveflatene, og det er dermed mulig å studere sammenhengen mellom bildedata og skogdata. Korrelasjonen mellom bildedata og skogdata har blitt presentert. De tre beste kanalene var TM4, TM5 og TM2 som måler lys i hhv. den nærinfrarøde, mellominfrarøde, og grønne delen av spekteret. Bildedata plottet mot skogdata viser stor grad av overlapp mellom ulike bestandsklasser. Bestandstreslag delt inn i klassene gran-, furu-, og lauvdominert overlapper hverandre i stor grad. Lauvdominerte flater skiller seg mest ut, særlig i TM4 og TM5. De ulike hogstklassene overlapper også i stor grad. Hogstklasse 2 i gran- og furudominert skog skiller seg ut med relativt høye verdier i TM4 og TM5 fra andre hogstklasser i gran- og furudominert skog. Granskog i hogstklasse 2 er svært lik lauvskog i TM4. Det er generelt noe avtagende verdier i TM4 med økende alder på grandominert og furudominert skog, men for lauvdominert skog var det ingen slik sammenheng. Når prøveflatene ble differensiert på avstand til bestandskant til over og under 20 m, ble det dokumentert en stor økning i korrelasjonskoeffisientene fra datasettet med avstand under 20 m til datasettet med avstand over 20 m; f.eks. økte korrelasjonen mellom TM4 og alder fra $-0,31$ til $-0,56$.

For treslagsklassifisering viste kryssvalideringen dårligst nøyaktighet for klassen lauvdominert skog selv om denne skogtypen skiller seg best ut i bildedataene. Det ble derfor undersøkt hvor stor betydning fordelingen av treslag innen kalibreringsdatasettet har, og et balansert kalibreringsdatasett med likt antall flater i de ulike treslagsklassene ble opprettet. Når dette datasettet ble brukt ble nøyaktigheten for lauv hevet til samme nivå som for gran og furu. Imidlertid gikk nøyaktigheten til gran og furu ned fra rundt 70% til hhv. 50% og 60%. Testen viste at fordelingen i kalibreringsdatasettet har stor betydning. Årsaken til dette ble forklart med spektral overlapp mellom klassene. Overlapp fører til en grad av tilfeldighet for hvilken treslagsklasse som er i flertall i naboskapsområdet til et estimeringselement. Med et kalibreringsdatasett med mange ganger flere grandominerte enn lauvdominerte flater, samtidig med et betydelig overlapp i bildekanalene, så vil et naboskap rundt ei lauvdominert flate ha relativt større sjans for et flertall av granflater enn når et balansert kalibreringsdatasett blir brukt.

Bruk av bonitetskart har vært testet for å se om det gir bedre nøyaktighet. Statistikk fra kalibreringsdatasettet viste at furu dominerer stort i lav bonitet med 69% av alle flatene i denne bonitetsklassen. Det betyr at ved siling på bonitet så vil det for et estimeringselement i lav bonitet være tilsvarende mange furuflater i søkesettet til elementet. Bruk av bonitetskart i utsiling av flater fra kalibreringsdatasettet førte som forventet til økt nøyaktighet i treslagsklassifikasjonen, og det ble færre feilklassifikasjoner mellom furu, og gran og lauv.

Det ble utført tester for å se i hvor stor grad MSFI er en forbedring av tilfeldig utplukk av flater fra kalibreringsdatasettet. Forsøkene viste at bruk av billedata øker nøyaktigheten til tross for store overlapp mellom skogklasser i bilderommet og lave korrelasjoner rundt $-0,45$ mellom billedata og sentrale skogparametere som alder, volum, og bestandsmiddel høyde.

RMSE ble analysert og faktorisert i feilmiddel og feilvarians som mål på systematisk og tilfeldig feil. Tilfeldig feil kan reduseres ved å summere opp flere uavhengige estimater, f.eks. ved å summere estimatene for alle estimerings-elementene innfor en kommune eller et fylke. Nøyaktighetsanalysen viste at feilen stort sett er tilfeldig og normalfordelt, så en bør dermed kunne forvente bedre estimater når flere estimater eller større områder summeres.

Estimater for Østfold og Hobøl kommune ble presentert. MSFI-estimater ble sammenlignet mot estimater fra Landsskogtakseringen og fra en uavhengig kontrolltakst for Hobøl kommune. Estimaten fra MSFI på arealfordelingen til treslagsklassene gran, furu, og lauv stemte godt overens med estimatene for Østfold. Estimaten ble imidlertid vesentlig dårligere når antall gran-, furu-, og lauvdominerte flater i kalibreringsdatasettet ble gjort like store. Det førte til underestimering av gran og overestimering av lauv. Dette ble forklart med spektral overlapp mellom gran- og lauvdominerte flater og at bonitetskartet ikke hjelper for å skille disse treslagsklassene. Estimater av arealfordelingen til treslagsklasser for Hobøl ble vesentlig dårligere enn for Østfold. Hobøl har mer granskogareal enn resten av fylket: 57% mot 37%, men ca. 50% av arealvektene fra MSFI ble likevel fordelt på flater i Østfold.

Estimater av arealfordeling til hogstklasser for Østfold viser gode resultater, og MSFI har trukket estimatene nærmere Landsskogtakseringens estimater enn fordelingen i kalibreringsdatasettene tilsier. MSFI-kartene gir derimot større avvik, og det ble konkludert med at kartenes funksjon først og fremst er å vise den geografiske fordelingen. For Hobøl ble derimot ikke estimatene like gode som for Østfold. Hobøl har relativt mye areal i hogstklasse 5 og lite i hogstklasse 4. Siden billedata ikke skiller godt mellom disse utviklingstrinnene så klarte ikke MSFI å forbedre estimatet utover det en kunne gjøre uten bruk av billedata.

Arealfordeling av aldersklasser for Østfold ga gode resultater der MSFI har trukket estimatene nærmere estimatene fra Landsskogtakseringen enn et estimat basert på kalibreringsdatasettene alene ville gjort, men det er likevel forholdsvis små forbedringer. Fordelingen i kalibreringsdatasettet vil ha mye å si for hvor godt et estimat blir, og forklaringen er en forholdsvis svak korrelasjon mellom alder og TM4 på $-0,47$, som betyr at en lineær modell kun forklarer 22% av variasjonen.

MSFI har underestimert volumandelen gran i Østfold med ca. 5–6% og overestimert volumandelen for furu og lauv i forhold til Landsskogtakseringens estimater. Resultatet varierte noe med hvilket kalibreringsdatasett som ble brukt. Landsskogtakseringens estimater har en middelfeil på ca. 3–4% på volum for et fylke. Det betyr at små avvik mellom MSFI-estimater og Landsskogtakseringens estimater ikke er signifikante. Det er likevel klart at MSFI har underestimert volum gran og overestimert volum furu og lauv.

Den prosentmessige forskjellen mellom Landsskogtakseringens estimater for volum fordelt på treslag og MSFI-estimater for Østfold var vesentlig lavere enn mellom kontrolltaksten og MSFI for Hobøl. To mulige forklaringer peker seg ut: en er at arealet til Østfold er mye større enn arealet til Hobøl og at det gir større reduksjon i tilfeldig feil; en annen er at kalibreringsflatene som brukes i estimatene er mer representative for Østfold enn de er for Hobøl kommune.

Tre ulike nytteverdier av MSFI ble beskrevet i innledningen. Av disse ble den tredje avskrevet da MSFI ikke kan estimere parametere som ikke har korrelasjon med billedata. Når det gjelder de to andre nytteverdiene, så har MSFI med bruk av Landsat TM vist seg å være

avhengig av at kalibreringsdatasettet er representativt for det området som skal kartlegges. Det henger sammen med at bildedata fra Landsat TM ikke skiller godt nok mellom ulike verdier for de sentrale bestandsparametrene som har vært testet. Når kalibreringsdatasettet er representativt blir statistikken naturligvis god uansett. Med nøyaktigheten i kartet er det litt annerledes: klasser som er representert med få flater i kalibreringsdatasettet og som samtidig overlapper med andre klasser vil bli systematisk underrepresentert i kartet. Forklaringen er at når to klasser overlapper så vil klassen med flest flater i kalibreringsdatasettet oftest være i flertall i et naboskap, og når en kategorisk parameter som treslag estimeres, så velges den verdien med flertall i naboskapet. Med andre ord: store klasser vokser på bekostning av små klasser. Dette er en ulempe med kNN-metoden, som er en såkalt ikke-parametrisk metode. Parametriske metoder bruker derimot kalibreringsdatasettet til å estimere parametere til f.eks. Gauss-kurver for hver klasse som skal kartlegges. Hvert element blir så tilordnet den klassen hvis medlemskapsfunksjon resulterer i høyest verdi.

Studien har vist at MSFI med de datasett som har vært brukt er følsom for fordelingen til skogparametere i kalibreringsdatasettet. For å få et godt resultat så må datasettet være representativt for det området som skal kartlegges. Dette har blitt demonstrert gjennom utprøving av metoden på Hobøl kommune og på Østfold med kalibreringsdatasett som ikke er representative for områdene. I slike situasjoner må MSFI kunne trekke estimatene i riktig retning; dvs. velge og vektlegge de kalibreringsflatene som er mest typiske for områdene. Studien har vist at MSFI klarer dette til en viss grad, men sammenhengen mellom bildedata og skogparametere er ikke sterk nok til at metoden fungerer godt når forskjellen i fordelingen i kalibreringsdatasettet og inventeringsområdet blir stor. Jo svakere sammenhengen mellom bildedata og skogparametere, jo mindre toleranse for forskjell i kalibreringsdatasettets og områdets fordeling mhp. skogparametere.

En forbedring av MSFI-metoden vil avhenge av bedre sammenheng mellom bildedata og skogdata. Det kan muligens oppnås gjennom bruk av bilder fra satellitter med høyere geometrisk oppløsning, slik at bildedata i større grad tilsvare det området på bakken som feltmålingene beskriver. En annen mulighet er å bruke bildedata fra flere enn ett tidspunkt i vekstsesongen: Det kan være vanskelig å skille mellom gran og lauv i slutten av juli, men det kan vise seg å være lettere når bilder fra to eller tre ulike deler av vekstsesongen brukes. Et våropptak fra mai, et sommeropptak fra juli og et sensommeropptak fra august/september kan muligens gjøre det lettere å skille gran- og lauvdominerte flater.

Hogstflater (hogstklasse 1) blir underestimert siden arealklassen er dårlig representert i kalibreringsdatasettet samtidig som klassen har et relativt stort overlapp med andre hogstklasser i TM-kanalene. Hogstflater representerer imidlertid dramatiske endringer i arealdekket og kan derfor relativt nøyaktig kartlegges ved å bruke et differansebilde basert på opptak fra to tidspunkter. kNN-metoden som MSFI bruker i dag er med andre ord ikke alltid det beste alternativet.

Andre bildedata som bør vurderes nærmere for skogkartlegging av store områder er radarbilder. Det har de siste 5 årene skjedd en utvikling innen denne teknologien med interferometrisk SAR (InSAR) og polarimetrisk InSAR (POLinSAR). Radarbølger trenger ned i vegetasjonen og interagerer direkte med trærnes stammer og greiner. På den måten vil data fra radarer ha bedre sammenheng med stående volum enn optiske systemer som først og fremst måler reflektert lys fra trekroner og bunnvegetasjon.

MSFI har en effektivt produksjonsløype, dokumenterer seg selv, og gir resultater i form av arealvekter og kart. Kartene gir tilleggsinformasjon til Landsskogtakseringen ved å dokumentere hvordan skogtyper fordeler seg i landskapet. Om kartene er brukbare for bestemte formål avhenger selvsagt av både presisjon og nøyaktighet. Siden nøyaktighet nå er

dokumentert er det opp til potensielle brukere å avgjøre om informasjonen er verdifull eller ikke for bestemte formål.

Appendiks

Tabell 27. Forkortelser for skogparametere.

<i>Forkortelse</i>	<i>Forklaring</i>
VUPRHA	Volum uten bark
VUPRHAG	Volum gran uten bark
VUPRHAF	Volum furu uten bark
VUPRHAL	Volum lauv uten bark
MH	Bestandsmiddelshøyde
Treslag 1	Grandominert
Treslag 2	Furudominert
Treslag 3	Lauvdominert
HKLE 1	HKL1
HKLE 2	HKL 2-3
HKLE 3	HKL 4-5

Resultater fra kryssvalidering med MSFI 1

VUPRHA:

RMSE = 91.96

Error mean = -1.41

Error variance = 8454.38

Error sd = 91.95

VUPRHAG:

RMSE = 79.08

Error mean = -0.93

Error variance = 6253.24

Error sd = 79.08

VUPRHAF:

RMSE = 50.35

Error mean = -0.52

Error variance = 2535.25

Error sd = 50.35

VUPRHAL:

RMSE = 32.15

Error mean = -0.90

Error variance = 1033.05

Error sd = 32.14

ALDER:

RMSE = 37.96

Error mean = -0.21

Error variance = 1440.58

Error sd = 37.96

MH:

RMSE = 64.32

Error mean = 0.10

Error variance = 4137.55

Error sd = 64.32

TRESLAG:

Error matrix:

Class:	0,	1,	2,	3	Sum
0	1,	2,	0,	3:	6
1	39,	782,	239,	153:	1213
2	16,	220,	577,	69:	882
3	17,	71,	32,	95:	215
Sum:	73,	1075,	848,	320:	2316

Overall accuracy = (1455/2316) 62.8%

Producer's accuracy:

0 = (1/73)	1.4%
1 = (782/1075)	72.7%
2 = (577/848)	68.0%
3 = (95/320)	29.7%

User's accuracy:

0 = (1/6)	16.7%
1 = (782/1213)	64.5%
2 = (577/882)	65.4%
3 = (95/215)	44.2%

HKLE:

Error matrix:

Class:	1,	2,	3	Sum
1	0,	2,	2:	4
2	50,	901,	383:	1334
3	23,	312,	643:	978
Sum:	73,	1215,	1028:	2316

Overall accuracy = (1544/2316) 66.7%

Producer's accuracy:

1 = (0/73)	0.0%
2 = (901/1215)	74.2%
3 = (643/1028)	62.5%

User's accuracy:

1 = (0/4)	0.0%
2 = (901/1334)	67.5%
3 = (643/978)	65.7%

Resultater fra kryssvalidering med MSFI 2

ALDER:

RMSE = 37.36

Error mean = 1.33

Error variance = 1393.66

Error sd = 37.33

VUPRHA:

RMSE = 89.58

Error mean = 0.47

Error variance = 8025.09

Error sd = 89.58

MH:

RMSE = 70.13

Error mean = 0.96

Error variance = 4917.01

Error sd = 70.12

TRESLAG:

Error matrix:

Class:	0,	1,	2,	3	Sum
0	4,	2,	0,	7:	13
1	21,	158,	72,	68:	319
2	12,	71,	206,	54:	343
3	40,	82,	40,	201:	363
Sum:	77,	313,	318,	330:	1038

Overall accuracy = (569/1038) 54.8%

Producer's accuracy:

0 = (4/77) 5.2%
1 = (158/313) 50.5%
2 = (206/318) 64.8%
3 = (201/330) 60.9%

User's accuracy:

0 = (4/13) 30.8%
1 = (158/319) 49.5%
2 = (206/343) 60.1%
3 = (201/363) 55.4%

HKLE:

Error matrix:

Class:	1,	2,	3	Sum
1	4,	9,	3:	16
2	50,	419,	156:	625
3	23,	119,	255:	397
Sum:	77,	547,	414:	1038

Overall accuracy = (678/1038) 65.3%

Producer's accuracy:

1 = (4/77) 5.2%
2 = (419/547) 76.6%
3 = (255/414) 61.6%

User's accuracy:

1 = (4/16) 25.0%
2 = (419/625) 67.0%
3 = (255/397) 64.2%

Resultater fra kryssvalidering med MSFI 3

ALDER:

RMSE = 38.57
Error mean = -0.16
Error variance = 1487.78
Error sd = 38.57

VUPRHA:

RMSE = 90.80
Error mean = -1.10
Error variance = 8242.80
Error sd = 90.79

MH:

RMSE = 64.23
Error mean = -0.15
Error variance = 4126.08

Error sd = 64.23

TRESLAG:

Error matrix:

Class:	0,	1,	2,	3	Sum
0	2,	0,	0,	3:	5
1	27,	568,	161,	108:	864
2	8,	139,	339,	40:	526
3	13,	43,	20,	74:	150
Sum:	50,	750,	520,	225:	1545

Overall accuracy = (983/1545) 63.6%

Producer's accuracy:

0 = (2/50)	4.0%
1 = (568/750)	75.7%
2 = (339/520)	65.2%
3 = (74/225)	32.9%

User's accuracy:

0 = (2/5)	40.0%
1 = (568/864)	65.7%
2 = (339/526)	64.4%
3 = (74/150)	49.3%

HKLE:

Error matrix:

Class:	1,	2,	3	Sum
1	1,	1,	1:	3
2	35,	581,	250:	866
3	14,	229,	433:	676
Sum:	50,	811,	684:	1545

Overall accuracy = (1015/1545) 65.7%

Producer's accuracy:

1 = (1/50)	2.0%
2 = (581/811)	71.6%
3 = (433/684)	63.3%

User's accuracy:

1 = (1/3)	33.3%
2 = (581/866)	67.1%
3 = (433/676)	64.1%

Referanser

Gjertsen, A. K. og S. Tomter (1998). Bruk av satellittdata i kombinasjon med feltdata i Landsskogtakseringen: Utprøving av MSFI. Ås, Norsk institutt for jord- og skogkartlegging: 80.