



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Kontrafaktisk analyse av skogkulturintensitet i Oppland og Buskerud for perioden 1963-2016

Contra-factual analyses of silviculture intensity in
Oppland and Buskerud for the period 1963-2016

Karstein Grongstad Lona
Master skogfag

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på 5 års studier på skogfag ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven er skrevet ved fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA). Kapitlene 1.2.1 Referansealternativ, 2.1. Referansealternativ, 2.1.2.1 Verktøy (Gaya og J), 2.1.2.2. Analyser og 3.1. Resultater er skrevet i samarbeid med Marius Bjørseth. I denne oppgaven er punktum benyttet som desimalskilletegn.

Jeg vil rette en stor takk til hovedveileder, professor Hans Fredrik Hoen, og biveileder, professor Tron Haakon Eid. Jeg har satt stor pris på god veiledning gjennom hele oppgaven. En stor takk rettes også til seniorrådgiver Stein Michael Tomter ved Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) som har bistått med å skaffe statistikk fra Landsskogtakseringen og Tore Kristiansen som har lest korrektur.

Til slutt vil jeg takke min samboer Tina og datter Oline for god støtte under arbeidet med denne oppgaven. Takk også til mine medstudenter på skogfag, og på NMBU generelt, for gode opplevelser, godt sosialt og faglig miljø og en fantastisk studietid.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Ås, 08. mai 2017

Karstein Grongstad Lona

Sammendrag

I Norge har langsiktige investerings-, avvirknings- og inntektsanalyser for skog lange tradisjoner, og blir i stor grad brukt som beslutningsgrunnlag for strategivalg og skogbehandling. Mange slike analyser har imidlertid blitt kritisert fordi en har ment at prognosene overvurderer produksjonen og avvirkningspotensialet.

I denne studien ble det gjennomført simuleringer for skogfylkene Oppland og Buskerud der takstgrunnlaget fra Landsskogtakseringens tredje takst (1957-1964) ble brukt som input-data. Med prognoseverktøyet Gaya-J ble det først simulert et referansealternativ for de to fylkene fra 1960-tallet og frem til i dag. Restriksjoner på avvirkningsvolum, skogbehandling og vernet areal i referansealternativet sikret i stor grad at den simulerte utviklingen falt sammen med faktisk avvirkningsnivå, skogbehandling og verneomfang i samme periode. Den simulerte skogtilstanden (stående volum) ved sluttidspunktet falt også sammen med dagens skogtilstand. Med dette utgangspunktet, ble det gjennomført kontrafaktiske analyser for å belyse effekter av andre forutsetninger for skogkultur (foryngelse og ungskogpleie) enn de faktiske. Det ble gjennomført analyser der intensiteten knyttet til foryngelse og ungskogpleie både var mer ekstensiv og mer intensiv enn det som faktisk har vært gjennomført. Effektene av endret skogkultur ble målt med følgende variabler ved analyseperiodens sluttidspunkt:

- Venteverdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon.
- Kulturkostnader, kapitalisert til sluttidspunkt.
- Stående volum totalt.
- Treslagsfordeling.
- Bundet karbon i levende trær.

Det må understrekes at det er flere usikkerhetsfaktorer knyttet til analysene og dermed også til resultatene. Studien tydet imidlertid ikke på at prognoseverktøyet overvurderer produksjon og avvirkningspotensiale. Tendensen var heller at prognosene ga lavere estimater for stående volum enn det som er registrert ved slutten av perioden.

For de kontrafaktiske analysene var tendensen at det historiske nivået for skogkultur har vært noe for høyt i forhold til det som er økonomisk optimalt med målsetting om maksimal nåverdi. Endringene i forutsetninger for skogkultur ga relativt små utslag for utviklingen av stående volum gjennom analyseperioden.

Abstract

In Norway, long-term investment-, harvest- and income analyses for forests have long traditions. Such analyses are extensively used as basis for decisions and strategy management. However, such analyses have to some extent been criticized because it has been anticipated that the production potential has been overestimated.

In this study, simulations were carried out for the counties Oppland and Buskerud. The simulations were based on data from the National Forest Inventory (1957-1964). Reference alternatives were first simulated for the two counties from the 1960s until today by using the forecast tool Gaya-J. Restrictions on harvest volume, silvicultural treatments and protected forest area for the reference alternatives were secured by mimicking the actual historical levels of logging, forest management and forest protection in the same period. The simulated forest state at the end of the simulation period (today) match today's forest condition. Based on the reference alternative, contra-factual analyses were performed to study effects of carrying out other treatments (planting and precommercial thinning) than the one actually carried out in the period. Analyses were carried out where the intensity of planting and precommercial thinning were both more extensive and more intensive than the historical levels. The effects of changed treatments were measured by the following variables at the end of the analysis period:

- Soil expectation value of the forest area.
- Silviculture costs, capitalized to end time.
- Total standing volume.
- Tree species distribution.
- Carbon stored in live trees.

It should be noted that there are several uncertain factors related to the analyses and thus also to the results. However, the study did not indicate that the production and logging potential were overestimated. The tendency was rather the opposite, estimating a lower standing volume at the end of the period than the recorded volume.

For the contra-factual analyses, the tendency was that the historical intensity level of silviculture have been somewhat too high compared to what's optimal when maximizing net present value. The changed treatments gave relatively small differences for the development of standing volumes throughout the analysis period.

Innhold

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Tabelliste	VI
Figurliste.....	VIII
1. Innledning.....	1
1.1. Bakgrunn	1
1.2. Problemstillinger	4
1.2.1. Referansealternativ	4
1.2.2. Kontrafaktisk analyse	5
2. Materiale og metode.....	6
2.1. Referansealternativ	6
2.1.1. Materiale	6
2.1.1.1. Landsskogtakseringens data 1964/1965	6
2.1.1.2. Statistikk avvirking, skogbehandling og vern.....	9
2.1.1.3. Skogtilstand gjennom analyseperioden.....	17
2.1.2. Metode	22
2.1.2.1. Verktøy (Gaya og J).....	23
2.1.2.2. Analyser	27
2.2. Kontrafaktisk analyse	29
3. Resultater.....	34
3.1. Referansealternativ	34
3.2. Kontrafaktisk analyse	39
3.2.1. Oppland	39
3.2.2. Buskerud.....	46
4. Diskusjon.....	53
4.1. Referansealternativ	53
4.2. Kontrafaktisk analyse	58
5. Konklusjon	61
6. Litteraturliste	63
7. Vedlegg	68

Tabelliste

Tabell 1. Forutsetninger for totalalder i ulike bonitets- og hogstklasser.....	6
Tabell 2. Forutsetninger for sammenhenger mellom Landsskogtakseringens bonitet og bonitet etter H ₄₀ -systemet.....	8
Tabell 3. Variablene for tidsseriedataene som er innhentet for fylkene Buskerud og Oppland med benevning og intervall....	10
Tabell 4. Periodeoversikt for Oppland og Buskerud.	10
Tabell 5. Avvirkning for salg periodisert (m ³ u.b. pr. år) i Oppland (1963-2015).....	11
Tabell 6. Avvirkning til eget bruk, eller avstått til andre på bruksrett i perioden 1963-2015 i Oppland.....	12
Tabell 7. Avvirkning for salg periodisert (m ³ u.b. pr. år) i Buskerud (1964-2016).	12
Tabell 8. Avvirkning til eget bruk eller avstått til andre på bruksrett i perioden 1964-2016 (m ³ u.b. pr. år) i Buskerud.....	13
Tabell 9. Arealer med utført planting og ungskogpleie i perioden 1963-2015 i Oppland. Areal oppgitt i ha.....	14
Tabell 10. Arealer med utført planting og ungskogpleie i perioden 1964-2016 i Buskerud. Areal oppgitt i ha.	14
Tabell 11. Andel vernet produktivt skogareal av totalt vernet område, med og uten markslagsstatistikk, i Oppland.....	15
Tabell 12. Andel vernet produktivt skogareal av totalt vernet område, med og uten markslagsstatistikk, i Buskerud.	15
Tabell 13. Bonitetsfordeling (%) for Oppland og Buskerud, basert på tilgjengelig markslagsstatistikk.	16
Tabell 14. Akkumulert areal (ha) for vernede områder, fordelt på bonitet, i Oppland.	16
Tabell 15. Akkumulert areal (ha) for vernede områder, fordelt på bonitet, i Buskerud.....	17
Tabell 16. Areal (ha) fordelt etter bonitet og hogstklasse i Oppland i 1963.	17
Tabell 17. Stående kubikkmasse i Oppland i 1963. Tall oppgitt i 1 000 m ³ u.b.	18
Tabell 18. Bonitetsfordeling (%) i Oppland i 1963.	18
Tabell 19. Treslagsfordeling (%) i Oppland i 1963 og 2012-2016.	18
Tabell 20. Areal (ha) fordelt etter bonitet og hogstklasse i Buskerud i 1964.....	19
Tabell 21. Stående kubikkmasse i Buskerud i 1964. Tall oppgitt i 1 000 m ³ u.b.	19
Tabell 22. Bonitetsfordeling (%) i Buskerud i 1964.....	19
Tabell 23. Treslagsfordeling (%) for Buskerud i 1964 og 2012-2016.	20
Tabell 24. Produktivt skogareal under barskoggrensa i Oppland perioden 1962-2014.	21
Tabell 25. Produktivt skogareal under barskoggrensa i Buskerud perioden 1962-2016.....	21
Tabell 26. Utvikling av stående volum i analyseperioden for Oppland. Tall oppgitt i 1 000 m ³ u.b.	21
Tabell 27. Utvikling av stående volum i analyseperioden for Buskerud. Tall oppgitt i 1 000 m ³ u.b.....	22
Tabell 28. Gjennomsnittlige tømmerpriser på landsbasis i 2015. Verdiene er oppgitt i NOK/m ³	28
Tabell 29. CO ₂ -ekvivalenter (CO ₂ -eq) for gran for 100, 300 og 500 m ³ /ha. Gjennomsnittlig (CO ₂ -eq) for gran er 1.52.....	33
Tabell 30. CO ₂ -ekvivalenter (CO ₂ -eq) for furu for 100, 300 og 500 m ³ /ha. Gjennomsnittlig (CO ₂ -eq) for furu er 1.25.....	33
Tabell 31. CO ₂ -ekvivalenter (CO ₂ -eq) for lauv for 100, 300 og 500 m ³ /ha. Gjennomsnittlig (CO ₂ -eq) for lauv er 1.73.	33

Tabell 32. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert der det er benyttet ulike diameter-tilvekstfunksjoner og korrigering av tilveksten, for Oppland fylke. Volumtallene er oppgitt i millioner m ³ under bark. Avvikene er oppgitt i %..	38
Tabell 33. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert der det er benyttet ulike diameter-tilvekstfunksjoner og korrigering av tilveksten, for Buskerud fylke. Volumtallene er oppgitt i millioner m ³ under bark. Avvikene er oppgitt i %	39
Tabell 34. Skogtilstand i 2015 ved ulike intensiteter i foryngelsen for Oppland. Vente-verdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO ₂ lagret i total biomasse.	41
Tabell 35. Skogtilstand i 2015 ved ulike intensiteter i ungsogpleie for Oppland. Vente-verdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO ₂ lagret i total biomasse.....	43
Tabell 36. Skogtilstand i 2015 ved ulike intensiteter i planting og ungsogpleie for Oppland. Vente-verdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO ₂ lagret i total biomasse.	45
Tabell 37. Skogtilstand i 2016 ved ulike intensiteter i foryngelsen for Buskerud. Vente-verdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO ₂ lagret i total biomasse.	47
Tabell 38. Skogtilstand i 2016 ved ulike intensiteter i ungsogpleie for Buskerud. Vente-verdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO ₂ lagret i total biomasse.....	49
Tabell 39. Skogtilstand i 2016 ved ulike intensiteter i planting og ungsogpleie for Buskerud. Vente-verdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO ₂ lagret i total biomasse.	51
Tabell 40. Arealjusteringer på grunn av prøveflater uten trær, i Oppland.	68
Tabell 41. Arealjusteringer på grunn av prøveflater uten trær, i Buskerud.....	69

Figurliste

Figur 1: Stående volum uten bark, tilvekst og avvirkning i Norge i perioden 1925–2013. Kilde: (Landbruks- og matdepartementet 2016).....	2
Figur 2. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 5 variabler) for Oppland fylke. Tallene er oppgitt under bark.....	34
Figur 3. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 5 variabler) for Buskerud fylke. Tallene er oppgitt under bark.	35
Figur 4. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 3 variabler) for Oppland fylke. Tallene er oppgitt under bark.....	35
Figur 5. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 3 variabler) for Buskerud fylke. Tallene er oppgitt under bark.	36
Figur 6. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 3 variabler og DTVRED=4) for Oppland fylke. Tallene er oppgitt under bark.....	37
Figur 7. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 3 variabler og DTVRED=28) for Buskerud fylke. Tallene er oppgitt under bark.	37
Figur 8. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter i foryngelsen for Oppland. Referansealternativet er 100 %.....	42
Figur 9. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter i ungsogpleie for Oppland. Referansealternativet er 100 %.....	44
Figur 10. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter i skogkultur (kombinasjon av planting og ungsogpleie) for Oppland. Referansealternativet er 100 %.....	46
Figur 11. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter knyttet til foryngelse for Buskerud. Referansealternativet er 100 %.....	48
Figur 12. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter knyttet til ungsogpleie for Buskerud. Referansealternativet er 100 %.....	50
Figur 13. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter knyttet til skogkultur for Buskerud. Referansealternativet er 100 %.....	52

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

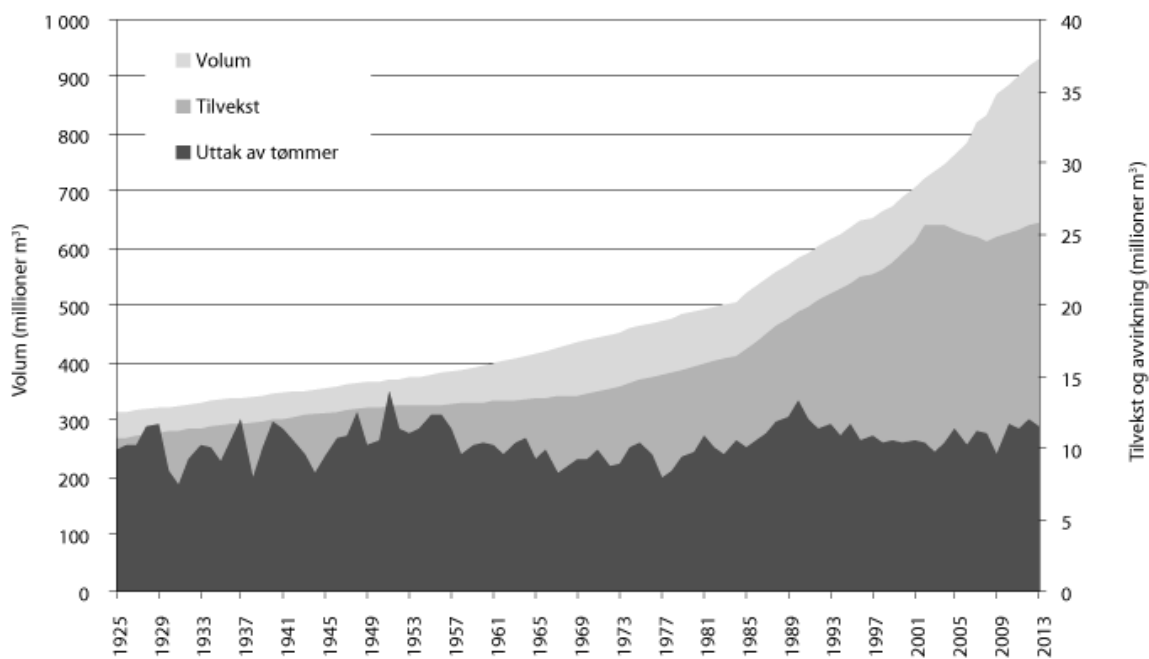
I Norge har langsiktige investerings-, avvirknings- og inntektsanalyser for skog lange tradisjoner, og blir i stor grad brukt som beslutningsgrunnlag for strategivalg og skogbehandling på land-, region- og eiendomsnivå (Eid & Hobbestad 2006). De viktigste programmene for slike langsiktige konsekvensanalyser er AVVIRK-2000 (Eid & Hobbestad 1999; 2000; 2005) og Gaya-J (Hoen & Eid 1990; Hoen & Gobakken 2004; Lappi & Lempinen 2016). Disse programmene er først og fremst ment brukt for analyser på eiendomsnivå eller for større skogområder, men produserer resultater også på bestandsnivå (Eid & Hobbestad 2006; Hoen & Eid 1990).

Vanligvis blir slike analyser gjennomført med utgangspunkt i gjeldende skogtilstand og framover i tid (Eid et al. 2002; Hobbestad 2007; Hoen et al. 2001; Tomter 2016). Da forutsetter man at den fremtidige faktiske skogbehandlingen er lik den optimale skogbehandlingen som prognoseverktøyet har simulert. Det er ikke realistisk at alle skogeiere skal klare å ta de samme optimale beslutningene som et prognoseverktøy klarer. Derfor vil skogtilstanden med stor sannsynlighet ikke bli lik den som prognoseverktøyene simulerer ved analyseperiodens slutt. Det antas at mangelen på samsvar mellom forutsetninger og faktisk gjennomføring i mange tilfeller er en svært viktig årsak til det avviket i balansekvantum man har sett eksempler på (Eid & Hobbestad 2006). Avviket i balansekvantum kan også skyldes feil i modellgrunnlaget (Eid & Hobbestad 2006). Feilene kan være knyttet til både selve metodikken som blir benyttet i prognoseverktøyene, som forutsetninger og forenklinger som blir gjort i forbindelse med en bestandssimulator, eller det kan gjelde feil og usikkerhet knyttet til de ulike bestandsutviklingsmodellene eller del-modellene som inngår i prognoseverktøyene.

En annen måte å bruke disse prognoseverktøyene på er å ta utgangspunkt i en skogtilstand tilbake i tid og bruke prognoseverktøyet til å simulere en utvikling fram mot dagens skogtilstand med den skogbehandlingen som faktisk har vært gjennomført (Eid & Hobbestad 2006). Slik vil det bli mulig å kontrollere forutsetningene som benyttes. Det vil også bli mulig å kontrollere resultatet da det sammenlignes med allerede registrert skogtilstand. Når man klarer å simulere en prognose som samsvarer med den faktiske utviklingen, gir det også muligheten til å gjennomføre kontrafaktiske analyser der man for eksempel ser på hvordan

skogtilstanden i dag ville ha vært dersom en annen skogbehandling enn den faktiske hadde blitt gjennomført. Et eksempel på en slik kontrafaktisk analyse kan være å se hvordan en annen skogkulturintensitet i fortiden ville ha påvirket skogtilstanden vi har i dag.

Gjennom de siste 100 årene har skogen i Norge hatt en utvikling med kraftig vekst i stående volum. Skogtilstanden i Norge var på starten av 1900-tallet var preget av lange tider med større uttak enn tilveksten og skogdrift som ikke la til rette for foryngelse av skogen (Tomter & Dalen 2014). I 1916 publiserer skogforvalter Agnar Barth artikkelen «Norges skoger med stormskridt mot undergangen» i Tidsskrift for skogbruk (Barth 1916). Han skriver blant annet: «Alle skogkyndige i vort land har forlængst været klar over, at skogens tilvekst ikke paa langt nær dækker den aarlige hugst, ..., at gjenveksten i vore skoger gjennemgaaende er mere end skrall». Bekymringen over skogressursenes utvikling ga startskuddet til etableringen av Landsskogtakseringen i 1919 (Granhus et al. 2012). Fra Landsskogtakseringen publiserte de første tall for stående volum i 1925 har det vært en tredobling i stående volum, fra rundt 300 millioner m³ uten bark i 1925 til over 900 millioner m³ i 2010 (Tomter & Dalen 2014). Figur 1 viser utviklingen av stående volum uten bark, tilvekst og avvirkning i Norge i periode 1925-2013.



Figur 1: Stående volum uten bark, tilvekst og avvirkning i Norge i perioden 1925–2013. Kilde: (Landbruks- og matdepartementet 2016).

Overgangen fra plukk- og dimensjonshogst til bestandsskogbruket, opphør av beiting, økt konsentrasjon av karbondioksid i atmosfæren og lengre vekstsesong har vært av stor betydning for denne økningen (Tomter & Dalen 2014). I tillegg til dette har avvirkningsnivået gjennom hele perioden ligget under tilveksten (figur 1). Bestandsskogbruk har vært den vanligste formen for skogbruk i Norge siden 1930-årene (Hoen 2009). Målsettingen i dag er å etablere tette, virkesrike skogbestand, som utnytter markas produksjonsevne bedre enn tidligere tiders plukk- og dimensjonshogst (Tomter & Dalen 2014). Denne studien har fokus på betydningen av skogkultur og innsatsen skogeier legger i dette.

I dag er det lovpålagt å etablere ny foryngelse etter hogst, (Skogbrukslova 2005§ 6. Forynging og stell av skog). I lovteksten står det at skogeieren skal sørge for tilfredsstillende foryngelse etter hogst og se til at det er sammenheng mellom hogstform og metode for forynging. Dette tiltaket er kanskje det viktigste skogeier kan foreta seg i løpet av et omløp. Ut fra skogeiers målsettinger og preferanser er det flere måter å forynge ny skog etter hogst på. Den vanligste foryngelsesmetoden er planting (56 %) etterfulgt av naturlig foryngelse (25 %) (Granhus et al. 2016). Skogkulturintensiteten påvirker hvordan skogen vil utvikle seg. Et plantet bestand gir et homogent tresjikt med like egenskaper og anbefales av enkelte for et virkes- og produksjonsrettet skogbruk (Karlsson et al. 2009). En hogstflate som ikke blir fulgt opp med aktiv foryngelsesinnsats, kan komme til å bestå av planter som etablerer seg ved ulike tidspunkter, noe som kan resultere i en alders-, høyde- og treslagsspredning.

Den neste skogbehandlingen som gjennomføres etter foryngelsen er som regel ungskogpleie. Med ungskogpleie menes en bevisst utvelgelse og helt eller delvis fristilling av framtidstammer blant de trærne som oppviser best kvalitet og av ønsket treslag (Woxholt 2011). Hovedhensikten er å utvikle produksjonspotensialet i bestandet slik at den framtidige verdiproduksjonen blir størst mulig og risikoen for skader minst mulig. Skogbrukets Kursinstitutt (Skogkurs) skriver i sin veileder om ungskogpleie at «nødvendig ungskogpleie er et av de mest lønnsomme tiltak en skogeier kan gjøre» (Rindal et al. 2014). «Skogkurs har til formål å være skogbrukets fellesorgan for kompetanseformidling innen næringsutvikling og forvaltning av skog- og andre arealressurser» (Skogkurs 2013). De skriver videre at «ungskogpleie ivaretar tidligere investeringer, og i tillegg sikrer man optimal produksjon og valgmuligheter for fremtiden». I lys av dette kan det å velge å ikke utføre ungskogpleie virke som en dårlig og ulønnsom beslutning for skogeier. Lønnsomheten av ungskogpleie øker med høyere bonitet og høyere tømmerpriser. Dersom det ikke gjennomføres ungskogpleie kan det ofte føre til at bestandet ikke opplever den normale høyde- og diametervekst og skader som

reduserer kvaliteten til trærne kan oppstå (Rindal et al. 2014). Et verditap på 20-40% på fremtidig netto tømmerinntekt kan være resultatet av å ikke gjennomføre ungskogpleie. For granskog kan dette bety 20 000-40 000 kroner pr. hektar (ha) redusert verdi ved slutthogst og 10 000-30 000 kroner pr. ha redusert verdi ved slutthogst for furuskog.

1.2. Problemstillinger

Formålet med denne studien er i to deler. Den første delen tar for seg et referansealternativ der hensikten er å undersøke hvor godt et prognoseverktøy klarer å simulere utvikling sammenlignet med den faktiske utviklingen for et skogareal over en gitt periode, mens det i den andre delen gjennomføres en kontrafaktisk analyse for å belyse effektene av en annen skogkulturintensitet enn den som faktisk ble gjennomført.

Studieområdene er fylkene Oppland og Buskerud og analyseperiodene er henholdsvis 1963-2015 og 1964-2016.

1.2.1. Referansealternativ

Hovedproblemstilling 1:

1. Hvor godt klarer et prognoseverktøy å simulere utviklingen sammenlignet med den faktiske utviklingen og skogbehandlingen for et skogareal?

Stående volum under bark ble brukt til å sammenligne faktisk utvikling med den simulerte utviklingen. For å belyse dette ble flere delproblemstillinger undersøkt.

- 1.1 Hvordan bruke data fra Landsskogtakseringen i 1963/64 som grunnlagsdata for studien?
- 1.2 Hvordan korrigere for endringer i det produktive skogarealet i perioden 1963/64 til 2015/16?
- 1.3 Utprøving av ulike funksjoner for grunnflatemiddeltreets diametertilvekst og kalibrering av diametertilvekst i Gaya-J for å treffe den faktiske utviklingen av stående volum under bark.
- 1.4 Hvordan sette restriksjoner i forhold til historisk skogbehandling?

1.2.2. Kontrafaktisk analyse

Hovedproblemstilling 2:

2. Gjennomføre en kontrafaktisk analyse der man belyser effekter av en endret skogkulturintensitet sammenlignet med den faktiske i perioden fra 1963/64 til 2015/16.

Under denne hovedproblemstillingen kommer det flere delproblemstillinger:

- 2.1 Hva er effektene av endret intensitet i foryngelse?
- 2.2 Hva er effektene av endret omfang i ungsogpleie?
- 2.3 Hva er effektene av endret intensitet i foryngelse og omfang i ungsogpleie samtidig?

Effektene av endret skogkultur vil bli målt ved analyseperiodens sluttidspunkt med følgende variabler:

- Venteverdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon.
- Kulturkostnader, kapitalisert til sluttidspunkt.
- Stående volum totalt.
- Treslagsfordeling.
- Bundet karbon i levende trær.

2. Materiale og metode

2.1. Referansealternativ

2.1.1. Materiale

2.1.1.1. Landsskogtakseringens data 1964/1965

Denne studien tar utgangspunkt i Landsskogtakseringens tredje takst (1957-1964). Oppland og Buskerud ble taksert av Landsskogtakseringen i henholdsvis 1962-63 (Landsskogtakseringen 1964) og 1963-64 (Landsskogtakseringen 1965). Bare prøveflater definert som produktive (Markslag 1-5, dvs. bonitet 1-5) ble tatt med. For Oppland og Buskerud betyr dette at det er henholdsvis 13 495 og 11 575 prøveflater med i datasettet. Det ble også for prøvetredaene bare brukt registreringer fra produktiv skog. Alle de registrerte gran-, furu- og bjørketrærne ble inkludert, mens andre treslag ble kuttet ut. Totalt for Oppland og Buskerud resulterte dette i henholdsvis 29 581 og 23 384 prøvetrær. I det følgende beskrives kort hvordan Landsskogtakseringens data ble tilrettelagt for input til prognoseverktøyet Gaya-J (for detaljer, se Eid (2017)).

Bestandsalder ble ikke registrert for den enkelte prøveflate av Landsskogtakseringen. For hogstklassene II-IV ble derfor alderen for prøveflatene basert på registrert hogstklasse og bonitet, og satt midt i aldersintervallet for aktuell hogstklasse og bonitet (tabell 1). Bonitet er definert etter Landsskogtakseringens bonitetssystem med klasser fra 1 til 5 (Landsskogtakseringen 1938). For hogstklasse I ble alder satt til 0, mens for alle prøveflater i hogstklasse V er alderen satt til 10 år over nedre grense for alder i denne hogstklassen.

Tabell 1. Forutsetninger for totalalder i ulike bonitets- og hogstklasser.

Bonitet	Hogstklasse				
	I	II	III	IV	V
1	0	10	35	65	90
2	0	12	41	76	100
3	0	15	47	83	110
4	0	18	54	91	120
5	0	20	60	100	130

Treantall/ha i hogstklasse III-V ble beregnet ut fra klaving av alle trær med dbh > 5 cm for prøveflater på 100 m². Klavetrær for gran, furu og alle lauvtreslag ble inkludert. Treantall/ha i hogstklasse II er basert på registreringer for prøveflater med radius 2,26 m (16 m²).

Treantall/ha i hogstklasse I blir satt til 0, selv om det også for disse prøveflatene kan være registrert trær.

Grunnflatesum (m²/ha) i hogstklasse III-V er beregnet ut fra klaving av alle trær med dbh > 5 cm for prøveflater på 100 m². Klavetrærne er registrert diameterklasse- og treslagsvis.

Klavetrær for gran, furu og alle lauvtrær er inkludert. Grunnflatesum i hogstklasse I og II er satt til 0, selv om det for noen prøveflater kan være registrert trær med dbh > 5 cm.

Volum (m³/ha) er satt til null for alle prøveflater. Volum beregnes i Gaya basert på middeldiameter, middelhøyde og treantall. Grunnflatemiddeldiameter (cm) i hogstklasse III-V er basert på klaving av alle trær med dbh > 5 cm for prøveflater på 100 m², og beregnet direkte ut fra grunnflatesum (m²/ha) og treantall (dbh > 5 cm) (/ha).

Grunnflatemiddeldiameter i hogstklasse I og II er satt til 0 selv om det for noen prøveflater var registrert trær med dbh < 5 cm.

Overhøyde (m) blir beregnet for alle treslag (gran, furu, lauv) som det finnes trær for på prøveflata. Treslagsvise overhøyder er basert på grunnflateveid middelhøyde beregnet for hvert treslag, og beregnes ut fra differansen mellom overhøyde og middelhøyde ut ifra funksjonene til Tveite (1976); Tveite (1977) for gran og furu og Braastad (1977) og Strand (1967) for lauv.

Middelhøyde (m) for hvert treslag er beregnet ut ifra høydefunksjoner basert på alle registrerte prøvetrær i produktiv skog fra Oppland og Buskerud (Landsskogtakseringen 1964; Landsskogtakseringen 1965). Totalt inkluderte dette 29 581 trær i Oppland og 23 384 trær i Buskerud. Høydefunksjonene ble utviklet bonitets- og treslagsvis med følgende modellform:

$$H = 1.3 + \exp(a + b \cdot dbh^c),$$

der H= trehøyde (m), dbh er diameter i brysthøyde (cm) og a, b og c er parameterestimer.

Trehøyde (m) ble beregnet for hver diameterklasse, og grunnflateveid middelhøyde ble beregnet ut ifra disse høydene og total grunnflate i hver diameterklasse.

Bonitet ble registrert for hver prøveflate etter Landsskogtakseringens bonitetssystem med klasser fra 1 til 5 (Landsskogtakseringen 1938). For å kunne gjøre beregninger av tilvekst med Gaya måtte Landsskogtakseringens bonitet «oversettes» til H₄₀-systemet (Braastad 1977;

Tveite 1976; Tveite 1977). Tabell 2 viser hvilken produksjonsevne i m³ pr. ha/år under bark som de ulike klassene har etter Landsskogtakseringens bonitetssystem og hvilken bonitet dette tilsvarer i H₄₀-systemet.

Tabell 2. Forutsetninger for sammenhenger mellom Landsskogtakseringens bonitet og bonitet etter H₄₀-systemet.

Landsskogtakseringens bonitetssystem		Bonitet etter H ₄₀ -systemet
Bonitet	Produksjonsevne (m ³ /ha/år uten bark (u.b.))	(H40 - m)
1	9.2	>20
2	6.5	17
3	4.3	14
4	2.7	11
5	1.6	<8

Det finnes ikke opplysninger om bonitetstreslag i dokumentasjonen av takstene (Landsskogtakseringen 1964; Landsskogtakseringen 1965). Bonitet er derfor identisk for gran, furu og lauv.

Areal som hver prøveflate representerer er i utgangspunktet basert på totalt produktivt areal, estimert av Landsskogtakseringen (1964); (1965) for Oppland (608 300 ha) og Buskerud (525 300 ha) dividert med antall prøveflater i produktiv skog i våre data (henholdsvis 13 447 for Oppland og 11 448 for Buskerud). Dette gir en flatestørrelse på 45 237 ha for Oppland og 45 886 ha for Buskerud som er brukt for alle prøveflater i hogstklasse I i de to fylkene.

Gaya kan ikke simulere utvikling for prøveflater i hogstklasse II-V dersom det ikke finnes trær på prøveflatene. I Landsskogtakseringens data finnes det en god del prøveflater i disse hogstklassene der det ikke finnes klavetrær (hogstklasse III-V med prøveflatestørrelse 100 m²) eller kvadranter med trær (hogstklasse II med prøveflatestørrelse 16 m²) til tross for at disse er klassifisert til hogstklasse II-V. Dette skyldes at prøveflatene «tilfeldigvis» er lokalisert på «åpne» steder i bestandet der det ikke finnes trær.

Arealer og alle tall pr. ha i det hogstklassene er derfor justert etter følgende prosedyre (se mer detaljer i vedlegg 1 og 2);

1. Identifiserer flater med og uten trær stratavis for hogstklasse og bonitet.

2. Finner sum areal for flater uten trær.
3. Fjerner alle flater uten trær og finner et tilsvarende tillegg i areal for gjenværende flater.
5. Finner justert areal for gjenværende flater ved å legge dette til opprinnelig areal slik at sum areal innen alle strata blir det samme som før flatene uten trær ble tatt ut.
6. Finner en stratavis justeringsfaktor (flatestørrelse før justering/juster areal) som brukes til å endre alle pr. ha-størrelser (treantall, grunnflatesum) slik at sum treantall og grunnflatesum innen alle strata blir det samme som før flatene uten trær ble tatt ut.

2.1.1.2. Statistikk avvirking, skogbehandling og vern

Opplysninger om avvirkning og skogbehandling i perioden 1960-2016 er basert på årlig skogstatistikk fra Statistisk Sentralbyrå (SSB). Tabell 3 viser variablene som det er innhentet statistikk om. Det var ingen av disse variablene som var lagt inn i SSBs statistikkbank fylkesvis fra 1963. Mye av innhenting av denne statistikken ble derfor gjort manuelt ved å lete i publikasjonene «Skogstatistikk» utgitt årlig (Statistisk sentralbyrå 1963-2008). Formålet med denne publikasjonen er å gi en samlet oversikt over norsk skogbruksstatistikk (Statistisk sentralbyrå 2009). Fra 1980-tallet var flere av disse variablene lagt inn fylkesvis inn i SSBs statistikkbank.

Tabell 3. Variablene for tidsseriedataene som er innhentet for fylkene Buskerud og Oppland med benevning og intervall.

Avvirkning for salg, lauvtretømmer	m ³ fast mål u.b.	Årlig	1963-
Avvirkning for salg, ved	m ³ fast mål u.b.	Årlig	1963-2005
Avvirkning til salg, grantømmer	m ³ fast mål u.b.	Årlig	1963-
Avvirkning til salg, furutømmer	m ³ fast mål u.b.	Årlig	1963-
Areal ungskogpleie	ha	Årlig	1971-
Areal naturlig foryngelse	ha	Årlig	1971-
Areal planting	ha	Årlig	1971-
Vernede områder	ha		1963-

Tabell 4 viser periodeinndelingen som er benyttet for Oppland og Buskerud.

Tabell 4. Periodeoversikt for Oppland og Buskerud.

Periode	Oppland	Buskerud	Periodelengde (år)
1	1963-1965	1964-1966	2.5
2	1965-1970	1966-1971	5
3	1970-1975	1971-1976	5
4	1975-1980	1976-1981	5
5	1980-1985	1981-1986	5
6	1985-1990	1986-1991	5
7	1990-1995	1991-1996	5
8	1995-2000	1996-2001	5
9	2000-2005	2001-2006	5
10	2005-2010	2006-2011	5
11	2010-2015	2011-2016	5

Tabell 5, 6, 7 og 8 viser avvirkning for salg og avvirkning til eget bruk for henholdsvis Oppland og Buskerud. Gjennom analyseperioden har avvirkningen i 5-årsperiodene variert mellom 4.1 – 6.9 millioner m³ for Oppland og 4.1 – 5.2 millioner m³ for Buskerud.

Statistikk for årlig avvirkning er fra og med 1980 basert på tabell 06966 «Avvirkning for salg, etter sortiment (m³)» (Kommunenivå (K)) (avslutta serie) (1980-1981 - 1995-1996), og tabell 03895 «Avvirkning for salg, etter sortiment (m³)» (K) (1996 - 2014) fra SSBs statistikkbank. Statistikk før 1980 er basert på publikasjonene «Skogstatistikk». Kvantumet er gitt i kubikkmeter fast mål uten bark. Avvirkning til eget bruk eller avstått til andre på bruksrett i analyseperioden er beregnet ut fra tilgjengelig statistikk fra 1979 og 1989 (Statistisk sentralbyrå 1989). For de resterende årene foreligger det ikke statistikk. Andelen avvirkning til eget bruk eller avstått til andre på bruksrett av total avvirkning i Landbrukstelingen i 1979 er brukt for alle årene fram til 1979 (Oppland: 11.2 %, Buskerud 5.8 %). Fra og med 1980 er andelen fra Landbrukstelingen i 1989 benyttet (Oppland 5.9 % og Buskerud 3.3 %).

Tabell 5. Avvirkning for salg periodisert (m³ u.b. pr. år) i Oppland (1963-2015).

Periode	Tømmer			Ved til brensel		
	Gran	Furu	Lauv	Gran	Furu	Lauv
1963-1965	1 836 309	303 259	27 400	68 551	11 321	39 936
1965-1970	3 484 152	502 834	69 602	80 373	11 601	45 992
1970-1975	3 984 001	555 952	64 056	47 032	6 563	26 797
1975-1980	3 648 853	516 689	26 866	74 774	10 588	43 145
1980-1985	4 217 128	625 144	27 981	109 628	16 251	112 184
1985-1990	5 392 683	784 418	37 371	124 079	18 049	149 485
1990-1995	4 821 349	504 911	29 473	119 779	12 544	139 033
1995-2000	4 541 727	497 770	7 026	157 585	17 271	191 043
2000-2005	4 510 754	482 297	3 394	197 934	21 163	218 296
2005-2010	3 131 317	343 844	8 729	201 903	22 171	219 850
2010-2015	2 562 312	487 756	9 881	187 851	35 759	219 917

Tabell 6. Avvirkning til eget bruk, eller avstått til andre på bruksrett i perioden 1963-2015 i Oppland.

Periode	Gran	Furu	Lauv
1963-1965	213 344	35 233	7 542
1965-1970	399 228	57 617	12 946
1970-1975	451 476	63 002	10 176
1975-1980	219 694	31 109	4 131
1980-1985	255 279	37 842	8 270
1985-1990	325 489	47 345	11 025
1990-1995	291 527	30 530	9 942
1995-2000	277 259	30 387	11 686
2000-2005	277 913	29 704	13 080
2005-2010	196 660	21 595	13 486
2010-2015	162 260	30 887	13 558

Tabell 7. Avvirkning for salg periodisert (m^3 u.b. pr. år) i Buskerud (1964-2016).

Periode	Tømmer			Ved til brensel		
	Gran	Furu	Lauv	Gran	Furu	Lauv
1964-1966	1 475 699	380 082	88 693	15 618	4 095	14 047
1966-1971	3 056 467	714 613	125 320	24 680	5 815	21 729
1971-1976	3 544 695	845 738	125 881	22 386	5 349	19 763
1976-1981	4 137 956	611 574	122 132	44 173	6 371	51 805
1981-1986	3 698 252	877 214	170 430	44 155	10 741	113 311
1986-1991	4 142 539	1 116 652	176 573	42 301	11 462	144 111
1991-1996	3 553 140	920 527	105 309	44 801	11 770	140 158
1996-2001	3 243 092	938 077	28 711	48 298	14 004	189 130
2001-2006	3 234 202	1 225 017	11 182	53 279	20 164	217 842
2006-2011	3 251 092	1 409 809	19 429	50 486	22 049	216 520
2011-2016	3 023 350	1 712 346	37 082	56 394	26 141	216 520

Tabell 8. Avvirkning til eget bruk eller avstått til andre på bruksrett i perioden 1964-2016 (m³ u.b. pr. år) i Buskerud.

Periode	Gran	Furu	Lauv
1964-1966	86 496	22 282	5 959
1966-1971	178 706	41 785	8 529
1971-1976	206 891	49 363	8 447
1976-1981	182 872	28 022	7 683
1981-1986	123 499	29 302	9 363
1986-1991	138 100	37 228	10 583
1991-1996	118 732	30 766	8 100
1996-2001	108 616	31 419	7 189
2001-2006	108 487	41 091	7 558
2006-2011	108 952	47 251	7 786
2011-2016	101 302	57 370	8 369

Tabell 9 og 10 viser planting og ungskogpleie for henholdsvis Oppland og Buskerud.

Statistikk for skogplanting er fra og med 1971 basert på tabell 03522 hos SSBs statistikkbank: Skogplanting. Antall, areal og kostnad (Fylkesnivå (F)) (1971 - 2015). Statistikk før 1971 er basert på publikasjonene «Skogstatistikk». Areal er oppgitt i ha. Statistikk for ungskogpleie er fra og med 1995 basert på tabell 05544 hos SSBs statistikkbank: Ungskogpleie. Areal og kostnad (F) (1995 - 2015). Statistikk før 1995 er basert på publikasjonene «Skogstatistikk». Areal er oppgitt i ha. Statistikken for skogplanting og ungskogpleie er basert på aktivitet som er innrapportert til skogavgiftsregnskapet eller som har fått statstilskudd. Det er ikke publisert noe statistikk for planting og ungskogpleie for Oppland og Buskerud fram til 1970. For de to første periodene har vi satt areal med utført planting og ungskogpleie lik periode 3.

Tabell 9. Arealer med utført planting og ungskogpleie i perioden 1963-2015 i Oppland. Areal oppgitt i ha.

Periode	Planting	Ungskogpleie
1963-1965	5 350	9 228
1965-1970	10 700	18 456
1970-1975	10 700	18 456
1975-1980	11 328	18 378
1980-1985	12 859	25 944
1985-1990	17 005	31 889
1990-1995	18 264	21 009
1995-2000	16 317	15 156
2000-2005	12 887	10 031
2005-2010	127 175	12 394
2010-2015	13 699	13 659

Tabell 10. Arealer med utført planting og ungskogpleie i perioden 1964-2016 i Buskerud. Areal oppgitt i ha.

Periode	Planting	Ungskogpleie
1964-1966	3 399	11 900
1966-1971	6 798	23 801
1971-1976	6 798	23 801
1976-1981	10 523	32 227
1981-1986	12 078	33 887
1986-1991	9 312	31 399
1991-1996	7 384	18 342
1996-2001	6 119	14 336
2001-2006	4 939	14 747
2006-2011	6 051	16 201
2011-2016	2 621	6 198

Statistikk for vernede arealer for perioden 1963-2016 for Oppland og Buskerud er innhentet ved hjelp av Miljødirektoratets “Naturbase” (Miljødirektoratet 2017). Arealer med verneform landskapsvernområde, naturreservat og nasjonalpark er tatt med i statistikken. Restriksjonen på utvelgelsen av områdene var at verneplanen kommer i befatning med skog, slik som

skogvern, verneplan for edelløvsog/rike løvskog etc. Arealer som er underlagt andre restriksjoner slik som MIS-figurer (miljøregistreringer i skog) eller biotopvern, er utelatt i denne oppgaven. Totalt utgjorde vernet areal 41 812 ha for Oppland (tabell 11) og 36 480 ha for Buskerud (tabell 12).

Andelen produktivt skogareal og bonitetsfordeling ble beregnet ut fra tilgjengelig markslagsstatistikk. Av det totale vernede arealet i Buskerud var 46 % produktiv skog (tabell 11), mens for Oppland var 58 % av det totale vernede arealet produktiv skog (tabell 12). Bonitetsfordelingene for begge fylkene er vist i tabell 13. Boniteter opp til 9.5 er satt til lav, boniteter mellom 9.5 og 15.5 er satt til middel og boniteter over 15.5 er satt til høy. Enkelte vernede områder har ikke markslagsstatistikk. For disse områdene ble det gjort forutsetninger. Andelen produktivt skogareal og bonitetsfordelingen ble satt lik de områdene der det foreligger markslagsstatistikk. Områdene uten markslagsstatistikk utgjorde for Oppland 16 171 ha og for Buskerud 15 163 ha. Fylkesmennene i Buskerud (Haaverstad 2017) og Oppland (Abrahamson 2017) har bekreftet at disse forutsetningene er realistiske.

Tabell 11. Andel vernet produktivt skogareal av totalt vernet område, med og uten markslagsstatistikk, i Oppland.

Vernet areal	Areal (ha)	Vernet prod. skogareal (ha)	Andel vernet prod. skogareal (%)
Uten statistikk	16 171	9 397	58
Med statistikk	25 641	14 900	58
Totalt areal vernet	41 812	24 297	58

Tabell 12. Andel vernet produktivt skogareal av totalt vernet område, med og uten markslagsstatistikk, i Buskerud.

Vernet areal	Areal (ha)	Vernet prod. skogareal (ha)	Andel vernet prod. skogareal (%)
Uten statistikk	15 163	7 001	46
Med statistikk	21 317	9 843	46
Totalt areal vernet	36 480	16 844	46

Tabell 13. Bonitetsfordeling (%) for Oppland og Buskerud, basert på tilgjengelig markslagsstatistikk.

Bonitet	Høy	Middel	Lav
Oppland	10	23	67
Buskerud	14	31	55

Tabell 14 og 15 viser det akkumulerte areal for vernede områder fordelt på bonitet i henholdsvis Oppland og Buskerud.

Tabell 14. Akkumulert areal (ha) for vernede områder, fordelt på bonitet, i Oppland.

Periode	Høy	Middel	Lav
1963-1965	0	10	0
1965-1970	0	10	0
1970-1975	0	10	0
1975-1980	0	41	185
1980-1985	37	70	296
1985-1990	62	133	437
1990-1995	652	699	1 471
1995-2000	652	699	1 471
2000-2005	742	1 319	4 661
2005-2010	630	1 733	6 525
2010-2015	1 762	4 245	12 464

Tabell 15. Akkumulert areal (ha) for vernede områder, fordelt på bonitet, i Buskerud.

Periode	Høy	Middels	Lav
1964-1966	0	0	0
1966-1971	4	2	0
1971-1976	87	10	3
1976-1981	87	10	3
1981-1986	224	237	253
1986-1991	354	831	1 540
1991-1996	438	1 028	1 707
1996-2001	653	1 308	1 834
2001-2006	788	1 876	3 708
2006-2011	1 026	2 384	4 648
2011-2016	2 332	5 029	9 287

2.1.1.3. Skogtilstand gjennom analyseperioden

Tabell 16 viser det produktive skogarealet i Oppland i 1963 fordelt etter bonitet og hogstklasse.

Tallene er hentet fra Landsskogtakseringen (1964).

Tabell 16. Areal (ha) fordelt etter bonitet og hogstklasse i Oppland i 1963.

Bonitet	Hogstklasse (ha)					Sum	%
	I	II	III	IV	V		
< 8	6 921	4 795	4 840	30 716	46 322	93 595	15
11	25 875	20 402	13 616	88 076	63 603	211 572	35
14	19 452	39 627	22 121	84 910	39 085	205 194	34
17	4 433	14 476	10 540	29 268	12 033	70 750	12
>20	1 176	5 428	4 750	12 847	2 986	27 187	4
Sum	57 858	84 728	55 867	245 817	164 029	608 299	
%	10	14	9	40	27		

Tabell 17 viser stående kubikkmasse i Oppland i 1963. Tallene er hentet fra Landsskogtakseringen (1964). Diameterklasse 0 og overstandere er utelatt. Volum under bark er beregnet etter Det norske Skogforsøksvesen kubikktabeller med bark og barkprosenttabeller (Landsskogtakseringen 1964).

Tabell 17. Stående kubikkmasse i Oppland i 1963. Tall oppgitt i 1 000 m³ u.b.

Hogstklasse	I	II	III	IV	V	Totalt
Volum	0	0	3 005	21 311	14 013	38 329

Tabell 18 viser bonitetsfordelingen i Oppland i 1963. Tallene er hentet fra Landsskogtakseringen (1964).

Tabell 18. Bonitetsfordeling (%) i Oppland i 1963.

Bonitet	20	17	14	11	8
%	9.3	18.0	37.4	26.9	8.4

Tabell 19 viser treslagsfordelingen i Oppland i 1963 og 2012-2016. Tallene er hentet fra Landsskogtakseringen (1964) og Tomter (2017).

Tabell 19. Treslagsfordeling (%) i Oppland i 1963 og 2012-2016.

Treslag	1963	2012-2016
Gran	74	55
Furu	20	17
Lauv	6	28

Tabell 20 viser det produktive skogarealet i Buskerud i 1964 fordelt etter bonitet og hogstklasse. Tallene er hentet fra Landsskogtakseringen (1965).

Tabell 20. Areal (ha) fordelt etter bonitet og hogstklasse i Buskerud i 1964.

Bonitet	Hogstklasse (ha)					Sum	%
	I	II	III	IV	V		
< 8	10 875	5 277	4 038	31 202	46 023	97 415	18
11	21 842	21 291	8 764	60 753	48 409	161 059	31
14	15 051	34 552	17 804	65 020	38 085	170 511	32
17	3 625	10 645	7 892	31 936	12 848	66 947	13
>20	505	4 176	5 139	15 326	4 221	29 367	6
Sum	51 897	75 940	43 637	204 237	149 587	525 299	
%	10	14	9	39	28		

Tabell 21 viser stående kubikkmasse i Buskerud i 1964. Tallene er hentet fra Landsskogtakseringen (1965). Diameterklasse 0 og overstandere er utelatt. Volum under bark er beregnet etter Det norske Skogforsøksvesen kubikktabeller med bark og barkprosenttabeller (Landsskogtakseringen 1965).

Tabell 21. Stående kubikkmasse i Buskerud i 1964. Tall oppgitt i 1 000 m³ u.b.

Hogstklasse	I	II	III	IV	V	Totalt
Volum	0	0	2 499	19 399	13 510	35 408

Tabell 22 viser bonitetsfordeling i Buskerud i 1964. Tallene er hentet fra Landsskogtakseringen (1965).

Tabell 22. Bonitetsfordeling (%) i Buskerud i 1964.

Bonitet	20	17	14	11	8
%	12.3	21.5	36.2	21.1	8.7

Tabell 23 viser treslagsfordelingen for Buskerud i 1962 og 2012-2016. Tallene er hentet fra Landsskogtakseringen (1965) og Tomter (2017).

Tabell 23. Treslagsfordeling (%) for Buskerud i 1964 og 2012-2016.

Treslag	1964	2012-2016
Gran	62	42
Furu	29	38
Lauv	9	20

Av tabell 24 og 25 framgår det at det produktive arealet under barskoggrensa har økt i perioden for begge fylker (Tomter 2017). For å kunne sammenligne stående volum ved start- og sluttidspunkt har det stående volum ved sluttidspunkt blitt justert i forhold til arealøkningen. Det forutsettes at det nye arealet som har kommet til har samme volum pr. arealenhet som gjennomsnittlig for hele arealet ved registreringstidspunktet. Det justerte stående volumet i 2015/16 er framkommet slik:

$$\frac{Svolreg}{AREAreg} \cdot AREAstart$$

Forklaring:

Svolreg Stående volum ved registreringstidspunkt.

AREAreg Det produktive arealet ved registreringstidspunkt.

AREAstart Det produktive arealet ved analysens starttidspunkt.

Fram til 2005 ble det produktive skogarealet registrert opp mot en vurdert barskoggrense, mens fra 2005 ble hele skogarealet opp til snaufjellet registrert (Landsskogtakseringen 2008). Derfor benyttes produktivt skogareal under barskoggrensa ved sluttidspunkt.

Tabell 24. Produktivt skogareal under barskogsgrensa i Oppland perioden 1962-2014.

År	Ha	Økning
1962-63	608 300	
1964-76	648 729	7 %
1991-92	723 474	19 %
2000-04	741 415	22 %
2010-14	759 744	25 %

Tabell 25. Produktivt skogareal under barskogsgrensa i Buskerud perioden 1962-2016.

År	Ha	Økning
1963-64	525 300	
1964-76	555 395	6 %
1991	572 195	9 %
2000-04	561 995	7 %
2012-16	571 926	9 %

Tabell 26 og 27 viser utvikling av det stående volumet, både registrert og justert, i analyseperioden for henholdsvis Oppland og Buskerud.

Tabell 26. Utvikling av stående volum i analyseperioden for Oppland. Tall oppgitt i 1 000 m³ u.b.

År	Stående volum, registrert	Stående volum, justert areal
1963	40 589	40 589
1976	48 755	45 713
1984	56 174	49 800
1991	64 004	53 811
2002	72 291	59 307
2014	85 080	68 116

Tabell 27. Utvikling av stående volum i analyseperioden for Buskerud. Tall oppgitt i 1 000 m³ u.b.

År	Stående volum, registrert	Stående volum, justert areal
1964	37 432	37 432
1976	42 158	39 873
1984	50 599	47 127
1991	54 316	49 865
2002	57 383	53 637
2014	66 847	61 398

2.1.2. Metode

I denne oppgaven ønsker man å estimere verdien av et bestemt areal for trevirkeproduksjon, med varierende forutsetninger, som f.eks. er knyttet til produksjonsevne, bestokning, tilgjengelighet, ulike program for skogbehandling og forskjellige pris -og kostnadsnivåer eller avkastningskrav. Flere ulike beregningsmodeller er å oppdrive (Hoen et al. 1998), men i denne oppgaven er Gaya-J valgt. Dette programmet ble videreutviklet gjennom forskningsprogrammet «Skogøkologi og flersidig skogbruk», nettopp for å kunne behandle aktuelle tiltak innen «flersidig skogbruk» (Hoen & Veistein 1995).

Modellen har tidligere bl.a. vært brukt i konsekvensanalyser av vern av arealer innen ulike bonitetsklasser, generelle krav om økt omløpstid, økt krav om mengde stående lauv, intensitet i skogkulturinvesteringer, og kantsoner rundt våtmarker og vassdrag. Næsset et al. (1997) brukte modellen til å sammenligne skogbehandling basert på prinsippene i ASIO-modellen, med skogbehandling der målsettingen var best mulig lønnsomhet i virkesproduksjonen. Modellen er også blitt brukt for å se på økonomiske konsekvenser av tiltak for et bærekraftig skogbruk (Hoen et al. 1998). Andre lignende konsekvensanalyser er gjennomført av Bergseng et al. (2012); (2013); Borges et al. (2015); (2016); Eid et al. (2001); Eid et al. (2002); Hoen et al. (2001); Raymer et al. (2009).

Begrunnelsen for at nettopp Gaya-J er valgt til å kjøre analysene i denne oppgaven, er på grunn av muligheten for å fremskaffe svært detaljerte beskrivelser av tilstanden på skogarealene (Hoen et al. 1998). Dette gjør at en får frem svært nøyaktige analyser av

hvordan ulike restriksjoner for skogbehandlingen vil påvirke produksjonspotensialet og mulighetene for avvirkning (Hoen et al. 1998).

2.1.2.1. Verktøy (Gaya og J)

Gaya-J består av en simuleringsdel (Gaya) som beregner mulige skogbehandlingsprogrammer for de enkelte behandlingseenheter (Hoen & Eid 1990; Hoen & Gobakken 2004), og en optimeringsdel (J) der en ut fra gitte målsettinger for arealene i sin helhet velger den optimale skogbehandlingen (Lappi & Lempinen 2016).

For å kunne beskrive utgangstilstanden til hver enkel behandlingseenhet er følgende grunnleggende variabler nødvendig;

- Bonitet
- Alder
- Grunnflatesum
- Overhøyde
- Treantall/ha
- Treslag

Framskrivningene for hver behandlingseenhet er basert på «middeltreet», beskrevet gjennom grunnflatemiddeldiameter og grunnflateveid middelhøyde og treantall pr ha.

Grunnflatemiddeldiameter og grunnflateveid middelhøyde blir beregnet av Gaya basert på overhøyde. De viktigste elementene i disse framskrivningene er diametertilvekstfunksjoner (Blingsmo, 1984), høydeutviklingsmodeller (Braastad 1977; Strand 1967; Tveite 1967; 1976; 1977), og en modell for naturlig avgang (Braastad 1982). Verdien for årlig naturlig avgang er basert på bruk av rater (0.72 for gran, 0.54 for furu og 1.12 for lauv) og relativ diameter i avgangen på 0.7 (0.85 ved S%-tynning) (Hoen & Gobakken 2004).

Utgangstilstanden for hogstklasse I beskrives kun ved hjelp av bonitet. For de resterende variablene må det gjøres forutsetninger. I hogstklasse II er alder, bonitet, treantall/ha og treslagsfordeling nødvendig for å kunne beskrive utgangstilstanden, mens de resterende variablene beregnes i Gaya. Forutsetningene for ny skog for arealer som på registreringstidspunktet ikke er tresatte og for arealer som avvirket er beskrevet i Hoen et al. (1998).

I beregningen blir et sett med beslutningsvariabler tilordnet verdier for hver periode. Beslutningsvariablene kan benyttes til å definere en behandling, det vil si et aktivt inngrep som påvirker bestandets videre utvikling. En tynning kan for eksempel defineres på fire forskjellige måter; 1) uttakets andel av grunnflaten før inngrepet, 2) gjenstående grunnflate etter inngrepet, 3) treantall i uttaket og 4) treantall i bestanden etter inngrepet. I tillegg til å definere en av disse 4 beslutningsvariablene skal relativ diameter, dvs. forholdet mellom diameter i uttaket og bestanden før behandling, angis ved definering av en tynning (Hoen & Gobakken 2004). Et behandlingsprogram forstås her som en sekvens av behandlinger som inngår i en beregnet utviklingsbane for ett bestand (Hoen & Gobakken 2004). Et behandlingsprogram angir følgelig hvilken behandling som gjennomføres i bestanden i hver av de periodene simuleringen gjelder for. Med ett sett av slike behandlingsprogrammer for behandlingsenhetene (eller bestandene) i et skogområde utvikles dermed en behandlingsstrategi, slik at hver arealenhet i skogområdet er tilordnet ett bestemt behandlingsprogram (Hoen & Gobakken 2004). I prinsippet kan Gaya anvendes på både bestandsnivå og skognivå, men den er primært utviklet for å analysere på skognivå. Legges det ikke inn verdier for beslutningsvariablene, vil bestanden stå urørt i perioden (la stå).

I denne oppgaven er periodelengden 5 år, antall perioder 11 og behandlingen gjennomføres midt i perioden. Kalkulasjonsrenten som er benyttet for alle analyser i denne studien er 2 %. Ettersom det i Gaya-J ble kjørt med periodelengde på 5 år og tiltak ble gjennomført etter 2.5 år, ble det i periode 1 bli feil å sette restriksjonene lik det faktiske i periode 1. Da vil Gaya-J ha beregnet tilvekst for 2.5 år av periode 1 og skogbehandling av hele periode 1, altså 5 år. Dette fører til at man får et lavere stående volum enn det som faktisk er tilfellet.

En konsekvensanalyse innebærer at resultater fra 2 eller flere beregninger med ulike forutsetninger sammenliknes. Prinsipielt sett kan slike analyser utføres på to måter; 1) ved en direkte sammenlikning av resultatene, basert på en uformell eller intuitiv modell, eller 2) basert på en eller annen formell modell eller beslutningskriterium (Gobakken & Hoen 2004). Vi forutsetter her at det er metode 2 som er interessant, det vil si at beslutningstakeren er i stand til å formulere en målsetting for disponeringen av skogarealet og at denne målsettingen kan uttrykkes ved hjelp av variabler som beskrives i Gaya. Et eksempel på en mye brukt målsetting ved beregning av behandlingsstrategier for skogeiendommer er balansekvantum. Andre eksempler kan være maksimering av nåverdien av netto kontantstrøm (dette innebærer i realiteten en bestandsvis optimalisering), eller en maksimering av nåverdien av netto

kontantstrøm med en bi-betingelse at avvirkningskvantumet ikke kan synke fra en periode til den påfølgende (Hoen & Gobakken 2004).

Selve skogbehandlingsproblemet skrives som et lineært programmeringsproblem (LP-problem) (Hoen & Gobakken 2004). De enkelte behandlingsprogram inngår som en aktivitet (beslutningsvariabel) i LP-problemet som formuleres for hele skogområdet sett under ett. LP-problemene løses med modellen J, utviklet av Juha Lappi (Lappi & Lempinen 2016).

Med hjelp av Gaya beregnes det flere ulike behandlingsprogrammer for vært enkelt bestand. Disse behandlingsprogrammene utgjør de valgmulighetene (fleksibiliteten) som foreligger for utarbeidelse av en behandlingsstrategi for hele skogområdet, vurdert under ett. LP-modellen velger den kombinasjonen av behandlingsprogram for alle bestandene, eller behandlingsenhetene som er den beste når hele skogområdet sees under ett. Et LP-problem består av en målfunksjon (objektfunksjon), og ett sett med restriksjoner. Målfunksjonen i denne studien er å maksimere nåverdien av skogen. De restriksjonene som er satt i forhold til avvirkning (totalt, gran og furu), planting, ungskogpleie og vernede arealer fordelt på lav, middels og høy bonitet er lik de faktiske gjennom analyseperioden. I tillegg vil det alltid være en arealrestriksjon som sikrer at hvert bestand tilordnes en behandling. Denne restriksjonen fungerer slik at summen av det arealet som tilordnes behandlingsprogrammene for ett bestand, skal være lik arealet for bestandet (Hoen & Gobakken 2004). Fra og med periode 8 er volumuttak ved alle slutthogster justert slik at det tilsvarer gjensetting av 10 livsløpstrær pr. ha. For restriksjon (7) har faktoren blitt justert fra 0.99 til 0.9 for Buskerud for at J skulle finne en løsning på LP-problemet.

Beskrivelse av LP-problem for referansealternativet:

$$maks. z_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{J_i} npv_{ij} \cdot w_{ij} \quad (1)$$

når

$$\sum_{ij} uvolt_{ijt} \cdot w_{ij} > H_t \cdot 0.99 \quad (2)$$

$$\sum_{ij} uvolg_{ijt} \cdot w_{ij} < H_{gt} \quad (3)$$

$$\sum_{ij} uvolf_{ijt} \cdot w_{ij} < H_{ft} \quad (4)$$

$$\sum_{ij} planting_{ijt} \cdot w_{ij} > P_t \cdot 0.99 \quad (5)$$

$$\sum_{ij} planting_{ijt} \cdot w_{ij} < P_t \cdot 1.01 \quad (6)$$

$$\sum_{ij} ungs_{ij} \cdot w_{ij} > U_t \cdot 0.99 \quad (7)$$

$$\sum_{ij} ungs_{ij} \cdot w_{ij} < U_t \cdot 1.01 \quad (8)$$

$$\sum_{ij} vernl_{ij} \cdot w_{ij} = V_{lt} \quad (9)$$

$$\sum_{ij} vernm_{ij} \cdot w_{ij} = V_{mt} \quad (10)$$

$$\sum_{ij} vernh_{ij} \cdot w_{ij} = V_{ht} \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^J w_{ij} = 1, \forall i \text{ når } w_{ij} \geq 0 \quad (12)$$

Symboler:

npv_{ij}	Skogarealets nåverdi når behandlingsenhet i behandles med behandlingsprogram j .
w_{ij}	Andelen av behandlingsenhet i tilordnet behandlingsprogram j .
$uvolt_{ijt}$	Avvirket volum totalt i periode t når behandlingsenhet i behandles med behandlingsprogram j .
$uvalg_{ijt}$	Avvirket volum gran i periode t når behandlingsenhet i behandles med behandlingsprogram j .
$uvilf_{ijt}$	Avvirket volum furu i periode t når behandlingsenhet i behandles med behandlingsprogram j .
H_t	Historisk avvirkningsnivå totalt i periode t .
H_{gt}	Historisk avvirkningsnivå gran i periode t .
H_{ft}	Historisk avvirkningsnivå furu i periode t .
$planting_{ijt}$	Areal forynget med planting i periode t når behandlingsenhet i behandles med behandlingsprogram j .
P_t	Historisk areal forynget med planting i periode t .

$ungsk_{ijt}$	Areal der det er gjennomført ungskogpleie i periode t når behandlingsenhet i behandles med behandlingsprogram j .
U_t	Historisk areal der det er gjennomført ungskogpleie i periode t .
$vernl_{ijt}$	Vernet areal lav bonitet (< bonitet 9.5) i periode t når behandlingsenhet i behandles med behandlingsprogram j . Min. alder: 65 år,
$vernm_{ijt}$	Vernet areal middels bonitet (bonitet 9.5 – bonitet 15.5) i periode t når behandlingsenhet i behandles med behandlingsprogram j . Min. alder: 85 år.
$vernh_{ijt}$	Vernet areal høy bonitet (> bonitet 15.5) i periode t når behandlingsenhet i behandles med behandlingsprogram j . Min. alder: 90 år.
V_{lt}	Historisk vernet areal (akkumulert) lav bonitet (< bonitet 9.5) i periode t .
V_{mt}	Historisk vernet areal (akkumulert) middels bonitet (bonitet 9.5 – bonitet 15.5) i periode t .
V_{ht}	Historisk vernet areal (akkumulert) høy bonitet (> bonitet 15.5) i periode t .

2.1.2.2. Analyser

Prosessen med å kalibrere Gaya-J slik at referansealternativet har samme utvikling som den faktiske utviklingen har bydd på flere utfordringer. Stående volum ved starttidspunkt (1963 for Oppland og 1964 for Buskerud), sluttidspunkt (2015 for Oppland og 2016 for Buskerud) og gjennom analyseperioden har vært parametere for å se hvor godt referansealternativet som simuleres i Gaya-J stemmer med den faktiske utviklingen.

Ved de første kjøringene av Gaya-J fikk enkelte furu- og lauvbestand i hogstklasse I negativ nåverdi. Disse ble sjekket og det viste seg at høye skogkulturkostnader knyttet til foryngelse basert på planting på relativt lave boniteter var årsaken til dette. Etter at foryngelsesmetoden for furu- og lauvbestand i hogstklasse I ble endret fra planting til naturlig foryngelse, ble

nåverdien på disse bestandene positiv. Naturlig foryngelse ble forutsatt for granbestand på boniteter under 12.5 og for alle furu- og lauvbestand.

Alle kostnader for planting og ungskogpleie er oppdatert til 2015-priser. Kostnadene for planting på landsbasis var i 2015 5,27 kr/plante (Statistisk sentralbyrå 2016a). Prisene ble oppdatert i «nyskogfila», som definerer forutsetningene for etablering av ny skog, og «grunn- og venteverdifila», som definerer forutsetningene for beregning av grunn- og venteverdi (Hoen & Gobakken 2004). Kostnader for ungskogpleie (rydding/avstandsregulering) ble beregnet på grunnlag av tariffen for ungskogpleie i Overenskomsten (Hoen et al. 1998). Denne kan korrigeres i «styrefila» ved hjelp av kontrollvariabelen DK som angir korreksjonsfaktor, prosentvis endring, for kostnader ved behandling (Hoen & Gobakken 2004). Den gjennomsnittlige kostnaden for hele landet var i 2015 var 388 kr/dekar (Statistisk sentralbyrå 2016b). Ved å endre kontrollvariabelen DK til 200, havner den gjennomsnittlige kostnaden for ungskogpleie i Gaya-J tilsvarende den faktiske gjennomsnittlige kostnaden for 2015. Tabell 28 viser tømmerpriser som ble benyttet i analysene (Statistisk sentralbyrå 2016b).

Tabell 28. Gjennomsnittlige tømmerpriser på landsbasis i 2015. Verdiene er oppgitt i NOK/m³.

Tømmerpriser	Gran	Furu	Lauv
Skurtømmer	440	449	336
Massevirke	211	192	202

Forutsetningene for hogst har blitt forandret ved at den øvre hogstalden er blitt hevet slik at alle bestandene skal ha mulighet til å bli avvirket i alle 11 perioder. Dette gjør at det ikke blir noen begrensninger i forhold til når avvirkning av bestand skal bli gjennomført.

2.2. Kontrafaktisk analyse

For den kontrafaktiske analysen vil metodedelen være lik referansealternativet med unntak av restriksjonene som settes i forhold til skogbehandlingen gjennom analyseperioden.

Delproblemstillingene for de kontrafaktiske analysene er spesifisert slik:

2.1 Hva er effektene av endret intensitet i foryngelse?

- All ny skog etter hogst etableres med naturlig foryngelse (plante 0 %).
- Ny skog etter hogst forynges med planting på 50 % av de historisk plantede arealene (plante 50 %).
- Ny skog etter hogst forynges med planting på 150 % av de historisk plantede arealene (plante 150 %).
- All ny skog etter hogst etableres med planting (plante alt).

2.2 Hva er effektene av endret omfang i ungsogpleie?

- Det gjennomføres ikke ungsogpleie (ungskogpleie 0 %).
- Det gjennomføres ungsogpleie på 50 % av de arealene det historisk har blitt gjennomført ungsogpleie på (ungskogpleie 50 %).
- Det gjennomføres ungsogpleie på 150 % av de arealene det historisk har blitt gjennomført ungsogpleie på (ungskogpleie 150 %).

2.3 Hva er effektene av endret intensitet i foryngelse og omfang i ungsogpleie samtidig?

- All ny skog etter hogst etableres med naturlig foryngelse og det gjennomføres ikke ungsogpleie (plante og ungsogpleie 0 %).
- Det gjennomføres planting og ungsogpleie på 50 % av de historiske arealene (plante og ungsogpleie 50 %).
- Det gjennomføres planting og ungsogpleie på 150 % av de historiske arealene (plante og ungsogpleie 150 %).

For delproblemstilling 2.1, plante 0%, forsvinner restriksjonene (5) og (6) som beskrevet i kapittel 2.1.2.1. og blir erstattet av denne:

$$\sum_{ij} planting_{ijt} \cdot w_{ij} < 0.1$$

Dette fører til at faktoren i restriksjon (7), knyttet til areal med ungsogpleie, må senkes til 0.55 for Oppland og 0.45 for Buskerud for at J skal finne en løsning på LP-problemet:

$$\sum_{ij} ungs_{ij} \cdot w_{ij} > U_t \cdot 0.55 \quad (7)$$

$$\sum_{ij} ungs_{ij} \cdot w_{ij} > U_t \cdot 0.45 \quad (7)$$

For delproblemstilling 2.1, plante 50%, endres restriksjonene (5) og (6) slik:

$$\sum_{ij} planting_{ij} \cdot w_{ij} > P_t \cdot 0.49 \quad (5)$$

$$\sum_{ij} planting_{ij} \cdot w_{ij} < P_t \cdot 0.51 \quad (6)$$

Dette fører til at faktoren i restriksjon (7) må senkes til 0.75 for Oppland og 0.58 for Buskerud for at J skal finne en løsning på LP-problemet:

$$\sum_{ij} ungs_{ij} \cdot w_{ij} > U_t \cdot 0.75 \quad (7)$$

$$\sum_{ij} ungs_{ij} \cdot w_{ij} > U_t \cdot 0.58 \quad (7)$$

For delproblemstilling 2.1, plante 150 %, endres restriksjonene (5) og (6) slik:

$$\sum_{ij} planting_{ij} \cdot w_{ij} > P_t \cdot 1.49 \quad (5)$$

$$\sum_{ij} planting_{ij} \cdot w_{ij} < P_t \cdot 1.51 \quad (6)$$

For delproblemstilling 2.1, plante alt, benyttes ikke restriksjonene (5) og (6) og blir erstattet av denne:

$$\sum_{ij} nat_{ijt} \cdot w_{ij} < 0.1$$

Symbol:

nat_{ijt} Areal forynget med naturlig foryngelse i periode t når behandlingsenhet i behandles med behandlingsprogram j .

For delproblemstilling 2.2, ungsogpleie 0 %, benyttes ikke restriksjonene (7) og (8) og blir erstattet av denne:

$$\sum_{ij} ungs_{ijt} \cdot w_{ij} < 0.1$$

For delproblemstilling 2.2, ungsogpleie 50 %, endres restriksjonene (7) og (8) som beskrevet i kapittel 2.1.2.1. slik:

$$\sum_{ij} ungs_{ijt} \cdot w_{ij} > U_t \cdot 0.49 \quad (7)$$

$$\sum_{ij} ungs_{ijt} \cdot w_{ij} < U_t \cdot 0.51 \quad (8)$$

For delproblemstilling 2.2, ungsogpleie 150 %, endre restriksjonene (7) og (8) slik:

$$\sum_{ij} ungs_{ijt} \cdot w_{ij} > U_t \cdot 1.49 \quad (7)$$

$$\sum_{ij} ungs_{ijt} \cdot w_{ij} < U_t \cdot 1.51 \quad (8)$$

For delproblemstilling 2.3, plante og ungsogpleie 0 %, benyttes ikke restriksjonene (5), (6), (7) og (8) som beskrevet i kapittel 2.1.2.1. og blir erstattet av disse:

$$\sum_{ij} \text{planting}_{ijt} \cdot w_{ij} < 0.1$$

$$\sum_{ij} \text{ungsk}_{ijt} \cdot w_{ij} < 0.1$$

For delproblemstilling 2.3, mer ekstensiv skogkulturintensitet (plante og ungsogpleie 50 %), endres restriksjonene (5), (6), (7) og (8) slik:

$$\sum_{ij} \text{planting}_{ijt} \cdot w_{ij} > P_t \cdot 0.49 \quad (5)$$

$$\sum_{ij} \text{planting}_{ijt} \cdot w_{ij} < P_t \cdot 0.51 \quad (6)$$

$$\sum_{ij} \text{ungsk}_{ijt} \cdot w_{ij} > U_t \cdot 0.49 \quad (7)$$

$$\sum_{ij} \text{ungsk}_{ijt} \cdot w_{ij} < U_t \cdot 0.51 \quad (8)$$

Bundet karbon i levende trær ved analysens sluttidspunkt er beregnet ved hjelp av biomasseekspansjonsfaktorer (BEF) og omregning til CO₂-ekvivalenter (CO₂-eq). BEF gir forholdet mellom volum stammevirke (m³) og total biomasse (tonn). En enhet tørrstoff (1 tonn) regnes om til CO₂-eq basert på denne formelen:

1 tonn tørrstoff * andel karbon tørrstoff (50 %) * atomvekt CO₂/atomvekt C (44/12) = 1.8333 tonn CO₂-eq

Faktoren 1.8333 gir vekten av den CO₂-mengden som må til for å skaffe karbonet bundet i en enhet tørrstoff trevirke. Total biomasse (tonn/ha) pr. volum (m³/ha) er hentet fra Eid et al. (2016). Ved å multiplisere total biomasse (tonn/ha) med faktoren 1,8333 og dividere på volumet stammevirke kan man beregne CO₂-eq i tonn per m³ stammevirke for hvert treslag. Dette er beregnet for gran, furu og lauv. Det er valgt ut 3 ulike volumtall på bonitet 14 for ulike treslagene som skal representere gjennomsnittet av skogen. Tabell 29, 30 og 31 viser CO₂-eq for henholdsvis gran, furu og lauv.

Tabell 29. CO₂-ekvivalenter (CO₂-eq) for gran for 100, 300 og 500 m³/ha. Gjennomsnittlig (CO₂-eq) for gran er 1.52.

Volum (m ³ /ha)	Total biomasse (tonn/ha) fra tre, bonitet 14	CO ₂ -eq tonn/m ³
100	94.3	1.73
300	240.8	1.47
500	372.2	1.36

Tabell 30. CO₂-ekvivalenter (CO₂-eq) for furu for 100, 300 og 500 m³/ha. Gjennomsnittlig (CO₂-eq) for furu er 1.25.

Volum (m ³ /ha)	Total biomasse (tonn/ha) fra tre, bonitet 14	CO ₂ -eq tonn/m ³
100	73.0	1.34
300	202.5	1.24
500	322.0	1.18

Tabell 31. CO₂-ekvivalenter (CO₂-eq) for lauv for 100, 300 og 500 m³/ha. Gjennomsnittlig (CO₂-eq) for lauv er 1.73.

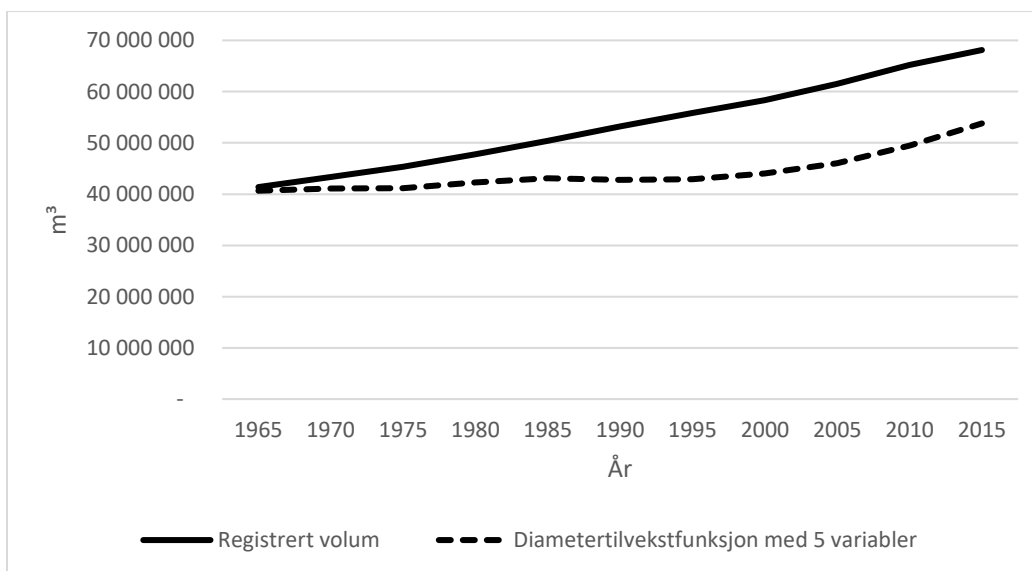
Volum (m ³ /ha)	Total biomasse (tonn/ha) fra tre, bonitet 14	CO ₂ -eq tonn/m ³
100	100.7	1.85
300	265.0	1.62
500	467.9	1.72

3. Resultater

3.1. Referansealternativ

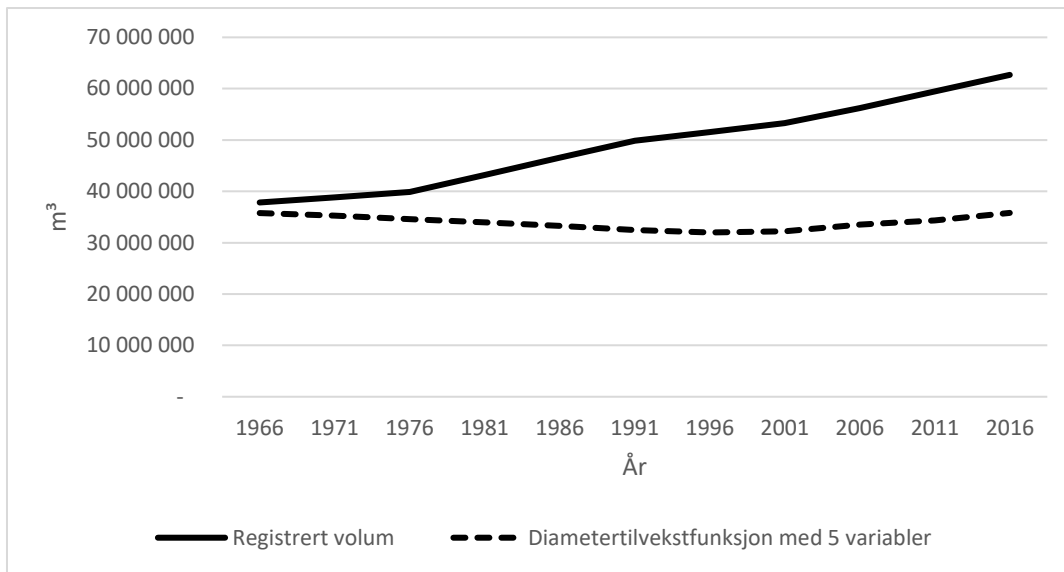
I arbeidet med å få referansealternativet estimert av Gaya-J til å samsvare mest mulig med den faktiske utviklingen, ble det gjennomført flere ulike tilnærminger. Før arbeidet startet ble det satt en målsetting om maksimalt 5 % avvik mellom det registrerte stående volumet og det simulerte stående volumet.

Først ble det benyttet en diametertilvekstfunksjon med 5 variabler (Blingsmo 1984) i Gaya-J. Variablene i denne funksjonen er brysthøydealder, bonitet, treantall pr. ha, grunnflateveid middeldiameter og overhøyde. Figur 2 og 3 viser utviklingen av registrert stående volum og simulert stående volum ved bruk av denne funksjonen for henholdsvis Oppland og Buskerud. For Oppland så vi at det simulerte stående volumet holdt seg stabilt rett over 40 millioner m³ fram til år 2000 før volumet begynte å stige (figur 2). Det registrerte stående volumet økte gjennom hele analyseperioden. Avviket mellom det simulerte stående volumet og det registrerte stående volumet økte fram til år 2005 før det sank noe på slutten av analyseperioden.



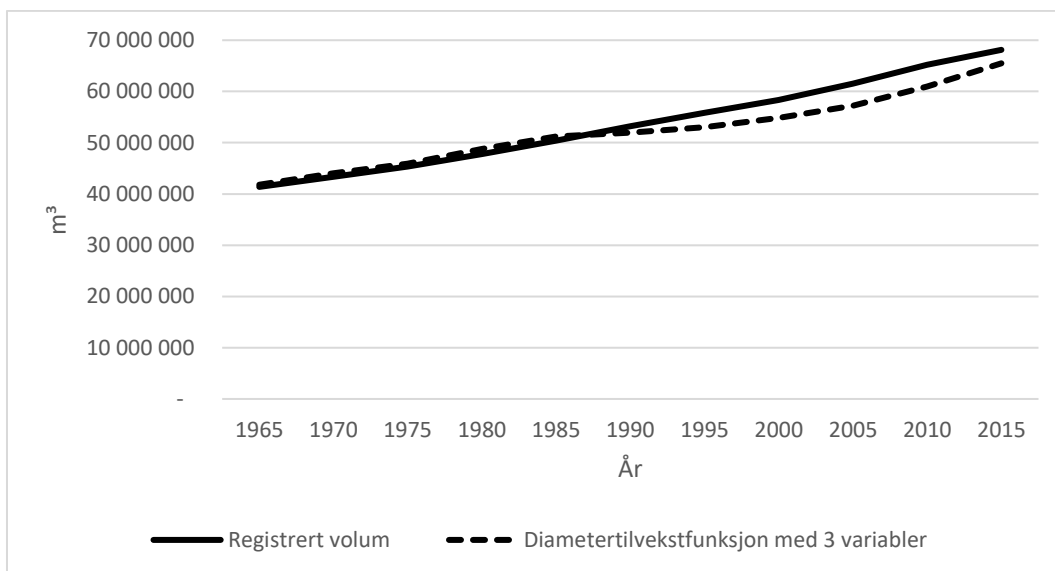
Figur 2. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 5 variabler) for Oppland fylke. Tallene er oppgitt under bark.

For Buskerud så vi at det simulerte stående volumet sank fram til år 1996 før det steg noe de siste 20 årene (figur 3). Det registrerte stående volumet økte gjennom hele perioden. Avviket mellom det simulerte stående volumet og det registrerte stående volumet økte derfor gjennom hele analyseperioden



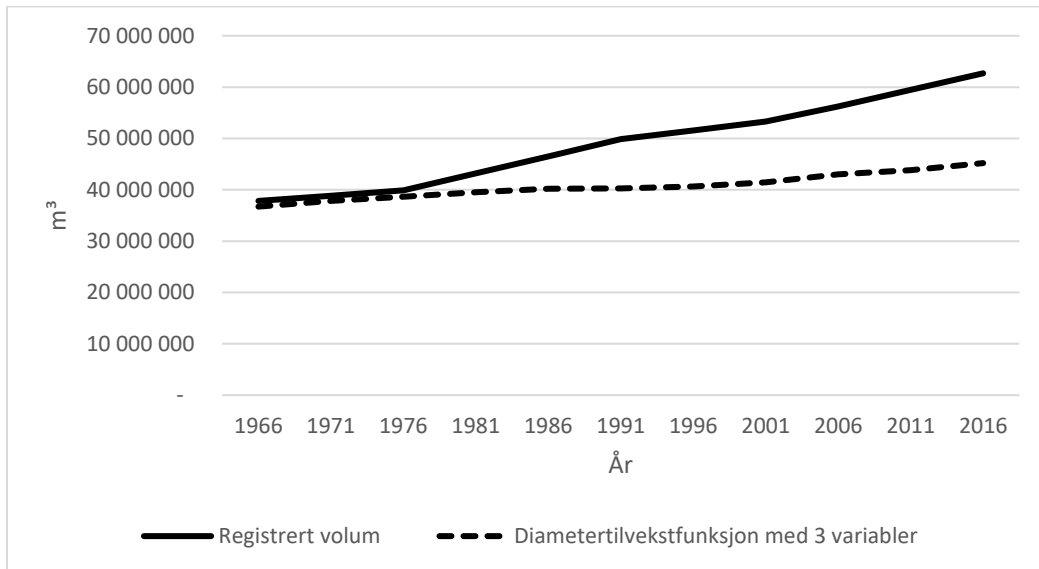
Figur 3. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 5 variabler) for Buskerud fylke. Tallene er oppgitt under bark.

En annen diametertilvekstfunksjon som ligger inne i Gaya-J, baserer seg på kun 3 forklaringsvariabler, der variablene er grunnflateveid middeldiameter, bonitet og treantall pr ha (Blingsmo 1984). Figur 4 og 5 viser utviklingen av registrert stående volum og simulert stående volum ved bruk av diametertilvekstfunksjonen med 3 variabler for henholdsvis Oppland og Buskerud. For Oppland fulgte det simulerte stående volumet det registrerte stående volumet fram til år 1990 (figur 4). Fra år 1990 var det simulerte stående volumet lavere enn det registrerte stående volumet.



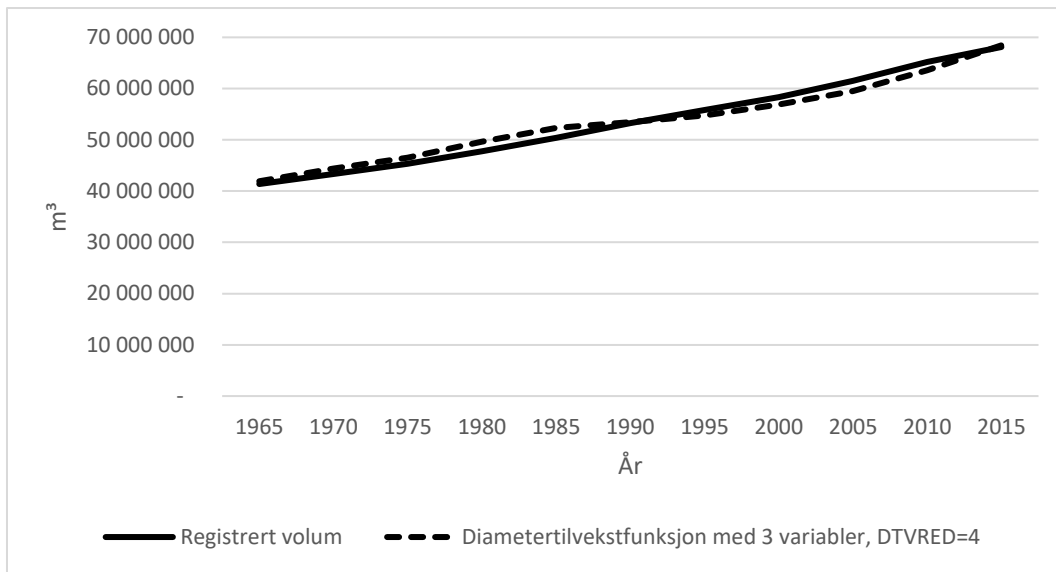
Figur 4. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 3 variabler) for Oppland fylke. Tallene er oppgitt under bark.

For Buskerud fulgte det simulerte stående volumet det registrerte stående volumet fram til år 1976 (figur 5). Fra år 1976 økte det registrerte stående volumet fra 40 millioner m³ til 63 millioner m³ i år 2016. Det simulerte stående volumet økte kun fra 39 millioner m³ i 1976 til 45 millioner m³ i 2016. Avviket mellom det simulerte stående volumet og det registrerte stående volumet økte derfor fra år 1976 og ut analyseperioden.



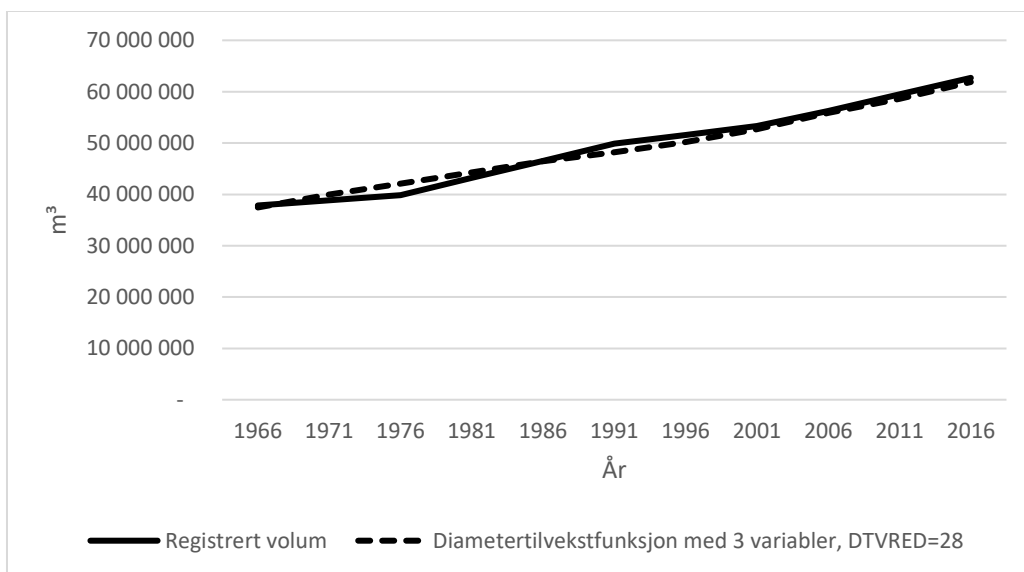
Figur 5. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 3 variabler) for Buskerud fylke. Tallene er oppgitt under bark.

Tredje tilnærming for å få referansealternativet simulert av Gaya-J til å samsvare mest mulig med den faktiske utviklingen, var å benytte seg av kommandoen «DTVRED» i styrefila i Gaya-J. Denne kommandoen gir anledning til å øke eller redusere diametertilveksten fordelt på treslagene gran, furu og lauv og 7 bonitetsklasser ($H_{40} = 23,20,17,14,11,8,6$) (Hoen & Gobakken 2004). Figur 6 og 7 viser utviklingen av registrert stående volum og simulert stående volum ved bruk av diametertilvekstfunksjonen med 3 variabler og en økning av diametertilveksten med 4 % og 28 % for henholdsvis Oppland og Buskerud. For Oppland lå det simulerte stående volumet noe høyere enn det registrerte stående volumet i starten av analyseperioden, mens det i siste del av analyseperioden lå noe under det registrerte stående volumet (figur 6). Avvikene oversteg ikke 5 %.



Figur 6. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 3 variabler og DTVRED=4) for Oppland fylke. Tallene er oppgitt under bark.

For Buskerud lå det simulerte stående volumet noe høyere enn det registrerte stående volumet fram til år 1986 (figur 7). Fra år 1986 og ut analyseperioden lå det simulerte stående volumet noe under det registrerte stående volumet.



Figur 7. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert (diametertilvekstfunksjon med 3 variabler og DTVRED=28) for Buskerud fylke. Tallene er oppgitt under bark.

Tabell 32 og 33 viser avvikene mellom det simulerte og det registrerte stående volumet ved de ulike tilnærmingene for å få et referansealternativ for henholdsvis Oppland og Buskerud. Disse tabellene er tatt med for å vise de eksakte avvikene og for å sammenligne de ulike tilnærmingene for å få et referansealternativ. I år 1976 oversteg avviket mellom det simulerte og det registrerte stående volumet 5 % (5.6 %) i Buskerud ved bruk av

diametertilvekstfunksjonen med 3 variabler og et påslag i diametertilveksten på 28 % (tabell 33). Dette ble godtatt som et kompromiss i forhold til å få avviket ved slutten av analyseperioden til å bli så lite som mulig.

Tabell 32. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert der det er benyttet ulike diametertilvekstfunksjoner og korrigering av tilveksten, for Oppland fylke. Volumtallene er oppgitt i millioner m³ under bark. Avvikene er oppgitt i %..

År	Diametertilvekstfunksjoner			
	Registrert volum	5 variabler	3 variabler	3 variabler, DTVRED = 4
1965	41.4	-1.8	1.0	1.3
1970	43.3	-5.2	1.6	2.5
1975	45.3	-9.2	1.3	2.6
1980	47.8	-11.5	2.1	3.9
1985	50.4	-14.5	1.7	3.9
1990	53.2	-19.6	-2.3	0.4
1995	55.8	-23.2	-5.0	-1.8
2000	58.3	-24.5	-5.9	-2.4
2005	61.5	-25.2	-6.9	-3.2
2010	65.2	-24.1	-6.5	-2.4
2015	68.1	-21.0	-3.8	0.5

Tabell 33. Utvikling av stående volum, registrert sammenlignet med simulert der det er benyttet ulike diameter-tilvekstfunksjoner og korrigering av tilveksten, for Buskerud fylke. Volumtallene er oppgitt i millioner m³ under bark. Avvikene er oppgitt i %.

År	Registrert volum	Diameter-tilvekstfunksjoner		
		5 variabler	3 variabler	3 variabler, DTVRED = 28
1966	37.8	-5.4	-2.9	-1.0
1971	38.9	-9.1	-2.6	2.8
1976	39.9	-13.3	-3.0	5.6
1981	43.2	-21.3	-8.5	2.5
1986	46.5	-28.5	-13.6	-0.2
1991	49.9	-34.9	-19.3	-3.3
1996	51.6	-38.0	-21.2	-2.7
2001	53.3	-39.5	-22.2	-1.1
2006	56.2	-40.3	-23.5	-0.6
2011	59.5	-42.2	-26.2	-1.4
2016	62.7	-42.8	-27.9	-1.3

3.2. Kontrafaktisk analyse

3.2.1. Oppland

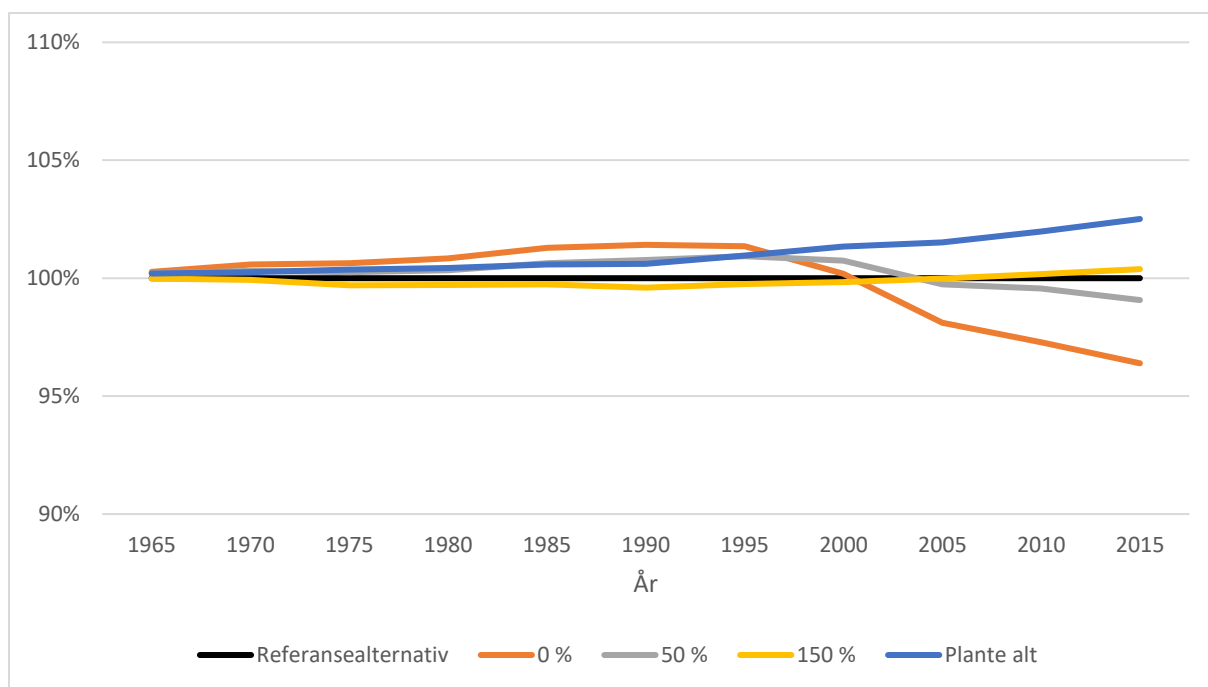
I dette kapitlet blir det presentert treslagsfordelinger i prosent for ulike alternativer (tabell 34, 35, 36, 37, 38 og 39). På grunn av avrundingsregler ble det for enkelte alternativer treslagsfordelinger som ikke summeres til 100 %. Tabell 34 viser hvordan skogtilstanden i Oppland er ved sluttidspunkt i 2015 og hvilke verdier denne skogtilstanden representerer ved ulike foryngelsesinnsatser i analyseperioden. Figur 8 viser relative forskjeller i utvikling av stående volum for de ulike foryngelsesintensitetene sammenlignet med referansealternativet. Det er først for de siste 10-15 årene av analyseperioden at de ulike alternativene gir forskjeller (figur 8). Ved å ikke forynge noe ny skog etter hogst med planting vil man få et stående volum i 2015 som er 3.6 % lavere enn for referansealternativet. Trelagsfordelingen blir noe forandret. Vente verdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon er 7.7 % lavere enn for referansealternativet. Kulturkostnadene kapitalisert til 2015 gjennom analyseperioden for dette alternativet er 65.5 % lavere enn for referansealternativet. Vente verdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon minus kulturkostnadene gir 14.2 % høyere verdi for

alternativet uten planting enn for referansealternativet. Denne verdien øker ved avtagende foryngelsesintensitet og synker med økende foryngelsesintensitet.

Velger man en mer intensiv foryngelsesinnsats i analyseperioden, det vil si å forynge all ny skog etter hogst med planting, blir det stående volumet ved sluttidspunktet 2.5 % høyere enn for referansealternativet. Treslagsfordelingen blir også her i liten grad forandret. Vente verdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon er marginalt lavere enn for referansealternativet. Kulturkostnadene gjennom analyseperioden kapitalisert til 2015 er for dette alternativet 24.1 % høyere enn for referansealternativet. Vente verdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon minus kulturkostnadene er 5.5 % lavere for alternativet «plante alt» enn for referansealternativet. Bundet karbon i levende trær i 2015 øker med økende intensitet i foryngelsen og synker med avtagende intensitet i foryngelsen.

Tabell 34. Skogtilstand i 2015 ved ulike intensiteter i foryngelsen for Oppland. Venteverdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO₂ lagret i total biomasse.

Planting	0%	50%	Referanse- alternativ	150%	Plante alt
Stående volum 2015 (1 000 m ³)	65 968	67 823	68 458	68 722	70 176
Endring i stående volum 2015 (%)	-3.6	-0.9	0	0.4	2.5
Andel gran 2015 (%)	68	69	71	71	70
Andel furu 2015 (%)	18	18	18	18	18
Andel lauv 2015 (%)	14	14	11	11	12
Venteverdi av skogarealet ved fortsatt trevirke- produksjon 2015	22.8	23.8	24.7	25.2	24.6
Kulturkostnader kapitalisert til 2015	2.0	3.9	5.8	7.2	7.2
Venteverdi skogareal ved fortsatt trevirkeproduksjon 2015 - kulturkostnader kapitalisert til 2015	20.9	19.9	18.3	18.0	17.3
Bundet karbon i levende trær 2015	99.1	101.7	102.6	102.8	105.1

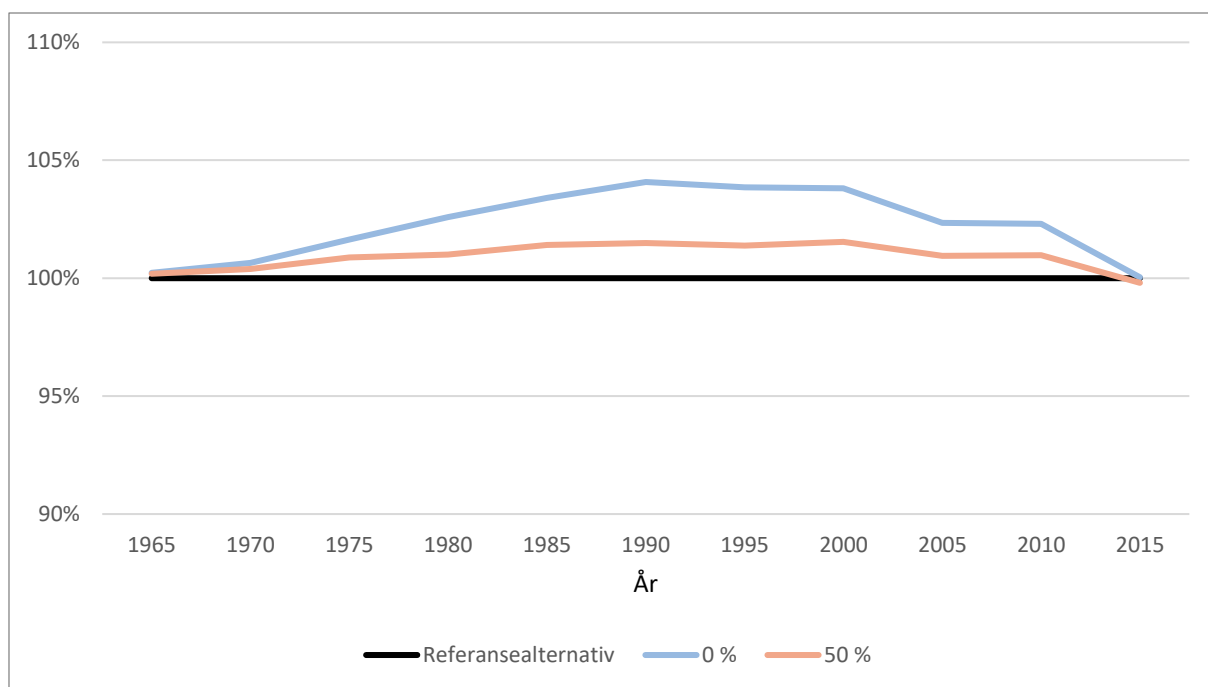


Figur 8. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter i foryngelsen for Oppland. Referansealternativet er 100 %.

Tabell 35 viser hvordan ulik ungskogpleieinnsats påvirker skogtilstanden i Oppland ved sluttidspunkt i 2015 og hvilke verdier denne skogtilstanden representerer. Figur 9 viser relative forskjeller i utvikling av stående volum for de ulike intensiteter i ungskogpleie sammenlignet med referansealternativet. Det stående volumet for de to alternative intensitetene er større enn for referansealternativet gjennom hele analyseperioden (figur 9). De har en høyere tilvekst enn referansealternativet i den første halvdel av perioden, mens i den siste halvdel er tilveksten for disse alternativene lavere enn for referansealternativet. Det stående volumet i 2015 blir ikke forandret ved å velge en mer ekstensiv ungskogpleieinnsats, men av figur 9 kan man se at forskjellene gjennom analyseperioden er opp mot 4 %. Treslagsfordelingen blir markant forandret. Lauvandelen øker med avtagende intensitet i ungskogpleie. Vente verdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon i 2015 blir 9.7 % lavere for alternativet uten ungskogpleie enn for referansealternativet. Kulturkostnadene i analyseperioden kapitalisert til 2015 er 46.6 % lavere for alternativet uten ungskogpleie enn for referansealternativet. Vente verdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon minus kulturkostnadene gir 1.6 % høyere verdi for alternativet uten ungskogpleie enn referansealternativet. Alternativet der det gjennomføres ungskogpleie på 150 % av de arealene det faktisk har blitt gjennomført ungskogpleie på fikk ingen løsning i prognoseverktøyet Gaya-J. Bundet karbon i levende trær i 2015 øker med avtagende intensitet i ungskogpleie.

Tabell 35. Skogtilstand i 2015 ved ulike intensiteter i ungskogpleie for Oppland. Venteverdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO₂ lagret i total biomasse.

Ungskogpleie	0%	50%	Referanse- alternativ	150%
Stående volum 2015 (1 000 m ³)	68 485	68 323	68 458	
Endring i stående volum 2015 (%)	0.0	-0.2	0	
Andel gran 2015 (%)	64	69	71	
Andel furu 2015 (%)	14	16	18	
Andel lauv 2015 (%)	22	16	11	
Venteverdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon 2015	22.3	24.1	24.7	Ingen løsnning
Kulturkostnader kapitalisert til 2015	3.1	4.9	5.8	
Venteverdi skogareal ved fortsatt trevirkeproduksjon 2015 - kulturkostnader kapitalisert til 2015	19.2	19.2	18.9	
Bundet karbon i levende trær 2015	104.7	103.1	102.6	



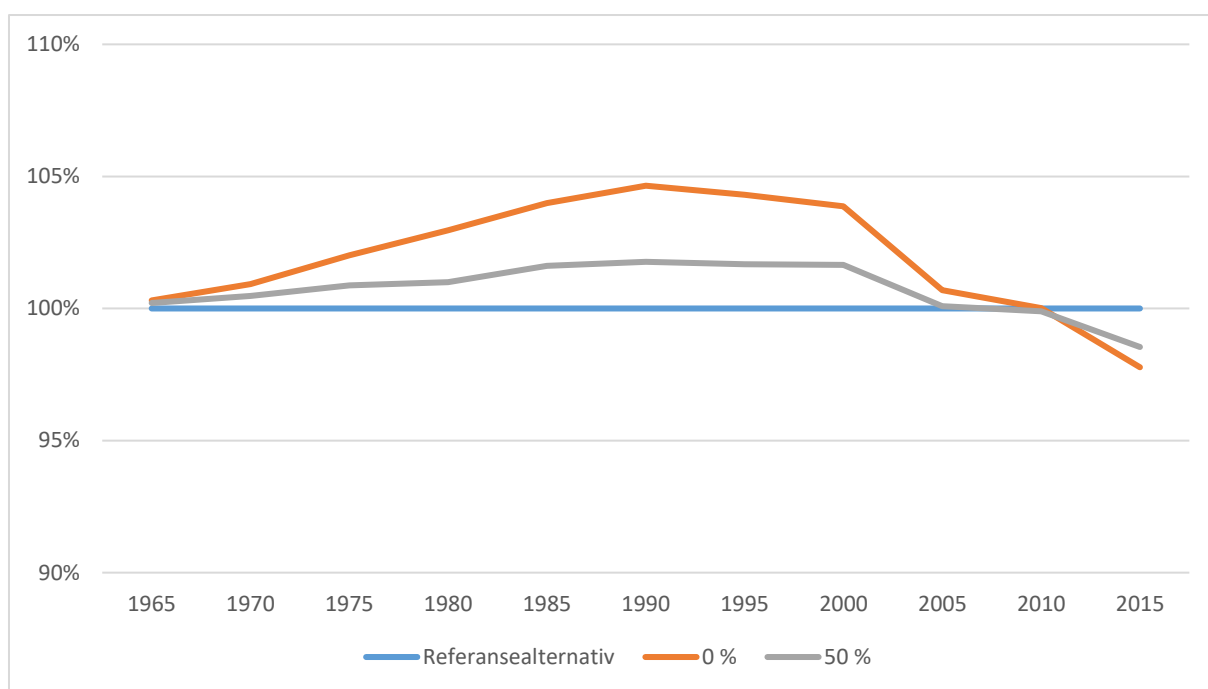
Figur 9. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter i ungsogpleie for Oppland. Referansealternativet er 100 %.

Tabell 36 viser hvordan skogtilstanden i Oppland er ved sluttidspunkt i 2015 og hvilke verdier denne skogtilstanden representerer ved ulike skogkulturintensiteter (kombinasjonen av planting og ungsogpleie) i analyseperioden. Figur 10 relative forskjeller i utvikling av stående volum for de ulike skogkulturintensiteter (foryngelse og planting) sammenlignet med referansealternativet. Det stående volumet for de to alternative intensitetene er større enn for referansealternativet gjennom store deler av analyseperioden (figur 10). De har en høyere tilvekst enn referansealternativet i den første halvdel av perioden, mens i den siste halvdel er tilveksten for disse intensitetene lavere enn for referansealternativet. Alternativet der det ikke forynges noe skog etter hogst med planting og ikke gjennomføres ungsogpleie gir et stående volum i 2015 som er 2.2 % lavere enn for referansealternativet. Treslagsfordelingen blir markant forandret med alternativet der det ikke forynges noe skog etter hogst med planting og ikke gjennomføres ungsogpleie. Lauvandelen øker med avtagende skogkulturintensitet. Vente verdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon er 16.6 % lavere med alternativet uten planting og ungsogpleie enn for referansealternativet. Dette alternativet har kulturkostnader gjennom analyseperioden kapitalisert til 2015 som er 89.7 % lavere enn for referansealternativet. Vente verdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon minus kulturkostnadene gir 5.8 % høyere verdi for alternativet uten planting og ungsogpleie enn for referansealternativet. Alternativet der det gjennomføres planting og ungsogpleie på 150 % av de arealene det faktisk har blitt gjennomført planting

og ungskogpleie fikk ingen løsning i prognoseverktøyet Gaya-J. Det skiller lite mellom bundet karbon i levende trær i 2015 for de ulike alternativene.

Tabell 36. Skogtilstand i 2015 ved ulike intensiteter i planting og ungskogpleie for Oppland. Venteverdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO₂ lagret i total biomasse.

Ungskogpleie og planting	0%	50%	Referanse- alternativ	150%
Stående volum 2015 (1 000 m ³)	66 934	67 460	68 458	
Endring i stående volum 2015 (%)	-2.2	-1.5	0	
Andel gran 2015 (%)	61	67	71	
Andel furu 2015 (%)	15	16	18	
Andel lauv 2015 (%)	24	17	11	
Venteverdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon 2015	20.6	23.3	24.7	Ingen løsning
Kulturkostnader kapitalisert til 2015	0.6	3.3	5.8	
Venteverdi skogareal ved fortsatt trevirkeproduksjon 2015 - kulturkostnader kapitalisert til 2015	20.0	20.0	18.9	
Bundet karbon i levende trær 2015	102.4	102.1	102.6	



Figur 10. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter i skogkultur (kombinasjon av planting og ungsogpleie) for Oppland. Referansealternativet er 100 %.

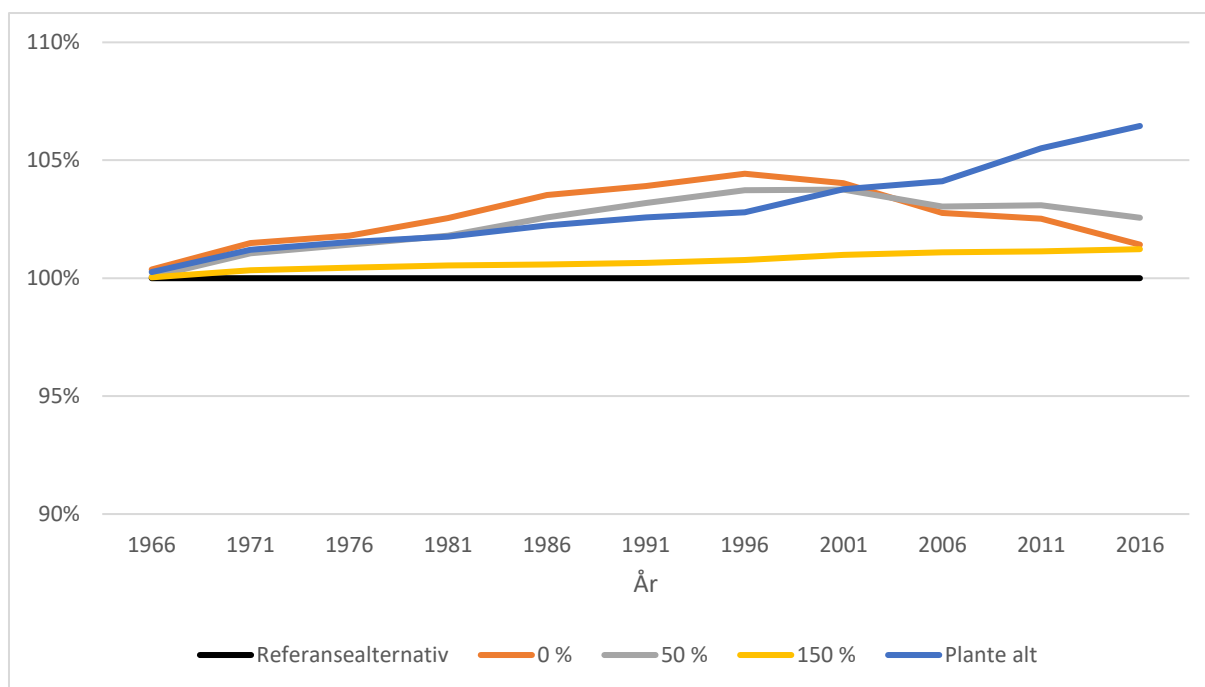
3.2.2. Buskerud

Tabell 37 viser hvordan skogtilstanden i Buskerud er ved sluttidspunkt i 2016 og hvilke verdier denne skogtilstanden representerer ved ulike foryngelsesinnsatser i analyseperioden (1964-2016). Figur 11 viser relative forskjeller i utvikling av stående volum for de ulike foryngelsesintensitetene sammenlignet med referansealternativet. Alle de alternative intensitetene gir et større stående volum gjennom hele perioden sammenlignet med referansealternativet (figur 11). Ved å ikke forynge noe ny skog etter hogst med planting vil man få et stående volum i 2016 som er 1.4 % større enn for referansealternativet. Velger man et alternativ der det foryngetes med planting etter hogst på 50 % av de historiske arealene det har blitt forynget med planting på får man et stående volum i 2016 som er 2.6 % større en referansealternativet. Trelagsfordelingen blir noe forandret. Venteverdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon for alternativet uten planting er 2.3 % lavere enn for referansealternativet. Dette alternativet har kulturkostnader gjennom analyseperioden kapitalisert til 2016 som er 56.5 % lavere enn for referansealternativet. Venteverdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon minus kulturkostnadene gir 9.1 % høyere verdi for alternativet uten planting enn for referansealternativet.

Velger man en mer intensiv foryngelsesinnsats i analyseperioden, å forynge all ny skog etter hogst med planting, blir det stående volumet ved sluttidspunktet 6.5 % høyere enn for referansealternativet. Treslagsfordelingen blir også her i liten grad forandret. Venteverdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon er 3.0 % høyere enn for referansealternativet. Kulturkostnadene gjennom analyseperioden kapitalisert til 2016 er for dette alternativet 37.0 % høyere enn for referansealternativet. Venteverdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon minus kulturkostnadene gir 4.1 % lavere verdi for alternativet «plante alt» enn for referansealternativet. Bundet karbon i levende trær i 2016 øker med økende intensitet i foryngelsen og synker med avtagende intensitet.

Tabell 37. Skogtilstand i 2016 ved ulike intensiteter i foryngelsen for Buskerud. Venteverdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO₂ lagret i total biomasse.

Planting	0 %	50 %	Referanse- alternativ	150 %	Plante alt
Stående volum 2016 (1 000 m ³)	62 764	63 474	61 888	62 649	65 882
Endring i stående volum 2016 (%)	1.4	2.6	0	1.2	6.5
Andel gran 2016 (%)	63	63	64	65	65
Andel furu 2016 (%)	22	22	23	22	21
Andel lauv 2016 (%)	16	15	13	13	13
Venteverdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon 2016	26.0	26.6	26.6	27.1	27.4
Kulturkostnader kapitalisert til 2016	2.0	3.1	4.6	5.4	6.3
Venteverdi skogareal ved fortsatt trevirkeproduksjon 2016 - kulturkostnader kapitalisert til 2016	24.0	23.5	22.0	21.7	21.1
Bundet karbon i levende trær 2016	94.1	95.5	95.3	96.5	100.8



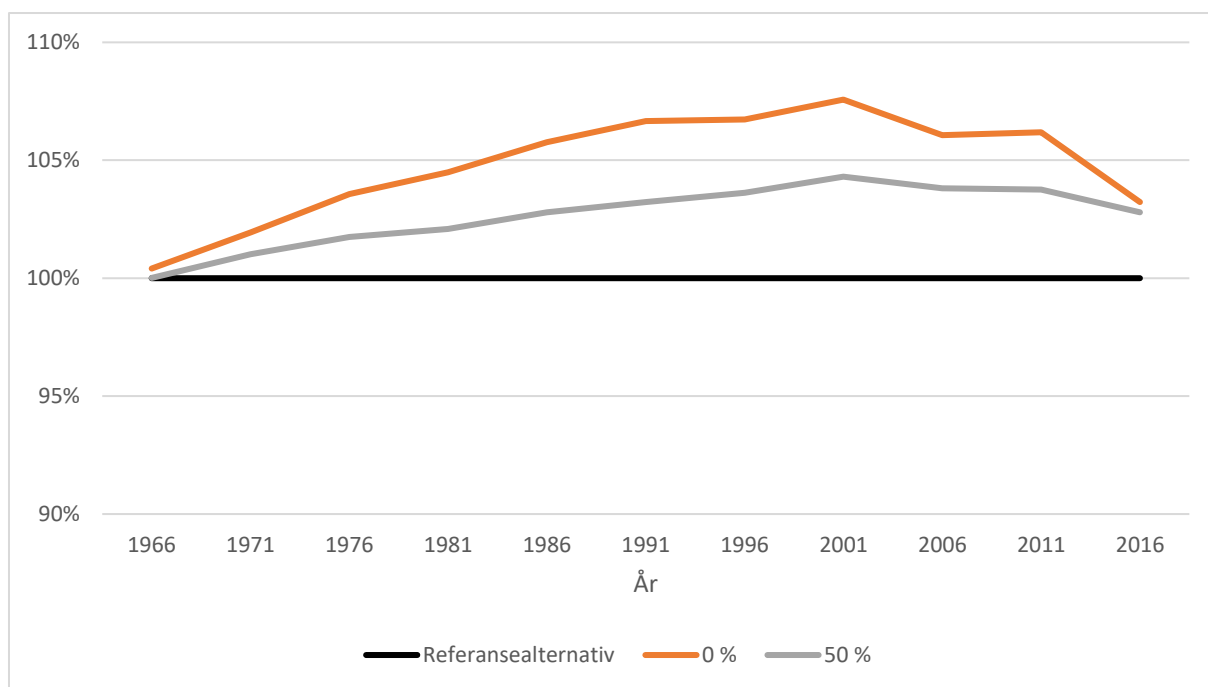
Figur 11. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter knyttet til foryngelse for Buskerud. Referansealternativet er 100 %.

Tabell 38 viser hvordan ulik ungskogpleieinnsats påvirker skogtilstanden i Buskerud ved sluttidspunkt i 2016 og hvilke verdier denne skogtilstanden representerer. Figur 12 viser relative forskjeller i utvikling av stående volum for de ulike intensiteter i ungskogpleie sammenlignet med referansealternativet. Det stående volumet for de to alternative intensitetene er større enn for referansealternativet gjennom hele analyseperioden (figur 12). De har en høyere tilvekst enn referansealternativet i den første halvdel av perioden, mens i den siste halvdel er tilveksten for disse intensitetene lavere enn for referansealternativet. Det stående volumet i 2016 blir 3.2 % høyere ved å velge en mer ekstensiv ungskogpleieinnsats sammenlignet med referansealternativet, men er tidligere i analyseperioden enda høyere (figur 12). Treslagsfordelingen blir markant forandret. Lauvandelen øker med avtagende intensitet i ungskogpleie. Venteverdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon i 2016 er 8.6 % lavere for alternativet uten ungskogpleie enn for referansealternativet. Kulturkostnadene i analyseperioden kapitalisert til 2016 er 56.5 % lavere for alternativet uten ungskogpleie enn for referansealternativet. Venteverdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon minus kulturkostnadene gir 1.4 % høyere verdi for alternativet uten ungskogpleie enn for referansealternativet. Alternativet der man gjennomfører ungskogpleie på 50 % av de arealene det historisk har blitt gjennomført ungskogpleie gir den høyeste venteverdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon når man trekker fra de kapitaliserte kulturkostnadene. Venteverdien av skogarealet ved fortsatt

trevirkeproduksjon minus kulturkostnadene er 4.5 % høyere for dette alternativet enn for referansealternativet. Alternativet der det gjennomføres ungskogpleie på 150 % av de arealene det faktisk har blitt gjennomført ungskogpleie fikk ingen løsning i prognoseverktøyet Gaya-J. Bundet karbon i levende trær i 2016 øker med avtagende intensitet knyttet til ungskogpleie.

Tabell 38. Skogtilstand i 2016 ved ulike intensiteter i ungskogpleie for Buskerud. Venteverdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO₂ lagret i total biomasse.

Ungskogpleie	0%	50%	Referansealternativ	150%
Stående volum 2016 (1 000 m ³)	63 886	63 617	61 888	
Endring i stående volum 2016 (%)	3.2	2.8	0	
Andel gran 2016 (%)	59	64	64	
Andel furu 2016 (%)	17	20	23	
Andel lauv 2016 (%)	25	16	13	
Venteverdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon 2016	24.3	26.7	26.6	Ingen løsning
Kulturkostnader kapitalisert til 2016	2.0	3.7	4.6	
Venteverdi skogareal ved fortsatt trevirkeproduksjon 2016 - kulturkostnader kapitalisert til 2016	22.3	23.0	22.0	
Bundet karbon i levende trær 2016	99.5	97.9	95.3	



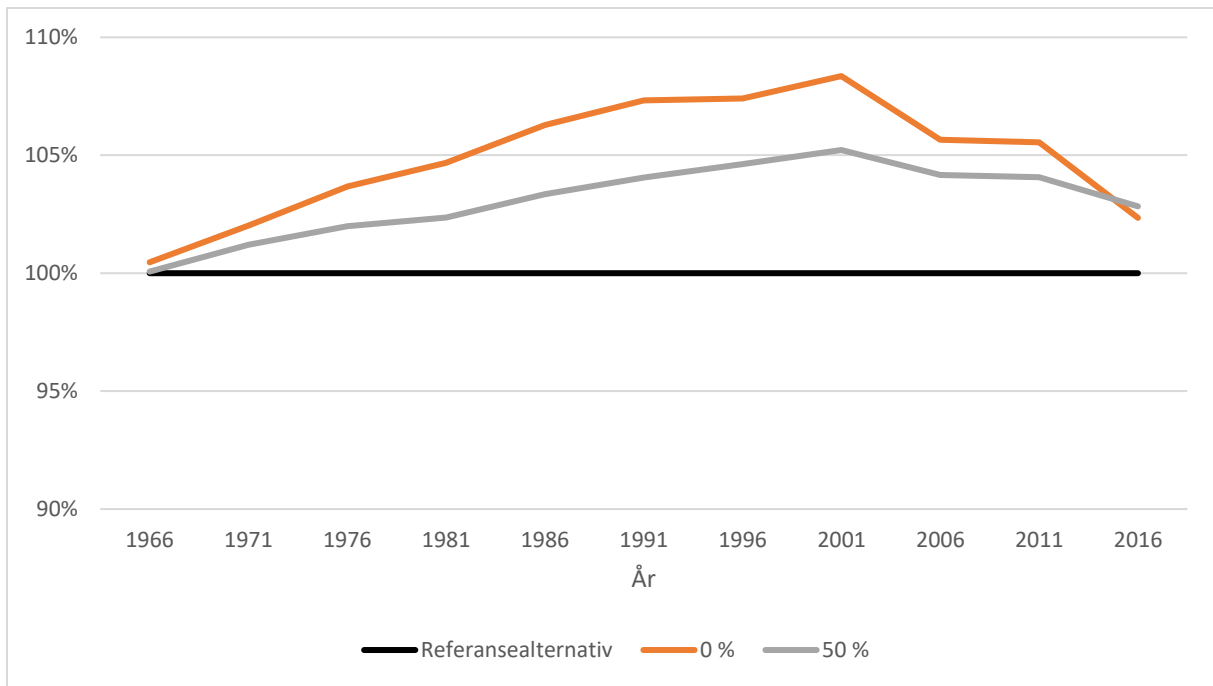
Figur 12. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter knyttet til ungskogpleie for Buskerud. Referansealternativet er 100 %.

Tabell 39 viser hvordan skogtilstanden i Buskerud er ved sluttidspunkt i 2016 og hvilke verdier denne skogtilstanden representerer ved ulike skogkulturintensiteter (kombinasjon av planting og ungskogpleie) i analyseperioden. Figur 13 viser relative forskjeller i utvikling av stående volum for de ulike skogkulturintensiteter (foryngelse og planting) sammenlignet med referansealternativet. Det stående volumet for de to alternative intensitetene er større enn for referansealternativet gjennom hele analyseperioden (figur 13). De har en høyere tilvekst enn referansealternativet i den første halvdel av perioden, mens i den siste halvdel er tilveksten for disse intensitetene lavere enn for referansealternativet. Alternativet der det ikke forynges noe skog etter hogst med planting og ikke gjennomføres noe ungskogpleie gir et stående volum i 2016 som er 2.3 % høyere enn for referansealternativet. Gjennom analyseperioden er forskjellen fra referansealternativet betydelig større for begge alternativer enn ved sluttidspunktet. Trelagsfordelingen blir markant forandret med alternativet der det ikke forynges noe skog etter hogst med planting og ikke gjennomføres noe ungskogpleie. Lauvandelen øker med avtagende skogkulturintensitet. Venteverdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon er 12.4 % lavere med alternativet uten planting og ungskogpleie enn for referansealternativet. Kulturkostnadene gjennom analyseperioden er 89.1 % lavere enn for referansealternativet. Venteverdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon minus kulturkostnadene er 3.2 % høyere for alternativet uten planting og ungskogpleie enn for referansealternativet. Alternativet der man gjennomfører planting og ungskogpleie på 50 % av

arealene det historisk har blitt gjennomført planting og ungskogpleie gir den høyeste venteverdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon i 2016 når man trekker fra kulturkostnadene gjennom analyseperioden kapitalisert til 2016. Venteverdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon minus kulturkostnadene er 7.3 % høyere for dette alternativet enn for referansealternativet. Alternativet der det gjennomføres planting og ungskogpleie på 150 % av de arealene det faktisk har blitt gjennomført planting og ungskogpleie fikk ingen løsning i prognoseverktøyet Gaya-J. Bundet karbon i levende trær i 2016 øker med avtagende skogkulturintensitet.

Tabell 39. Skogtilstand i 2016 ved ulike intensiteter i planting og ungskogpleie for Buskerud. Venteverdi og kostnader er oppgitt i milliarder NOK. Bundet karbon er oppgitt i millioner tonn CO₂ lagret i total biomasse.

Ungskogpleie og planting	0 %	50 %	Referansealternativ	150 %
Stående volum 2016 (1000 m ³)	63 336	63 646	61 888	
Endring i stående volum 2016 (%)	2.3	2.8		
Andel gran 2016 (%)	56	62	64	
Andel furu 2016 (%)	17	20	23	
Andel lauv 2016 (%)	27	17	13	
Venteverdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon 2016	23.3	26.4	26.6	Ingen løsning
Kulturkostnader kapitalisert til 2016	0.5	2.8	4.6	
Venteverdi skogareal ved fortsatt trevirkeproduksjon 2016 - kulturkostnader kapitalisert til 2016	22.7	23.6	22.0	
Bundet karbon i levende trær 2016	97.3	97.0	95.3	



Figur 13. Relative forskjeller i utvikling av stående volum ved ulike intensiteter knyttet til skogkultur for Buskerud. Referansealternativet er 100 %.

4. Diskusjon

Kalkulasjonsrenten brukt i denne studien er 2 %. Dette er en reell rente, siden priser og kostnader brukt i analysene er forutsatt som faste priser og med utgangspunkt i dagens nivå (2015). Et viktig premiss for denne studien har vært å gjenskape de forhold som har vært gjennom analyseperioden. Begge fylkene hadde en stor andel gammelskog ved analysens starttidspunkt. I 1963/64 utgjorde eldre skog, hogstklasse V, 35 – 40 % av skogarealet i Oppland og Buskerud (tabell 17 og 21). Gjennom hele perioden har det vært et betydelig areal og et økende volum trekapital bundet opp i eldre skog. Valget av kalkulasjonsrenten har i stor grad sammenheng med gammelskogandelen. Denne skogen har en relativt lav verditilvekstprosent, noe som gjenspeiler seg i valget av kalkulasjonsrente. Det kan argumenteres for at selv en kalkulasjonsrente på 2 % er noe for høyt. Det kunne vært interessant å ha gjennomført en følsomhetsanalyse med kalkulasjonsrenter på 1.5 % og 1 % rente for å se hvilke utslag dette gjorde. Samtidig er det et spørsmål i hvilken grad dette ville endret resultatene, siden restriksjonene knyttet til avvirkningsprofilen og omfanget av planting og ungskogpleie antakelig binder opp løsningene så mye at endret kalkulasjonsrente har lite spillerom til å påvirke prioriteringene og løsningene på de LP-problemene som er løst.

4.1. Referansealternativ

Hensikten med den første delen av analysene var å teste hvor godt prognoseverktøyet Gaya-J klarer å simulere utviklingen for et skogareal sammenlignet med den faktiske utviklingen i perioden 1963-2015 for Oppland og 1964-2016 for Buskerud.

Langsiktige investerings-, avvirknings- og inntektsanalyser for skog har fått en del kritikk, spesielt mot balansekvantumet som beregnes i slike analyser (Eid & Hobbestad 2006). Det har pågått diskusjoner omkring slike analyser delvis i norske tidsskrifter (Hofstad 1998; Løvhaugen 1997; Myrbakken 1998), og delvis i form av rapporter (Eid 1998; Eid & Hobbestad 2005; Hobbestad 1998; Strand 1998). (Eid 1998; Eid & Hobbestad 2005; Hobbestad 1998; Strand 1998). Årsaken til disse diskusjonene har vært at det i nyere beregninger, basert på nye takster, er blitt beregnet balansekvanta som har vært vesentlig lavere enn tidligere beregninger i de samme områdene (Eid & Hobbestad 2006).

I denne studien har det blitt lagt vekt på å ha et takstgrunnlag uten systematiske feil og uten for store tilfeldige feil ved både start- og sluttidspunkt. Takstgrunnlaget er stort med over 13 000 og 11 000 prøveflater og over 29 000 og 23 000 prøvetrær for henholdsvis Oppland og Buskerud. I arbeidet med denne studien har det også blitt innhentet detaljert statistikk over avvirkning, skogbehandling og vernet areal gjennom analyseperioden i de to fylkene.

Eid og Hobbestad (2006) har tidligere gjennomført en tilsvarende analyse på fylkesnivå. Det har også blitt gjennomført tilsvarende analyser på eiendomsnivå (Eid 2004). Her var taksten på ulike tidspunkt basert på totalklavinger av alle bestand og skogbehandlingen for alle bestand var godt dokumentert. I disse undersøkelsene ble et annet prognoseverktøy, Avvirk-2000, benyttet. Avvirk-2000 og Gaya-J bygger på det samme modellgrunnlaget og benytter samme diametertilvekstfunksjoner (Blingsmo 1984), høydeutviklingsmodeller (Braastad 1977; Strand 1967; Tveite 1967; 1976; 1977) og en modell for naturlig avgang (Braastad 1982).

Den største usikkerheten knyttet til takstgrunnlaget var muligens arealendringene som har oppstått analyseperioden. I denne studien ble det valgt å kun benytte produktivt skogareal under barskoggrensa gjennom hele analyseperioden for å kunne sammenligne det stående volumet ved start- og sluttidspunkt. Ettersom det produktive skogarealet ved starttidspunktet ikke er lik det produktive skogarealet ved sluttidspunkt må det registrerte stående volumet ved sluttidspunkt justeres. Det produktive skogarealet under barskoggrensa i Oppland økte med 25 % gjennom analyseperioden, mens det produktive skogarealet under barskoggrensa i Buskerud økte med 9 %. Det er vanskelig å peke på konkrete forhold som har gjort at økningen er så forskjellige i de to fylkene. Noe av forklaringen til at økningen i Buskerud var så mye mindre enn i Oppland kan være verningen av Trillemarka i 2008. Usikkerhetsfaktoren her er knyttet til det nye arealet som har tilkommet og hvordan skogtilstanden på dette er. Da vi ikke har informasjon som tyder på noe annet er det forutsatt at det nye arealet som har kommet til i analyseperioden i gjennomsnitt har samme volum/ha som resten av arealet.

I forhold til alders- og bonitetsbestemmelsen i takstgrunnlaget fra 1963/1964 var det også knyttet noe usikkerhet. Særlig aldersbestemmelsen i hogstklasse V (tabell 1) var et usikkerhetsmoment. Å sette en alder for hogstklasse V for et helt fylke vil bli unøyaktig da det vil være stor aldersspredning innad i hogstklassen. Eid og Hobbestad (2006) gjennomførte en følsomhetsanalyse for å kartlegge konsekvenser av denne usikkerheten. De lagde et alternativ der de satte alderen i hogstklasse V til 5 år over nedre grense for hogstklasse V. Konklusjonen

ble at utslagene var små og ikke hadde noen avgjørende innvirkning på hovedtendensene i resultatene.

Bonitetregistreringen gjennom analyseperioden har blitt forandret. I Landsskogtakseringens tredje takst ble et bonitetssystem med klasser fra 1 til 5 benyttet (Landsskogtakseringen 1938). Derfor ble denne boniteten «oversatt» til H₄₀-systemet for å kjøre prognosene (tabell 2). Det resulterer i at bonitet 6 blir slått sammen med bonitet 8 og all bonitet over 20 blir registrert som bonitet 20. Dette kan gjøre noe utslag på stående volum ved sluttidspunktet, men det er liten grunn til å tro at utslagene er store i den ene retningen da boniteten «innskrenkes» på begge sider (både høyere og lavere). Eid og Hobbelstad (2006) gjennomførte også her en følsomhetsanalyse der de satte bonitet til nærmeste hele meter i H₄₀-systemet. Det ga svært lite utslag for det ene fylket, mens for det andre fylket ga det noe mere utslag.

Siden H₄₀-systemet ikke ble benyttet til bonitetsregistrering i Landsskogtakseringens tredje takst, ble ikke overhøyde registrert. Overhøyden benyttet i denne studien er estimert basert på grunnflateveid middelhøyde fra taksten. Dette kan i utgangpunktet være en potensiell feilkilde. Det simulerte stående volumet i starten av analyseperioden avviker lite fra registrerte stående volumet. Dette indikerer at den estimerte overhøyden ikke avviker mye fra faktisk overhøyde.

Det kan også være noe usikkerhet knyttet til den historiske avvirkningen, skogbehandlingen og verneomfanget som er lagt til grunn i analysen. Enkelte tidsserier var ikke operative gjennom hele analyseperioden. For skogkultur (planting og ungskogpleie) finnes det ikke statistikk på fylkesnivå før 1971. Periode 1 og 2 er derfor satt lik skogkulturaktivitet som i periode 3. Ser man på landsstatistikken for omsetning av skogplanter fra Skogfrøverket kan det se ut som at salget av skogplanter var høyere på 1960-tallet enn 1970-tallet (Skogfrøverket 2017). Det er liten grunn til å tro at dette har store virkninger på det stående volumet ved sluttidspunktet. Den kontrafaktiske analysen med planting på 150% av arealene bekrefter dette (tabell 34 og 37). Statistikken for avvirkning til salg av ved går kun fram til 2005. For de siste årene er det blitt forutsatt at den årlige avvirkningen er lik gjennomsnittet i årene 2001-2005. Det er liten grunn til å tro at dette gir svært store utslag. Avvirkning til eget bruk eller avstått til andre på bruksrett er en annen usikkerhetsfaktor. Landbrukstillingen i 1979 og 1989 er lagt til grunn for denne beregningen (Statistisk sentralbyrå 1989). Fram til 1979 er andelen avvirkning til eget bruk eller avstått til andre på bruksrett av det totale avvirkningsvolumet satt lik andelen i Landbrukstillingen 1979, mens fra 1980 er andelen

avvirkning til eget bruk eller avstått til andre på bruksrett av det totale avvirkningsvolumet satt lik andelen i Landbrukstelingen 1989. Denne måten å beregne avvirkning til eget bruk eller avstått til andre på bruksrett er selvsagt usikker, men dette er den eneste statistikken vi har. Det er også liten grunn til å tro at det har stor innvirkning på resultatet da vi her snakker om relativt små andeler. En faktor som kan spille inn var hvilke arealer det ble gjennomført skogbehandlinger på. Statistikken viser ikke informasjon om hvilke arealer skogbehandlingen har blitt gjennomført på, bare avvirkningsnivå og skogkulturaktivitet gjennom perioden. Når man legger disse tallene inn som restriksjoner i J, vil modellen velge tiltak på arealer ut fra målfunksjonen (maksimere nåverdi). Dette fører til at modellen med stor sannsynlighet gjennomfører tiltak i andre bestand og i andre perioder enn de bestand det historisk har blitt gjennomført tiltak i. Denne usikkerhetsfaktoren kunne ha blitt redusert betraktelig med informasjon om hvilke boniteter avvirkningen og skogbehandlingen gjennom analyseperioden har foregått.

En annen usikkerhetsfaktor er de forutsetningene som er gjort for ny skog i prognosene. Treantall, ventetid og kostnader knyttet til etableringen er 3 sentrale faktorer som spiller inn ved etablering av ny skog. Hoen et al. (1998) presiserer at det er få undersøkelser å støtte seg til, slik at forutsetningene baseres på skjønnsmessige vurderinger. Det hadde vært ønskelig med en følsomhetsanalyse angående nyskogforutsetningene, både med tanke på treantall, ventetider og kostnader. Omfanget av denne oppgaven og tiden som er til rådighet har ført til at det ikke ble mulig å gjennomføre en slik følsomhetsanalyse.

Valg av diametertilvekstfunksjon viste seg å ha stor betydning for det stående volumet ved sluttidspunktet. Prognosene viste at diametertilvekstfunksjonen med 3 variabler (grunnflateveid middeldiameter, bonitet og treantall pr ha) ga et stående volum ved sluttidspunkt som var nærmest det justerte registrerte stående volumet.

Diametertilvekstfunksjonen med 5 variabler (brysthøydealder, bonitet, treantall pr. ha, grunnflateveid middeldiameter og overhøyde), som ble benyttet i undersøkelsen til Eid (2004) og Eid og Hobbeltstad (2006), ga store avvik. Noe av forklaringen til dette kan være at grunnlagsmaterialet som ble benyttet til utarbeidelsen av disse funksjonene er basert på registreringer så langt tilbake som 1920-tallet og fram til slutten 1970-tallet (Eid & Hobbeltstad 2006). Det kan tenkes at et nyere grunnlagsmateriale kan ha gitt mer nøyaktige diametertilvekstfunksjoner. Dette er kun antagelser som ikke støttes av noe empiri. For å få det simulerte stående volumet til å følge utviklingen til det justerte registrerte stående volumet var det nødvendig å korrigere diametertilveksten. For Oppland ble det korrigert med et påslag

på 4 % og for Buskerud ble det korrigert med et påslag på 28 %. Det er usikkert hvorfor det var så stor forskjell mellom de to fylkene. En markant forskjell mellom de to fylkene er økningen av det produktive skogarealet gjennom analyseperioden (tabell 24 og 25). At dette alene skal være forklaringen for forskjellen mellom de to fylkene virker lite sannsynlig.

For at Gaya-J skulle finne en løsning på LP-problemet som var satt med de restriksjonene så lå inne for Buskerud, måtte den nedre grensen for ungskogpleie (restriksjon 7) senkes fra 0.99 * de arealene det historisk hadde blitt gjennomført ungskogpleie på til 0.90. Grunnen til dette syntes å være at arealer som oppfylte kriteriene til ungskogpleie periodene 3, 4 og 5 ikke oppfylte de restriksjonene som var lagt. Den skogen som ble hogd etter starttidspunktet til analyseperioden hadde ikke rukket å innfri de kriteriene for at ungskogpleie skulle bli gjennomført. Det var hovedsakelig hogstklasse II fra starttidspunktet det ble gjennomført ungskogpleie på de første periodene.

Sammenligner man denne analysen med de tidligere analysene som har blitt gjennomført (Eid 2004; Eid & Hobbestad 2006), er tendensene for alle 3 analysene at prognosene ser ut til å gi en undervurdering av potensialet. Begge de tidligere analysene konkluderer med at prognosene ga lavere estimater for stående volum enn det som faktisk var registrert. Eid (2004) fant for en 30-årsperiode av prognosene ga 3.6% lavere avvirkningspotensial, 2.6 % lavere stående volum og 5.2 % lavere tilvekst enn det som ble registrert for samme periode. Denne analysen omfattet kun en mindre skogeiendom med en stor andel granmark på middels bonitet, og resultatene kan derfor ikke generaliseres. Eid og Hobbestad (2006) fant at prognosene ga henholdsvis 10.8 % og 5.9 % lavere stående volum for fylkene Hedmark og Nord-Trøndelag enn det som ble registrert ved analyseperiodens sluttidspunkt. Dette er betydelige mindre avvik enn avvikene i år 2000/01 i denne analysen med diametertilvekstfunksjonen med 5 forklaringsvariabler (tabell 32 og 33). Noe av forklaringen på dette kan være at analysen Eid og Hobbestad (2006) gjennomførte ikke hadde restriksjoner på planting, ungskogpleie og vernede arealer i analyseperioden.

Det å benytte en diametertilvekstfunksjon som undervurderer volumtilveksten så kraftig som det kan se ut til at diametertilvekstfunksjonen med 5 forklaringsvariabler fra Blingsmo (1984) gjør, kan ha konsekvenser for både skogeier og for samfunnet. For skogeier kan dette resultere i at den framtidige inntekten fra skogen vil bli undervurdert. Det skal påpekes at slike analyser gjennomfører den optimale skogbehandlingen og at skogeier kanskje ikke vil oppnå en lik utvikling som prognosene. For samfunnet kan konsekvensene være at det fremtidige produksjonspotensialet, og karbonbindingen i skogen, undervurderes.

4.2. Kontrafaktisk analyse

Hensikten med den andre delen av undersøkelsen var å belyse effektene av å gjennomføre en annen skogkulturintensitet enn det som faktisk har vært gjennomført i perioden 1963/64 til 2015/16 for fylkene Oppland og Buskerud. For å få gjennomført et alternativ der ny skog etter hogst kun forynges med naturlig foryngelse, måtte ungskogpleienivået gjennom analyseperioden justeres ned for at J skulle finne en løsning på LP-problemet. En lavere foryngelsesintensitet resulterte i lengre ventetider før ny skog kom opp. På grunn av dette ble arealer som oppfylte de kriteriene som er satt for at ungskogpleie kunne bli gjennomført for små i forhold til det historiske nivået på ungskogpleie. Forutsetningene som er gjort for treantall, ventetider og kostnader knyttet til foryngelsen er sentral og avgjørende i forhold til den nye skogen som kommer opp. For alternativene med en mer ekstensiv foryngelsesintensitet er særlig treantallet og ventetidene interessante. Det at disse forutsetningene i sin tid ble basert på skjønnsmessige vurderinger, gjør at det er knyttet noe usikkerhet til dem. Treslagssammensetningen ble i liten grad forandret ved en mer ekstensiv foryngelsesintensitet (tabell 34 og 37). Dette kan tyde på at treantallet for de ulike treslagene ved naturlig foryngelse overvurderer bartrærne og at det i realiteten kommer opp mer lauv. Det kan også tenkes at ventetidene som er forutsatt i disse analysene er noe optimistiske og at de faktiske ventetidene er noe lengre enn det som er forutsatt her. Med lengre ventetider ville det blitt enda mindre arealer som oppfylte kriteriene for ungskogpleie. Det finnes imidlertid ikke noe empiri som kan støtte disse antagelsene.

Tendensen for begge fylkene var at lauvandelen og stående volum lauv økte ved avtagende foryngelsesintensitet, mens bartreandelen og stående volum bartrevirke sank ved avtagende foryngelsesintensitet. Det at stående volum i Buskerud i 2016 økte med en lavere foryngelsesintensitet enn referansealternativet skyldes nok delvis at ungskogpleie i analyseperioden måtte justeres så mye ned. Treslagssammensetningen ved analysens starttidspunkt kan muligens også være med på å forklare dette. For Buskerud var lauv- og furuandelen høyere og granandelen vesentlig lavere enn for Oppland. Begge fylkene hadde en venteverdi av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon ved analysens sluttidspunkt som var lavere for alternativene med en mer ekstensiv foryngelsesintensitet enn for referansealternativet. Når de kapitaliserte kulturkostnadene gjennom analyseperioden ble trukket fra denne venteverdien så man at det var alternativet med lavest foryngelsesintensitet som ga den høyeste verdien. Denne verdien sank med økende foryngelsesintensitet. Dette kan

tyde på at det historiske foryngelsesnivået i analyseperioden har vært høyere enn det som er økonomisk optimalt med målsetting om maksimal nåverdi. Det kan tenkes at Gaya-J overvurderer verdien av lauvtrevirke og at avsetningen på dette byr på flere problemer enn modellen legger til grunn. Dette trekker i retning av at verdiene for de lavere foryngelsesintensiteter muligens kan bli overvurdert da de har høyere lauvandel. Beregningen av bundet karbon i levende trær er en usikkerhetsfaktor. For å kunne beregne mer nøyaktige CO₂-ekvivalenter er det nødvendig med informasjon om hogstklassefordeling ved analyseperiodens sluttidspunkt og et gjennomsnittlig volum pr. ha. Da dette ikke er mulig å hente ut fra Gaya-J har det blitt regnet ut biomasseekspansjonsfaktorer for gran, furu og lauv for volumtall pr. ha på 100, 300 og 500 m³ pr. ha for bonitet 14. Realismen til disse forutsetningene kan selvsagt diskuteres, men å benytte gjennomsnittet av disse 3 biomasseekspansjonsfaktorene for de ulike treslagene virker å være en fornuftig løsning med den informasjonen som er tilgjengelig.

For effekter av endret omfang i ungsogpleie fant ikke Gaya-J løsning på LP-problemet med alternativer som var mer intensive enn referansealternativet. For alternativene som var mer ekstensive i forhold til referansealternativet var trenden at venteverdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon ved analyseperiodens sluttidspunkt øker med økende intensitet knyttet til ungsogpleie. Trekket de kapitaliserte kulturkostnadene gjennom perioden fra venteverdien viste begge fylkene at den høyeste verdien oppsto ved en intensitet i ungsogpleie som var mer ekstensiv enn referansealternativet. Dette kan tyde på at nivået på ungsogpleie i analyseperioden har vært høyere enn det som er økonomisk optimalt med målsetting om maksimal nåverdi. For begge fylkene så man at alternativet med ungsogpleie på 50% av arealene det historisk har vært gjennomført ungsogpleie på ga den høyeste venteverdien når man trekker fra de kapitaliserte kulturkostnadene. Men også her kan verdien Gaya-J beregner for lauvtrevirke være med på å gjøre verdiene noe optimistiske.

Heller ikke for alternativet for foryngelse og ungsogpleie samlet fant Gaya-J noen løsning på LP-problemet med en mer intensiv skogkulturintensitet. Dette henger sammen med ungsogpleiealternativet. For alternativene som var mer ekstensive i forhold til referansealternativet var trenden at venteverdien av skogarealet ved fortsatt trevirkeproduksjon ved analyseperiodens sluttidspunkt øker med økende intensitet knyttet til foryngelse og ungsogpleie samlet. Trekket de kapitaliserte kulturkostnadene gjennom perioden fra venteverdien viste begge fylkene at en mer ekstensiv skogkulturintensitet ga de høyeste verdiene. Alternativet med 50% ga den høyeste verdien for begge fylkene. Det kan

tyde på at skogkulturaktiviteten i analyseperioden har vært høyere enn det som er økonomisk optimalt med målsetting om maksimal nåverdi. Men også her kan verdien Gaya-J beregner for lauvtrevirke være med på å gjøre verdiene noe optimistiske.

Det at forskjellene i stående volum ved analyseperiodens sluttidspunkt for de ulike alternativene var så små, kan tyde på at analyseperioden i denne undersøkelsen er for kort til å avdekke de store forskjellene. Analyseperioden er kun 52.5 år, noe om kan betegnes som omtrent halvparten av ei gjennomsnittlig omløpstid. Tendensen for de mer ekstensive alternativene i foryngelsen var at tilveksten de siste årene var lavere enn for referansealternativet (figur 8 og 11). For de mer intensive alternativene i foryngelsen var tendensen at tilveksten de siste årene var høyere enn for referansealternativet (figur 8 og 11). Dette tyder på at det kan oppstå store forskjeller i stående volum for de ulike alternativene i foryngelsen i omløpets siste halvdel. For ungsogpleie var tendensen den samme. Med en mer ekstensiv intensitet i ungsogpleie var tilveksten de siste årene lavere enn for referansealternativet. Også her er det grunn til å tro at forskjellene ville ha blitt synlig om man hadde hatt en analyseperiode som strekker seg over et helt omløp.

5. Konklusjon

Analysene tydet på at tilvekstprognoseverktøyet Gaya-J, med de diametertilvekstfunksjonene som ligger til grunn i verktøyet (Blingsmo 1984), undervurderer produksjonen og avvirkningspotensialet. Dette gjelder for begge diametertilvekstfunksjonene som ligger inne i Gaya-J (5 og 3 variabler). Selv om det er et representativt og godt dokumentert takstmateriale og at offisiell statistikk når det gjelder avvirkning, skogbehandling og vern blir benyttet, må det understrekes at det er flere usikkerhetsfaktorer i analysene og dermed også i resultatene. Når det gjelder takstmaterialet er det kanskje knyttet mest usikkerhet til endringene i det produktive skogarealet for begge fylkene gjennom analyseperioden. Alders- og bonitetsbestemmelsene er også en faktor som gir grunnlag for usikkerhet. En annen faktor som har stor betydning for disse analysene er forutsetningene som er gjort for ny skog for arealer som på registreringstidspunktet ikke er tresatte og for slutthogst av behandlingenheter i simuleringsperioden.

For de kontrafaktiske analysene var tendensen for intensiteten i foryngelsen at den historiske foryngelsesintensiteten har vært høyere enn det som er økonomisk optimalt med målsetting om maksimal nåverdi. Alternativet der all foryngelse etter hogst skal foregå med naturlig foryngelse ga den høyeste venteverdien når de kapitaliserte kulturkostnadene gjennom analyseperioden er trukket fra. For intensiteten i ungskogpleie og planting og ungskogpleie samlet var tendensen at den historiske skogkulturintensiteten har vært høyere enn økonomisk optimalt med målsetting om maksimal nåverdi. Alternativene der skogkultur foregikk på 50 % av de historiske arealene ga de høyeste venteverdiene når de kapitaliserte kulturkostnadene gjennom analyseperioden var trukket fra. Det ser ikke ut som endrete forutsetninger for skogkultur har store innvirkninger på det stående volumet gjennom perioden. Årsaken til dette kan være at analyseperioden kun er på 52.5 år. For å få fram forskjellene burde analyseperioden ha vært minimum ei omløpstad.

Det må også for de kontrafaktiske analysene understrekes at det er flere usikre faktorer og at resultatene dermed er noe usikre.

For videre arbeid med slike kontrafaktiske analyser vil jeg anbefale å øke analyseperioden slik at man får med et helt omløp. Dette tror jeg vil få fram forskjellene de ulike intensitetene i skogkultur vil gi. Et annet punkt som er interessant er forutsetningene som settes for ny skog etter hogst. Ved å gjennomføre en følsomhetsanalyse der ulike nyskogforutsetninger blir

benyttet, vil man kunne se betydningen dette har for skogen som kommer opp. Det kan også tenkes at en bør gjennomføre analyser for alle fylker, ikke bare Oppland og Buskerud.

6. Litteraturliste

- Abrahamson, A. (2017). *Tall produktiv skog i verneområder i Oppland* (e-post til Karstein G. Lona 30.03.2017).
- Barth, A. (1916). Norges skoger med stormskridt mot undergangen. *Tidsskrift for skogbruk* 24: 123-154.
- Bergsens, E., Ask, J. A., Framstad, E., Gobakken, T., Solberg, B. & Hoen, H. F. (2012). Biodiversity protection and economics in long term boreal forest management — A detailed case for the valuation of protection measures. *Forest Policy and Economics*, 15: 12-21.
- Bergsens, E., Eid, T., Løken, Ø. & Astrup, R. (2013). Harvest residue potential in Norway — A bio-economic model appraisal. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28 (5): 470-480.
- Blingsmo, K. R. (1984). Diametertilvekstfunksjoner for bjørk-, furu- og granbestand. *Rapport fra Norsk institutt for skogforskning* 7/84: 22 s.
- Borges, P., Bergsens, E., Eid, T. & Gobakken, T. (2015). Impact of maximum opening area constraints on profitability and biomass availability in forestry – a large, real world case. *Silva Fennica*, 49 (5).
- Borges, P., Martins, I., Bergsens, E., Eid, T. & Gobakken, T. (2016). Effects of site productivity on forest harvest scheduling subject to green-up and maximum area restrictions. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31 (5): 507-516.
- Braastad, H. (1977). Tilvekstmodellprogram for bjørk. *Rapp.Nor.inst.skogforsk.* 1/77:1-17.
- Braastad, H. (1982). Naturlig avgang i granbestand. *Rapp.Nor.inst.skogforsk.* 12/82: 1-46.
- Eid, T. (1998). *Noen betraktninger omkring balansekvantum og langsiktig produksjonsnivå for et skogområde. Forelesningsnotat RØP210*, s. 11: Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole.
- Eid, T. & Hobbestad, K. (1999). AVVIRK-2000 - et Edb-program for langsiktige investerings-, avvirknings- og inntektsanalyser i skog. Rapport fra skogforskningen - Supplement 8/99: 1-63.
- Eid, T. & Hobbestad, K. (2000). AVVIRK-2000 – a large scale forestry scenario model for long-term investment, income and harvest analyses. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15: 472–482.

- Eid, T., Hoen, H. F. & Økseter, P. (2001). Economic consequences of sustainable forest management regimes at non-industrial forest owner level in Norway. *Forest Policy and Economics*, 2 (3-4): 213-228.
- Eid, T., Hoen, H. F. & Økseter, P. (2002). Timber production possibilities of the Norwegian forest area and measures for a sustainable forestry. *Forest Policy and Economics*, 4 (3): 187-200.
- Eid, T. (2004). Testing a large-scale forestry scenario model by means of successive inventories on a forest property. *Silva Fennica*, 38 (3): 305-317.
- Eid, T. & Hobbelstad, K. (2005). AVVIRK-2000 - et Edb-program for langsiktige investerings-, avvirknings- og inntektsanalyser i skog. Aktuelt fra skogforskningen 2/2005:1-29.
- Eid, T. & Hobbelstad, K. (2006). Langsiktige konsekvensanalyser - etterprøving basert på Landsskogtakseringens prøveflater og avvirkningsstatistikk. *Rapport fra skogforskningen 2/2006*. 1-26 s.
- Eid, T., Viken, K. O. & Astrup, R. (2016). Models predicting stand level biomass for Norway spruce (*Picea* spp.), Scots pine (*Pinus* spp.) and broadleaf dominated forest in Norway. INA fagrapport 37. 31 s.
- Eid, T. (2017). *Tilrettelegging av Landsskogtakseringens data for Oppland og Buskerud fra takster i 1962-63 og 1963-64 for input til skogsimulatoren GAYA.*: NIBIO. 18 s. Upublisert manuskript.
- Granus, A., Hysten, G. & Nilsen, J.-E. Ø. (2012). Statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge registrert i perioden 2005-2009. Ressursoversikt fra Skog og landskap 03/12. 85 s.
- Granus, A., Eriksen, R. & Nilsen, J. E. Ø. (2016). *Resultatkontroll skogbruk/miljø, rapport 2015*: NIBIO.
- Haaverstad, O. T. (2017). *Andel produktiv skogsmark, og fordeling av boniteter på nyere vernede områder* (e-post til Marius Bjørseth 03.04.2017).
- Hobbelstad, K. (1998). Er det noe galt ved bruk av balansekvantumsberegningene? I: Woxholt, S. (ed.). Kontaktkonferanse skogbruk – skogforskning. Elverum 5. og 6. november 1997, p. 40–43: Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole, Ås.
- Hobbelstad, K. (2007). Mulighetene for skogbruket i Hedmark og Oppland. *Oppdragsrapport fra Skog og landskap*, 19: 07-46.
- Hoen, H. F. & Eid, T. (1990). En modell for analyse av behandlingsstrategier for en skog ved bestandssimulering og lineær programmering. *Rapp.Nor.inst.skogforsk.* 9/90: 1–35.

- Hoen, H. F. & Veistein, K. (1995). Samfunnsøkonomiske konsekvenser av tilpasninger til flersidig skogbruk. *Skogøkologi og flersidig skogbruk*, Rapport XXIII: Aktuelt fra Skogforsk. 1-19. s.
- Hoen, H. F., Eid, T., Veisten, K. & Økseter, P. (1998). Økonomiske konsekvenser av tiltak for et bærekraftig skogbruk. Forutsetninger og metodebeskrivelse. *Rapport fra skogforskningen. Supplement 6/98*.
- Hoen, H. F., Eid, T. & Økseter, P. (2001). Timber production possibilities and capital yields from the Norwegian forest area. *Silva Fennica*, 35 (3): 249-264.
- Hoen, H. F. & Gobakken, T. (2004). Brukermanual for bestandssimulatoren GAYA v1.30. *Upublisert brukermanual, Institutt for skogfag, NLH, Ås*.
- Hoen, H. F. (2009). *Bestandsskogbruk*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/bestandsskogbruk> (lest 20.04.2017).
- Hofstad, O. (1998). «Riktig» avvirkning. *Norsk Skogbruk 12/98*: 26–27.
- Karlsson, C., Sikström, U., Örlander, G., Hannerz, M. & Hånell, B. (2009). *Skogsskötselserien nr 4, Naturlig förnygring av tall och gran*: Skogsstyrelsens förlag. Landbruks- og matdepartementet. (2016). *Meld. St. 6 (2016–2017) Verdier i vekst — Konkurransedyktig skog- og trenæring*: Landbruks- og matdepartementet. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-6-20162017/id2515774/sec4> (lest 05.04.2017).
- Landsskogtakseringen. (1938). Taksering av Norges skoger. Østfold fylke. Revisjonstaksering 1937. 118.
- Landsskogtakseringen. (1964). Taksering av Norges skoger. Oppland fylke. Revisjonstaksering 1962-63. 164 s.
- Landsskogtakseringen. (1965). Taksering av Norges skoger. Buskerud fylke. Revisjonstaksering 1963-64. 166 s.
- Landsskogtakseringen. (2008). *Landsskogtakseringens feltinstruks 2008. Håndbok fra Skog og landskap 05/08*. 108 s.
- Lappi, J. & Lempinen, R. (2016). J -users' guide 3.0 Version 3.0 2016: Natural Resources Institute Finland Suonenjoki Unit.
- Løvhaugen, O. I. (1997). Balansekvantum: begrepet bør fjernes. *Norsk Skogbruk 6/97*: 9.
- Miljødirektoratet. (2017). *Enkelt søk i Naturbase – velg tema og kriterier*. Tilgjengelig fra: <http://www.xn--miljodirektoratet-oxb.no/no/Tjenester-og-verktoy/Database/Naturbase/Enkelt-sok/> (lest 27.02.2017).
- Myrbakken, S. (1998). Hva er riktig avvirkningsnivå? *Norsk Skogbruk 10/98*: 8–9.

- Næsset, E., Gobakken, T. & Hoen, H. F. (1997). Economic analysis of timber management practises promoting preservation of biological diversity. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12 (3): 264-272.
- Raymer, A. K., Gobakken, T., Solberg, B., Hoen, H. F. & Bergseng, E. (2009). A forest optimisation model including carbon flows: Application to a forest in Norway. *Forest Ecology and Management*, 258 (5): 579-589.
- Rindal, T. K., Myklestad, G. & Pettersen, J. (2014). Skogkurs-Resymé nr. 2 - 6. utgave: 2014 «Ungskogpleie»: Skogkurs (Skogbrukets Kursinstitutt).
- Skogbrukslova. (2005). *LOV-2005-05-27-31: Lov om skogbruk (skogbrukslova)*.
- Skogfrøvverket. (2017). *Omsetning av skogplanter 1942-2010**. Tilgjengelig fra: <http://www.skogfroverket.no/userfiles/files/Bibliotek/Statistikk/Plantesalg1942-2010.pdf> (lest 18.04.2017).
- Skogkurs. (2013). Vedtekter Skogbrukets Kursinstitutt.
- Statistisk sentralbyrå. (1963-2008). Skogstatistikk.
- Statistisk sentralbyrå. (1989). Landbruksteljing 1989, hefte VII, skogbruk - utmarksressurser: Statistisk Sentralbyrå.
- Statistisk sentralbyrå. (2009). Skogstatistikk 2008: Statistisk Sentralbyrå.
- Statistisk sentralbyrå. (2016a). *Skogkultur, 2015. Skogplanting*: Statistisk Sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogkultur/aar/2016-04-29?fane=tabell&sort=nummer&tabell=264391> (lest 27.02.2017).
- Statistisk sentralbyrå. (2016b). *Skogkultur, 2015. Ungskogpleie*: Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogkultur/aar/2016-04-29?fane=tabell&sort=nummer&tabell=264392> (lest 27.02.2017).
- Strand, L. (1967). Høydekurver for bjørk. Kap IX side 291: Produksjonstabeller for bjørk. *Medd. Norske Skogforsk.* 22:265-365. .
- Strand, L. (1998). Om bruken av balansekvantumsberegninger. I: Woxholt, S. (ed.). Kontaktkonferanse skogbruk – skogforskning. Elverum 5. og 6. november 1997, p. 37–39.: Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole, Ås, Aktuelt fra skogforskningen 1/98.
- Tomter, S. (2017). *Masteroppgave* (e-post til Karstein G. Lona 08.05.2017).
- Tomter, S. M. & Dalen, L. S. r. (2014). Bærekraftig skogbruk i Norge: Norsk institutt for skog og landskap, Ås. 241 s.

- Tomter, S. M. (2016). Analyser av skogressursene i Oppland. Basert på Landsskogtakseringens data.
- Tveite, B. (1967). Sambandet mellom grunnflateveid middelhøyde (HL) og noen andre bestandshøyder i gran- og furuskog. *Meddr. norske SkogforsVes.* 22: 483-538.
- Tveite, B. (1976). Bonitetskurve for furu. *Intern rapport. (Upublisert)*.
- Tveite, B. (1977). Bonitetskurver for gran. *Medd.Nor.inst.skogforsk.* 33:1-84.
- Woxholt, S. (2011). Norsk institutt for skog og landskap - Årsmelding 2010. 40 s.

7. Vedlegg

Tabell 40. Arealjusteringer på grunn av prøveflater uten trær, i Oppland.

Hogstklasse	Bonitet	Prøveflater med trær	Prøveflater uten trær	Sum areal prøveflater uten trær (ha)	Prøveflate-størrelse før justering (ha)	Tillegg areal pr. prøveflate (ha)	Justert areal (ha)	Justeringsfaktor
II	8	97	9	407.10	45.237	4.197	49.434	0.915
	11	395	56	2533.08	45.237	6.413	51.650	0.876
	14	811	65	2940.18	45.237	3.625	48.862	0.926
	17	290	30	1357.00	45.237	4.679	49.916	0.906
	20	109	11	497.57	45.237	4.565	49.802	0.908
III	8	101	6	271.40	45.237	2.687	47.924	0.944
	11	296	5	226.17	45.237	0.764	46.001	0.983
	14	486	3	135.70	45.237	0.279	45.516	0.994
	17	230	3	135.70	45.237	0.590	45.827	0.987
	20	103	2	90.47	45.237	0.878	46.115	0.981
IV	8	652	27	1221.30	45.237	1.873	47.110	0.960
	11	1928	19	859.44	45.237	0.446	45.683	0.990
	14	1864	13	588.04	45.237	0.299	45.552	0.993
	17	644	3	135.70	45.237	0.211	45.448	0.995
	20	282	2	90.47	45.237	0.321	45.558	0.993
V	8	971	53	2397.38	45.237	2.469	47.706	0.948
	11	1371	35	1583.17	45.237	1.155	46.392	0.975
	14	856	8	361.87	45.237	0.423	45.660	0.991
	17	263	3	135.70	45.237	0.516	45.753	0.989
	20	64	2	90.47	45.237	1.414	46.651	0.970

Tabell 41. Arealjusteringer på grunn av prøveflater uten trær, i Buskerud.

Hogstklasse	Bonitet	Prøveflater med trær	Prøveflater uten trær	Sum areal prøveflater uten trær (ha)	Prøveflatestørrelse før justering (ha)	Tillegg areal pr. prøveflate (ha)	Justert areal (ha)	Justeringsfaktor
II	8	92	23	1055.37	45.886	11.47	57.357	0.800
	11	402	62	2844.92	45.886	7.077	52.963	0.866
	14	677	76	3487.32	45.886	5.151	51.037	0.899
	17	214	18	825.94	45.886	3.860	49.745	0.922
	20	83	8	367.09	45.886	4.423	50.309	0.912
III	8	87	1	45.89	45.886	0.527	46.413	0.989
	11	186	5	229.43	45.886	1.233	47.119	0.974
	14	388	0	0	45.886	0	45.886	1.000
	17	170	2	91.77	45.886	0.540	46.426	0.988
	20	111	1	45.89	45.886	0.413	46.299	0.991
IV	8	656	24	1101.26	45.886	1.679	47.564	0.965
	11	1313	11	504.74	45.886	0.384	46.27	0.992
	14	1409	8	367.09	45.886	0.261	46.146	0.994
	17	690	6	275.31	45.886	0.399	46.285	0.991
	20	333	1	45.89	45.886	0.138	46.024	0.997
V	8	965	38	1743.66	45.886	1.807	47.693	0.962
	11	1030	25	1147.14	45.886	1.114	46.999	0.976
	14	818	12	550.63	45.886	0.673	46.559	0.986
	17	276	4	183.54	45.886	0.665	46.551	0.986
	20	92	0	0	45.886	0	45.886	1.00



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway