



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Evaluering av modeller for antall årringer i kjerneved og diameter i kjerneved i furu (*Pinus sylvestri* L.)

Evaluation of models for predicting number of
annual rings in heartwood and diameter in
heartwood of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)

Kolbjørn Vole

Skogfag

Forord

Denne oppgaven representerer slutten på studentlivet, og starten på et nytt kapittel. Etter 3 år og fullført bachelorgrad i skogbruk fra Høgskolen i Innlandet, avd. Evenstad, og nå 2 år og fullført mastergrad i skogfag fra Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, føler jeg meg klar for å anvende den tilegnede kunnskapen til noe nyttig.

Tusen takk til hovedveileder Geir Isak Vestøl, for all hjelp jeg fått under arbeidet med denne oppgaven. Både inne på kontoret på Sørhellinga, men ikke minst også for hjelp under feltarbeid i litt for mange minusgrader, og i frustrerende perioder når tilvekstboret sto bom fast i tømmerstokken. En stor takk rettes også til Moelven for godt samarbeid, og til Jo Håvard Gjerdrum og Vetle Løchting (Moelven Våler) for god organisering og hjelp under feltarbeid. Takk til overingeniør Annie Aasen (NMBU) for sikker og god hjelp på laben, og senioringeniør Sigrun Kolstad (NIBIO) for levering av kjernevedreagens. En takk rettes også til overingeniør Roar Økseter for hjelp til organisering av data. Til slutt en stor takk til alle mine klassekamerater og medstudenter på NMBU, samt alle andre som på lesesalen har bidratt til fantastisk både moralsk og faglig støtte under arbeidet men denne oppgaven.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 16. mai 2022

Kolbjørn Vole

Sammendrag

Kjerneved fra furu (*Pinus Sylvestris*) er et materiale som er naturlig holdbart og motstandsdyktig mot biologisk nedbrytning. Dette er en fordel ved at man kan produsere trelast som kan tåle litt fuktighet, uten at man trenger å bruke impregneringsmiddel. Det er gjort flere studier på utviklingen av kjerneved i furu, og hvilke faktorer som påvirker dette. Det er blant annet utviklet ulike modeller som predikerer antall årringer i kjerneved i furu, og diameter i kjerneved i furu langs hele stammeprofilen på stående furutrær.

Målet med studiet var å sammenligne kjerneveddiameter, kjernevedandel og antall årringer i kjerneved i rotstokkene fra 5 forskjellige bestand. Én modell for predikasjon av antall årringer i kjerneved, og 7 modeller for predikasjon av diameter i kjerneved, skulle i tillegg evalueres.

Det ble totalt samlet inn data fra 97 prøvetrær fra 5 bestand; 1 i Skåbu i Nord-Fron kommune, 1 i Løten kommune, 2 i Stange kommune og 1 i Våler kommune. Forskjeller i diameter i kjerneved, andel kjerneved og antall årringer i kjerneved, og modellene ble validert på rotstokkene fra hvert prøvetre. Bias, RMSE og R^2 ble funnet for å validere modellene.

Det ble funnet at andelen kjerneved var størst i stokkene fra Skåbu, mens gjennomsnittlig diameter i kjerneved var nesten identisk for områdene Skåbu, Løten og Stange 1. Stokkene fra Våler, som hadde betraktelig lavere alder enn stokkene fra de andre områdene, viste seg å ha lavest diameter i kjerneved, lavest andel kjerneved, og færrest antall årringer i kjerneveden. Modellen for predikering av antall år i kjerneved, viste god evne til å predikere antall år i kjerneved i både rot- og toppende av stokkene. For modellene som predikerte diameter i kjerneved, ble det funnet at modellen som brukte diameter i brysthøyde under bark, høyde på treet, og kroneprosent som forklaringsvariabel, viste god evne til å predikere diameter i kjerneved i stokkene fra dette studiet. Modellen for predikering av diameter i kjerneved som i tillegg brukte radius i yteved ved brysthøyde, radius i kjerneved ved brysthøyde, og diameter ved predikeringspunkt på stammen, viste også god evne til predikere diameter i kjerneved i stokkene fra dette studiet. Resultatene tyder på at man kan bruke modeller for å predikere både antall årringer i kjerneved og diameter i kjerneved, på stående furutrær.

Abstract

Heartwood from Scots pine (*Pinus Sylvestri*) is a material that has a natural durability and a good defense against biodegradation. This is an advantage because you can produce lumber which can withstand wet conditions to some degree, without the use of impregnating agents. Several studies have been conducted to investigate the distribution of heartwood, and which factors that affect it. Models have been developed to predict the number of annual rings in the heartwood, and the diameter of the heartwood along the stem of standing Scots pine trees.

The goal of this study was to compare diameter, proportion, and number of annual rings in heartwood in the butt logs from 5 different stands. One model for prediction of number of annual rings in heartwood, and 7 models for prediction of diameter in heartwood, was also going to be evaluated.

Data from 97 trees, divided between five stands; one in Skåbu in Nord-From municipality, one in Løten municipality, two in Stange municipality, and one in Våler municipality, were collected. The differences in heartwood between all the areas, plus the prediction models was validated on the butt logs of each sample tree. Bias, RMSE and R^2 was calculated for the validation of the models.

The results showed that the proportion of heartwood was largest in the logs from Skåbu, although the diameter of the heartwood was almost identical in the logs from Skåbu, Løten and Stange¹. The logs from Våler, which had a substantial lower age than the logs from the other areas, had the lowest average diameter of heartwood, lowest proportion of heartwood, and the lowest number of annual rings in heartwood. The models for predicting number of annual rings in heartwood, seemed to predict the annual rings in heartwood in the logs from this study well, both in the butt- and top end of the logs. For the models that predicted diameter in heartwood, it was found that the model that used diameter at breast height under bark, tree height, and crown percentage as variables, predicted the diameter of heartwood well for the logs from this study. The model that in addition used radius in sapwood at breast height, radius in heartwood at breast height, and diameter under bark at the prediction height along the stem, also predicted the diameter of heartwood well for the logs from this study. The results indicate that annual rings in heartwood and the diameter of heartwood can be predicted in standing Scots pine trees.

Innhold

Forord.....	I
Sammendrag.....	III
Abstract.....	V
Begreper.....	1
1. Innledning.....	2
2. Materiale og metode.....	6
2.1. Datainnsamling.....	6
2.1.1. Datainnsamling i felt.....	6
2.1.2. Datainnsamling på sagbruket.....	9
2.2. Analyser.....	9
2.2.1. Forskjeller i kjerneved mellom områder.....	9
2.2.2. Prediksjon av antall år i kjerneved (Gjerdrum, 2003).....	10
2.2.3. Prediksjon av diameter i kjerneved (Flæte & Høibø, 2009).....	11
3. Resultater.....	13
3.1. Forskjeller i kjerneved mellom områder.....	13
3.2. Validering av modellen til Gjerdrum (2003).....	14
3.2.1. Validering av modellen til Gjerdrum (2003) i toppende.....	14
3.2.2. Validering av modellen til Gjerdrum (2003) i rotende.....	15
3.3. Validering av modellene til Flæte & Høibø (2009).....	17
4. Diskusjon og konklusjon.....	20
4.1. Forskjeller i kjerneved mellom områder.....	20
4.2. Modellen til Gjerdrum (2003).....	21
4.3. Modellene til Flæte & Høibø (2009).....	22
4.4. Praktisk bruk av modellene.....	24
4.5. Konklusjon.....	25
5. Referanser.....	26

Begreper

Tabell 1. Forklaring til begreper og variabler brukt i studiet og i modellen til Gjerdrum (2003), og modell 2-8 fra Flæte og Høibø (2009).

Begrep	Forkortelse	Enhet	Forklaring
Alder ved brysthøyde	ABH	år	Totalt antall årringer ved 1,3 meter høyde opp på stammen
Diameter i brysthøyde / brysthøydediameter	DBH	mm	Diameter under barken ved 1,3 meter høyde opp på stammen
Diameter under bark ved predikeringspunkt	D _h	mm	Ytre diameter på en stokk eller et tre ved det punktet diameter i kjerneved predikeres
Høyde ved predikeringspunkt	H	m	Høyde opp på stammen til det tverrsnittet predikeringen skal gjøres på
Kjernevedandel		%	Diameter i kjerneved i forhold til diameter på stammen
Kjernevedradius ved brysthøyde	KVrad	mm	Radius i kjerneved ved 1,3 meter høyde opp på stammen
Kronehøyde	KH	m	Lengde fra tenkt stubbeavskjær og opp til starten av den grønne krona på treet
Kronelengde	KL	m	Lengden på den grønne krona på treet
Kroneprosent	KR%	%	Lengde på den grønne krona i forhold til trehøyden
Kronevidde			Avstand fra tuppen av lengste grønne grein, og inn til stammen, i hver himmelretning
Rotavskjær			Enden av treet/stokken som ble kappet fra stubben
Trehøyde	TH	m	Den totale høyde på et tre
Ytevedradius ved brysthøyde	YVrad	mm	Radius i yteveden ved 1,3 meter høyde opp på stammen

1. Innledning

Materialer av tre har vært brukt av mennesker i flere tusen år, i alt fra redskaper til bygninger. Det er et materiale som er lett å anskaffe, og enkelt å bearbeide. Det er også et materiale som er meget utsatt for biologisk nedbrytning. Behovet for trematerialer av høy kvalitet, og som er motstandsdyktige mot råteskade er nødvendig om man for eksempel skal lage bygninger av tre. I dag deler man materialer av tre inn i holdbarhetsklasser, definert i NS-EN 350 (Standard Norge 2016), og miljøet materialene brukes i klassifiseres i bruksklasser, definert i NS-EN 335 (Standard Norge 2013). Man har 5 forskjellige bruksklasser; 1. innendørs tørt, 2. tildekket for direkte nedbør med risiko for fukt, 3. utendørs over mark, 4. i jordkontakt, og 5. i sjøvann. Fuktighet og jordkontakt vil øke risikoen for råteangrep i trevirke (Brischke et al., 2013; Thybring, 2017), noe som er grunnen til at bruksklassene er definert ut ifra disse faktorene. Holdbarhetsklassene definerer trevirkets evne til å motstå biologisk nedbrytning. Holdbarhet til tre mot råteangrep i NS-EN 350 skiller mellom ulike treslag, og er delt inn i 5 klasser; 1. meget holdbar, 2. holdbar, 3. middels holdbar, 4. lite holdbar, og 5. ikke holdbar. Ubehandlet yteved blir regnet som ikke holdbar, og holdbarheten blir derfor gradert for kjerneved. Yteved kan bli holdbar ved ulike behandlinger, for eksempel ved impregnering. Furu (*Pinus sylvestris L.*) blir i standarden plassert i klassene 3-4. Til sammenligning blir gran (*Picea abies*) plassert i klasse 4 (TreFokus). De treslagene det definitivt skjæres mest trelast av i Norge i dag er gran og furu. Levetiden til disse treslagene i bruksklasse 4 og 5 blir regnet for å være relativt kort. I bruksklasse 3 blir de i dag i stor grad brukt, som for eksempel til ytterkledning på hus. Levetiden til materialer i slik type konstruksjon vil i stor grad påvirkes av lokalt klima og bygningskonstruksjon (Iglebæk, 2005). I Norge i dag blir det brukt mest kledning av gran, og man skiller ikke mellom yteved og kjerneved (TreFokus). Materialer av gran er mindre permeable enn andre treslag og det reduserer variasjonen i fuktighet, noe som gjør angrep av sopp mindre sannsynlig (Iglebæk, 2005). Om materialene blir utsatt for mye fuktighet over for lang tid kan dog sopp fortsatt etablere seg. Der har kjerneveden til furu et fortrinn. Den inneholder ekstraktivstoffer som beskytter mot angrep fra sopp og insekt (Flæte, 2003). Yteveden til furu har åpen struktur og er mer utsatt for fukt og råteskader. Dette er en viktig grunn til at man bør bruke rene kjernevedprodukter når man bruker furu i høyere bruksklasser. Produkter skåret av kjerneved i furu egner seg for eksempel godt som ytterkledning over bakken, da de har gode naturlige egenskaper som gjør de motstandsdyktige mot biologisk nedbrytning (Moelven, 2016; Øvrum & Flæte, 2008).

I Norge har man i dag spesialiserte trelastprodukter som skjæres av kjerneved i furu (Moelven, 2016). Moelven er en av aktørene som produserer produkter fra kjerneved av furu. For å få tak i nok kvalitetsvirke til å produsere disse produktene, ønsker de kunnskap om hvilke områder i deres geografi man kan få furutømmer med størst mulig andel kjerneved fra. Derfor var Moelven interessert i å se på mulighetene for å sjekke forskjeller i andelen kjerneved mellom ulike geografier, og det er bakgrunnen for dette studiet. På sagbruket Moelven Våler, måler man alt virke i en 3D-ramme og en røntgenramme. 3D-rammen gir oversikt på ytre mål av hver stokk, mens røntgenrammen gir en oversikt over hvordan stokken ser ut inni, da både med tanke på kviststruktur, fremmede objekter og kjernevedandel. Dette gjør at man kan sortere ut stokker med større andel kjerneved på dette sagbruket. Moelven konsernet skjærer dog mesteparten av furuvirket fra denne regionen på sagbruket sitt i Løten. Der har man ikke den samme røntgenrammen som man har på Våler, og utsortering av virke med høy kjernevedandel må derfor gjøres manuelt. Hensikten med denne oppgaven er å vurdere hvilke områder man kan forvente vil gi furu med større andel kjerneved, og å se på muligheten for å kunne bruke modeller til å predikere antall årringer i kjerneved og diameter i kjerneved til furu fra ulike bestand.

Kjerneveden er den innerste delen av furustammene. Utenfor kjerneveden finner man yteveden, som står for væsketransport i treet. Utvikling av kjerneved starter innerst i stammen når treet har nådd en viss alder, og etter hvert som treet blir eldre, blir yteveden omdannet til kjerneved. Det som skjer ved denne omdanningen, er at de parenkymatiske cellene dør. Transport av fukt i denne delen av treet vil så opphøre. Trevirket tørker ut, linseporene aspirerer og tetter seg, og virket fylles med ekstraktivstoffer (Kucera, 1998; Øvrum & Flæte, 2008). Denne endringen i trestrukturen gjør at kjerneveden får redusert permeabilitet og økt innhold av ekstraktivstoffer som motvirker eventuelle soppangrep på trevirket. Når yteveden har blitt omdannet til kjerneved, har den ikke lenger noe funksjon for transport av væske og næringsstoffer opp til krona, men den er fortsatt viktig for styrken til treet, slik at det klarer å stå oppreist under harde værforhold. Dette gjør at produkter av kjerneved får gode naturlige egenskaper som gjør det motstandsdyktige mot biotiske skader. Når man skjærer trelast av kjerneveden til furua, er det naturligvis ønskelig at mengde kjerneved skal være så stor som mulig.

Det finnes ulike teorier om hva som påvirker kjerneveddannelsen, og en teori er at kjerneveddannelse er styrt av alderen til kambiet (Birkeland et al., 2002). Björklund (1999) fant en sammenheng mellom antall årringer i kjerneved og totalt antall årringer. Kjerneveden ble funnet til å øke med 0,5 årringer per år ved 45 års totalalder, og 0,8 årringer per år ved 115 års

totalalder. Denne sammenhengen støttes opp av (Gjerdrum, 2003), som fant at antall årringer i kjerneved i et tverrsnitt hadde en direkte sammenheng med totalt antall årringer i det samme tverrsnittet. Funnene til Gjerdrum (2003) viste at kjerneveden økte med 0,6 årringer pr år ved 50 års alder, og 0,8 årringer per år ved 200 års alder. Totalalder ble i dette studiet konkludert med å være hovedfaktoren for utvikling av kjerneved i furu, og en formel for predikering av antall år i kjerneved i et tverrsnitt ut ifra totalalder i det samme tverrsnittet, ble utviklet (formel 1).

I 1964 ble «the pipe model theory» publisert, som beskriver forholdet mellom størrelse på stamme og mengde fotosyntetiserende masse (Shinozaki et al., 1964). I bartrær baserer teorien seg på at mengde grønn krone over et tverrsnitt i stammen styrer hvor mye fuktighet som transporteres oppover stammen i treet, og derav også hvor mye yteved treet trenger (Flæte & Høibø, 2009; Øvrum & Flæte, 2008). Det har blitt gjennomført forsøk med utgangspunkt i denne teorien for å forsøke å øke andelen kjerneved i furutrær. (Bjelkåsen, 2008) har blant annet forsøkt å øke kjernevedradien ved å toppkappe og redusere den grønne krona på treet. Dette ga ingen signifikant økning i kjernevedradien på prøvetrærne. Barken på 1/3 av omkretsen av stammen ble også fjernet. Dette kalles slinding, og det fjerner den mekaniske beskyttelsen til stammen, noe som gjør yteveden eksponert for angrep av sopp, som igjen fører til at furua skiller ut ekstra ekstraktivstoffer i den eksponerte delen av stammen. Slinding førte til signifikant økning av kjernevedradien, men kun på de områdene av stammen hvor barken var fjernet. En del av trærne hadde også blitt angrepet av råte, sannsynlig som følge av forsøket. Dette er en arbeidsom prosess for å skaffe virke med høy kjernevedandel, og vil være vanskelig å benytte i praksis om man trenger store kvanta av kjernevedvirke.

En enklere og mer effektiv løsning for å anskaffe furuvirke med høy kjernevedandel vil trolig være å kunne predikere kjernevedandelen hos furu ut ifra skoglige faktorer. Basert på The pipe model theory, er det en sammenheng mellom størrelse på krona over et tverrsnitt, og mengde vannledende ved (yteved) i det samme tverrsnittet, som vil si at man trolig kan gjøre estimater på kjerneved ut ifra skoglige data, og da spesielt variabler som beskriver størrelse på krona, og diameteren til treet. Det har blitt gjort flere studier i denne retningen. Blant annet har (Björklund, 1999) sett på kjernevedandel i furu i Sverige. I studiet ble det funnet stor variasjon i andel kjerneved både mellom trær og bestand. Det ble funnet lite sammenheng mellom variablene både til trærne og bestandene. (Björklund, 1999) trodde derfor at estimering av kjernevedandel ut ifra takseringsdata ville være vanskelig. Det har dog i senere tid vært studier som har forsøkt seg på akkurat dette. (Flæte & Høibø, 2009) har blant annet utviklet modeller

for å kunne predikere diameter i kjerneved langs stammeprofilen i furutrær, ut ifra en rekke skoglige faktorer. I modellene til Flæte & Høibø (2009) ble faktorene diameter i brysthøyde, trehøyde, kroneprocent, ytevedradius, kjernevedradius og alder brukt i ulike modeller for å estimere diameter i kjerneved. Studieområdet var fordelt på to områder, ett på sørvest-landet og ett på sørøst-landet, og alle bestandene lå under 300 moh. Modellene som ble utviklet i studiet ga en god forklaring på kjerneveddiameteren til de områdene som ble testet, men hvorvidt man finner de samme tendensene til kjerneveddiameteren i furua andre steder i landet, er ukjent. Ved å legge studieområdet til kommunene Nord-Fron, Stange, Løten og Våler, skal det testes forskjeller i kjernevedandeler, kjerneveddiameter, og antall årringer i kjerneved mellom ulike geografiske plasseringer, samt hvor godt modellene utviklet av (Flæte & Høibø, 2009) passer med funnene gjort i denne oppgaven. Modellen utviklet av (Gjerdrum, 2003), som predikerer antall årringer i kjerneved, skal i tillegg testes på det samme datamaterialet.

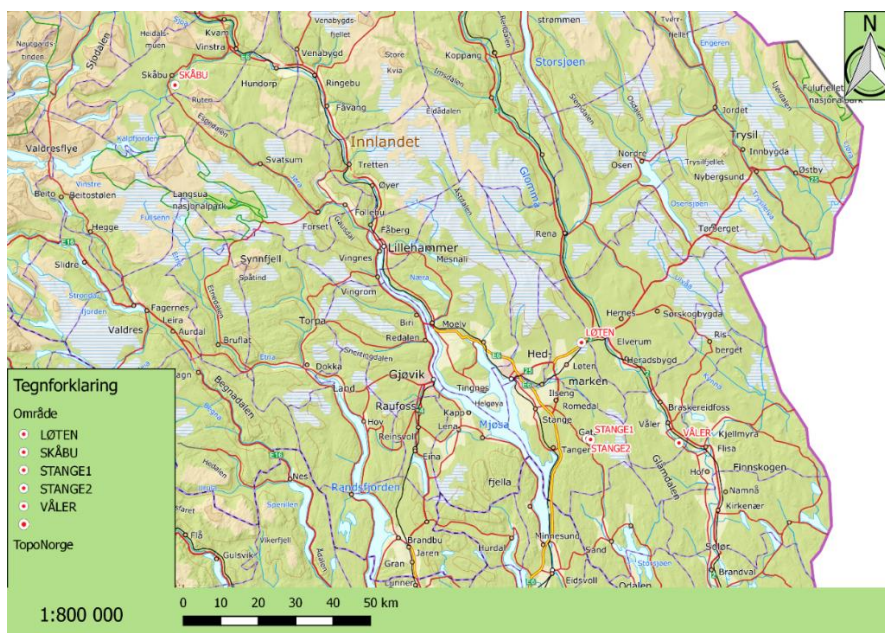
2. Materiale og metode

2.1. Datainnsamling

Datainnsamlingen ble gjennomført i 2 omganger. Først ble det registrert data fra prøvetrær på rot ute i skogen, før trærne ble avvirket og boreprøver og målinger ble tatt av rotstokken fra hvert prøvetre med 3D og røntgenskanner på Moelven Våler sagbruk. På rot ble det samlet inn data fra 6 bestand, fordelt på 21 prøvetrær fra hvert bestand. Ett av bestandene (Lesja) ble ikke avvirket i tide til å ta med i prosjektet, og 8 av prøvetrærne (1 fra Løten og 7 fra Våler) ble borte under transport. Det endelige datasettet endte derfor på 97 prøvetrær fra 5 forskjellige bestand. Antall prøvetrær fra hvert bestand er presentert i Tabell 2.

2.1.1. Datainnsamling i felt

Bestandene ble i all hovedsak valgt ut ifra geografisk plassering, bonitet og tidspunkt for planlagt avvirkning. Vi var ute etter variasjon i både geografisk plassering og bonitet. Originalt ble det forsøkt å velge ut bestand fra 3 ulike geografier, med 2 bestand med forskjellig bonitet og høyde over havet fra hver geografi, men utvelgelsen av bestand ble noe begrenset med tanke på at det måtte velges bestand som skulle avvirket innenfor relativt kort tidshorisont, samt at sagtømmeret fra driftene skulle leveres til Moelven Våler sagbruk. Vi endte opp med 1 bestand i Nord-Fron kommune (Skåbu), 1 i Løten kommune, 2 i Stange kommune, og 1 i Våler kommune (Figur 1).



Figur 1. Oversiktskart. Laget i QGIS 2.8.9.

For å velge prøvetrærne ute i felt, startet vi med å velge ut et området i bestandet som besto av ca. 100 trær. Da vi valgte ut område av bestandet, prøvde vi å få med trær som representerte bestandet godt med tanke på spredning i diameter og høyde på trærne. Deretter gikk vi systematisk over og klavet alle furutrærne innenfor det utvalgte området. For å effektivisere arbeidet, samt at disse dataene kun ble brukt for å estimere diameterfordelingen i bestandet, ble det ikke funnet en snittdiameter mellom største og minste diameter i brysthøyde på trærne under totalklavingen. Klaven ble tilfeldig plassert på treet 1,3 meter opp på stammen, og diameterne som sto på klaven ble lest av. Vi brukte stikkliste til å klassifisere trærne etter diameter i brysthøyde i 1 cm klasser fra 10 til 50 cm. Trær som var mindre enn 10 cm ble klassifisert som én gruppe, og det samme gjaldt trær som var større enn 50 cm. Dette gjorde vi for å få en oversikt over diameterfordelingen blant trærne i det utvalgte området. For å gjøre en stratifisert sampling basert på diameter i brysthøyde, delte vi inn alle trærne som hadde brysthøydiameter ≥ 25 cm inn i tre diameterklasser, med like mange trær i hver klasse. Det ble kun sett på trær med brysthøydiameter fra 25 cm og oppover, da det var disse dimensjonene som var mest interessante å undersøke med tanke på Moelvens krav til topdiameter på tømmeret. Ved utvalg av prøvetrær ble det valgt ut 7 tilfeldige prøvetrær i hver diameterklasse. Ved utvelgelse av prøvetrær gikk vi systematisk over det samme området som ble totalklavet, og klavet på hvert andre furutre vi kom til. Om treet passet inn i en av diameterklassene, samt at det ikke hadde synlige skader, ble det valgt ut som prøvetre. Om treet ikke passet inn i en diameterklasse, eller det var synlige skader på treet, ble treet ikke valgt ut som prøvetre. Slik gikk vi gjennom hele området som var valgt ut, til vi hadde valgt ut 7 prøvetrær i hver diameterklasse. Det er verdt å nevne at det lå snø på bakken under registrering av alle feltene. Dette førte til at vi fikk en god oversikt over hvor vi hadde gått. Dette var spesielt nyttig når vi totalklavet det utvalgte området i et bestand, slik at vi unngikk å ta diameter av det samme treet to ganger. Det førte også til at vi fikk en bedre oversikt over hvilke trær vi hadde sett på ved utvelgelse av prøvetrær. Denne stratifiserte samplingen ble gjort for å fange opp diametervariasjonen i bestandet med et begrenset antall prøvetrær. På hvert prøvetre ble det tatt målinger av diameter i brysthøyde (DBH), barktykkelse i brysthøyde, kronevidder i hver himmelretning (KV), kronehøyde (KH) og totalhøyde (TH) (Tabell 2. For å finne diameter i brysthøyde brukte vi klave og målte største og minste diameter på 1,3 meters høyde opp på stammen. Barktykkelse ble funnet med en barktykkelsesmåler ved brysthøyde. Kronehøyde ble målt i 4 forskjellige mål; nederste tørre grein (NTG), nederste grønne grein (NGG), kronehøyde i henhold til landskogtakseringen (LST)(Viken, 2021), og kronehøyde med sammenhengende 180 graders grønn kronedekning. Ved NTG ble avstand fra tenkt stubbeavskjær til nederst tørre

grein målt. Ved NGG ble avstand fra tenkt stubbeavskjær til nederste grønne grein målt. Ved LST ble avstand fra tenkt stubbeavskjær og opp til begynnelse av den sammenhengende krona målt. En enkelt grønn grein skulle ikke regnes som start på krona om den var skilt fra resten av den sammenhengende krona med 3 eller flere døde kvistkranser (Viken, 2021). Om det var 2 døde kvistkranser mellom en enkelt grønn grein og resten av den sammenhengende krona, ble altså høyden målt fra stubbeavskjær og opp til den enkle grønne greina som var skilt fra resten av krona med 2 døde kvistkranser. Alle høydene ble målt med Vertex høydemåler. Alle prøvetrærne ble merket med hvert sitt unike nummer, som senere ble brukt til å identifisere prøvetrærne på sagbruket. For å sette på nummeret fjernet vi en flekk med bark på hver side av stammen, og skrev på nummer på prøvetreet med tømmerkritt på begge sider. Dette ble gjort for å sikre at numrene ikke ble borte når de gikk gjennom hogstaggregatet på hogstmaskinen. I tillegg knyttet vi merkebånd rundt prøvetrærne slik at de skulle være ekstra synlige for hogstmaskinfører. Merkingen ble satt på rotstokken på treet, da det kun var rotstokkene fra prøvetrærne det ble tatt videre målinger på inne på sagbruket. Etter at alle målingene var tatt og prøvetrærne var markert, ble bestandene avvirket med hogstmaskin. Det ble ikke tatt noen spesielle apteringshensyn ved avvirkning av prøvetrærne. Stokkene fra bestandene ble kjørt inn til sagbruket som normalt, og etter at de var innmålt på sagbruket, ble rotstokkene fra prøvetrærne sortert ut i egen haug. Det var kun rotstokkene som ble studert i dette studiet, da disse stokkene var mest interessante for Moelven å studere, med tanke på fra hvilke stokker det er mest aktuelt å skjære rene kjernevedprodukter.

Tabell 2. Antall, gjennomsnitt, standardavvik og min-max for brysthøydealder (år), total høyde (m) og DBH (mm).

Område	N	Alder brysthøyde (år)			Total høyde (m)			DBH (mm)		
		Gj. snitt	SD	Min - Max	Gj. snitt	SD	Min - Max	Gj. snitt	SD	Min - Max
Løten	20	179	20	123-207	18.6	1.4	16.2-20.7	311	43	244 - 378
Stange1	21	171	13	143-208	25.9	2.3	21.8-29.7	352	63	258 - 453
Stange2	21	172	9	153-187	22.4	2.1	19.1-26.8	304	44	232 - 385
Skåbu	21	140	12	111-160	18.5	1.3	14.5-20.7	282	32	245 - 370
Våler	14	69	11	57-96	24.8	1.5	21.8-28.1	292	27	253- 340

2.1.2. Datainnsamling på sagbruket

Rotstokkene ble målt med en Logeye 302 røntgenramme fra Microtec, som er fastmontert på sagbruket på Moelven Våler. Målehastigheten på transportbåndet ved innmåling var på 150 meter i minuttet. Røntgenramma tok bilde fra to ulike vinkler av hver stokk, og ble brukt til å måle kjerneveddiameter i furustokkene. Rådata fra røntgenramma ble behandlet av Microtec, firmaet som leverer måleutstyret, for å finne kjerneveddiameter for hver 7. millimeter oppover hver stokk.

2.1.3. Datainnsamling i lab

Etter at stokkene var målt på sagbruket, ble det tatt boreprøver i rot- og toppendene av alle 97 stokkene. Prøvene ble frosset ned før de ble tatt med inn på lab. På laben ble boreprøvene påført kjernevedreagens for å skille mellom kjerneved og yteved. Når denne løsningen ble påført prøvene, fikk kjerneveden en rødlig farge, mens yteveden ikke endret noe særlig farge. Det ble derfor enkelt å identifisere hvor skillet mellom kjerneveden og yteveden var på boreprøvene. Kjernevedreagensen ble levert av NIBIO og besto av to løsninger som ble blandet sammen med blandingsforhold 1:1. Løsning 1 inneholdt 10 ml HCl, 490 ml vann og 5g o-Anisidine. Løsning 2 inneholdt 50g natriumnitritt, og 500 ml vann. Det ble registrert antall årringer i kjerneved og yteved for hver boreprøve.

2.2. Analyser

Alle analysene, testene og plottene er kjørt og hentet fra JMP Pro 16.0.0 (JMP, 2022).

2.2.1. Forskjeller i kjerneved mellom områder

Forskjeller i kjerneveddiameter, kjernevedandel og antall årringer i kjerneved mellom områdene ble testet med variansanalyser. Kjerneveddiameter og kjernevedandel ble testet på data fra rotenden og i brysthøyde, mens antall år i kjerneved ble testet på data fra rotendene. Det ble ikke testet på alder i kjerneved i brysthøyde, siden disse verdiene var estimert ved interpolering mellom alder i rot- og toppende av stokkene. Parvise sammenligninger mellom feltene ble gjennomført med Tukey-Kramer HSD-test. Til slutt ble også gjennomsnittlig årringbredde i yteved og kjerneved i rotenden av stokkene estimert. Gjennomsnittlig årringbredde i yteved ble funnet ved å dele radius yteved i rotenden på antall årringer i yteved i rotenden. Det samme ble gjort for radius i kjerneved i rotenden, og antall årringer i kjerneved i rotenden.

2.2.2. Prediksjon av antall år i kjerneved (Gjerdrum, 2003)

Modellen til (Gjerdrum, 2003) (Formel 1) ble validert ved å predikere antall årringer i kjerneved i henholdsvis rot- og toppender i prøvematerialet ut fra kambiets alder i de samme tverrsnittene. Her ble formel 1 brukt, der A_h er antall årringer i kjerneved ved aktuelt tverrsnitt, og A_k er kambiealder ved det samme tverrsnittet.

Valideringen ble skilt på topp og rot av stokken, siden modellen i utgangspunktet ikke ble utviklet på datasett som inneholdt data fra lavere enn ca. 4 meter opp på stammen (Gjerdrum 2003). Derfor ble det antatt at modellen ville kunne være mer nøyaktig til prediksjon i toppender, men at det var mulig å finne ut hvor vidt modellen også kunne benyttes til å estimere antall årringer i rotendene på rotstokker. Valideringen ble gjennomført ved å regne ut bias, RMSE og R^2 . Bias ble regnet ut etter formel 2, hvor y_i er estimert verdi, og Y_i er registrert verdi. Den ble funnet ved å ta snittet av avvikene for modellen, som ble funnet ved å kjøre en regresjonsanalyse mellom predikert og registrert verdi, med forutsetning om at funksjonen gikk gjennom null med 1 som stigningstall. Enkelt forklart ble avvikene funnet ved å trekke registrert verdi fra estimert verdi for hver måling. Snittet av alle avvikene utgjorde da bias. En negativ bias vil dermed bety at modellene i snitt underpredikerer, mens en positiv bias vil si at modellene i snitt overpredikerer verdiene. RMSE ble regnet ut etter formel 3, og R^2 ble regnet ut etter formel 4, hvor V_a er variansen til avvikene, og V_Y er variansen til de målte verdiene. I tillegg ble øvre og nedre konfidensintervall for bias funnet. Det mest optimale for en sån type modell er at bias skal være så nærme null som mulig. Det ble testet om bias for toppende og rotende var signifikant forskjellig fra 0. Testene ble gjennomført som ensidige t-tester, og nullhypoteser, som sier at det ikke er forskjell, ble forkastet hvis p-verdien var mindre enn 0,05. Testene ble gjort separat for rot- og toppender.

Bias for modellen ble også estimert for hvert område. Også her ble det skilt på estimering i rot- og toppende av hver stokk. Dette ble gjort for å se om modellen passet bedre for noen områder enn for andre. I tillegg ble det kjørt t-tester for å teste om bias for antall årringer i kjerneved i henholdsvis rot- og toppender for de ulike områdene var signifikant forskjellig fra 0.

$$Ah = (\sqrt{A_k} - 3)^2 \quad (\text{Formel 1 (Gjerdrum, 2003)})$$

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - Y_i) \quad (\text{Formel 2 (Flæte & Høibø, 2009)})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - Y_i)^2} \quad (\text{Formel 3 (Flæte & Høibø, 2009)})$$

$$R^2 = 1 - \frac{V_r}{V_Y} \quad (\text{Formel 4})$$

2.2.3. Prediksjon av diameter i kjerneved (Flæte & Høibø, 2009)

Datasettet fra røntgenmålingen av stokkene, inneholdt kjerneveddiameter per 7. mm oppover hele stokken. Røntgenrammen tok målinger i 2 vinkler på hver stokk, og gjennomsnittet av disse to målingene ble brukt som registrert kjerneveddiameter. Fra datasettet ble det hentet ut diameter i kjerneved per nærmeste 50. cm oppover stokkene. For en stokk på eksempelvis 5 meter ble det da hentet ut 11 diametermål av kjerneved. Disse dataene ble sammenstilt med mål fra 3D skanner, som inneholdt ytre diameter av stokkene for hver cm oppover stokken. Stammediameter fra 3D-skanner og kjerneveddiameter fra røntgenrammen ble brukt for å bestemme radius til yteved. Videre ble kronelengden funnet. Her ble det valgt å bruke kronehøyden i henhold til landskogstaksering. Dette var fordi av de tre kronehøydene, så var det den som best representerte den faktiske barmassen på treet. Det var også kronelengde som ble brukt til å finne kroneprosent i studiet til Flæte og Høibø (2009) Kronehøyde viste avstand fra stubbeavskjær og opp til kronen. Denne avstanden ble trukket ifra totalhøyden for å få et tall på den faktiske høyden på kronen på treet. Videre ble kroneprosent funnet ved å dele kronehøyde på høyden på treet. Alder i brysthøyde ble funnet ved interpolering mellom alder i rot og topp, med brysthøyde satt til 110 cm, med antagelse om at stubbehøyden var på 20 cm. Data fra felt, samt data fra røntgen og 3D ramme ble lagt inn i en JMP-fil. Så ble alle modellene lagt inn, og estimatene på kjerneveddiameter ble sammenlignet opp mot kjerneveddiameter fra røntgenrammen. Det ble estimert kjerneveddiameter i bunn av hver stokk, samt for hver 50. cm oppover stokkene. Siden det var ulik lengde på stokkene, har noen stokker derfor fått flere målinger og prediksjonspunkt enn andre. Modellene til Flæte & Høibø (2009) er presenter i Tabell 3, og variabelforklaring er presentert i Tabell 1. Det ble her kjørt de samme analysene med de samme forutsetningene som for modellene til Gjerdrum (2003). Regresjonsanalyse som tvang funksjonen gjennom null, med fastsatt stigningstall på 1, ble kjørt for predikert diameter i kjerneved opp mot registrert diameter i kjerneved for hver modell. Bias, RMSE og R^2 ble

regnet ut etter formel 2-4. I tillegg ble det funnet 95% konfidensintervall fra alle modellene. For at stokkene skulle vektet likt i analysen, ble det regnet ut gjennomsnittlig avvik for hver stokk, og disse dannet grunnlag for å estimere bias. Ved å gjøre det på denne måten unngikk man at de lengste stokkene med flest målepunkt ble vektet mer i analysene enn de korte stokkene med færre målingspunkt, og man fikk ikke for mange frihetsgrader i de statistiske testene. Det ble gjennomført t-tester for å teste om bias var signifikant forskjellig fra 0 for de ulike modellen.

Bias ble regnet ut for hver modell, fordelt på de 5 områdene. Dette ble gjort for å undersøke om noen av modellene synes å predikere kjerneveddiameteren bedre i noen områder enn i andre. Det ble også kjørt t-test for å teste om bias for modellene fordelt på de forskjellige områdene var signifikant forskjellig fra 0.

Tabell 3. Modell 2-8 fra (Flæte & Høibø, 2009).

Modell 2	$0.647191DBH + (4.4948595 + 0.0097328DBH - 0.1958TH - 0.082083KR\%)H + (-1.449349 - 0.00224DBH + 0.0685833TH)H^2$
Modell 3	$0.8351455DBH - 1.191617YVrad + (3.363781 - 0.18824TH - 0.08008KR\% + 0.0811535YVrad)H + (-1.299466 - 0.001902DBH + 0.0649342TH - 0.003601YVrad)H^2$
Modell 4	$0.3960845DBH - 0.436145YVrad + 1.0155767KVrad + (0.0423106DBH - 0.119204TH - 0.074917KR\% - 0.100007KVrad + 0.013829ABH)H + (-1.255676 - 0.003605DBH + 0.0621205TH + 0.0038874KVrad)H^2$
Modell 5	$-53.2 + 0.8840977D_H$
Modell 6	$0.1531311DBH + 0.5003998D_H + (6.7203812 + 0.0154231DBH - 0.27203TH - 0.089911KR\%)H + (-1.142345 - 0.001494DBH + 0.0516267TH)H^2$
Modell 7	$0.3508578DBH - 1.278239YVrad + 0.5054724D_H + (5.909446 - 0.220728TH - 0.080912KR\% + 0.08608YVrad)H + (-1.033786 - 0.000852DBH + 0.0456307TH - 0.003501YVrad)H^2$
Modell 8	$-0.61889YVrad + 0.79596KVrad + 0.500698D_H + (3.4566944 + 0.0449685DBH - 0.216121TH - 0.079929KR\% - 0.091669KVrad + 0.0094901ABH)H + (-0.990834 - 0.002717DBH + 0.0460573TH + 0.003647KVrad)H^2$

3. Resultater

3.1. Forskjeller i kjerneved mellom områder

Gjennomsnitt, standardavvik, og minimums- og maksimumsverdier for kjerneveddiameter (mm) ved rotavskjær og i brysthøyde, kjernevedandel (%) ved rotavskjær og i brysthøyde, og antall årringer i kjerneved ved rotavskjær er presentert i Tabell 4 og 5. Bokstavene bak standardavviket i tabellene indikerer hvilke områder som er signifikante forskjellige fra hverandre i gjennomsnittsverdier for de ulike kjernevedvariablene. Lik bokstav representerer ikke signifikante forskjeller, og ulik bokstav representerer signifikante forskjeller mellom områdene. Det skilte kun 2 mm i gjennomsnittlig kjerneveddiameter i rotavskjær mellom området med 3. størst (Skåbu) og område med størst (Løten) gjennomsnittlig kjerneveddiameter i rotavskjær (Tabell 4). Skåbu var det området med størst kjernevedandel i rotavskjær og i brysthøyde, men det var ikke signifikant større enn materialet fra Løten. Skåbu var også eneste området med større gjennomsnittlig årringbredde i kjerneved enn i yteved i rotenden av stokkene. Området med flest årringer i kjerneved ved rotavskjær, var Løten, men det var ikke signifikant forskjellig fra hverken Stange1 eller Stange2. Våler skilte seg fra de andre områdene ved at alle målene for kjerneved, både diameter, andel og antall årringer, var signifikant lavere enn alle de andre områdene, både i brysthøyde og ved rotavskjær (Tabell 4 og 5). Skåbu var signifikant forskjellig fra alle områdene ved gjennomsnittlig alder ved rotavskjær. Bokstavene bak gjennomsnittsverdiene forklarer hvilke områder som er signifikant forskjellig fra hverandre. Gjennomsnittsverdier med lik bokstav er ikke signifikant forskjellige fra hverandre.

Tabell 4. Gjennomsnitt, bokstavssignifikans, standardavvik, minimums- og maksimumsverdi for kjerneveddiameter, kjernevedandel i % og antall årringer i kjerneved ved rotavskjær, fordelt på områder.

Område	N	Kjerneveddiameter i rotavskjær (mm)			Kjernevedandel i rotavskjær (%)			Alder kjerneved i rotavskjær (år)		
		Gj. snitt	SD	Min - Max	Gj. snitt	SD	Min - Max	Gj. snitt	SD	Min - Max
Løten	20	199	A 47	109 - 274	53.7	AB 8.6	32 - 63	118	A 25	54 - 156
Stange 1	21	197	A 49	111 - 294	49.8	B 8	31 - 66	107	A 26	39 - 172
Stange2	21	176	A 44	122 - 252	49.4	B 8.4	38 - 65	115	A 13	93 - 133
Skåbu	21	198	A 33	145 - 270	60.0	A 6	49 - 71	86	B 14	63 - 113
Våler	14	125	B 30	92 - 208	37.7	C 8	27 - 54	33	C 14	18 - 78
Samlet	97	183	49	92 - 294	51	10	27 - 71	96	34	18 - 172

Tabell 5. Gjennomsnitt, bokstavssignifikans, standardavvik, minimums- og maksimumsverdi for kjerneveddiameter og kjernevedandel i brysthøyde.

Område	N	Kjerneveddiameter i brysthøyde (mm)			Andel kjerneved i brysthøyde (%)			Totalalder rotavskjær (år)		
		Gj. snitt	SD	Min - Max	Gj. snitt	SD	Min - Max	Gj. snitt	SD	Min - Max
Løten	20	191	A 45	107 - 251	61.3	AB 10.6	30.1 - 74.5	186	A 23	122 - 217
Stange1	21	199	A 45	130 - 280	56.3	B 6	42.7 - 67.8	174	A 16	134 - 222
Stange2	21	172	A 39	128 - 241	56.6	B 11.2	41.4 - 93.6	177	A 10	155 - 191
Skåbu	21	183	A 28	130 - 248	64.7	A 6	49.5 - 73.5	145	B 13	111 - 165
Våler	14	124	B 24	91 - 192	42.5	C 7	31.8 - 57.5	72	C 13	57 - 105
Samlet	97	177	44	91 - 280	57	10,8	30,1 - 93,5	156	41	57 - 222

3.2. Validering av modellen til Gjerdrum (2003)

Valideringen av modellen til (Gjerdrum, 2003) er gjort separat i rot- og toppende av prøvestokkene. Dette er fordi modellen til Gjerdrum (2003) er utviklet på et datasett som ikke inneholdt data fra posisjoner lavere enn 4 meter opp på stammen. Modellen predikerer antall år i kjerneved ut fra totalt antall årringer i samme tverrsnitt (formel 1).

3.2.1. Validering av modellen til Gjerdrum (2003) i toppende

Modellen ble validert på 97 stokker i toppenden, og det ble funnet en bias på -2,8 årringer (Tabell 6), noe som betyr at modellen i gjennomsnitt underestimerer antall år i kjerneved med -2,8 årringer. Bias ble funnet til å være signifikant mindre enn 0 ($p=0,0038$). RMSE og R^2 ble funnet til å være på respektive 10,4 årringer og 0,89. Bias, 95% konfidensintervall, RMSE og R^2 er presentert i figur 6. Figur 2 viser predikert alder i kjerneved mot registrert alder i kjerneved i toppenden av alle prøvestokkene.

Ved validering av modellen til (Gjerdrum, 2003) i toppenden av prøvestokkene, fordelt på de ulike områdene, ble det funnet at bias var nærmest 0 i Løten (-2,5 årringer). Bias var lengst ifra 0 i Stange1 (-9,5 årringer). Bias fordelt på stokkende og område er presentert i Tabell 7. T-test viste at gjennomsnittlig bias for områdene Stange1($p<0,0001$), Stange2($p=0,0027$) og

Våler($p=0,0439$) var signifikant lavere enn 0. Bias for Skåbu($p<0,0001$) var signifikant høyere enn null, og for Løten($p=0,142$) var det ikke signifikant forskjellig fra 0.

3.2.2. Validering av modellen til Gjerdrum (2003) i rotende

Modellen ble validert på 96 stokker i rotenden. Én måling, presentert som rød observasjon i Figur 3, ble vurdert som uteligger og ble forkastet. Bias for kjerneved i rotende for alle stokkene ble funnet til å være -5,4 åringer. RMSE og R^2 ble funnet til å være på respektive 11,7 åringer og 0,905. Bias ble funnet til å være signifikant lavere enn 0 ($p<0,0001$). Bias, 95% konfidensintervall, RMSE og R^2 er presentert i Tabell 6.

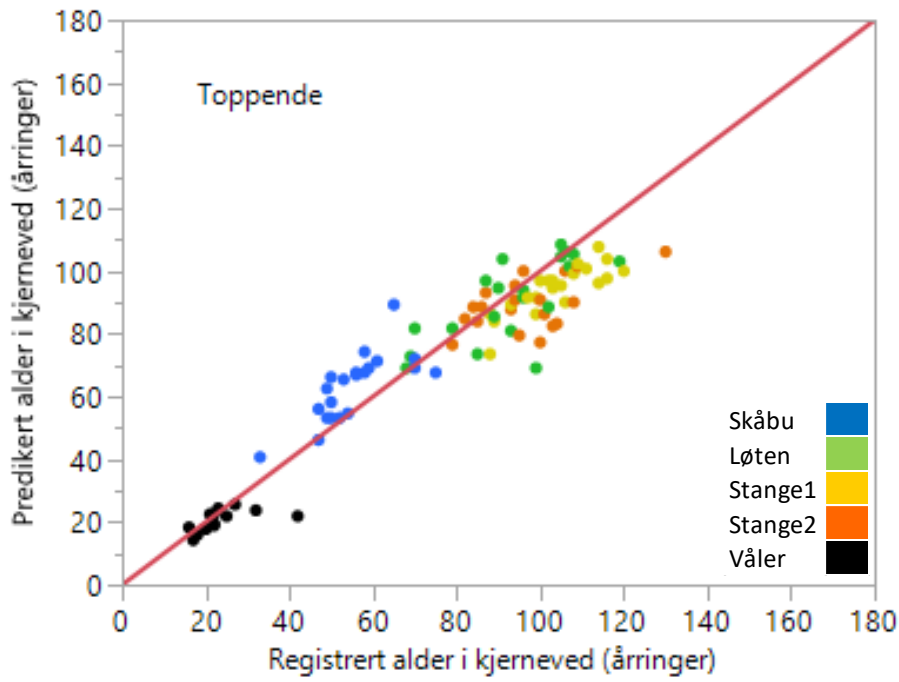
Valideringen av modellen til Gjerdrum (2003) i rotende fordelt på områder, viste at bias var nærmest 0 for Våler (-3,0 åringer), og lengst ifra 0 i Stange2 (-8,6 åringer) (Tabell 7). T-test viste at bias for områdene Løten ($p=0,0292$), Stange1 ($p=0,0271$), og Stange2 ($p=0,0002$) var signifikant lavere enn 0. Bias for områdene Skåbu ($p=0,0205$) og Våler ($p=0,1002$) var ikke signifikant forskjellig fra 0. Bias som var signifikant forskjellig fra null er fremhevet med fet skrift i tabell 7. Tallene fremhevet i fet skrift i Tabell 8 og 9 viser hvilke bias som var signifikant forskjellig fra 0.

Tabell 6. Antall (N), bias (95% konfidensintervall), RMSE og R^2 for modellene til Gjerdrum (2003) fordelt på rot og topp av prøvestokkene.

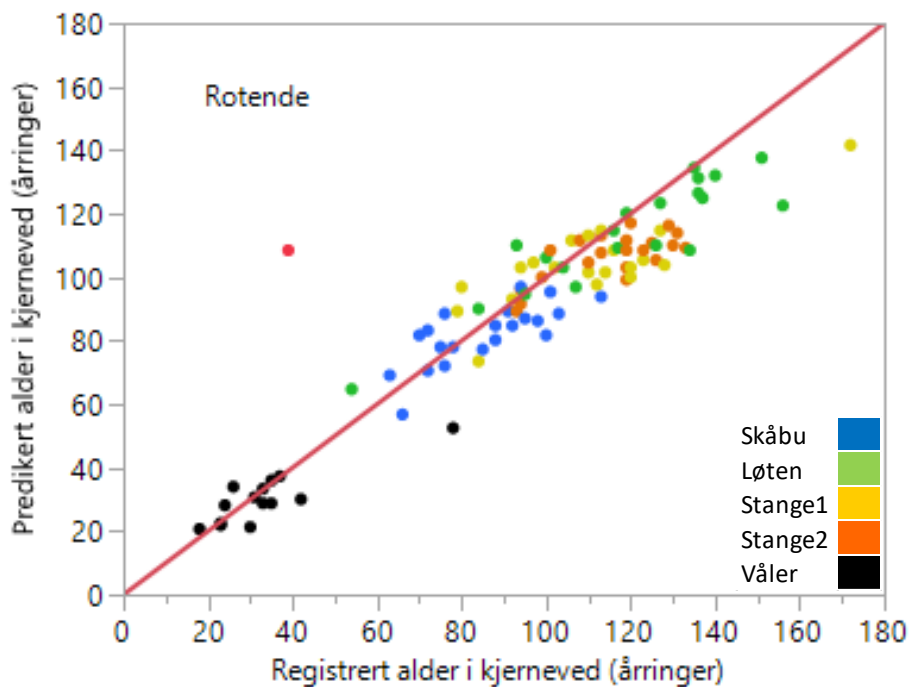
Stokkende	N	Bias (år)	RMSE (år)	R^2
Rot	96	-5.4 (-7.5 – 3.3)	11.7	0.905
Topp	97	-2.8 (-4.8 - -0.8)	10.4	0.890

Tabell 7. Antall prøvestokker (N) og bias i modellene til Gjerdrum (2003) i rot og topp, fordelt på områder.

Område	Rotende		Toppene	
	N	Bias (år)	N	Bias (år)
Løten	20	-5.3	20	-2.5
Stange1	20	-5.9	21	-9.5
Stange2	21	-8.6	21	-6.9
Skåbu	21	-3.4	21	7.8
Våler	14	-3.0	14	-2.8



Figur 2. Predikert mot registrert antall årringer i kjerneved i toppenden av stakkene (N = 97).



Figur 3. Predikert mot registrert antall årringer i kjerneved i rotenden av stakkene (N = 96)

3.3. Validering av modellene til Flæte & Høibø (2009)

Modellene ble validert på totalt 958 målinger tatt på 97 stokker. I alt er det 7 ulike modeller som er validert (Tabell 3). Bias med 95% konfidensintervall, RMSE og R^2 for alle modellene er presentert i Tabell 8. Figur 4 gir en oversikt over predikert kjerneveddiameter mot registrert kjerneveddiameter for alle modellene på alle målingene. Bias og RMSE var lavest for modell 8, og var på henholdsvis 0,8 mm og 17,2 mm. Modell 4 hadde høyeste R^2 verdi (0,893). Modell 5 hadde største bias (40,8 mm), størst RMSE (53,8 mm), og laveste R^2 (0,263). T-test viste at bias for modell 2 ($p=0,1762$) og 8 ($p=0,2094$) ikke var signifikant forskjellig fra 0. Modell 5 ($p<0,0001$) og 6 ($p<0,0001$) hadde en bias som var signifikant høyere enn 0. Bias for modellene 3 ($p<0,0001$), 4 ($p<0,0001$) og 7 ($p<0,0001$), var signifikant lavere enn 0.

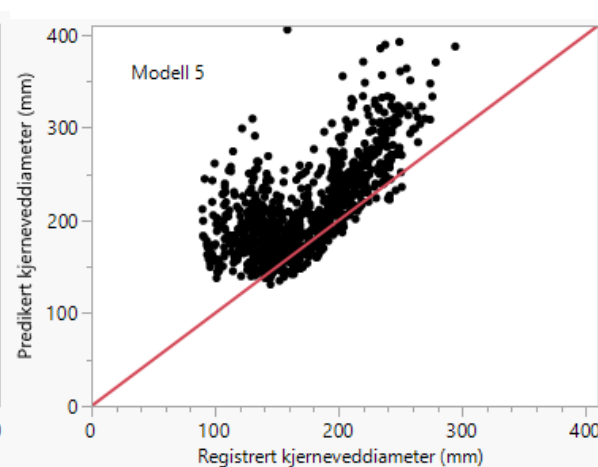
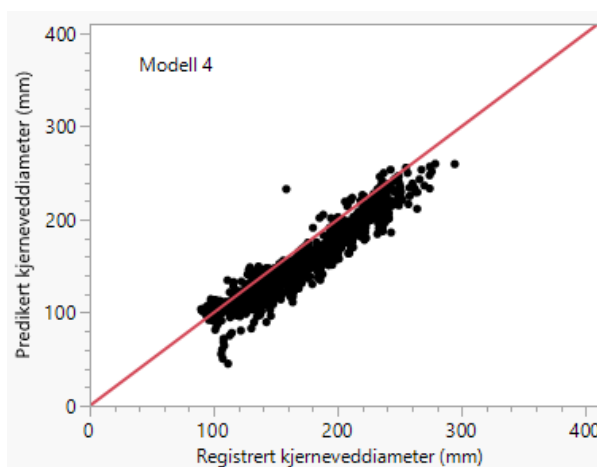
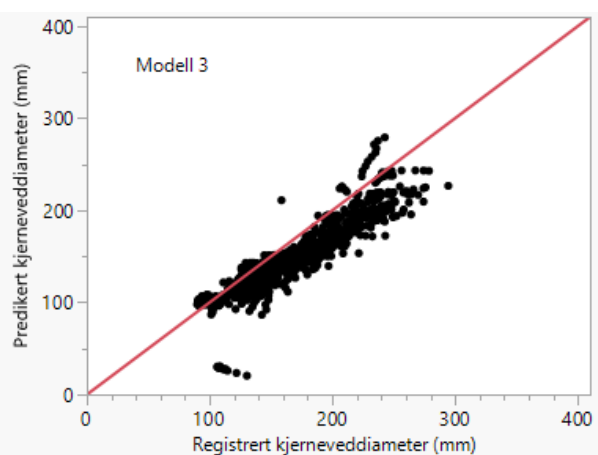
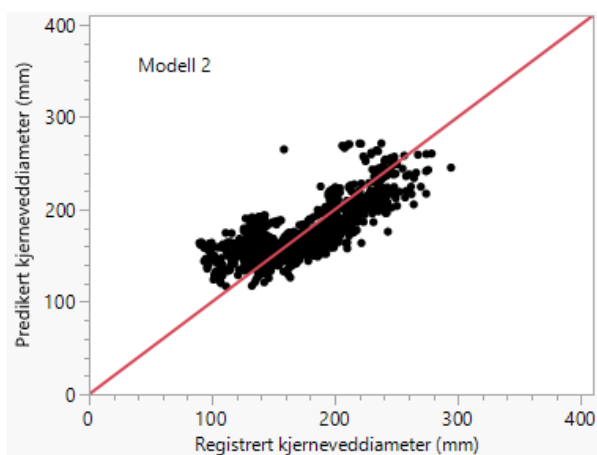
Validering av modellene til (Flæte & Høibø, 2009) fordelt på områder er presentert i Tabell 9. Valideringen viste at modell 3, 4 og 7 hadde negativ bias for alle områdene. Modell 5 ga positiv bias for alle områdene. Modell 2, 6 og 8 hadde bias som varierte fra positiv til negativ mellom de ulike områdene (Tabell 9). T-test viste at bias for modell 6 ikke var signifikant forskjellig fra 0 for områdene Løten ($p=0,0634$) og Skåbu ($p=0,3891$). Bias for modell 2 var ikke signifikant fra 0 for områdene Løten ($p=0,0534$) og Stange2 ($p=0,0639$). Bias for modell 8 var ikke signifikant forskjellig fra 0 for områdene Stange2 ($p=0,0673$) og Stange1 ($p=0,0540$). T-tester viste at bias for de andre områdene og modellene var signifikant forskjellig fra 0. Tallene fremhevet i fet skrift i Tabell 8 og 9 viser hvilke bias som var signifikant forskjellig fra 0.

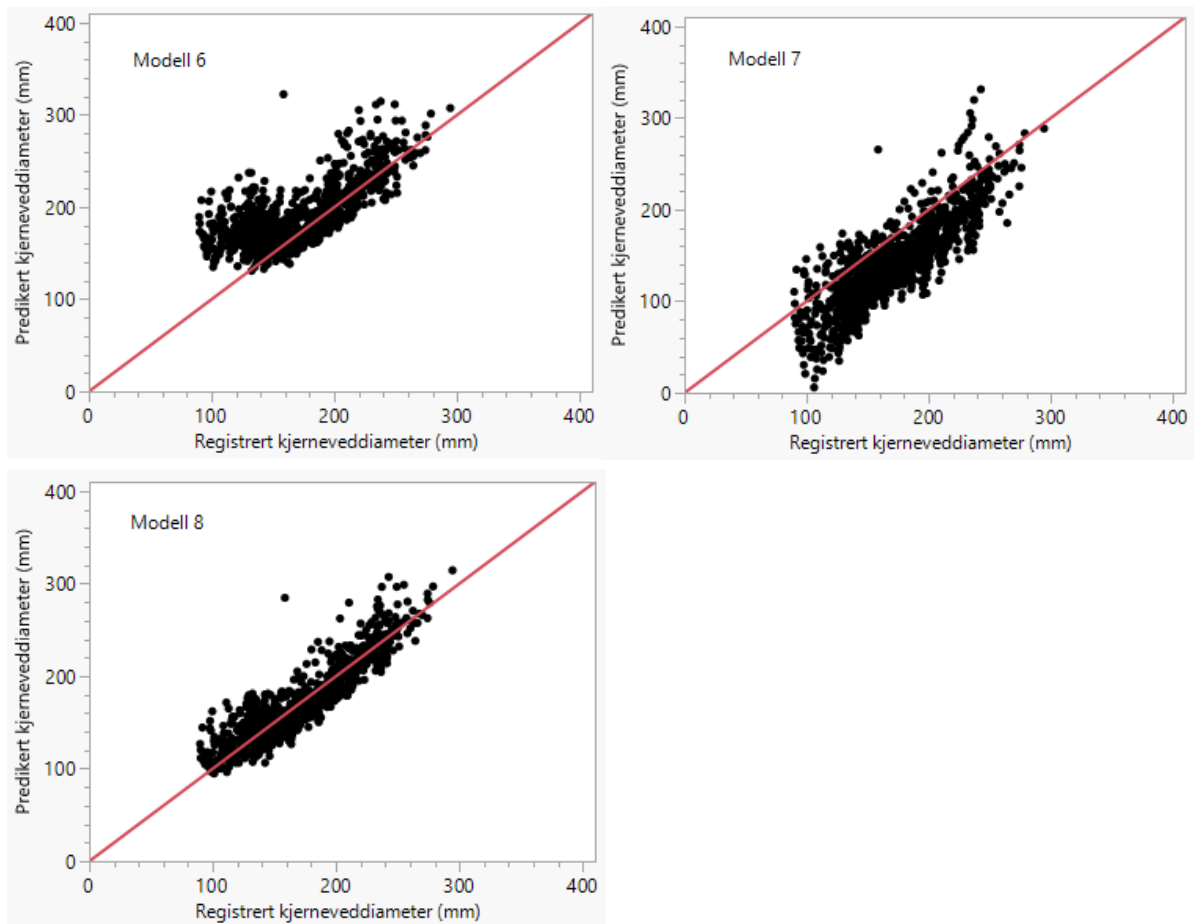
Tabell 8. Bias (95% konfidensintervall), RMSE og R^2 for modell 2-8. $N=958$.

	Bias (mm)	RMSE (mm)	R^2
Model 2	2.4 (-2.7 – 7.4)	26.2	0.609
Model 3	-21.4 (-24.5 - -18.3)	27.4	0.833
Model 4	-16.5 (-18.5 - -14.4)	21.5	0.893
Model 5	40.8 (34.7 - 46.9)	53.8	0.263
Model 6	20.4 (15.2 - 25.6)	35.0	0.536
Model 7	-28,1 (-30.6 - -25.6)	39,1	0.586
Model 8	0,8 (-1,2 - 2.6)	17,2	0.830

Tabell 9. Antall målinger (N) og bias fordelt på modell og område.

	Bias (mm)				
	Løten	Stange 1	Stange 2	Skåbu	Våler
N	201	190	201	218	148
Model 2	-14.9	7.5	7.5	-13.7	35.9
Model 3	-34.8	-19.4	-16.3	-25.2	-7.4
Model 4	-25.7	-13.6	-14.3	-20.2	-5.1
Model 5	31.4	56.1	46.4	10.4	68.6
Model 6	8.9	25.8	25.2	-0.9	53.5
Model 7	-32.1	-28.6	-22.4	-29.6	-28.1
Model 8	-2.9	3.2	3.4	-7.2	10.7





Figur 4. Predikert mot registrert diameter i kjerneved for modell 2-8 fra Flæte og Høibø (2009).

4. Diskusjon og konklusjon

4.1. Forskjeller i kjerneved mellom områder

Analysene viste at områdene Løten, Stange1 og Stange2 ikke var signifikant forskjellig fra hverandre for hverken gjennomsnittlig kjerneveddiameter i rotavskjær og i brysthøyde, kjernevedandel ved rotavskjær og i brysthøyde, og alder i kjerneved ved rotavskjær. Det var relativt lite geografisk spredning mellom disse 3 områdene, samt relativ lik gjennomsnittsalder, noe som kan forklare likhetene i kjerneved. Våler lå også relativt geografisk nærme Løten, Stange1 og Stange2, men kjernevedverdiene her var signifikant lavere enn for alle de andre områdene. Dette kan forklares ved at prøvetrærne i snitt var under halvparten så gamle som prøvetrærne fra de andre områdene. Fra Løten forsvant det 7 prøvestokker under transport, 1/3 av totalt antall prøvestokker fra dette området. Dette kan ha gjort at de resterende prøvestokkene representerte bestanden skeivt, men siden de prøvestokkene som ble borte var fordelt på 2 fra minste, 2 fra midterste, og 3 fra største diameterklasse er det antatt at de innmålte prøvestokkene likevel var representative for bestanden. Fra Løten ble 1 stokk fra den minste diameterklassen borte, og det er antatt at også prøvestokkene fra dette området representerte spredningen i bestanden på en god måte.

Skåbu hadde ca. like stor kjerneveddiameter ved rotavskjær og i brysthøyde som både Løten, Stange1 og Stange2. Likevel skilte området seg ut ved å ha signifikant større kjernevedandel ved rotavskjær og i brysthøyde enn både Stange1 og Stange2. En forklaring til dette er årringbreddene i yteved sammenlignet med kjerneved. Som nevnt ble det sett på de gjennomsnittlige årringbreddene i yteveden og kjerneveden i rotenden på stokkene. Dette er ikke en målt verdi, men er kalkulert ut ifra antall årringer i kjerneved og yteved, sammenlignet med radius i yteved og kjerneved. Tallene viste likevel at Skåbu var det eneste området med gjennomsnittlig større årringbredde i kjerneved enn i yteved i rotenden av stokkene, noe som kan forklare hvorfor området hadde større kjernevedandel i rotenden på stokkene sammenlignet med områder som hadde ca. like stor gjennomsnittlig diameter i kjerneved som Skåbu. Nøyaktig hvorfor utvikling i årringbredde har vært slik for akkurat dette området kan diskuteres. Som vist i Figur 1, er Skåbu det området som skiller seg mest ut med tanke på geografisk plassering. Dette kan ha ført til klimatiske forskjeller, som kan ha hatt en påvirkning på forskjeller i tilvekst i de ulike områdene. Ulike skjøtselstiltak i de forskjellige områdene kan trolig også ha hatt en påvirkning på årringbredde opp gjennom livsløpet til trærne fra de forskjellige områdene. Bonitet og høyde over havet kan også ha påvirket kjernevedandelen, men dette er ikke undersøkt i dette studiet.

4.2. Modellen til Gjerdrum (2003)

Når det kommer til metoden som er brukt under datainnsamlingen, så er det med fokus i å få nøyaktige målinger, og å minimere tilfeldige og systematiske feil. Nøyaktigheten til målingene ved et punkt kan likevel diskuteres. Ved registrering av alder i prøvestokkene, ble det tatt ut boreprøver i rot og topp. Noen av stokkene hadde ujevn form i rotenden. Dette gjaldt både ytre form av stokken, samt formen på utbredelse av kjerneveden. Resultatet av alder i kjerneved kan derfor ha blitt påvirket av hvor borprøvene ble tatt i rotenden. Toppene av prøvestokkene var jevnere utformet, og treffpunkt på borprøvene var antageligvis ikke like utslagsgivende på antall år i kjerneved i toppen av stokkene. Det kan også være derfor modellene til Gjerdrum (2003) hadde større bias i rotenden av stokkene, sammenlignet med toppenden av stokkene. Dog er det her også flere faktorer som kan ha spilt inn. For det første er det færre antall åringer, totalt og i kjerneved, i toppenden av en stokk enn det er i rotenden. Dette vil føre til at det er naturlig at også avvikene blir mindre. For det andre så var modellene til Gjerdrum (2003) utviklet fra et datamateriale som hadde data fra stokker fra 4 meter over rotavskjær og oppover. Det er derfor sannsynlig at modellene også fungerer best til å estimere antall år i kjerneved fra 4 meters høyde og oppover på furutrær. Resultatene fra valideringen av modellene til Gjerdrum (2003), viser at modellen egnet seg godt til å predikere antall åringer i kjerneved i både rot- og toppende av rotstokkene i furutrær. Dette samsvarer godt med funnene Gjerdrum (2003) gjorde i sin undersøkelse. Modellen underpredikerte i snitt antall åringer i begge endene av stokkene, men som man kan se fra punktskyene i Figur 2 og 3 har man også fått flere målinger som overpredikerer antall år i kjerneved, både på rotende og toppende. Både bias og RMSE var nærmere 0 i toppenden enn i rotenden, mens R^2 var 0,015 høyere i rotenden enn i toppenden. Dette kan tyde på at modellen fungerer best til å predikere antall år i kjerneved høyere opp på stammen.

Validering av modellen til Gjerdrum (2003) fordelt på de ulike områdene, viste at utenom toppende i Skåbu hadde modellen negativ bias for alle områdene i både rot- og toppende. For Skåbu var det bias på 7,8 åringer i toppende, og $-3,4$ åringer i rotende. Nøyaktig hvorfor modellen overpredikerte antall år i kjerneved i toppenden av stokkene fra dette området, mens den underpredikerte for både toppende og rotende for de andre områdene, er uklart.

Modellen til Gjerdrum (2003) som ble evaluert i denne oppgaven, predikerer som nevnt kun antall år i kjerneved, noe som sier lite om diameteren og andelen kjerneved i stammen. Med utgangspunkt i denne teorien kan kjernevedandelen variere kraftig både mellom trær og bestand. Med utgangspunkt i at det er et fast antall åringer i kjerneved ut ifra totalt antall år,

vil kjerneveddiameter og andel kjerneved variere ut ifra hvordan årringbreddene i stammen ser ut i forhold til hverandre. Bredden på årringene treet legger på seg hvert år, varierer ut ifra klimatiske forhold, og konkurranse på sollys og næringstoffer. Med dette kan det tenkes at et tre som første halvparten av livsløpet har hatt veldig smale årringer, og siste halvdel av livsløpet har fått veldig store årringer, vil ha en relativt lav kjernevedandel. Med en motsatt utvikling i årringbredde i løpet av livsløpet vil man få et tre med høy kjernevedandel.

4.3. Modellene til Flæte & Høibø (2009)

Modellene utviklet av Flæte & Høibø (2009) hadde ulikt antall variabler (Tabell 1 og 3). Variablene ble gruppert etter type, og hvor i produksjonskjeden de kunne måles. Eksempelvis var variablene som ble benyttet i modell 2; høyde opp på stammen, høyde opp på stammen opphøyd i 2, diameter i brysthøyde, høyde på treet og kroneprosent. Dette er variabler som kan samles på trær ute i skogen, og som ikke er altfor tidkrevende. For modell 8 ble i tillegg variablene ytevedradius, kjernevedradius, alder og diameter ved estimeringspunkt på stammen, brukt. Noen av disse variablene krever bruk av tilvekstbor, og er derfor mer tidkrevende, noe som gjør modellen mer utfordrende å bruke i praksis. Alle modellene, utenom modell 5, benyttet KR% som en variabel for å estimere kjerneveddiameter i stammen. Denne ble som nevnt, i dette studiet regnet ut av forholdet mellom treet høyde, og kronelengde funnet i henhold til landskogstakseringen sin instruks fra 2021. KR% gir et uttrykk for mengde barmasse på hvert enkelt tre. Dette kan ha en påvirkning på mengde yteved i stammen, og derav også mengde kjerneved, som beskrevet i The pipe model theory (Shinozaki et al., 1964) Ut ifra denne teorien vil mindre barmasse i furutre, frigjøre behovet for like mange vannledende celler i stammen, noe som gjør at treet kan omdanne en større andel av yteveden til kjerneved. Siden uttrykket for KR% bare er et uttrykk for lengden av den grønne delen på treet i forhold til totalhøyden på treet, kan uttrykket bli noe unøyaktig. Dette er fordi lengden på greinene også her spiller inn på mengde barmasse. Hvor vidt dette har en direkte effekt på behovet for yteved, eller om det kun er antall vanntrekkende greiner som spiller inn, kan undersøkes nærmere. Eksempelvis kunne kronevidde blitt regnet inn i variabelen KR%. Denne variabelen har i løpet av dette studiet vist seg å være relativt enkel og effektiv å registrere. Selv om denne variabelen kun sier noe om den lengste greinen i hver himmelretning, gir den ekstra informasjon om størrelsen på krona som muligens kunne gitt et mer nøyaktig uttrykk for KR%.

Resultatet fra valideringen av modellene viser at modell 8 er den modellen som best predikerer diameter i kjerneved oppover stammeprofilen for alle prøvestokkene samlet. Dette er uttrykt både i form av laveste bias og RMSE, og en høy R^2 verdi. Bias til modell 8 ble i dette studiet estimert til (0,8 mm), som var lavere enn bias funnet i studiet til Flæte og Høibø (2009) (-1,8 mm). Modell 2 skiller seg også ut med en relativt lav bias i forhold til mange av de andre modellene. Også for modell 2 ble bias i dette studiet (2,4 mm) funnet til å være lavere enn det rapportert av Flæte og Høibø (2009) (-8,3 mm). R^2 for modell 2 i dette studiet (0,0609) ble funnet til å være lavere enn R^2 rapportert av Flæte og Høibø (2009) (0,882). Modell 3 og 4 evnet til en viss grad å forklare variasjonen i diameter i kjerneved i stokkene fra dette studiet, som er representert ved en relativt høy R^2 verdi (tabell 8). Bias er ganske høy for disse modellene, sammenlignet med modell 2 og 8, og man kan se fra tabell 8 at begge disse modellene i snitt underpredikerer diameter i kjerneved i stokkene fra dette studiet. Modell 6 hadde ca. like stor bias som modell 3 og 4, men med en høyere RMSE og lavere R^2 verdi, tyder dette på at modellen er litt svakere enn modell 3 og 4 for datasettet i dette studiet. Modell 5 og 7 evnet dårlig, ut ifra bias, RMSE og R^2 , å estimere kjerneveddiameteren til prøvestokkene fra dette studiet. Begge hadde en relativt høy bias og RMSE, og en relativt lav R^2 . Dette samsvarer ikke med funnet som Flæte og Høibø (2009) gjorde i sitt studie, som fant at både modell 5 og 7 viste god forklaringssevne for diameter i kjerneved. Modell 5, var den av de 7 modellene som ble vurdert til å ha dårligst evne til å predikere diameter i kjerneved i stokkene i dette studiet. Dette er basert på at modell 5 hadde høyeste bias og RMSE, og laveste R^2 av de 7 modellene for prediksjon av diameter i kjerneved, som ble evaluert i dette studiet. Dette kan forklares med at modellens eneste inputvariabel var diameter under bark ved predikeringspunkt. Dette sier ingenting om hverken alder på teet, eller tilstanden til vekstforholdene til treet. Dette samsvarer dårlig med funnene til Flæte & Høibø (2009), som fant at modell 5 for datasettet i studiet sitt hadde en relativt lav bias (-3,0 mm) og høy R^2 (0,908). Den lave forklaringsgraden til diameteren i kjerneved for modellene 3, 5, 6 og 7 kan skyldes unøyaktige målinger i dette studiet. For eksempel ved registrering av kjerneved med røntgen, ble det tatt målinger fra 2 vinkler av hver stokk, og gjennomsnittet av disse målingene ble brukt som fasit på kjerneveddiameter i studiet. Om kjerneveden i en stokk hadde ujevn formasjon av kjerneved, kan målingene fra røntgenrammen ha slått feil ut i forhold til den faktisk gjennomsnittlige kjerneveddiameteren til en stokk. En annen forklaring kan være at modellene er overparametrisert og for godt tilpasset datamaterialet de ble utviklet på. Modellene til Flæte og Høibø (2009) ble også utviklet på hogstmodne trær med alder på >100 år. Som de også nevnt i studien sin, vil det derfor være en risiko for skjev predikering

om modellene blir benyttet på yngre trær (Flæte & Høibø, 2009). Alle trærne i dette studiet var i hogstklasse 5 og eldre enn 100 år, utenom trærne fra Våler, som alle utenom 1 tre var yngre enn 100 år, og ble plassert i hogstklasse 4. Dette kan ha hatt en påvirkning på resultatene i dette studiet.

4.4. Praktisk bruk av modellene

Resultatene fra validering av modellene til Gjerdrum (2003) og Flæte & Høibø (2009) viser at man kan bruke modeller til å predikere både alder i kjerneved, og diameter i kjerneved. Som nevnt tidligere gir ikke alder i kjerneved nødvendigvis noe godt svar på andel eller mengde kjerneved i en stamme, uten at man vet tilveksthistorikken til det enkelte tre. Det modellene for predikering av antall årringer i kjerneved forteller oss om utvikling av kjerneved i furu, kan likevel være verdifull kunnskap. Med tanke på at man ifølge modellen har en kontinuerlig transformering av årringer fra yteved til kjerneved, sier dette noe om hvordan man kan legge til rette for å få trær med så mye kjerneved som mulig. Siden transformering fra yteved til kjerneved starter innerst i stammen, bør man ta sikte på å ha så god tilvekst som mulig tidlig i livsløpet til trærne. Gitt at det er et fast antall årringer i kjerneved ut ifra totalalder, vil det si at det er første del av livsløpet til trærne som er viktigst med tanke på å få mest mulig kjerneved. Tilveksten i siste del av livsløpet til et tre vil trolig ha lite å si for diameter i kjerneved i treet. Det vil naturligvis ha noe å si for andel kjerneved i stammen, da man med store årringer i kjerneved, og små ringer i yteved, vil få større andel kjerneved.

Modellen som predikerer diameter til kjerneveden kan i teorien benyttes til å predikere hvilke trær, eventuelt homogene bestand, som har mye kjerneved i stammen, og hvilke som har lite kjerneved i stammen. Med tanke på hvilke data som trengs for de ulike modellene, vil det mest sannsynlig være mest hensiktsmessig å benytte seg av modell 2 mens trærne fortsatt står på rot. Et eksempel på bruk av modellen kan for eksempel være å bruke måleutstyr på hogstmaskin til å predikere hvilke stokker som bør sorteres ut i egne kjernevedsortiment. For at dette skal være effektivt må man mest sannsynlig gjøre antagelser om at trærne i et bestand er relativt like med tanke på høyde og kronehøyde, og legge inn disse som faste verdier for hvert bestand. Maskinfører kan da ta noen få målinger når man kommer til et nytt bestand, og ut ifra diametermålinger på hogstmaskinen kan man få automatiske estimeringer av kjerneveddiameteren til hvert tre som felles. Bruk av modellene i hogstmaskin ble også diskutert av Flæte & Høibø (2009), men det ble her foreslått å bruke kun modell 5, siden den

eneste variabelen i denne modellen var diameter ved estimeringspunkt på stammen, og derav enklest å bruke.

4.5. Konklusjon

Sammenligning av kjerneveden i rotstokkene fra de 5 områdene, viser at gjennomsnittlig diameter i kjerneved ved rotavskjær og i brysthøyde ikke var signifikant forskjellige for områdene Løten, Stange1, Stange2 og Skåbu. Andelen kjerneved i stokkene var størst i stokkene fra Skåbu, men ikke signifikant større enn i stokkene fra Løten. Stokkene fra Våler hadde lavest gjennomsnittlig diameter i kjerneved ved rotavskjær og i brysthøyde, lavest andel kjerneved ved rotavskjær og i brysthøyde, og lavest antall årringer i kjerneved ved rotavskjær, noe som kan forklares med den store aldersforskjellen fra de andre områdene.

Modellen for predikasjon av alder i kjerneved, utviklet av Gjerdurm (2003), syntes å gi en god forklaring til antall årringer i kjerneved i prøvestokkene, både i rot- og toppende. Kunnskapen bak modellen om utvikling av kjerneved i furu, kan være nyttig kunnskap med tanke på å legge til rette for utvikling av kjerneved gjennom treets livsløp.

Modellene for predikering av diameter i kjerneved, utviklet av Flæte og Høibø (2009), ga varierende resultater. Modell 2 og 8 synes å predikere diameter i kjerneved godt, og var de modellene som hadde best evne til å estimere kjerneveddiameteren i prøvestokkene fra dette studiet. Modell 3, 4, 5, 6 og 7 synes å være mindre nøyaktige når det gjelder å estimere kjerneveddiameteren i prøvestokkene fra dette studiet.

5. Referanser

- Birkeland, T., Houen, P. J., Haartveit, E. Y., Kilde, V., Lind, P., Sandland, K. M., Vadla, K. & Øvrum, K. (2002). *Norsk trevirke som råstoff — Verdiskapingspotensial og industrielle muligheter*: Norsk Treteknisk Institutt.
- Bjelkåsen, T. (2008). *Behandling av furu på rot: et forsøk på å øke mengden av kjerneved i stammen*. Steinkjer: Høgskolen i Nord-Trøndelag.
- Björklund, L. (1999). Identifying heartwood-rich stands or stems of *Pinus sylvestris* by using inventory data. *Silva Fennica*, 33: 119-129.
- Brischke, C., Olberding, S., Meyer, L., Bornemann, T. & Welzbacher, C. (2013). Intrasite variability of fungal decay on wood exposed in ground contact. *International Wood Products Journal*, 4 (1): 37-45.
- Flæte, P. O. (2003). *Furukjerneved - et naturlig holdbart materiale*. Others. Glimt fra skogforskningen: Norsk institutt for skogforskning. Tilgjengelig fra: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2767523> (lest 25.04).
- Flæte, P. O. & Høibø, O. (2009). Models for predicting vertical profiles of heartwood diameter in mature Scots pine. *Canadian journal of forest research*, 39 (3): 527-536.
- Gjerdrum, P. (2003). Heartwood in relation to age and growth rate in *Pinus sylvestris* L. in Scandinavia. *Forestry*, 76 (4): 413-424.
- Iglebæk, O. (2005). - *Skill 100 prosent mellom ytved og kjerneved*. Tilgjengelig fra: <https://www.arkitektnytt.no/nyheter/skill-100-prosent-mellom-ytved-og-kjerneved>.
- JMP. (2022). *JMP Pro*. Tilgjengelig fra: https://www.jmp.com/en_gb/software/predictive-analytics-software.html.
- Kucera, B. (1998). Treets oppbygning og vedanatomi. *Norsk institutt for skogforskning*.
- Moelven. (2016). *Lange tradisjoner for bruk av kjerneved*. Tilgjengelig fra: <https://www.moelven.com/no/aktuelt-og-nyheter/nyhetsarkiv/2016/lange-tradisjoner-for-bruk-av-kjerneved/> (lest 15.02).
- Shinozaki, K., Yoda, K., Hozumi, K. & Kira, T. (1964). A QUANTITATIVE ANALYSIS OF PLANT FORM-THE PIPE MODEL THEORY : I.BASIC ANALYSES. *JAPANESE JOURNAL OF ECOLOGY*, 14 (3): 97-105. doi: 10.18960/seitai.14.3_97.
- Thybring, E. E. (2017). Water relations in untreated and modified wood under brown-rot and white-rot decay. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 118: 134-142.

TreFokus. *Trevirkets holdbarhet*: TreFokus. Tilgjengelig fra:

<http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/tre-utendørs/artikkel-2> (lest 24.04.2022).

Viken, K. O. (2021). *Landsskogtakseringens feltinstruks – 2021*. 5: NIBIO.

Øvrum, A. & Flæte, P. O. (2008). Kjerneved av furu. *FOKUS på tre*, 25: 8.

Standard Norge 2013. Norsk Standard NS-EN 335:2013. Holdbarhet av tre og trebaserte produkter – Bruksklasser: Definisjoner, anvendelse på heltre og trebaserte plater.

Standard Norge 2016. Norsk Standard NS-EN 350:2016. Tre og trebaserte produkters holdbarhet – Prøving og klassifisering av motstandsevnen mot biologisk påvirkning til tre- og trebaserte materialer.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway