

Utvikling og bruk av prognoseverktøy for beslutningsstøtte i skogforvaltning

Tron Eid

INA fagrapport 10

Institutt for naturforvaltning
Universitetet for miljø- og biovitenskap

2007



Utvikling og bruk av prognoseverktøy for beslutningsstøtte i skogforvaltning

INA fagrapport nr. 10

Tron Eid
Institutt for naturforvaltning
Universitetet for miljø- og biovitenskap
Boks 5003, 1432 Ås

Forord

Denne rapporten er et resultat fra prosjektet "A research and end-use strategy for new generations of decision-support systems in forest management planning" finansiert av Norges Forskningsråd (Prosjekt 1739039) og Skogtiltaksfondet gjennom Norskog og Prevista A.S. Erling Bergsaker og Erik Trømborg har representert henholdsvis Norskog og Prevista A.S. gjennom en referansegruppe knyttet til prosjektet.

Terje Gobakken og Hans Fredrik Hoen, Institutt for Naturforvaltning (INA), Universitet for miljø- og biovitenskap, har begge direkte vært med i prosjektet. I tillegg har Ole Martin Bollandås og Nils Lexerød bidratt gjennom diskusjoner og faglige innspill. Foruten kompetansen til disse medarbeiderne og undertegnede, er rapporten basert på litteraturstudier og møter/seminarer med forskere og spesialister innen fagområdet, fra Norge og flere andre land. Utvalget av problemstillinger, prioriteringer av stoff og faglig fokus står imidlertid for forfatterens egen regning.

Tron Eid

Morogoro, Tanzania, 03.11.07

Sammendrag

Eid, T. 2007. Utvikling og bruk av prognoseverktøy for beslutningsstøtte i skogforvaltning. INA Fagrapport nr. 10. 61 sider. [Development and use of forestry scenario models for decision-support in forest management]

Rapporten diskuterer muligheter og problemstillinger knyttet utvikling og bruk av framtidens prognoseverktøy i Norge. Endringer i problemstillinger fra et ensidig fokus på virkesproduksjon til en situasjon der mange produkter må vurderes, tekniske nyvinninger knyttet til datamaskiner og datainnsamling, og større krav til effektivitet i beslutningsprosessen er bagrunnen for denne gjennomgangen. På et teoretisk grunnlag diskuteres først prinsipper relatert til planleggingsprosessen, og hvilke muligheter og begrensninger dette gir i forhold til framtidig utvikling av prognoseverktøy. Viktig her er avveiningene som må gjøres mellom detaljeringsgrad og realisme på den ene siden, og enkelhet og brukervennlighet på en andre. Deretter gis en generell beskrivelse av prognoseverktøyet og elementene som inngår i dette. Det blir også gitt en oversikt og en vurdering av dagens verktøy. I lys av dette diskuteres aktuelle problemstillinger og potensiell bruk av verktøy for ulike formål. Det er her fokusert på praktisk bruk og faktiske brukere. Selv om datainnsamlingen for bruk i prognoseverktøy allerede i dag er ressurskrevende, vil framtidens prognoseverktøy kreve informasjon også om enkeltrær, i tillegg til informasjon for bestandet og om voksestedet.

Skogs simulatoren er kjernen i prognoseverktøyet. Oppbyggingen av denne legger premissene for hvilke problemstillinger som kan tas opp; det vil si hvilke oppløsningsnivåer, produkter, planleggingsnivåer og planleggingshorisonter en kan forholde seg til. I rapporten beskrives først T – en skogsimulator basert på modeller for enkeltrær som nå foreligger i en første versjon. Deretter tar en opp målsettinger, metodikk og mulige datagrunnlag knyttet til en videreutvikling av denne simulatoren relatert til følgende områder; biologiske basismodeller for vekst, rekruttering og naturlig avgang, modeller for sammenhenger mellom virkeskvalitet og skogbehandling, modeller for ikke-tømmerprodukter og økonomisk modellgrunnlag inkludert bruttoverdiberegninger. Tilslutt i rapporten diskuteres den infrastrukturen som må bygges opp rundt skogs simulatoren (konvertering av data fra databaser til bruk i prognoser, GIS-verktøy, beslutningsmodul med optimeringsrutiner, brukergrensesnitt og resultatrapportering) for at prognoseverktøyet skal kunne fungere som et helhetlig system for beslutningsstøtte i praktisk skogforvaltning.

Summary

Eid, T. 2007. Utvikling og bruk av prognoseverktøy for beslutningsstøtte i skogforvaltning. INA Fagrapport nr. 10. 61 sider. [Development and use of forestry scenario models for decision-support in forest management]

This report reviews possibilities and problems related to use and development of future forestry scenario models in Norway. The framework for the review is changes from previous focus on timber production to the present multifunctional aspects of forest production, technical achievements related computer hardware/software and forest inventories, and increasing requirements for an efficient planning process. Firstly, several theoretical aspects related to the planning process are discussed with focus on possibilities and limitations that this impose on the development of forestry scenario models. The balance between details and realism on one side and user friendliness and simpleness on the other are important issues in this context. A general description of scenario models and their elements are also given, including a review of the existing Norwegian scenario models, and, with focus on practical users and applications, a discussion on what kind of problems they potentially can be applied for. Although the data collection related to the use of scenario models also today is demanding, it is expected that future applications will require also information on individual trees, in addition to information on the stand and the site.

The forest simulator constitutes the core of a scenario model. The content of the simulator facilitates which problems that can be approached with the model, i.e. the degree of details, which products, the planning level and the planning horizon. Firstly, T – a new forest simulator based on models for individual trees is described. Then, goals, methods and potential data sources related to a future development of this simulator are discussed for the following topics; basic biological models for growth, recruitment and mortality, models describing relationships between different timber properties and silvicultural treatments, models describing non-timber products and economic models including procedures for determining gross timber values. Finally, the report discusses the necessary infrastructure for supporting the simulator (i.e. conversion of data from different data bases to readable formats, GIS-tool, decisions-module including optimization routines, user interface and report generator) that has to be provided to make the scenario model function as a system that can be applied for decision-support in practical forest management.

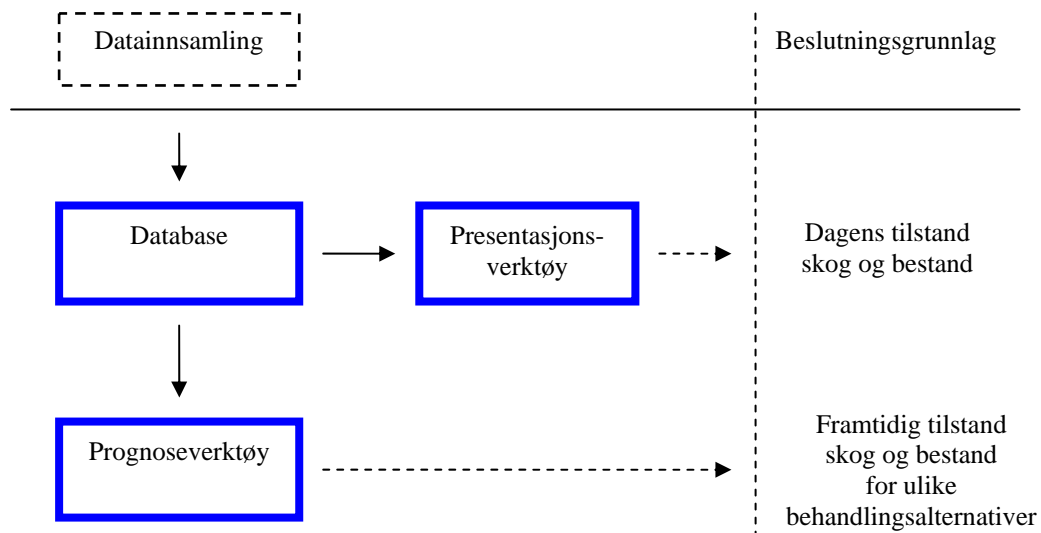
Innhold

1. Innledning	6
1.1. Bakgrunn	6
1.2. utfordringer	7
2. Planleggingsprosessen og prognoseverktøy	9
2.1. Beslutningsnivåer, produkter og planleggingsnivåer	9
2.2. Utvikling av verktøy – avveininger og prioriteringer	12
3. Hva er et prognoseverktøy?	15
3.1. Hovedelementer	15
3.2. Dagens prognoseverktøy	16
4. Bruk av prognoseverktøy	21
4.1. Dagens situasjon	21
4.2. Aktuelle problemstillinger	22
4.3. Potensielle brukere	25
5. Datainnsamling og prognoseverktøy	27
5.1. Beslutningsorientert datainnsamling	27
5.2. Basismodeller, prognoseverktøy og datainnsamling	29
6. Utvikling av prognoseverktøy – muligheter og problemstillinger	32
6.1. Skogsimulatoren	32
6.1.1. T – en skogsimulator basert på modeller for enkeltrær	32
6.1.2. Biologiske basismodeller	36
6.1.3. Modeller for virkesegenskaper	41
6.1.4. Økonomisk modellgrunnlag	45
6.1.5. Modeller for ikke-tømmerprodukter	47
6.2. Infrastruktur	50
6.2.1. Konverteringsmodul	50
6.2.2. GIS-verktøy	51
6.2.3. Beslutningsmodul	51
6.2.4. Brukergrensesnitt og rapporter	52
Referanser	53

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Planleggings- og beslutningsprosessen for skogforvaltning er omfattende og komplisert. Dette betyr at ulike verktøy og informasjonsflyten mellom disse må struktureres og settes sammen til et *beslutningstøttesystem*. Figur 1 viser hovedelementene i et slikt beslutningstøttesystem.



Figur 1. Hovedelementer som inngår i et beslutningstøttesystem for planlegging i skog.

Foruten rutiner og metodikk som er knyttet til datainnsamlingen (skogtaksten og innsamling av annen informasjon), og en database der informasjonen blir systematisert og administrert, vil et slikt beslutningsstøttesystem kunne bestå både av verktøy som presenterer dagens skogtilstand og av verktøy som beskriver ulike behandlingsalternativer og forventet framtidig skogtilstand. Den første kategorien verktøy fokuserer på skogressursene slik de er i dag. Dette omfatter i første rekke beregning og administrasjon av takstdata og presentasjon av skogbruksplandata. Noen av programmene inkluderer også rutiner knyttet til geografiske informasjonssystemer og ajourføring/oppdatering av takstdata. Den andre kategorien verktøy er innrettet mot å beskrive alternativer for framtidig skogbehandling og skogtilstand gjennom prognoser. Dette gjelder både verktøy som kan brukes for langsiktige konsekvensanalyser for større skogområder, og verktøy som kan brukes til mer detaljerte studier av skogbehandling i enkeltbestand.

Det er selvsagt mange problemstillinger knyttet til datainnsamling, til oppbygging av databaser og til verktøy for presentasjon av dagens skogtilstand. Bortsett fra kommunikasjonen med

aktuelle databaser som det må legges til rette for, vil imidlertid den foreliggende rapporten bli konsentrert om prognoseverktøy og de utfordringer som ligger utviklingen av slike.

Prognoseverktøy har tradisjonelt fokusert på produksjon av tømmer. Det første programmet ble utviklet allerede i 1967 (Gotaas 1967). Senere har det vært en utvikling fra relativt enkle programmer som AVVIRK1 og AVVIRK2 (Hobbelstad 1979, 1981), med begrenset brukerfleksibilitet og fokus på avvirkningsnivå, via mer avanserte programmer som AVVIRK3 (Hobbelstad 1988) og Bestprog (Blingsmo & Veidahl 1989), som også kunne handtere økonomiske aspekter knyttet til tømmerproduksjon, til dagens situasjon med de siste versjoner av GAYA-SGIS (Hoen & Eid 1990, Lappi 1992, 2003, Hoen & Gobakken 1997, Gobakken 2003) og AVVIRK-2000 (Eid & Hobbelstad 1999, 2000, 2005), som i tillegg har funksjonalitet knyttet til geografiske informasjonssystemer og verdsetting.

Nesten alt arbeidet i Norge de siste 30-årene knyttet til utvikling av prognoseverktøy er gjort i regi av Institutt for naturforvaltning (INA) (tidligere Institutt for skogfag, Institutt for skogtaksasjon og Institutt for skogøkonomi). Mye av utviklingsarbeidet er imidlertid gjort sammen med organisasjoner og institusjoner som Norskog, Prevista A.S., Pinus A.S., Norsk Institutt for Skog og Landskap, Skogdata A.S. og Norges skogeierforbund.

Verktøyene er blitt brukt i en rekke prosjekter som er gjennomført i instituttets regi i denne perioden. De utgjør også en viktig del av instituttets opplegg for undervisning og er brukt mye i forbindelse med masteroppgaver og doktorgradsarbeider. Verktøyene har også blitt brukt rutinemessig i forbindelse skogbruksplanlegging. De senere årene er imidlertid dette blitt mindre vanlig. Verktøyene brukes likevel aktivt ved planlegging for større skogeiendommer og ved konsekvensanalyser. Landsskogtakseringen gjennomfører også rutinemessig konsekvensanalyser i forbindelse med rapporteringen av resultater fra fylkestakstene.

1.2. Utfordringer

Datateknologien har utviklet seg raskt de siste årene, særlig når det gjelder kapasitet til å handtere store datamengder. Dette gir viktige føringer for de muligheter en har med hensyn på utvikling av prognoseverktøy framover, både når det gjelder brukervennlighet og hvilket detaljeringsnivå som kan håndteres. Det har også vært en utvikling mot langt mer avansert og

fleksibel programvare for behandling av geografisk informasjon. Også dette åpner opp for interessante perspektiver for utviklingen av slike verktøy, der en sentral oppgave er å presentere informasjon som varierer både i rom og tid.

Hvilke data som er tilgjengelige legger føringer for hvilke problemstillinger som kan håndteres med et prognoseverktøy. Med tilgjengelig data menes både antall parametere som er blitt registrert, på hvilket nivå de er registrert (oppløsning) og med hvilken nøyaktighet. Ambisjonsnivået med hensyn på datainnsamling er i utgangspunktet et kostnadsspørsmål og en avveining mot nytten. Ny teknologi knyttet til datainnsamling med for eksempel laser-scanning åpner imidlertid opp for nye muligheter både med hensyn på antall parametere og med hensyn på oppløsning. Her kan en registrere parametere knyttet til enkelttrær, noe som vil legge viktige føringer på utviklinga av nye prognoseverktøy.

Vi har også sett en utvikling fra målsettinger ensidig rettet mot virkesproduksjon til en situasjon der en også må forholde seg til biologisk mangfold, rekreasjon, estetikk, produksjon av jaktbart vilt, bær og sopp, karbonbinding og klimaendringer. Samtidig har periodevis lave tømmerpriser og små marginer satt fokus på effektivisering av alle ledd i skogforvaltningen. Alt dette tilsier større krav til presisjon i planleggingsprosessen og behov for relevante verktøy.

I dag har INA mye kompetanse knyttet til bio-økonomisk modellering, utvikling av prognoseverktøy og bruk av disse i analyser. Det er også andre miljøer i Norge som har erfaring med både på utvikling og bruk av slike verktøy. Med bakgrunn i de muligheter som finnes med hensyn til teknologi og kunnskap og de krav som stilles til en effektiv planleggingsprosess, kan det imidlertid synes som om det er et ubrukt potensial når det kommer til aktiv og praktisk bruk av slike verktøy i beslutningsprosessen. En realisering av dette potensialet ville antagelig kunne gi skogbruket og skogsektoren økt verdiskaping.

Pionerarbeidet i Norge med hensyn på langsiktige prognoser ble gjort i 1960-åra (Nersten & Delbeck 1965). Den siste større gjennomgangen av tilstanden med hensyn på prognoser og prognoseverktøy ble gjennomført av Evju (1979). Også tidlig i 1990-åra ble det gjennomført viktige arbeider knyttet prognoseverktøy (Eid 1990, Hoen 1990). Med de endringer som har vært de siste årene ser en imidlertid at det er behov for en ny gjennomgang av disse spørsmålene. Hensikten med den foreliggende rapporten er derfor å se på muligheter og problemstillinger knyttet utvikling og bruk av framtidens prognoseverktøy.

2. Planleggingsprosessen og prognoseverktøy

2.1. Beslutningsnivåer, produkter og planleggingsnivåer

Planlegging for beslutninger om forvaltning av skog er i utgangspunktet en komplisert prosess, både fordi beslutninger tas på mange ulike nivåer og fordi mange ulike produkter kan være involvert. Det lange tidsperspektivet i skogforvaltning er en ytterligere kompliserende faktor.

I prinsippet kan beslutninger med hensyn på forvaltning av skog fattes på mange nivåer;

- tre
- bestand
- eiendom
- landskap
- kommune
- fylke
- region
- land

I prinsippet kan en også tenke seg at beslutningene for hvert av disse nivåene gjelder mange ulike produkter og verdier;

- tømmerverdier
- verdier knyttet til biologisk mangfold
- rekreasjonsverdier
- estetiske verdier
- verdier knyttet til jaktbart vilt
- verdier knyttet til bær og sopp
- verdier knyttet til biomasseproduksjon og karbonbinding

Selv om noen kombinasjoner av beslutningsnivåer og produkter er mer sentrale enn andre, eksempelvis bestand og tømmerverdier, kan en teoretisk tenke seg at en må forholde seg til problemstillinger der alle kombinasjoner av beslutningsnivåer og produkter er involvert. Selv

en beslutning knyttet til behandlingen av ett enkelt tre kan få konsekvenser for samtlige av produktene som er listet opp.

Teoretisk kan en tenke seg at en ved å samle inn informasjon for alle enkelttrær, for deretter aggregere dette til nivåene over, vil kunne få stedfestet, heldekkende og nøyaktig informasjon for bestand, eiendommer, landskap, kommune, osv. Hovedutfordringen vil være å utvikle gode rutiner for aggregering. Foreløpig er det for ressurskrevende å innhente stedfestet informasjon om alle trær. Dette betyr at informasjonen må innhentes ved ulike samplingsopplegg.

Det må også vurderes hvilken informasjon som skal innhentes på de ulike nivåene, det vil i praksis si hvilke variabler som skal registreres. En kan for eksempel tenke seg at en for enkelttrær bare registrerer variabler knyttet til dimensjon (diameter og høyde) eller at en i tillegg også registrerer variabler knytte til krone, kvist og feil. Tilsvarene problemstilling kan en tenke seg for et bestand der produktiviteten beskrives ved hjelp av bonitet, eller ved at en i tillegg registrer jordbunnforhold og helningsforhold.

For tankemessig å kunne handtere både de ulike beslutningsnivåene og det lange tidsperspektivet ved skogforvaltning kan planleggingsprosessen deles i tre ulike nivåer, hvor nivåene er ordnet i et hierarkisk system der beslutninger på et høyt nivå bestemmer rammene for beslutninger som tas på et lavere nivå;

- et strategisk nivå
- et taktisk nivå
- et operativt nivå

Det *strategiske nivået* i skogbruksplanlegginga setter fokus på langsiktige og overordnede problemstillinger for hvordan et større skogområde skal forvaltes. Å fastsette et avvirkningsnivå er ofte sentralt i den strategiske planleggingen. På det strategiske nivået vil en også i store trekk måtte ta stilling til hvordan skogkulturarbeider, og hensyn til biologisk mangfold og rekreasjon, skal legges opp. Selv om en på dette nivået ikke legger konkrete planer som går mer enn 10-15 år fram i tid, er tidshorizonten mye lengre, ofte 100 år. En viktig del av arbeidet på det strategiske nivået er derfor å kartlegge de langsiktige konsekvensene av den skogbehandlingen som velges i en forholdsvis nær framtid.

Innenfor rammen av de strategiske beslutningene må de aktuelle målsettingene for skogbehandling spesifiseres for en kortere periode. Ofte er denne perioden 10-15 år, og arbeidet med å spesifisere tiltakene for en slik periode kan kalles *taktisk* planlegging. Den kanskje viktigste oppgaven på dette nivået er prioriteringen av bestand for sluttavvirkning. Tilsvarende prioriteringer må også gjøres for ulike skogkulturtiltak og tiltak knyttet til biologisk mangfold og andre målsettinger.

Nederst i planleggingshierarkiet kommer det *operative* nivået. Her rettes fokus mot skogbehandling i bestemte bestand og bestemte år. Også her vil beslutningene som tas være avhengig av det som er besluttet på et høyere nivå. Er det eksempelvis tatt en strategisk beslutning som går ut på at det skal satses mye på tynninger, vil detaljer i forbindelse med egnede bestand for tynning, tynningsform og uttaksmengde være eksempler på operative beslutninger som må tas.

En forutsetning for å lykkes med planleggingen er at prosessen tar utgangspunkt i rasjonalitet, systematikk og struktur. Den rasjonelle planleggingsmodellen kan være et godt utgangspunkt for å illustrere hvordan en effektiv planleggingsprosess kan gjennomføres. I denne modellen forutsettes det at beslutningstakeren ut fra en definert målsetting gjør konsistente og rasjonelle valg mellom alternativene som finnes. Modellen kan punktvis settes opp på følgende måte;

1. Målsetting
2. Registrering
3. Analyse
4. Syntese
5. Beslutning

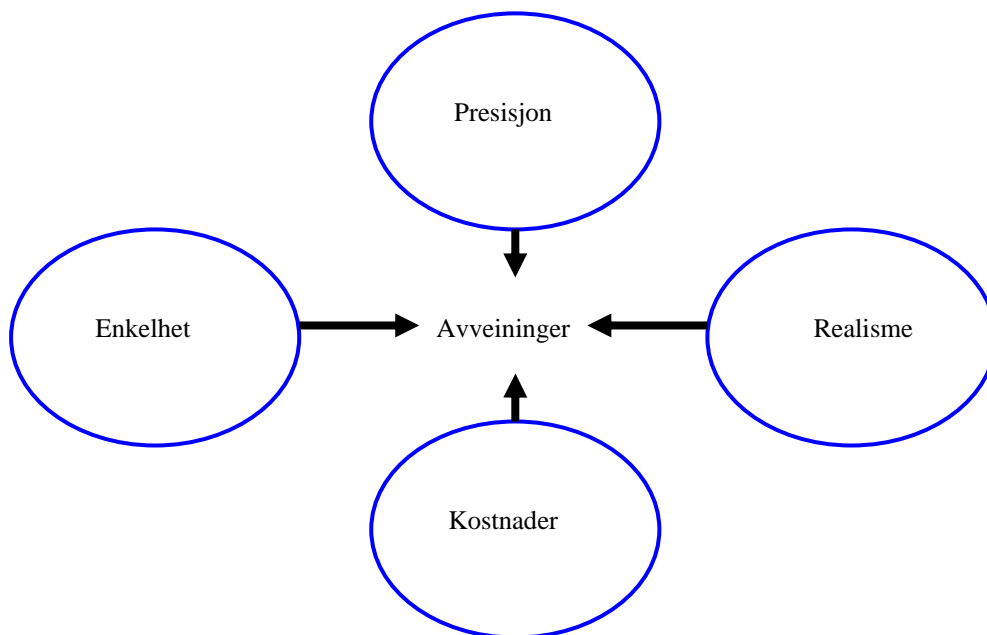
En definert målsetting og innhenting av relevant informasjon danner basis for analysefasen i planleggingsprosessen. I analysefasen er hovedoppgaven å kartlegge de ulike alternativene som finnes, og de konsekvenser disse fører med seg. I syntesefasen vurderes alternativene opp mot hverandre, før en endelig beslutning tas ut fra målsettingen som er definert.

Prognoseverktøyet er ment å være et hjelpemiddel i planleggingsprosessen, og bruken av det er nært knyttet til analysefasen i den rasjonelle planleggingsmodellen. Beregninger av ulike alternativer med et relevant prognoseverktøy vil være et godt utgangspunkt for gode

beslutninger. En vil imidlertid aldri komme vekk fra at de ulike fasene i prosessen også medfører avveininger og prioriteringer basert på subjektivitet, og at dette krever god faglig kunnskap og oversikt for de som er involvert. Et prognoseverktøy kan bare tjene som støtte for de beslutninger som må tas.

2.2. Utvikling av verktøy – avveininger og prioriteringer

At planleggingsprosessen ved skogforvaltning er komplisert, med mange beslutningsnivåer som krever ulike tilnærminger med hensyn på datainnsamling og modellering, med ulike produkter som skal beskrives og kvantifiseres og med et tidsperspektiv som varierer, betyr at det vil være mange motstridende målsettinger ved utviklingen av prognoseverktøy. Noen av avveiningene og prioriteringene som må gjøres er illustrert i Figur 2.

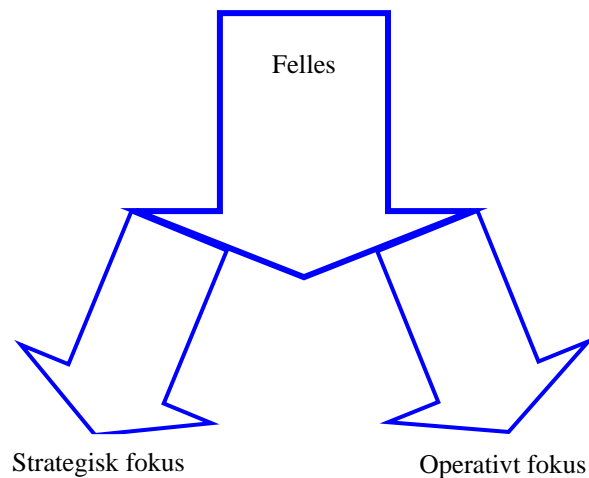


Figur 2. Avveininger mellom ulike målsettinger ved utvikling av prognoseverktøy.

Det vil alltid være et ønske om at prognoseverktøyet skal være så realistisk som mulig. Dette krever at prosessene i naturen må modelleres med høy presisjon, at det må foreligge fleksible løsninger i verktøyet med hensyn på å kunne styre prosessene gjennom skogbehandling og at både biologiske og økonomiske konsekvenser blir beskrevet på en relevant og detaljert måte. Slike krav til realisme fører selvsagt til at verktøyet blir komplisert i bruk. Det vil altså være

vanskelig å utvikle verktøy som er enkle i bruk og som samtidig har en stor grad av realisme. Det vil også være konflikter mellom høy presisjon (små feil) og stor grad av realisme på den ene side, og lave kostnader og enkelhet på den andre. Høy presisjon og stor grad av realisme tilsier høye takstkostnader, stor ressursinnsats til utvikling av modeller og høye kostnader ved bruk av verktøyet. Det er derfor grunnleggende viktig for all utvikling av prognoseverktøy at en er slike konflikter bevisst, og at det legges ned mye arbeid i å finne rett balanse mellom de ulike målsettingene avhengig av hva verktøyet skal brukes til.

En annen sentral utfordring er om verktøyet skal utvikles med et strategisk eller et operativt fokus, det vil si om verktøyet skal brukes til overordnet og langsiktig planlegging eller til planlegging av skogbehandling i enkeltbestand. Uansett fokus vil det være en del felles funksjoner ved utviklingen av verktøyet. Dette kan være databaser, dataflyt, simulerings- og optimeringsprosedyrer, deler av brukergrensesnitt og rapportering, osv. På et eller annet stadium må det imidlertid utvikles ulike løsninger avhengig av om det er den strategiske eller operative delen av planleggingen som er mest viktig. Dette er illustrert i Figur 3.



Figur 3. Strategisk og operativ fokus ved utvikling av verktøy.

For et verktøy som skal brukes til strategisk planlegging vil det viktigste være at en for større skogområder får fram noen få, men relevante og overordnede resultater uten systematiske feil. Dette betyr at en i utgangspunktet bør basere seg på biologiske modeller (tilvekst, avgang, rekruttering) som er enkle og robuste, og som samtidig dekker et stort spekter av skogforhold og skogbehandling. Dette medfører imidlertid at en må godta at det kan være relativt store

tilfeldige feil for behandlingsenhetene (bestand) innen et skogområde, og at den informasjonen som kreves som input og den som kommer ut som et resultat er relativt lite detaljert.

Ved operativ planlegging vil en generelt måtte stille større krav til detaljer for verktøyet. Dette gjelder både krav til oppløsning og informasjonsmengde i input, beskrivelsen av dynamikken i skogen over tid og framstillingen av resultater. Dette betyr at en i slike verktøy kanskje ikke kan basere seg på enkle biologiske modeller som beskriver et "gjennomsnitt", men må bygge opp et sett med modeller tilpasset ulike geografiske områder, skogforhold og skogbehandling.

Det vil også være naturlig å skille mellom verktøy med strategisk og operativt fokus med hensyn på hvor mange produkter som bør inngå i analysene. I verktøy med operativt fokus vil det være naturlig å konsentrere seg om få produkter, først og fremst fordi detaljrikdommen krever dette, men også fordi analyser knyttet til en del av produktene som ikke er tømmer (biologisk mangfold, rekreasjon, osv.) er mer relevante når større skogområder tas med i betraktning, slik som ved strategisk planlegging.

Planleggingsprosessen og prognoseverktøy

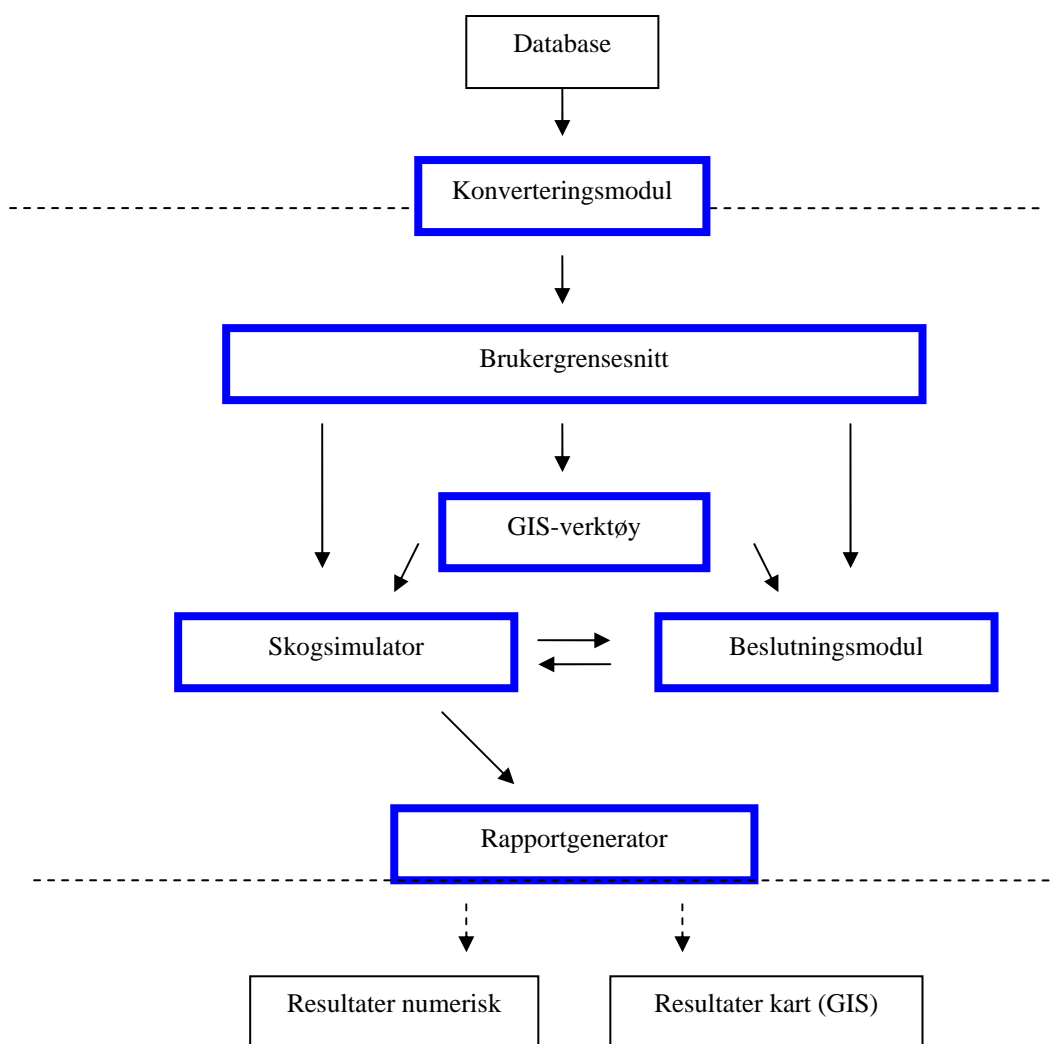
I prinsippet kan beslutninger med hensyn på forvaltning av skog fattes på mange nivåer; tre, bestand, eiendom, landskap, kommune, fylke, region og land. I prinsippet kan en også tenke seg at beslutningene for hvert av disse nivåene er knyttet til produkter og verdier for tømmer, biologisk mangfold, rekreasjon, estetikk, jaktbart vilt, bær og sopp og biomasse/karbon.

Kompleksiteten i planleggingsprosessen tilsier at det må gjøres avveininger og prioriteringer ved utviklingen av prognoseverktøyene. Dette vil for eksempel gjelde avveininger mellom realisme og detaljrikdom på den ene siden og enkelhet og brukervennlighet på den andre siden. En annen viktig utfordring er relatert til om verktøyet skal utvikles med et strategisk eller et operativt fokus, det vil si om det skal brukes til overordnet og langsiktig planlegging eller til planlegging av skogbehandling i enkeltbestand. Dette vil ha innvirkning på oppbygging av grunnleggende biologiske og økonomiske del-modeller, databaser, dataflyten, simulerings og optimeringsprosedyrer, brukergrensesnitt og rapportering. Ved all utvikling av verktøy bør en derfor forsøke å finne en balanse mellom ulike motstridende målsettinger avhengig av hva slags planleggingssituasjon verktøyet er tenkt brukt til.

3. Hva er et prognoseverktøy?

3.1. Hovedelementer

Et prognoseverktøy er innrettet mot å beskrive alternativer for framtidig skogbehandling og skogtilstand gjennom prognoser, og ”motoren” i dette verktøyet er skogsimulatoren. Enten verktøyet har fokus på langsiktig planlegging og konsekvensanalyser for større skogområder (strategisk planlegging) eller på mer detaljerte studier av skogbehandling i enkeltbestand (operativ planlegging), er det nødvendig å bygge opp en del ”infrastruktur” rundt simulatoren. Hovedelementene som et prognoseverktøy vanligvis består av er vist i Figur 4.



Figur 4. Hovedelementer som inngår i prognoseverktøy.

Databasen med informasjon om skogen og skogarealene defineres ikke som en del av prognoseverktøyet. Det må imidlertid legges til rette for at databasen skal kunne kommunisere med prognoseverktøyet. Denne kommunikasjonen må styres gjennom en konverteringsmodul.

Konverteringsmodulen i sin enkleste utgave kan bare ha som omformål å spesifisere formater for innlesning fra databasen av de variablene som nødvendige for å kunne kjøre prognosen. Det er imidlertid sjelden at "output" fra databasen kan brukes direkte som "input" for prognosen. Konverteringen kan derfor bestå i alt fra å gjøre om volum pr. dekar til volum pr. hektar til for eksempel å estimere informasjon om enkelttrær basert på bestandsdata.

Simulatoren er "motoren" i verktøyet. Her simuleres behandlingsprogrammer for bestand som beskriver biologisk og økonomisk utvikling. Disse er basert på instruksjoner gitt enten direkte i brukergrensesnittet eller på instruksjoner spesifisert i GIS-verktøyet. Beslutningsmodulen søker løsningen på skog- og bestandsnivå ut fra målsettinger formulert i brukergrensesnittet eller arealrestriksjoner definert i GIS-verktøyet. Løsningen skrives ut av rapportgeneratoren og kommuniseres videre for tilrettelegging i form av tabeller, figurer eller kart.

3.2. Dagens prognoseverktøy

De norske prognoseverktøyene har tradisjonelt fokusert på langsiktige analyser for produksjon av tømmer. Pionerarbeidet innen dette fagområdet ble gjort av Nersten & Delbeck (1965) som utviklet algoritmer for beregning av balansekvantum. Disse algoritmene forutsatte manuelle beregninger. Det første EDB-baserte verktøyet ble utviklet av Gotaas (1967). Senere har det vært en utvikling fra forholdsvis enkle programmer som AVVIRK1 og AVVIRK2 (Hobbelstad 1979, 1981), med begrenset brukerfleksibilitet og med fokus på avvirkningskvantum, til noe mer avanserte programmer som AVVIRK3 (Hobbelstad 1988) og Bestprog (Blingsmo & Veidahl 1989), hvor en blant annet kunne gjøre en del økonomiske beregninger. I dag, med de siste versjonene av GAYA-SGIS (Gobakken 2003) og AVVIRK-2000 (Eid & Hobbelstad 2005), kan det gjennomføres langsiktige investerings-, inntekts- og kvantumsanalyser både for skogområder og enkeltbestand med problemstillinger knyttet til biologisk mangfold, miljørestriksjoner og verdsetting av skog. Det er også nylig utviklet en første versjon av skogsimulatoren T, der framskrivningene er basert på enkelttrær (se avsnitt 6.1). Tabell 1 viser en oversikt og noen vurderinger av ulike kvaliteter knyttet til prognoseverktøyene.

Det framgår av tabellen at en i de første verktøyene brukte strata som framskrivningsenhet. Dette hadde delvis sammenheng med gjeldende takstmetoder og delvis med begrenset beregningskapasitet på datamaskiner. Framskrivningene ble gjort med modeller for volum-

tilvekst. Med AVVIRK3 gikk en over til å bruke bestandet, beskrevet ved ”middeltreet” (grunnflatemiddeldiameter og grunnflateveid middelhøyde) og treantallet, som framskrivningsenhet. Samtidig ble det tatt i bruk modeller for diametertilvekst (Blingsmo 1984), høydeutvikling (Tveite 1977, 1978) og naturlig avgang (Braastad 1982). Bruk av middeltreet muliggjorde også beregninger av bruttoverdi og driftskostnader. Det ble dermed åpnet opp for økonomiske analyser inkludert vurdering av lønnsomhet gjennom nåverdi (verdien av alle framtidige nettoinntekter diskontert til i dag).

Tabell 1. Oversikt og vurdering av ulike kvaliteter knyttet til prognoseverktøyene.

Prognoseverktøy	Framskrivningsenhet	Bestandsutvikling	Økonomiske beregninger	Styringsmuligheter
”Balansekvantum ” (Nersten & Delbeck 1965)	Strata	Volum direkte	Ingen	-
S50-program (Gotaas 1967)	Strata	Volum direkte	Ingen	Litt
AVVIRK1 (Hobbelstad 1979)	Strata	Volum direkte	Ingen	Litt
AVVIRK2 (Hobbelstad 1981)	Strata	Volum direkte	Ingen	Noe
AVVIRK3 (Hobbelstad 1988)	Bestand	Middeltre og treantall	Nåverdi	Bra
GAYA-JLP (Hoen & Eid 1990, Lappi 1992)	Bestand	Middeltre og treantall	Nåverdi	Mange
Bestprog (Blingsmo & Veidahl 1989)	Bestand	Middeltre og treantall	Nåverdi	Bra
AVVIRK-2000 (Eid & Hobbelstad 1999, 2000, 2005)	Bestand	Middeltre og treantall	Nåverdi	Bra
GAYA-SGIS (Hoen & Gobakken 1997, Gobakken 2003, Lappi 1992)	Bestand	Middeltre og treantall	Nåverdi	Mange
T (Gobakken, Lexerød & Eid 2007, Gobakken 2007)	Enkeltrær	Enkeltrær	Nåverdi	Mange

I de første prognoseverktøyene hadde brukeren få styringsmuligheter. De fleste forutsetningene for skogbehandling var forhåndsprogrammert. Etter hvert er styringsmulighetene blitt mange, særlig gjelder dette de ulike versjonene av GAYA. Her er det mulig å analysere ulike typer skogbehandling (avstandsregulering, tynning, slutthogster), samtidig som brukeren kan definere intervaller for når (eksempelvis at tynning kan gjennomføres på ulike tidspunkt mens overhøyden i bestandet ligger innenfor visse intervaller), og hvordan (uttaksprosenten og/eller relativ diameter i tynningsinngrepet kan varieres) de ulike inngrepene skal gjennomføres.

Alle prognoseverktøyene i Tabell 1, unntatt Bestprog, er primært utviklet for strategisk planlegging, det vil si for langsiktige analyser på skognivå. Bestprog setter fokus på

skogbehandling og økonomi i enkeltbestand og er dermed rettet mot operativ planlegging. T er foreløpig bare utviklet for analyser i enkeltbestand, men planlegges integrert med en beslutningsmodul slik at en kan gjøre analyser også på skognivå. Dette betyr at dette programmet kan innrettes både mot operativ og strategisk planlegging (se avsnitt 6).

Alle programmene, unntatt T, bygger på arealbaserte bestandsutviklingsmodeller. Dette betyr at en strengt tatt bare kan gjøre analyser for ensjiktet skog og åpne hogster. Både i AVVIRK-2000 og i GAYA-SGIS er det imidlertid utviklet ”ad-hocrutiner” som muliggjør en del analyser også for lukkede hogster (Gobakken 2003, Eid & Hobbelstad 2005). Skogsimulatoren T, som bygger på modeller for enkeltrær, kan handtere både åpne og lukkede hogster. De siste utgavene av AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS er de to verktøyene som i dag er i praktisk bruk. Tabell 2 gir en mer detaljert beskrivelse og vurdering av disse.

Tabell 2. Vurdering av elementene som inngår AVIRK-2000 og GAYA-SGIS.

Prognoseelement	AVVIRK-2000	GAYA-SGIS
Konverteringsmodul	Ja, men lite systematisk og dårlig dokumentert	Ja, men lite systematisk og dårlig dokumentert
Skogsimulator	Arealbasert bestandsutvikling Direkte brukerdefinert	Arealbasert bestandsutvikling Brukerdefinerte intervaller
GIS-verktøy	Ingen	Integrert – brukes for å definere skogbehandling og for resultatpresentasjon
Beslutningsmodul	Heuristisk – liten fleksibilitet	Lineær programmering – stor fleksibilitet
Brukergrensesnitt	Relativt enkelt	Komplisert
Rapportgenerator	Fleksibel	Fleksibel – visualisering av skogbehandling og utvikling over tid

Den grunnleggende beregningsenheten i både AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS er i utgangspunktet bestanden. Dersom en har de rette data for prøveflater eller for strata kan beregningene også gjøres basert på disse enhetene. Dette betyr også at en i prinsippet kan gjøre analyser for mange nivåer, eksempelvis bestand, eiendom, landskap, kommune, region, fylke og land. Begge verktøyene er avhengig av en ”konvertingsmodul” for å kommunisere med databaser som inneholder opplysninger om den aktuelle beregningsenheten. Ingen av programmene er direkte integrert med slike databaser. Det er imidlertid i ulike sammenhenger, når behovet har oppstått, blitt laget rutiner som har sørget for å lese ”riktige” data i ”rett” format fra aktuelle databaser. Det er også til en viss grad blitt laget rutiner som ”produserer” manglende variabler ut fra eksisterende når dette har vært nødvendig for å kjøre prognoser. Generelt er rutinene i konverteringsmodulene lite systematisert og dårlig dokumentert.

Skogsimulatorene i AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS er bygget rundt det samme biologiske og økonomiske modellgrunnlaget. Alle framskrivninger er basert på middeltreet og treantallet per hektar (derav arealbasert). Bruttoverdier og driftskostnader blir også beregnet ut fra disse variablene. Selve simuleringene gjennomføres forskjellig i de to simulatorene. I GAYA-SGIS defineres intervaller med hensyn på sentrale variabler (alder, bonitet, høyde, treantall, grunnflate, osv.) for når ulike behandlinger er tillatt, og behandlingsalternativer for alle mulige kombinasjoner innenfor de angitte intervallene beregnes. Dette betyr at flere hundre behandlingsalternativer kan beregnes for hvert bestand. GAYA-SGIS har også funksjonalitet som muliggjør kommunikasjon med et GIS-verktøy slik at behandlingsalternativene kan styres fra et kartgrensesnitt. I AVVIRK-2000 er sluttavvirkningsalderen den eneste variabelen som varierer når behandlingsalternativene for enkeltbestand beregnes, mens alle andre variabler både med hensyn på tidspunkt og mengde for de ulike skogbehandlingsalternativene ligger fast slik brukeren har spesifisert dem. AVVIRK-2000 har ingen koblinger til GIS-verktøy.

Beslutningsmodulen i GAYA-SGIS er basert på lineær programmering (Lappi 1992), og den optimale løsningen søkes blant alle behandlingsalternativene som beregnes av simulatoren. Dette blir gjort ut fra en objektfunksjon (målsetting) og restriksjoner som spesifiseres på skognivå. Beslutningsmodulen i GAYA-SGIS er svært fleksibel med hensyn på å definere ulike objektfunksjoner og restriksjoner. Beslutningsmodulen i AVVIRK-2000 er enklere og basert på en iterativ prosess der avvirkningsprofilen (avvirkning ved hogstmodenhet, balansekvantum, oppgitt kvantum for visse perioder) er det eneste målsettingselementet som kan spesifiseres av brukeren. Programmet må brukes heuristisk, det vil si at brukeren på en ”intelligent måte” må sondere mellom ulike behandlingsalternativer ”helt til en er fornøyd”.

Generelt gir GAYA-SGIS større fleksibilitet enn AVVIRK-2000 både med hensyn på simulering av behandlingsprogram for enkeltbestand og valg av målsettinger på skognivå. Dette betyr imidlertid også at brukergrensesnittet er mer komplisert og at brukerterskelen er høyere. Brukergrensesnittene i begge programmer er imidlertid Windowsbasert og gir muligheter både for ”avanserte” analyser og enklere analyser med bruk av defaultverdier.

Rapportene fra AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS er forskjellige og tilpasset ulike behov. Den viktigste forskjellen er at GAYA-SGIS kan visualisere utvikling og skogbehandling over tid gjennom temakart som produseres av GIS-verktøyet. Felles for begge rapportgeneratorene er at det for alle bestand produseres datafiler som inneholder periodiske (ofte 10 perioder)

opplysninger både om tilstand og skogbehandling for aktuelle variabler (alder, middelhøyde, middeldiameter, treantall, volum, bruttoverdi, osv.). Ut fra disse datafilene kan en i prinsippet produsere et uendelig antall ulike rapporter (og kart) både for alle enkeltbestand og for hele skogområdet som omfattes av analysen. Dette betyr også at en i prinsippet kan bruke verktøyene både i operativ og strategisk planlegging.

Et prognoseverktøy kan aldri anses for ferdig utviklet. Nye behov og problemstillinger, ny metodikk og teknologi og bedre tilgang på data og modeller vil alltid aktualisere videreutvikling. Dagens situasjon med hensyn på prognoseverktøy er ikke et resultat av en langsiktig gjennomtenkt strategi, men mer preget av hvilken tilgang det til enhver tid har vært på kompetanse, tid og prosjektmidler ved INA. Historisk har mye av arbeidet med utvikling av verktøyene blitt gjort i samarbeid med organisasjoner og institusjoner innenfor skogbruket.

De siste 20 årene er det ved INA kjørt to parallelle løp med utgangspunkt i utviklingen rundt AVVIRK-programmene og GAYA-programmene. Selv om det er viktige forskjeller med hensyn på metodiske tilnærminger, har dette ført til at det i dag med AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS finnes to relativt like verktøy som mye baseres på det samme modellgrunnlaget og som dekker mange av de samme problemstillingene innen strategisk skogbruksplanlegging. Begge verktøy vil i sin nåværende form kunne fungere tilfredsstillende enda en del år. Når det gjelder nyutvikling framover bør imidlertid innsatsen konsentreres om bare ett verktøy.

Dagens prognoseverktøy

Planleggings- og beslutningsprosessen i skogforvaltning er omfattende og komplisert. Et av hjelpemidlene i denne prosessen er prognoseverktøyet. Selve motoren i et slikt verktøy er skogsimulatoren der ulike behandlingsalternativer som beskriver biologisk og økonomisk utvikling beregnes. I tillegg vil prognoseverktøyet bestå av en beslutningsmodul, der målsettinger og restriksjoner på skognivå blir presisert, samt en konverteringsmodul (koblinger til databaser), GIS-verktøy og en rapportgenerator.

Dagens prognoseverktøy (AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS) slik de fungerer dekker viktige problemstillinger knyttet både til biologi og økonomi. De er i første rekke utviklet for strategisk planlegging og konsekvensanalyser. Verktøyene er basert på arealbaserte bestandsutviklingsmodeller, og kan derfor bare i mindre grad handtere selektive hogster.

Verktøyene er et resultat av mange års samarbeid mellom INA og ulike aktører i skognæringa. Begge verktøy vil i sin nåværende form kunne fungere tilfredsstillende for mange ulike problemstillinger enda en del år. Når det gjelder nyutvikling framover bør imidlertid innsatsen konsentreres om bare ett verktøy.

4. Bruk av prognoseverktøy

4.1. Dagens situasjon

Ved INA har en de siste 15 årene brukt AVVIRK3, og senere AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS i undervisningen for studentene. Verktøyene er også blitt brukt i mange hovedoppgaver. Hoen (1990), Eid (1990), Gobakken (2000a), Veisten (2003) og Raymer (2005) har alle i ulik grad basert sine doktorgrader på verktøyene. Et tidlig eksempel på en større utredning basert på prognoseverktøy er gitt av Nersten et al. (1981) i forbindelse med en ny stortingsmelding. Et tilsvarende arbeid ble gjort av Hoen et al. (1997). Også i forbindelse med Levende-Skog-prosessen ble det gjennomført analyser (se for eksempel Hoen et al. 1998a). De siste årene har prognoseverktøyene blitt brukt i mange ulike forskningsprosjekter (se for eksempel Bergseng et al. (2007), Eid (2000, 2003, 2004), Eid et al. (2001, 2002) og Hoen et al. (2001, 2006)).

AVVIRK1 ble tidlig tatt i bruk i praktisk skogbruksplanlegging. For alle nye takster ble det beregnet et balansekvantum for eiendommene. Dette pågikk fram til slutten av 1990-åra, men i de senere årene er dette blitt mindre vanlig. I de nye forskriftene om skogbruksplanlegging (Landbruks- og matdepartementet 2004) er det ikke lenger krav om slike beregninger. Både AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS brukes imidlertid til en viss grad av ulike organisasjoner og firmaer ved planlegging og konsekvensanalyser for større skogområder. Norskog kjører prognoser for mange av sine medlemmer med store eiendommer. Prevista A.S. bruker verktøyene både ved konsekvensanalyser for skogområder (se for eksempel Trømborg & Bergseng 2003) og ved vanlig skogbruksplanlegging. Landsskogtakseringen gjennomfører rutinemessig konsekvensanalyser ved rapporteringen av resultater fra fylkene. I samarbeid med Skog-Data A.S. har INA utviklet en versjon av AVVIRK-2000 tilpasset verdsettingsproblemer (Skog-Data 2000) som ved ekspropriasjon og jordskifte blir brukt av både eksproprianten (forsvaret, vegvesenet), skogeierinteresser og domstolen (Jordskifteretten).

De senere årene har det vært mye fokus på biologisk mangfold. Samtidig har lavere tømmerpriser og mindre marginer nødvendiggjort en effektivisering av alle ledd i skogforvaltningen. Alt dette skulle tilsi større krav til presisjon i planleggingsprosessen og dermed økt behov for bruk av prognoseverktøy som beslutningsstøtte. Når en likevel har sett mindre interesse for slike verktøy har dette flere årsaker. Det kan for eksempel diskuteres hvor stort behov det er for prognoseverktøy ved planlegging for de minste eiendommene. Den

økonomiske betydningen av inntektene fra skogen er her svært liten, og andre forhold enn skogskjøtsel og langsiktighet blir fokusert i planlegginga. De aktuelle verktøyene krever også ekstra input i forhold til det som vanligvis blir registrert i en skogbruksplantakst. Dette gjelder blant annet treantall og middeldiameter i bestand. Det har også vært en forholdsvis krevende jobb å tilrettelegge for overføring av data fra aktuelle databaser til et format som programmene kan benytte. Relativt store kostnader (tidsforbruk) knyttet både til ekstra datainnsamling og tilrettelegging har nok derfor også vært medvirkende til mindre bruk av prognoseverktøyene.

Mindre bruk kan også skyldes manglende kompetanse blant brukerne og/eller at verktøyene har for høy brukerterskel. Verktøyene er blitt mer avanserte med hensyn på muligheter for analyser de siste årene. Dette betyr imidlertid at brukerterskelen og kompetansekravene er blitt høyere. Dette kan ha ført til at bruken av verktøyene er blitt nedprioritert sammenlignet med andre oppgaver som har vært mer presserende, og hvor perspektivet ikke ligger så langt fram i tid som tilfelle er ved tradisjonell skogbruksplanlegging og langsiktige konsekvensanalyser.

Det har også blitt rettet kritikk mot prognoser fordi en har ment at produksjonen blir overvurdert. Diskusjoner rundt slike analyser har pågått i norske fagtidsskrifter (Løvhaugen 1997, Hofstad 1998, Myrbakken 1998), og i form av rapporter (Hobbelstad 1998, Eid 1998a, Strand 1998). Kritikken har i hovedsak framkommet fordi en i nye beregninger, basert på *nye* takster, har beregnet balansekvanta som har vært mye lavere enn i tilsvarende beregninger som ble gjennomført tidligere for de *samme* områdene. Nye undersøkelser (Eid 2004, Eid & Hobbelstad 2006) tyder imidlertid ikke på at dette skyldes at prognoseverktøyene gir for høy produksjon. En mer sannsynlig årsak er mangel på samsvar mellom de forutsetningene for skogbehandling som er gjort i prognosene og det som har vært faktisk skogbehandling.

4.2. Aktuelle problemstillinger

AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS har en funksjonalitet som gjør at de kan brukes som beslutningstøtte for mange ulike problemstillinger. Denne bruken kan deles i tre hovedområder;

- skogbruksplanlegging
- konsekvensanalyser
- verdsetting

Med planlegging menes det her at verktøyene kan brukes aktivt for konkrete skogområder i prosessen for å planlegge skogbehandling både for enkeltbestand og skogeiendommer. Konsekvensanalyser vil være en del av en slik planlegging fordi konsekvenser sammenlignes for ulike behandlingsalternativer og brukes som en del beslutningsgrunnlaget.

Konsekvensanalyser kan også defineres mer generelt og uten at de knyttes til en konkret planleggingsprosess for et skogområde eller bestand. I slike tilfeller brukes verktøyene i forskning eller av profesjonelle utredere for å kartlegge ulike problemstillinger som kan gi svar på generelle trender eller retningslinjer. Slike arbeider kan være aktuelle i forbindelse med utredninger eller ved kompetansefremmende tiltak.

I alle beregninger med disse verktøyene framkommer nåverdien både for bestand og for hele skogområdet. Dette betyr at alle aktuelle skogarealer verdsettes. Nåverdien er en sentral parameter både i beslutningsgrunnlaget ved planlegging og som kriterium for vurderingene som gjøres i konsekvensanalyser. Nåverdiberegningene kan også brukes i mer spesifikke verdsettingsproblemer ved for eksempel ekspropriasjon, jordskifte eller eiendomssalg. Nedenfor følger noen eksempler på problemstillinger som en gjennom analyse med dagens versjoner av AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS kan belyse. Problemstillingene kan gjelde enkeltbestand, enkelteiendommer eller større skogområder.

Skogbehandling – virkeproduksjon. For enkeltbestand kan det kjøres tradisjonelle lønnsomhetskalkyler der en søker å finne ”riktig” behandling med hensyn på foryngelse, ungskogpleie, tynning og sluttavvirkning. For skogområder kan det gjennomføres ulike foryngelses-, ungskogpleie-, tynnings- og sluttavvirkningsstrategier og å kartlegge konsekvenser av dette for framtidig skogtilstand, avvirkningspotensial og lønnsomhet. Konkrete eksempler på problemstillinger med fokus på virkeproduksjon som kan analyseres er;

- hva er mest lønnsomt på den aktuelle boniteten, planting eller naturlig foryngelse?
- når og hvordan er det lønnsomt å tynne?
- hvordan varierer økonomisk hogstmodenhetsalder med treslag, bonitet og avkastningskrav?
- hva blir realisasjonsverdi, venteverdi og grunnverdi for bestandet, eiendommen eller skogområdet?

- hvor store arealer berøres og hvilket kvantum kan forventes ved omlegging til en intensiv tynningsstrategi på eiendommen?
- hvilken innvirkning vil store stormfellingene få for framtidig avvirkningspotensial og behov for skogkulturtiltak i regionen?
- hvordan påvirkes framtidig avvirkningspotensial og skogtilstand i regionen av at en bare avvirker gran i en periode framover?
- hvordan vil ulike foryngelsesstrategier påvirke framtidig avvirkningspotensial i fylket?
- hvordan vil tilgangen på lauvtrevirke i fylket være i 2030?
- hvor store hogstmodne arealer og hvilket kvantum kan forventes fra furubestand på bonitet 14-17 i kommunen framover?

Skogbehandling – biologisk mangfold, rekreasjon. Det finnes mange ulike miljørelaterte problemstillinger som vertøyene kan handtere. I prinsippet kan slike problemstillinger deles i to kategorier. For det første kan dette være knyttet til selve hogstformen. Her kan det gjøres visse forutsetninger slik at det gjennomføres ulike former for selektive hogster (siden tilvekstmodellene er arealbaserte vil dette bare være tilnærming). Miljørelaterte problemstillinger kan også tilnærmes gjennom restriksjoner knyttet til utvalgte arealer. Eksempler på dette er vern av arealer, visse krav til andel gammelskogarealandeler, og sette igjen kantsoner og evighetstrær for visse typer arealer. Noen eksempler på analyser som kan gjennomføres er;

- hva koster det i form av redusert kvantum/inntekt å følge opp MIS-registreringer i praktisk skogbehandling?
- hvordan gjennomføre en kostnadseffektiv utvelgelse av arealer med ulike miljøkvaliteter?
- hvor mye reduseres den økonomiske verdien av skogarealet når det innføres forbud mot snauhogst i et 100-metersbelte rundt Storvann?
- hvor mye reduseres den økonomiske verdien dersom en gjennom skogbehandlingen skal ta hensyn til en tiurleik som er i området?
- hvordan kan en bevare en skogstruktur tilpasset hensyn til rekreasjon og hvordan vil dette påvirke avvirkningspotensial og lønnsomhet?
- hvor mye taper skogeieren, det vil si hvilken erstatning bør gis, når 50 hektar av totalarealet på eiendommen båndlegges (fredes) i 10 år?
- hvilken skogbehandling er optimal når, en ved å sette verdier både på tømmer og binding av CO₂, maksimerer nåverdien av et skogareal?

4.3. Potensielle brukere

Det er relativt mange aktører innenfor skogforvaltning, naturforvaltning og arealforvaltning generelt som i utgangspunktet vil være interessert i disse problemstillingene og som dermed kan tenkes å etterspørre analyser med prognoseverktøyene. Tabell 3 viser en oversikt over aktuelle grupper, institusjoner og organisasjoner som vil kunne ha nytte av slike analyser.

Tabell 3. Potensielle brukere av resultater fra analyser.

Hvem?	Formål
Småskogeiere	Standardberegninger i forbindelse med skogbruksplanlegging.
Store private skogeiere	Beregninger i forbindelse med skogbruksplanlegging og konsekvensanalyser. Operativ planlegging
Store offentlige skogeiere	Beregninger i forbindelse med skogbruksplanlegging og konsekvensanalyser
Skogeier-organisasjoner	Konsekvensanalyser i forbindelse med utredninger og kompetansecfremmende tiltak. Operativ planlegging.
Offentlige institusjoner	Konsekvensanalyser i forbindelse med utredninger og kompetansecfremmende tiltak, og verdsetting
Offentlig administrasjon	Konsekvensanalyser i forbindelse med utredninger og kompetansecfremmende tiltak
Interesse-organisasjoner	Konsekvensanalyser i forbindelse med utredninger
Skogindustri	Konsekvensanalyser i forbindelse med utredninger
Fou-sektor	Forskning, undervisning og konsekvensanalyser i forbindelse med utredninger

Småskogeiere vil antagelig bare i begrenset grad etterspørre mer omfattende analyser med prognoseverktøy. For spesielt interesserte og i spesielle tilfeller bør imidlertid muligheten være åpen. I forbindelse med skogbruksplanlegging og nye takster kan det også tenkes at det legges opp til prognoser med standardforutsetninger der det beregnes noen alternative avvirkningsprofiler (balansekvantum, avvirkning ved hogstmodenhet) slik at skogeier kan få anslag for avvirkningspotensialet på eiendommen. Større private og offentlige eiendommer (storskogeiere, stiftelser, allmenninger, skogforvaltninger, kommuneskoger) vil ha behov for analyser i forbindelse med vanlig skogbruksplanlegging (avvirkningspotensial, generell skogbehandling). Det kan også være behov mer omfattende konsekvensanalyser ved større omlegginger eller ved endringer av rammebetingelsene for slike eiendommer.

Både offentlige institusjoner og offentlig administrasjon vil fra tid til annen etterspørre konsekvensanalyser relatert til ulike problemstillinger i forbindelse med prosjekter, kampanjer

og utforming av skogpolitikk. Flere offentlige institusjoner etterspør også analyser i forbindelse med verdsetting av skogområder. Også interesseorganisasjoner knyttet til miljøvern og skogindustri kan tenkes å ha bruk for analyser i forbindelse med utredninger og kartlegging av potensielt tømmertilbud. Det har også fra større private skogeiere og fra skogeierorganisasjoner blitt uttrykt behov for verktøy der en kan gjøre mer detaljerte analyser for skogbehandling i enkeltbestand. Dette vil altså være analyser med et operativt fokus der en søker å finne ”riktig” behandling med hensyn på foryngelse, ungskogpleie, tynning og sluttavvirkning.

Selv om mange kan ha interesse av resultater fra analyser med slike verktøy vil det for relativt få være rasjonelt selv å gjøre analysene. I de fleste tilfeller er det mest aktuelt å sette bort dette arbeidet til profesjonelle. I dag er slik bruk avgrenset til 4-5 firmaer som driver med skogbruksplanlegging, noen konsulentfirmaer, en skogeierorganisasjon, 2-3 offentlige institusjoner og noen personer innen Fou-sektoren. Realistisk sett kan en derfor ikke forvente at antall profesjonelle brukere i Norge overstiger 15-20 personer. Når det gjelder prognoseverktøy som utvikles med fokus på operativ planlegging vil det antagelig være et større potensial av brukere blant skogbruksledere, skogbrukssjefer og aktive skogeiere.

Bruk av prognoseverktøy

Prognoseverktøyene har de senere årene blitt brukt mye i forbindelse med forskningsprosjekter og utredninger. Verktøyene er også viktige for ulike undervisningsoppgaver. Selv om verktøyene til en viss grad også brukes i skogbruksplanlegging har tendensen de senere årene vært mindre bruk til dette formålet. For ulike verdsettingsproblemer har en imidlertid sett økt interesse og økt bruk av prognoseverktøy.

De aktuelle prognoseverktøyene (AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS) slik de ser ut i dag dekker svært mange problemstillinger relatert til skogbruksplanlegging, konsekvensanalyser og verdsetting. Det vil derfor være et relativt stort antall organisasjoner og institusjoner som vil kunne ha nytte av slike analyser. For relativt få av disse vil det imidlertid være rasjonelt selv å gjøre analysene. I stedet bør dette arbeidet settes bort til aktive profesjonelle brukere. Realistisk sett kan en ikke forvente at antall profesjonelle brukere i Norge overstiger 15-20 personer. Når det gjelder verktøy som utvikles med fokus på operativ planlegging vil det antagelig være et større potensial for antall brukere.

5. Datainnsamling og prognoseverktøy

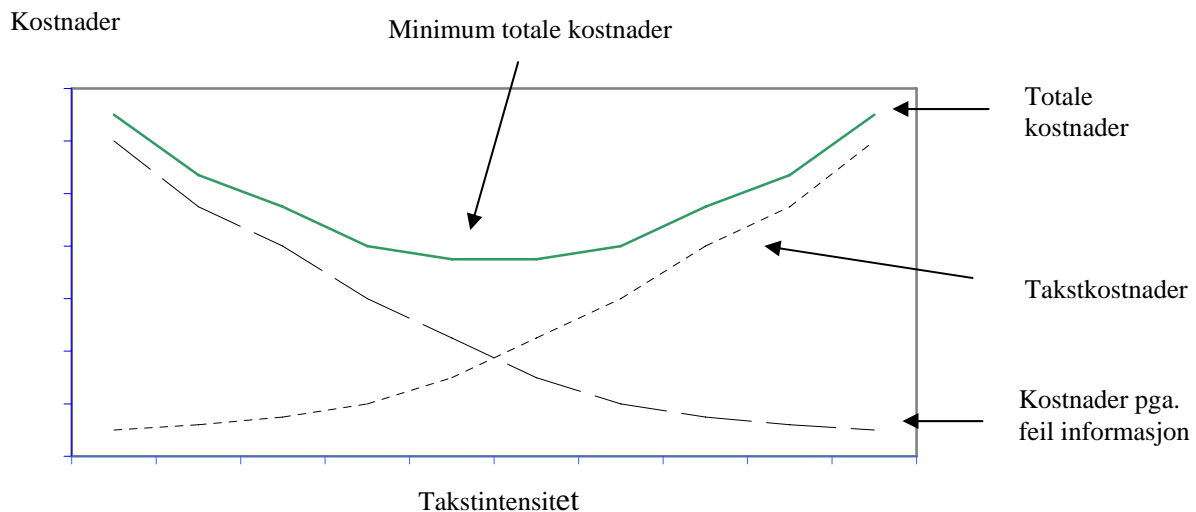
5.1. Beslutningsorientert datainnsamling

Innsamling av informasjon til bruk i planleggingsprosessen krever mye ressurser. For det første må det gjøres avveininger med hensyn på hvilket oppløsningsnivå en vil ha. Teoretisk kan en tenke seg at en ved å samle inn heldekkende, stedfestet og nøyaktig informasjon for alle enkeltrær vil kunne basere seg på dette ved beslutninger som gjelder alle nivåer oppover (bestand, eiendom, landskap, osv.). I praksis vil det imidlertid være svært ressurskrevende å samle slik informasjon. Dette betyr at det må gjennomføres en sampling. Informasjon som samples kan imidlertid fremdeles være heldekkende og stedfestet fra enkeltrær og oppover, alternativt fra bestand og oppover, men vil ha ulik presisjon avhengig av intensitet i samplingen. Samplet informasjon kan også være direkte representert som framskrivningsenhet i prognoseverktøyet gjennom samplingsenheten, eksempelvis en prøveflate, eller gjennom strata. I det første tilfelle vil informasjonen kunne være stedfestet, men den vil ikke være heldekkende, mens den i det andre tilfellet verken vil være heledekkende eller stedfestet.

Beslutningsprosessen krever også at en må vurdere hvilken informasjon som skal innhentes på de ulike nivåene, det vil i praksis si hvilke variabler som skal registreres. En kan her tenke seg et opplegg med heldekkende og stedfestet informasjon for enkeltrær der en eksempelvis bare registrerer variabler knyttet til dimensjon (diameter og høyde), eller at en også registrerer variabler knyttet til krone, kvist og feil og stamme. Tilsvarene problemstillinger vil gjelde også på andre nivåer. Vekstforholdene i et bestand kan for eksempel beskrives kun gjennom bonitet, eller ved at en i tillegg registrerer jordbunnforhold og helningsforhold.

Tradisjonelt blir datakvalitet vurdert ved å kvantifisere feilnivåer for ulike størrelser som registreres (se f.eks. Kangas 1996, Eid & Næsset 1998, Næsset 2004). Feilnivåene gir selvsagt verdifull informasjon om kvaliteten på dataene som skal brukes i planleggingen og som input i prognoseverktøy. De gir imidlertid ikke noe fullstendig bilde. Spørsmål omkring detaljeringsnivå, det vil si hvor mange variabler som registreres for en registreringsenhet, og om konsistens mellom variabler innen en registeringsenhet (f.eks. mellom overhøyde, alder og bonitet) må også vurderes. Barth et al. (2006) og Duvemo & Lämås (2006) har i to oversiktsartikler tatt opp viktige aspekter relatert til slike problemstillinger i forbindelse med bruk av prognoseverktøy.

Siden prognoseverktøy skal brukes i praktisk skogbruksplanlegging er det imidlertid også viktig at en ved innsamling av data setter fokus på de beslutninger som skal tas. Dette betyr at en foruten selve takstkostnadene også bør vurdere kostnader knyttet til feil beslutninger som følge av feilaktig informasjon. Ståhl et al. (1994), Eid (2000), Holmström et al. (2003), Eid et al. (2004) og Holopainen & Talvitie (2006) har alle i ulike sammenhenger gjort slike vurderinger. Med utgangspunkt i at de totale kostnadene består av to komponenter; direkte takstkostnader og kostnader som påløper fordi det tas beslutninger basert på feilaktig informasjon, er en slik tankegang illustrert i Figur 5. Det framgår av figuren at takstkostnadene øker, mens kostnadene på grunn av feil informasjon synker, med økende intensitet i takstarbeidet. Den optimale tilpasningen vil være å velge den takstintensiteten som gir lavest totale kostnader.



Figur 5. Totale kostnader som summen av takstkostnader og kostnader som påløper på grunn av feilaktig informasjon.

Det er i praksis nesten umulig å bestemme akkurat punktet for optimal takstintensitet. Dette vil også variere med hvilke beslutninger som skal tas. Det er likevel viktig at de som planlegger datainnsamlingen gjør vurderinger rundt nytte/kostnadsforholdene knyttet til dette, og ikke ensidig fokuserer på takstkostnader. Det er også viktig at de som utvikler verktøy tar utgangspunkt i en slik nytte/kostnadstankegang og ikke skaper noe som blir for ambisiøst med tanke på krav til inputdata, og som dermed ikke kan brukes i praktisk skogbruksplanlegging.

5.2. Basismodeller, prognoseverktøy og datainnsamling

Prognoseverktøy som AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS er basert på arealbaserte biologiske modeller (se Tabell 1 og 2). Dette betyr at en i datainnsamlingen har fokusert på størrelser som volum, grunnflate og treantall per ha, og middelhøyde og middeldiameter. Når en i de senere årene har begynt å arbeide med biologiske basismodeller for enkeltrær har dette delvis sammenheng med at en i Norge har sett en økt interesse for selektive hogster som et alternativ til åpne hogster. Satsingen på enkelttremodeller er også muliggjort gjennom teknologisk framgang knyttet til datainnsamling og datamaskinkapasitet. Når det gjelder innsamling av data er det de senere årene gjort store framskritt i laser-scanning teknologien med hensyn på å registrere enkeltrær (Hyypä & Inkinen 1999; Persson et al. 2002; Maltamo et al. 2004, Solberg et al. 2006) på en så nøyaktig og kostnadseffektiv måte at det er interessant for praktisk skogbruksplanlegging. Flere større skogtakseringsprosjekter med registreringer ned på enkelttrenivå er nå i gang i de nordiske landene. Tidligere har også datamaskinkapasiteten kunnet være et problem for simulatorer basert på modeller for enkeltrær. Så lenge simulatoren bare skal brukes i bestandsvise beregninger med fokus på operativ planlegging har dette gått bra, men med en målsetting om å handtere både operative og strategiske problemstillinger i samme verktøy har datamengdene vært for store.

Med utgangspunkt i den teknologiske utviklingen og ønsket om å kunne handtere flest mulig skogbehandlingsalternativer er det grunn til å tro at framtidens prognoseverktøy vil bli basert på enkelttremodeller. Dette betyr at bruk av slike verktøy vil kreve informasjon for enkeltrær, i tillegg til informasjon om selve bestandet og voksestedet. Tabell 4 viser hvilke variabler som kan være aktuelle å registrere innen disse tre kategoriene.

Tabell 4. Aktuelle variabler som input i prognoseverktøy.

Enkeltrær	Treslag, diameter, høyde, kronehøyde/lengde, kronevidde, alder, koordinater for enkeltrær
Bestand	Hovedtreslag, treslagsfordeling, treantall, middeldiameter, grunnflate, middelhøyde, overhøyde, volum, alder, hogstklasse
Voksested	Bonitet, vegetasjonstype, lengde/breddegrad, høyde over havet, eksposisjon, helningsgrad, jordtype, berggrunnstype, temperatur- og nedbørsdata

Noen variabler i Tabell 4 er mer aktuelle enn andre. Dette vil avhenge av hvordan de biologiske basismodellene er bygd opp (se avsnitt 6.1.). Dersom en baserer seg på distanse-uavhengige vekstmodeller vil en måtte ha opplysninger som treslag, diameter og høyde for

enkeltrær, men uten at disse er koordinatfestet. Variabler knyttet til kronemål og alder er mindre viktige, men kan være aktuelle som forklaringsvariabler i vekstmodellene. Dersom en baserer seg på distanseavhengige vekstmodeller vil en måtte registrere koordinater for alle enkeltrær. Dersom treslag, diameter og høyde for alle enkeltrær er registrert vil alle variablene som beskriver bestandet i Tabell 4 være gitt gjennom beregninger. Når det gjelder variabler som beskriver voksestedet er bonitet og vegetasjonstype de viktigste. De resterende variablene kan brukes som supplement for å beskrive produktiviteten til voksestedet.

Det er mange måter å framskaffe slike data på, dels gjennom rene registreringer og dels ved å kombinere registreringer og beregninger. I det følgende beskrives kort de ulike mulighetene.

- Klaving av alle trær i alle bestand og med prøvetrær for høydebestemmelse. I tillegg må bonitet, alder og vegetasjonstype for bestandet registreres.
- Klaving av systematiske prøveflater innen bestand og med prøvetrær for høydebestemmelse. Også her må bonitet, alder og vegetasjonstype for bestandet registreres i tillegg.
- Konvensjonell lasertakst (se for eksempel Næsset 2004). Dette er i utgangspunktet en bestandstakst, men diameter- og høydefordelinger innen bestand (antall trær i hver diameterklasse og gjennomsnittlig høyde i hver diameterklasse) kan estimeres gjennom funksjoner (Gobakken & Næsset 2004, 2005). Treslagsfordeling, bonitet, alder og vegetasjonstype for bestandet må registreres i felt eller ved hjelp av flyfoto.
- Konvensjonell bestandstakst med relaskop eller fototolking. I begge tilfeller gjennomføres en bestandstakst, mens diameter- og høydefordelinger innen bestand estimeres gjennom funksjoner (Mønness 1982, Holte 1993, Eid 2001, 2002).
- Lasertakst med enkelttresegmentering. Her estimeres diameter og høyde for enkeltrær ved hjelp av laserskanning. Treslag registreres ved hjelp av laserdataene alene eller i kombinasjon med flyfoto. Bonitet, alder og vegetasjonstype for bestandet må registreres i felt eller ved hjelp av flyfoto.

Det er gjennomført sammenligninger av noen av disse oppleggene for registreringer (Eid 2002, Lexerød & Eid 2005a, Eid et al. 2005). Resultatene fra undersøkelsene er ikke entydige, men

hovedkonklusjonen er at konvensjonelle lasertakster, relaskoptakster og fototakster fungerer bra med tanke på nøyaktighet (i hvilken grad en i stand til å beskrive diameterfordelingen) så lenge registreringene blir gjort i bartrebestand som er noenlunde ensjiktete. I flersjiktet skog blir nøyaktigheten dårligere med disse registreringsmetodene, selv lasertakst også i flersjiktet skog har vist seg mulig (Bollandsås & Næsset 2007). I slik skog kan systematiske prøveflater innen bestand (med kanskje 8-12 prøveflater) være en bedre løsning, selv om takstkostnadene blir høyere. Totalklaving vil bare unntaksvis være aktuelt på grunn av høye kostnader. Det gjenstår å se hvor gode resultater en får ved lasertakst med enkelttresegmentering, men det legges ned store ressurser på å utvikle denne metoden, og det er grunn til å tro at dette vil bli svært aktuelt framover for å framskaffe informasjon om enkelttrær.

Praktisk skogbruksplanlegging tjener ulike formål. Dette betyr at taksmetodikk og nøyaktighetskrav uansett vil variere. Det er derfor svært viktig å legge til rette for god dataflyt mellom aktuelle databaser og prognoseverktøyet ved å bygge opp en konverteringsmodul som tar høyde for at ulike takstmetoder vil bli brukt. Dette er diskutert i avsnitt 6.2.1.

Datainnsamling og prognoseverktøy

Innhenting av informasjon til bruk i prognoseverktøy er ressurskrevende. Datainnsamlingen er også komplisert med aktuelle problemstillinger knyttet til alt fra trær via bestand til landskap og regioner. Et viktig element i datainnsamlingen er å vurdere denne i lys av de totale kostnadene, det vil si ikke bare å fokusere på selv takstkostnaden, men også ta med i betraktning kostnader som er knyttet feil beslutninger som følge av feilaktig informasjon.

Med et utgangspunkt i senere års teknologiske utvikling og et ønske om å kunne gjøre beregninger for et bredt spekter av skogbehandlingsalternativer er det grunn til å tro at framtidens prognoseverktøy vil kreve informasjon om enkelttrær, i tillegg til informasjon på bestandsnivå og om voksestedet. Selv om en nok delvis må gjøre feltregistreringer også framover gir utviklingen av laserteknologien grunn til å tro at det vil bli mulig å skaffe til veie informasjon om enkelttrær på en så kostnadseffektiv måte, og med en så god nøyaktig, at den skal kunne brukes i praktisk skogbruksplanlegging og prognoseverktøy. En viktig oppgave er derfor å legge til rette for en god dataflyt mellom aktuelle databaser og prognoseverktøyet. Dette kan gjøres ved å bygge opp en konverteringsmodul som tar høyde for at mange ulike takstmetoder vil være aktuelle også framover i skogbruksplanlegginga.

6. Utvikling av prognoseverktøy – muligheter og problemstillinger

6. 1. Skogsimulatoren

Skogsimulatoren er ”motoren” i prognoseverktøyet. Oppbyggingen av denne legger de grunnleggende premissene for hvilke problemstillinger som kan tas opp; det vil si hvilke beslutningsnivåer (tre, bestand, skog, landskap, osv.) og produkter (tømmer, biologisk mangfold, friluftsliv, vilt, biomasse/karbon, osv.) en kan forholde seg til. Oppbyggingen av skogsimulatoren bestemmer også hvilke planleggingsnivåer og planleggingshorisonter som kan håndteres (strategisk, operativt).

Skogsimulatoren i AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS har fokusert på virkesproduksjon, har vært basert på arealbaserte bestandsutviklingsmodeller og først fremst vært brukt ved strategisk planlegging. Framover er det flere trekk som antagelig vil prege utviklingen. Selv om AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS sikkert vil være i bruk en tid framover, vil den viktigste endringen gjelde overgangen fra arealbaserte modeller til enkelttremodeller i skogsimulatoren. En slik overgang betyr at en i tillegg til åpne hogster også kan handtere selektive hogster. Dette muliggjør også en mer detaljert beskrivelse av bestandsdynamikk og skogbehandling enn tidligere, noe som kan bety økt fokus på operativ planlegging ved bruk av verktøyene.

6.1.1. T – en skogsimulator basert på modeller for enkelttrær

De siste årene er det blitt utviklet en ny skogsimulator, T, som er basert på modeller for enkelttrær (Gobakken et al. 2007). Simulatoren produserer alternative behandlingsprogram ut fra brukerdefinerte skogbehandlinger. Til hver behandling er det knyttet kriterier for når behandlingen skal kunne gjennomføres. Krav til bonitet innenfor et visst intervall er eksempel på et kriterium for at en behandling skal kunne gjennomføres. Med et behandlingsprogram, menes her den sekvensen av behandlinger som inngår i en beregnet utviklingsbane for et bestand. Et behandlingsprogram angir følgelig hvilken behandling som gjennomføres i bestandet i hver av de periodene simuleringen er gjennomført for. Simulatoren kan i utgangspunktet brukes både for åpne hogster (snauhogst, frøtre- og skjermstilling), vanlige tynninger og alle typer selektive hogster. Simulatoren er bygd opp av en rekke ulike biologiske bestandsutviklingsmodeller (Tabell 5) som for en stor del er basert på data fra Landsskogtakseringens permanente prøveflater.

Tabell 5. Biologiske basismodeller i T.

Oppgave	Tre- slag	Referanse	Avheng. variabel	Uavhengige variabler		
				Trær	Bestand	Voksested
Foryngelse snau skogsmark	Gran Furu Bjørk Lauv		N_p PN_{trsl} V_{tid}		Tidligere hovedtreslag Foryngelsesmetode	SI
Rekruttering ung ensjiktet skog	Gran Furu Bjørk Lauv	Lexerød & Eid (2005b) Lexerød & Eid (2005b) Lexerød & Eid (2005b) Lexerød & Eid (2005b)	i_N		A, N, PN_{sp} A, N, PN_{sp} A, N, PN_{sp} A, N	ALT, LAT, SI ALT, LAT, SI ALT, LAT ALT, LAT, SI
Høyde- utvikling ung ensjiktet skog	Gran Furu Bjørk Lauv	Tveite (1977, 1978) Tveite (1977, 1978) Braastad (1967) Braastad (1967)	H		A	SI
Rekruttering i eldre skog	Gran Furu Bjørk Lauv	Lexerød (2005) Lexerød (2005) Lexerød (2005) Lexerød (2005)	i_N		BA, PBA_{sp} , N, H_D , LAY BA, PBA_{sp} , N BA, PBA_{sp} , N, H_D , LAY BA, PBA_{sp} , N, H_D , LAY	ALT, LAT, SI, VT ALT, LAT, SI ALT, LAT, SI, VT ALT, LAT, SI, VT
Diameter- tilvekst i eldre skog	Gran Furu Bjørk Lauv	Bollandsås (2007) Bollandsås (2007) Bollandsås (2007) Bollandsås (2007)	i_{dbh}	d, bal d, bal d d	BA, PBA_{sp} BA BA BA	SI, LAT, R SI, LAT SI, LAT SI, LAT
Høyde- utvikling i eldre skog	Gran Furu Bjørk Lauv	Bollandsås (2007) Bollandsås (2007) Bollandsås (2007) Bollandsås (2007)	H	d		ALT, LAT, SI
Naturlig avgang i eldre skog	Gran Furu Bjørk Lauv	Eid & Tuhus (2001) Eid & Tuhus (2001) Eid & Tuhus (2001) Eid & Tuhus (2001)	P_s P_s P_s P_s	d, bal d, bal d d, bal	PBA_{sp}	SI SI SI SI
Volum	Gran Furu Bjørk Lauv	Vestjordet (1967) Brantseg (1967) Braastad (1966) Opdahl & Skrøppa (1989)	V V V V	d, h d, h d, h d, h		

Avhengige variabler: N_p = antall småplanter (ha^{-1}), PN_{trsl} = treslagsfordeling småplanter, V_{tid} = ventetid (år), i_N = antall rekrutter ($\text{ha}^{-1} 5\text{yr}^{-1}$), i_d = diameter tilvekst ($\text{mm}^{-1} 5\text{yr}^{-1}$), P_s = sannsynlighet for overlevelse over en 5-årsperiode, v = volum enkelttrær (m^3)

Uavhengige variabler: d = diameter i brystehøyde, h = trehøyde, bal = sum grunnflate for alle trær større en det aktuelle treet, BA = grunnflate i bestand, PBA_{sp} = treslagsfordeling med hensyn på grunnflate, N = treantall/ha, A = bestandsalder, H_D = overhøyde, LAY = dummy variabel for antall tresjikt, ALT = høyde over havet, LAT = breddegrad, SI = bonitet (H40), VT = dummyvariabel for vegetasjonstype, R = dummyvariabel for region

Modeller for å bestemme tømmerverdi og hogst- og kjørekostnader er også integrert i simulatoren (Tabell 6). Nåverdien kan dermed beregnes for alle behandlingsprogrammer. Simulatoren er således ”komplett” med hensyn på beregninger for enkeltbestand.

Tabell 6. Økonomiske basismodeller i T.

Oppgave	Treslag	Referanse	Avhengig variabel	Uavhengig variabler
Hogst	Alle	Dale et. al (1993)	P	v, N, U
Kjøring	Alle	Dale & Stamm (1994)	P	L _b , R _b , L _t , R _t , L _v , V _r
Tømmer- verdi	Gran	Lexerød & Gobakken (2002)	T _v	d, h, P _{diff}
	Furu	Blingsmo & Veidahl (1992)	T _v	d, h, P _{diff}
	Bjørk		T _v	Brukerdefinert verdi
	Annet lauv		T _v	

Avhengige variabler: P= produksjon per virketime (E₀), T_v = brutto tømmerverdi (kr/m³)

Uavhengige variabler: d = diameter i brysthøyde, h = trehøyde, v = trevolum, N= antall trær pr. ha før uttak, U = uttaksprosent (% av treantall før uttak), L_b = driftsveglengde på basvei med lass, R_b = driftsveglengde på basvei uten lass, L_t = driftsveglengde i terreng med lass, R_t = driftsveglengde I terreng uten lass, L_v = volum pr. lass, V_r = volum tatt ut pr. ha, P_{diff} =
$$\frac{pris_{sagtømmer} - pris_{massevirke}}{pris_{massevirke}} \times 100$$

En skogsimulator som T vil aldri kunne betraktes som ferdig. Det er alltid mulig å forbedre og utvide simulatoren. Dette gjelder også de biologiske basismodellene som beskriver tilvekst, avgang og rekruttering. I tillegg er det et stort utviklingspotensial med hensyn på å beskrive sammenhenger mellom skogbehandling, virkesegenskaper og brutto tømmerverdier slik at dette på en realistisk måte kan inngå i skogsimulatoren, og danne grunnlag for gode lønnsomhetsanalyser. Det er også et stort utviklingspotensial når det gjelder å beskrive sammenhenger mellom skogbehandling og produkter knyttet til biologisk mangfold, rekreasjon og andre ikke-tømmerprodukter.

Tabell 7 viser noen problemstillinger en kunne tenke seg å arbeide med framover. Det er her forsøkt å skille mellom utvikling som har fokus på strategisk og på operativ planlegging. For et verktøy som skal brukes til strategisk planlegging vil det viktigste være at en for større skogområder får fram noen få, men relevante og overordnede resultater. Ved operativ planlegging vil en generelt måtte stille større krav til detaljer for verktøyet. Dette gjelder både krav til oppløsning og informasjonsmengde i input, beskrivelsen av dynamikken i skogen over tid og framstillingen av resultater. Det vil også være naturlig å skille mellom verktøy med strategisk og operativt fokus med hensyn på hvor mange produkter som bør inngå i analysene. I verktøy med operativt fokus vil det være naturlig å konsentrere seg om få produkter, først og fremst fordi detaljrikdommen krever dette, men også fordi analyser knyttet til en del av produktene som ikke er tømmer (biologisk mangfold, rekreasjon, osv.), er mer relevante når større skogområder tas med i betraktning. Dette betyr i klartekst at en ved utviklingen av operative verktøy bør konsentrere seg om virkesproduksjon, og her forsøke å beskrive

dynamikk mellom og innen enkeltrær både med hensyn på størrelser som diameter og høyde, og egenskaper knyttet til krone, kvist og ved. Jo viktigere den strategiske delen av planleggingen er, det vil si jo større områder det er snakk om og jo lengre tidsperspektiv en har, jo større behov vil det være for å kartlegge andre produkter enn tømmer.

Tabell 7. Mulige utviklingsområder knyttet til skogsimulatoren T.

Utviklingsområde	Strategisk fokus	Operativt fokus
Biologiske basismodeller		
- Evaluering av eksisterende skogsimulator	X	X
- Biologiske basismodeller med fokus på operativ planlegging		X
- Biologiske basismodeller med fokus på strategisk planlegging	X	
- Distanseavhengige modeller for vekst og mortalitet		X
- Modeller for foryngelse, rekruttering og vekst i ung skog	X	X
Modeller for virkesegenskaper		
- Kvistegenskaper		X
- Råteutvikling		X
- Tilfeldige virkesfeil	X	X
Økonomisk modellgrunnlag		
- Modeller for salgsvolum i bestand	X	X
- Rutiner for beregning av bruttoverdi	X	X
- Produksjonsfunksjoner for hogst og kjøring	X	X
Modeller for "ikke-tømmerprodukter"		
- Modeller for biomasse og karbonbinding	X	
- Modeller for skogstruktur, biodiversitetsindikatorer og andre skogprodukter	X	

I det følgende gjennomgås de mulige utviklingsområdene vist i Tabell 7 mer i detalj. Noen av problemstillingene er beskrevet forholdsvis detaljert med en konkret målsetting og med forslag til materiale og metode, mens andre er mindre konkretisert. Det er ikke gjort noen prioriteringer mellom problemstillingene.

Det er også verdt å merke seg at de fleste av forslagene til videreutvikling vil føre til at simulatoren vil kunne gi en mer detaljert beskrivelse av de biologiske forholdene i skogen og flere behandlingsmuligheter. Dette betyr at spørsmål knyttet til for eksempel bestandsoptimalisering, visualisering og ikke minst til brukervennlighet og rapportering må gis mye oppmerksomhet. Dette er diskutert i avsnitt 6.2.

6.1.2. Biologiske basismodeller

Evaluering av eksisterende skogsimulator

Målsetting. Validere biologisk konsistens og realisme for skogs simulatoren T for et bredt spekter av skogforhold og skogbehandling.

Bakgrunn. En skogsimulator er et komplekst system som i tillegg til biologiske basismodeller (vekst, mortalitet, rekruttering) også består av ”ad-hoc-løsninger” og ”forutsetninger”. Under utviklingen av T ble det selvsagt gjort vurderinger rundt konsistensen for simulatoren. I tillegg ble det gjort beregninger for konkrete bestand som ga ”rimelige” resultater (Gobakken et al. 2007). Også de individuelle basismodellene i T er hver for seg evaluert på ulike måter. Det er imidlertid ikke gjennomført en systematisk evaluering (validering) av helheten for simulatoren. Slike helhetsvurderinger kan avdekke både problemer en ikke finner når enkeltmodellene vurderes hver for seg, og problemer knyttet til samspillet mellom enkeltmodeller og ”ad-hoc-løsninger”. En systematisk gjennomgang av helheten i en skogsimulator er krevende og dyr, og kanskje ikke så ”spennende” og ”innovativt”. Slike arbeider har derfor en tendens til å bli nedprioritert. Det finnes likevel noen få eksempler der det er fokusert på helheten i verktøyet (f.eks. Sterba & Monserud (1997), Nabuurs et al. (2000) og Eid (2004)).

Materiale og metode. En systematisk evaluering kan av T kan enten baseres på et godt dokumentert historisk datamateriale eller på systematiske følsomhetsanalyser. Ved den første tilnæringsmåten skulle en ideelt sett sammenlignet simulert og observert rekruttering, vekst og avgang over en lang periode for mange ulike typer bestand som er blitt behandlet på mange ulike måter. Det er mulig Landsskogtakseringens permanente prøveflater kunne brukes i et slikt opplegg. Norsk Institutt for Skog og Landskap har imidlertid data som egner seg bedre til dette. En slik undersøkelse bør derfor gjennomføres i samarbeid med denne institusjonen. Det er store utfordringer knyttet både til arbeidsmengde og tilgang på data for gjennomføringer av et slikt opplegg. Ved å holde seg til de ”vanligste” skogforholdene og ”vanligste” skogbehandlingene, og dermed kunne avgrense seg til 8-12 bestand, vil imidlertid arbeidsmengden bli overkommelig. Sammen med følsomhetsanalyser, der en systematisk vurderer effekter av ulike typer skogbehandling for ulike typebestand, vil dette kunne danne en god basis med hensyn på å kunne for å trekke sikre konklusjoner for biologisk konsistens og realisme i skogs simulatoren.

Biologiske basismodeller med fokus på operativ planlegging

Målsetting. Estimere, implementere og teste biologiske basismodeller for vekst, mortalitet og rekruttering med fokus på bruk i operativ planlegging

Bakgrunn. Ved operativ planlegging vil en generelt måtte stille store krav til detaljer. Dette gjelder både krav til oppløsning og informasjonsmengde (antall variabler) i input, i beskrivelsen av dynamikken i skogen over tid og i resultatframstillingen. Dette betyr at en i verktøy som skal brukes i operativ planlegging ikke bør basere seg på enkle biologiske basismodeller som godt beskriver et "gjennomsnitt", men må bygge opp et sett med modeller tilpasset ulike geografiske områder, skogforhold og skogbehandling. Et eksempel på en slik spesialtilpasning er tilvekstmodellen til Nilsen & Øyen (2002) utviklet for fjellskoghogst.

Materiale og metode. Selv om en også for slike modeller til en viss grad kunne tenke seg å bruke Landsskogtakseringens permanente prøveflater som grunnlagsmateriale, vil prøveflater fra ulike eksperimenter egne seg best. INA har bare begrenset tilgang på slike data, og det vil derfor her være naturlig å samarbeide med Norsk Institutt for Skog og Landskap, som har en omfattende database med godt dokumenterte permanente prøveflater fra ulike eksperimenter. Fordi det her er aktuelt med modeller for mange ulike skogforhold og skogbehandlinger, er det viktig at det gjøres valg og prioriteringer ut fra hva som etterspørres fra skogbruksnæringa. Ved å implementere slike modeller i T vil brukeren selv fra en "database" av modeller kunne velge de som passer best for de aktuelle skogforholdene og skogbehandlingene.

Biologiske basismodeller med fokus på strategisk planlegging

Målsetting. Estimere, implementere og teste biologiske basismodeller for vekst, mortalitet og rekruttering med fokus på bruk i strategisk planlegging.

Bakgrunn. For et verktøy som skal brukes til strategisk planlegging vil det viktigste være at en for større skogområder (fra skogeiendommer til landsdekkende analyser) får fram noen få, men relevante og overordnede resultater uten systematiske feil. Dette betyr at en i utgangspunktet bør utvikle biologiske modeller som er enkle og robuste, og som dekker et bredt spekter av skogforhold og skogbehandling. Dette medfører imidlertid at en må godta relativt store

tilfeldige feil for behandlingsenhetene (bestand) innen et skogområde, og at informasjonen som produseres må bli relativt lite detaljert.

De biologiske modellene som er implementert i T (Eid & Tuhus 2001, Lexerød 2005, Lexerød & Eid 2005b, Bollandsås 2007) har blitt utviklet på individuell basis og med en målsetting om best mulig tilpasning til de respektive materialer. Dette betyr at disse modellene er basert på litt forskjellige tidsperioder, at de har forskjellige uavhengige variable og at en i utviklingsfasen ikke har fokusert spesielt på helheten for skogsmodellen eller på strategisk planlegging.

Materiale og metode. For utvikling av slike modeller bør en ta utgangspunkt i alle eksisterende registreringer på Landsskogtakseringen permanente prøveflater. For å få konsistens mellom de ulike basismodellene (tilvekst, avgang, rekruttering) er det imidlertid viktig at en bruker samme datagrunnlag (antall prøveflater og antall perioder) for alle modeller, at det tilstrebes å bruke få uavhengige variabler, og at de samme uavhengige variablene i størst mulig grad inngår i alle modeller. Med tanke på skogsmodellens konsistens bør det også vurderes å bruke teknikker der en del av modellene (tilvekst og avgang) estimeres simultant.

Distanseavhengige modeller for vekst og mortalitet

Målsetting. Estimere, implementere og teste distanseavhengige basismodeller for vekst og mortalitet med fokus på bruk i operativ planlegging og forskning.

Bakgrunn. Det senere års utvikling av enkelttremodeller for diametervekst og naturlig avgang har vært basert på distanseuavhengighet. Det vil si at konkurransestatusen til alle enkelttrær i modellene blir beskrevet som forholdet mellom en variabel som beskriver det enkelte tre og en eller annen variabel som beskriver bestanden, eksempelvis som forholdet mellom diameteren for det aktuelle treet og gjennomsnittsdiameteren i bestanden. I et distanseavhengig konsept er konkurransestatusen til enkelttrær avhengig av avstander til naboer og størrelsen på disse. En slik beskrivelse av konkurransestatusen muliggjør en mer detaljert og nyansert framskrivning av dynamikken i et skogbestand. Dette gjelder selvsagt vekst i diameter og høyde, men også ulike egenskaper knyttet til kvist og ved. Internasjonalt finner en slike vekstmodeller blant annet i Tyskland (Pretzch et al. 2002) og Danmark (Brunner et al. 2006).

Metode og materiale. Ved INA tas det sikte på gjennom et doktorarbeid i løpet av 2008/2009 å utvikle distanseavhengige modeller for diameter- og høydevekst og naturlig avgang for norske forhold. Utviklingen av slike modeller krever data på trenivå som er koordinatbestemt, samt data for voksestedet og bestandet. Konkurransestatusen kan beskrives relativt enkelt som en funksjon av avstand til og størrelse for en eller flere nabotrær. Konkurransestatusen kan også beskrives gjennom ulike kronemål. Landsskogtakseringen permanente prøveflater vil bli brukt for å utvikle modeller både for diameter- og høydevekst og naturlig avgang. Distanseavhengige modeller kan forholdsvis enkelt implementeres i T fordi denne simulatoren allerede har en funksjonalitet som er tilrettelagt for dette. I tilknytning til en slik implementering er det også aktuelt å utvikle et grafisk brukergrensesnitt der dynamikken i skogen visualiseres tredimensjonalt. Verktøyet bør i første omgang fokusere på forskning, men kan på sikt utvikles for bruk i praktisk operativ planlegging.

Modeller for foryngelse, rekruttering og vekst i ung skog

Målsetting. Videreutvikle modellgrunnlaget for foryngelse, rekruttering og vekst i ung skog.

Bakgrunn. I mange skogsimulatorer, også internasjonalt, er det vanlig med separate modeller for bestandsutvikling i ung og eldre skog. Dette skyldes ofte at det er forskjellige takstsopplegg og forskjellige variabler som registrert i ung og eldre skog. Grensen for hva som defineres som ung og eldre skog kan variere. For Landsskogtakseringen i Norge går en slik grense mellom hogstklasse II og III. En annen årsak til at en ikke bruker de samme modellene for ung og eldre skyldes selvsagt at det er forskjellige biologiske prosesser en ønsker å beskrive.

I prinsippet kan denne fasen av bestandsutviklingen modelleres på to måter. Begge opplegg krever en foryngelsesmodell som har til oppgave å framskaffe tall for hvor mange planter av ulike treslag som etableres. I det ene tilfellet kombineres foryngelsesmodellen med rekrutteringsmodeller, mens foryngelsesmodellen kombineres med vekstmodeller (diameter- og høydevekst, naturlig avgang) i det andre tilfellet. For begge opplegg avløses henholdsvis rekrutteringsmodellene og vekstmodellene av de "vanlige" bestandsutviklingsmodellene for eldre skog når diameter eller høyde kommer opp til et visst nivå. I det følgende beskrives noen problemstillinger knyttet til modellering i ung skog.

Foryngelsesmodeller. I sin enkleste form kan slike modeller være en tabell hvor planteantall, treslagsfordeling og ventetid varierer med bonitet og foryngelsesmåte (planting eller naturlig foryngelse). Slike enkle foryngelsesmodeller brukes i AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS, og i den nye skogsimulatoren T (Gobakken et al. 2007). Det finnes også mer avanserte foryngelsesmodeller der etableringen av planter predikeres ved å beskrive prosesser som blomstring, frøspredning, frømodning, osv. En slik modell er utviklet i Finland (Pukkala 1987), og senere tilpasset norske forhold (Tuhus 1996). For praktisk planlegging vil imidlertid datainnsamlingen for bruk av slike modeller kunne bli for krevende, selv om det nå finnes databaser hvor en forholdsvis enkelt kan hente både nødvendige geografiske og klimarelaterte opplysninger.

Som et kompromiss mellom de enkle tabellene som er i bruk og modeller som er altfor krevende for praktisk planlegging kunne en imidlertid tenke seg å utvikle modeller i tråd med arbeidet til Hoen et al. (1998b). Basert på Landsskogtakseringens prøveflater så en her på sammenhenger mellom planteantall og variabler knyttet til voksested og foryngelsesmetode.

Rekrutteringsmodeller. Slike modeller predikerer antall småplanter som vokser forbi en viss dimensjon i løpet av en viss periode. Modellene går ikke konkret inn i prosessene i foryngelsesfasen (blomstring, frømodning, spiring, osv.), men predikerer antall planter direkte ut fra variabler som beskriver voksestedet og "bestandet". Bestanden vil her si resultatet av det som foryngelsesmodellen har predikert (planteantall og treslagsfordeling).

Skogsimulatoren T er bygd opp rundt rekrutteringsmodeller. Her blir antall trær som når 5 cm i diameter i løpet av en periode på 5 år predikert med separate modeller for ung ensjiktet skog (Lexerød & Eid 2005b) og eldre ensjiktet og all flersjiktet skog (Lexerød 2005). I begge tilfeller blir sannsynligheten for rekruttering predikert i et første steg, mens antall rekrutter gitt rekruttering predikeres i et andre. Ved deterministisk bruk av modellene finnes forventet antall trær som rekrutteres ved å multiplisere sannsynligheten for rekruttering med antall rekrutter, gitt rekruttering. Til slutt blir alle trærne som er rekruttert tildelt diameter som varierer mellom 5 og 9 cm etter en uniform fordeling. Modellene kan også brukes stokastisk.

Selv om rekrutteringsmodellene er blitt testet, og synes å fungere bra i T, er det flere usikkerhetsmomenter som burde undersøkes nærmere. For det første er det spørsmål om hvor lang tidsperiode en skal la rekrutteringsmodellene for ung ensjiktet skog gå. Det er også et åpent spørsmål om en uniform fordeling over diameterklassene 5, 7 og 9 er rett fordeling av de

trærne som blir rekruttert. Begge disse spørsmålene bør en empirisk kunne besvare ved å analysere data fra Landsskogtakseringens permanente prøveflater.

Vekstmodeller for ung skog. Alternativet til bruk av rekrutteringsmodeller er å forsøke å beskrive diameter- og høydevekst, samt eventuell naturlig avgang, for alle de plantene som kommer som et resultat av foryngelsesmodellen. Et eksempel på et slikt opplegg er gitt av Fahlvik & Nyström (2006) i Sverige. Det ble her for ungskog utviklet enkelttremodeller for høydevekst, og modeller som predikerer diameter ved en gitt høyde, for gran, furu og bjørk. Begge typer modeller baserer seg på variabler som beskriver trestørrelse, bestandet og voksestedet. Når det gjelder naturlig avgang baserte en seg på Näslund (1986) som både predikerer antall trær som dør og hvor mange år veksten forsinkes ved skader.

Landsskogtakseringen startet i 2004 med registreringer av høyde og diameter for enkelttrær også for permanente prøveflater i hogstklasse II. Dette betyr at en om 2-3 år vil ha tidsserier som muliggjør en lignende modellering av utvikling og naturlig avgang i ungskog som beskrevet for Sverige. I første omgang bør en imidlertid vurdere å teste de svenske modellene for å se om de kan brukes for norske forhold.

6.1.3. Modeller for virkesegenskaper

Målsetting. Utvikle modeller som kvantifiserer sammenhenger mellom sentrale prisdannende virkesegenskaper hos det enkelte tre og skogbehandling

Bakgrunn. Skogsimulatorens viktigste oppgave er, med en gitt starttilstand for et bestand, å simulere alternative behandlingsprogrammer som kan sammenlignes med hensyn på produksjon og lønnsomhet. For å få til dette må en, i tillegg til å ha biologiske basismodeller for rekruttering, vekst og avgang, utvikle modeller som kvantifiserer sammenhenger mellom sentrale prisdannende virkesegenskaper hos det enkelte tre og skogbehandling. Deretter må disse virkesegenskapene knyttes til gjeldene prissystem slik at brutto tømmerverdi for det enkelte tre, og dermed verdien for bestandet kan beregnes (se også avsnitt 6.1.4).

De viktigste prisdannede egenskapene hos et tre er treslag og tredimensjon (diameter i brysthøyde, høyde og avsmalning). Ut fra de biologiske basismodellene for vekst som er

implementert T og standard avsmalningstabeller, kan en gjennomføre en aptering av det enkelte tre som er knyttet til gjeldene prissystemet, og som gir en tømmerverdi avhengig av treslag og tredimensjon. Sammenhengen mellom tømmerverdi og skogbehandling, slik det i dag fungerer i T, vil derfor først og fremst reflekteres gjennom variasjoner i diametertilvekst hos enkeltrær. Dette er igjen variasjoner som er avhengig av bestandstetthet (treantall eller volum per ha), og bestandstetthet reguleres i sin tur gjennom ulike skogbehandlinger.

I tillegg til treslag og dimensjon vil tømmerverdien også bli påvirket av andre virkesegenskaper som delvis er avhengig av skogbehandlingen. Slike virkesegenskaper er kvistegenskaper, egenskaper knyttet til råteutvikling og egenskaper som kan defineres som tilfeldige virkesfeil. I hovedsak vil disse egenskapene redusere tømmerverdien ut fra et nivå basert på treslag og tredimensjon alene, der en forutsetter at alt virke er feilfritt. I det følgende skisseres noen muligheter for hvordan sammenhengen mellom disse egenskapene og skogbehandling kan modelleres og integreres i en skogsimulator. Modellering av mekaniske virkesegenskaper og egenskaper knyttet til densitet blir ikke diskutert her (se f.eks. Wilhelmsson 2002).

Kvistegenskaper. Ulike egenskaper knyttet kvist og krone gir viktige bidrag til å sette en verdi på treet. Slike egenskaper kan være antall kvistkranser, antall kvister i kransen, kvistdiameter og kvistvinkel. Kvistmodellene kan deles inn i statiske modeller og dynamiske modeller. For den første kategorien predikeres kvistegenskaper for individuelle trær ut fra dimensjon (f. eks. diameter) og ulike bestands- og voksestedsvARIABLER (f.eks. treantall pr. ha, bonitet) (se f.eks. Vestøl et al. 1999, Vestøl & Høibø 2001). Slike modeller reflekterer i liten grad historikken i bestandet når det gjelder variasjon i vekst og konkurranseforhold over tid. I dynamiske modeller forsøker en å koble endringer i vekst og konkurranseforhold med kvistegenskapene. Dette kan oppnås ved å bruke diametertilvekst predikert med en tilvekstmodell som uavhengig variabel i kvistmodellene, sammen med trestørrelse og ulike bestands- og voksestedsvARIABLER. På denne måten vil det dynamiske elementet bli inkorporert i kvistmodellene. Med distanseuavhengige tilvekstmodeller, slik en har i T, kunne en også bruke konkurranseindekser som uavhengige variable slik at også endringer i konkurranseforhold for enkeltrær over tid tas hensyn til i kvistmodellene. I Norge er det foreløpig ikke utviklet dynamiske kvistmodeller basert på distanseuavhengige tilvekstmodeller, men internasjonalt finnes det noen eksempler (Hein et al. 2007, Houllier et al. 1995, Schmidt 2004, Moberg 2006). I fleraldret skog hvor det skal gjennomføres selektive hogster må kvistmodellene antagelig baseres både på å beskrive det enkelte tres plassering i forhold til andre, det vil si at modellene må kobles med

distanseavhengige tilvekstmodeller. I tillegg bør også kvistdynamikken modelleres direkte ved å registrere tilvekst av kvistlengde og kvistdiameter. Et av svært få eksempler på slike modeller er utviklet i Tyskland i forbindelse med skogsimulatoren SILVA (Seifert 2003).

Det er svært ressurskrevende å samle inn grunnlagsdata for å utvikle kvistmodeller. INA har i dag noe data som kan egne seg til å utvikle enkle modeller for ensaldret gran og furu, der en baserer seg på distanseuavhengig tilvekstmodeller. Norsk Institutt for Skog og Landskap har data der historikken er godt dokumentert som også vil kunne egne seg til slik modellering. Ved INA er det også i 2007 samlet inn et materiale der tilvekst for kvistlengde og kvistdiameter er registrert, i tillegg til alle andre tre- og tilvekstdata som er koordinatfestet. Sammen med distanseavhengige vekstmodeller, som også er under utvikling (se avsnitt 6.1.2), vil dette kunne danne en basis for å utvikle kvistmodeller som ligner opplegget i Tyskland.

Råteutvikling. Rotråte forårsaker store økonomiske tap for skogbruket i Norge. Likvel er det gjort få forsøk på å se råteforekomst og råteutvikling i sammenheng med planlegging og prognoseverktøy i Norge. I Sverige og Finland finnes det arbeider der en har forsøkt å modellere forekomst og vekst av råte for å bruke dette i planlegging og simuleringsverktøy (Pukkala et al. 2005, Thor et al. 2005). Det ville være spesielt interessant å se på dette i forbindelse med konvensjonelle tynninger og selektive hogster, der en vet at skader fra hogstmaskin med påfølgende infeksjon og spredning av råte kan være et problem. En kunne her tenke seg å bygge opp et sett med modeller der en først predikerer sannsynligheten for at et tre får en skade (sår) gjennom et hogstinnngrep som en funksjon av hogstmetode, og bestands- og voksestedsvariabler. Deretter predikeres sannsynligheten for at tre blir infisert, gitt at det er en skade, som en funksjon av enkelttre-, bestand- og voksestedsvariabler. Det siste steget blir å utvikle modeller for hvordan råten vokser i det enkelte tre som er infisert. Også her bør en i utgangspunktet bruke variabler som beskriver enkelttrær, bestand og voksested. For de to første stegene i dette i modellapparatet kan en bruke logistiske modeller, mens en for det siste steget bruker regresjonsmodeller. Lignende måter å tilnærme seg biologiske fenomener på har tidligere blant annet blitt brukt for å beskrive rekruttering og naturlig avgang i skog (se f.eks. Eid & Øyen 2001, Friedman & Ståhl 2001, Lexerød 2005, Lexerød & Eid 2005b).

Å utvikle råtemodeller vil være ressurskrevende med hensyn på datainnsamling. Det har tidligere i regi av Norsk Institutt for Skog og Landskap vært gjennomført flere store undersøkelser rundt råte og råteutvikling i Norge. Det er mulig data fra noen av disse

undersøkelsene kan være et utgangspunkt, og at en ved å samle inn noe supplerende data vil kunne starte arbeidet med å utvikle modeller tilpasset for eksempel i ensaldret granskog.

Tilfeldige virkesfeil. I alle skogbestand vil en viss andel av trærne ha skader som er "tilfeldige". Dette kan være krok, tennar, dobbeltopp eller gankvist. Alle slik feil fører til at massevirkeandelen øker utover det som er en følge av avsmalning og topp. I AVVIRK-2000 og GAYA-SGIS, og i den første utgaven av T, blir det tatt hensyn til dette ved at brukeren kan sette inn andelen "ekstraordinært massevirke" (på bestandsnivå eller for visse treslag og boniteter). I mangel av modeller for råteforekomst- og utvikling har i praksis også råte vært inkludert i denne andelen. Det er liten tvil om at andelen ekstraordinær massevirke varierer mye. Å sette inn en slik andel krever derfor godt kjennskap til forholdene i skogen. Et sentralt spørsmål er også hvor tilfeldige disse feilene er, eller om det er noe "mønster" i variasjonene.

En mulig måte å kvantifisere andelen ekstraordinært massevirke på, og kanskje utvikle enkle modeller som kan brukes i en skogsimulator, vil være å ta utgangspunkt i innrapportert salgsvolum som viser fordelingen mellom ulike sortimenter inkludert andelen massevirke, og knytte dette opp mot størrelser som er registrert for avvirkningsarealet (for eksempel ut fra treslag, bestandstetthet, bonitet, høyde over havet, region, osv.). Andelen "ordinært massevirke", det vil massevirke som skyldes avsmalning og topp kan beregnes ved hjelp av funksjoner, og en vil dermed ha tall for andel ekstraordinært massevirke. Det er tvilsomt om det er mulig å skille mellom ekstraordinært massevirke som skyldes råte og andre feil. Dette betyr at eventuelle modeller som utvikles ikke kan brukes i kombinasjon med råtemodeller.

Datainnsamlingen til utvikling av slike modeller må ikke nødvendigvis bli veldig dyr. Salgsvolum for all avvirkning i Norge registreres rutinemessig av tømmermålinga og samles i en sentral database, mens opplysninger om avvirkningsarealet kan tas fra skogbruksplaner og andre kilder. Utfordringen blir å "følge" rett kvantum fra avvirkningssted til den sentrale databasen for salgsvolum. Anslagene for ekstraordinært massevirke vil bli forholdsvis "grove". Bruk av slike modeller vil antagelig gi store tilfeldige feil på bestandsnivå, og dermed være lite egnet for en detaljert operativ planlegging. For strategisk planlegging og konsekvensanalyser for større skogområder vil imidlertid slike modeller gi svært nyttig empiri som vil gjøre verdianslagene, og dermed lønnsomhetsanalysene sikrere.

6.1.4. Økonomisk modellgrunnlag

Modeller for salgsvolum i bestand

Målsetting. Utvikle modeller som kvantifiserer differansen mellom skogsvolum og salgsvolum i bestand under ulike forhold

Bakgrunn. Volum som presenteres i en skogbruksplan, eller i en prognose, er alltid et brutto skogsvolum under bark med topp. Det vil imidlertid være like interessant med anslag for salgsvolum. Dette betyr at en må kvantifisere hvordan forskjellene mellom skogsvolum og salgsvolum varierer under ulike forhold. For det første vil det etter en hogst, i tillegg til toppen, bli liggende igjen avfall i form trær som ryddes ned, avkapp og bult på grunn av råte og krok, brekkasje/ødelagte trær og gjenglemte stokker. I tillegg vil det også være trær som med hensikt blir satt igjen av hensyn til biologisk mangfold. De siste vitenskaplige undersøkelsene når det gjelder forskjeller mellom skogsvolum og salgsvolum ble gjort for nesten 30 år siden (Guldbrandsen 1980, 1981). Disse undersøkelsene viste at forskjellene varierte med type avvirkning (tynning og sluttavvirkning), og med bonitet, treslag og andre forhold knyttet til bestandet. Dette er faktorer som også i dag er viktige. Alle endringene som har skjedd teknisk i forhold til avvirkning og ny praksis relatert til biologisk mangfold tilsier imidlertid at det er behov for en ny kartlegging av dette. Gjennom en slik undersøkelse ville en kunne utvikle modeller som estimerer forskjellene mellom skogsvolum og salgsvolum. Slike modeller kan brukes for å estimere salgsvolum både i skogbruksplanen og i prognoseverktøyet. Dette vil også gi bedre estimater for bruttoverdien i bestand.

Materiale og metode. I en nylig avsluttet masteroppgave (Asper 2007) ble det for et nett av systematisk prøveflater innen bestand registrert skogsvolum, volum for alt hogstavfall, volum for alle trær som sto igjen etter hogst og salgsvolum. Registreringene, som ble gjennomført i 40 bestand, var svært ressurskrevende og kan neppe gjennomføres for en større undersøkelse med en målsetting om å lage modeller som er representative for større områder og store variasjoner i skogforhold. Registreringsopplegget som ble testet i masteroppgaven kan imidlertid brukes for et utvalg av bestand som danner et grunnlag for å kalibrere resultatene en vil få med billigere, men langt mer usikre opplegg. To mulige slike opplegg er 1) å finne forskjellen mellom skogsvolum og salgsvolum ut fra data i skogbruksplanen og data fra hogstmaskiner, eller 2) å finne forskjellen fra data i skogbruksplanen og salgsvolum registrert av tømmermålinga.

Beregningsrutiner for bruttoverdi

Målsetting. Videreutvikle rutinene for å beregne bruttoverdi i bestand basert på enkelttrærs dimensjoner og virkesegenskaper

Bakgrunn. I den første versjonen av skogs simulatoren T (Gobakken et al. 2007) blir det brukt funksjoner for gran og furu med inngang diameter og høyde for å beregne bruttoverdien til enkelttrær (Lexerød & Gobakken 2002, Blingsmo & Veidahl 1992). Disse funksjonene er basert på en gitt grunnpristabell, dvs. prisforhold mellom tømmerstokker med forskjellig lengde og diameter, og gjelder strengt tatt bare for de prisforutsetningene som ligger i dette. I et nylig avsluttet prosjekt er det imidlertid i T utviklet et opplegg der en i stedet for funksjoner bruker ulike sett med stammeprismatriser for gran og furu som viser trærnes bruttoverdi avhengig av diameter og høyde (Lexerød & Gobakken 2007). Stammeprismatrisene tar utgangspunkt i ulike prisforholdstabeller fra ulike sagbruk og er framkommet gjennom en optimal aptering av simulerte stamme profiler med dataprogrammet OptAp (Gobakken 2000b). Bruttoverdien for bestandet som framkommer gjennom disse matrisene kan justeres i henhold til brukerens anslag for andel ekstraordinært massevirke og eventuelt anslag for andel spesialtømmer (stolper, finér).

Materiale og metode. I det videre arbeidet med verdiberegninger kan en tenke seg en to-trinnsprosess. For det første kan en videreutvikle opplegget med stammeprismatriser, der en i tillegg til høyde og diameter bygger inn kriterier for verdijusteringer i samsvar den informasjonen en får fra kvistmodellene. Dette forutsetter selvfølgelig at kvistmodeller er utviklet og implementert i T. Trinn to er å starte utviklingen av et opplegg der en, ved hjelp av dynamisk programmering, for hvert tre gjennomfører en optimalisering av apteringen i tråd med prissystemet og de opplysninger som finnes for treets dimensjon (diameter, høyde) og kvistegenskaper. Også et slikt opplegg forutsetter at kvistmodeller er utviklet og implementert i T. Rent praktisk vil en kunne løse dette ved å integrere en modifisert versjon av Optapt med T. Dette betyr at T vil fungere dynamisk i forhold til både den biologiske utviklingen og prissystemet ved at hvert enkelt tre blir aptert på mange ulike tidspunkt etter hvert som det vokser. Et slikt opplegg medfører imidlertid også at beregningen blir mer krevende og at kravene til datamaskinkapasitet øker betraktelig. Ved bestandsvise beregninger med et operativt fokus vil antagelig ikke dette være noe stort problem, men ved beregninger for mange bestand vil beregningene kunne ta lang tid.

Produksjonsfunksjoner for hogst og kjøring

Målsetting. Utvikle produksjonsfunksjoner for hogst og kjøring som reflekterer dagens teknologi og skogbehandling

Bakgrunn. Driftskostnadene varierer med skogbehandling, skogforhold og teknologi. I eksisterende skogsimulatorer inkludert T kan det velges mellom tre ulike måter å beregne driftskostnader på; brukeren kan oppgi kostnader i kroner pr. m³ for hogst og kjøring, kostnader kan bregnes ut fra skogbrukstariffen eller kostnader pr. m³ kan baseres på funksjoner som gir produksjonen pr. time (Dale et al. 1993, Dale og Stamm 1994) og tall for maskinkostnaden pr. time. I opplegget med produksjonsfunksjoner varierer kostnadene med faktorer som dimensjon på trær som tas ut, andel av stående volum som tas ut, uttak pr. hektar og driftsveilengde. Produksjonsfunksjonene er basert på tidsstudier gjennomført tidlig i 1990-årene, og teknologien har ender seg siden da. Tidsstudiene dekker heller ikke alle aktuelle typer hogster (se Eid 1998b). Det er derfor behov for en oppdatering av produksjonsfunksjonene.

Materiale og metode. Det er ønskelig med nye produksjonsfunksjoner både for ensaldret skog og fleraldret skog. Funksjonene bør være basert på tidsstudier fra bestand med ulike driftsforhold og skogtilstand. I ensaldret skog bør funksjonene omfatte sluttavvirkninger inkludert snauhogst, etablering av frøtrestilling og skjerm, avvikling av frøtrestilling og skjerm og tynning med ulik innretning (varierende uttaksandel, høytynning og lavtynning). I fleraldret skog bør funksjonene omfatte selektive hogster.

6.1.5. Modeller for ikke-tømmerprodukter

Modeller for biomasse og karbonbinding

Målsetting. Implementere modeller som kvantifiserer sammenhenger mellom mengde biomasse/bundet karbon og skogbehandling

Bakgrunn. Det brukes generelt mye ressurser på å samle inn informasjon om skogtilstanden, og det er derfor viktig å utnytte alle verdier som potensielt ligger i slik informasjon. Økt fokus på bioenergi samt internasjonale avtaler knyttet til karbonrapportering åpner opp for nye

områder der informasjonen kan brukes. Ved å synliggjøre muligheter og konsekvenser for problemstillinger knyttet til skogbehandling, biomasse og karbonbinding, vil derfor verdien av informasjonen som samles inn kunne økes ytterligere.

Data for diameter- og høydetilvekst for enkelttrær over tid gir et godt utgangspunkt for å lage prognoser der en studerer biomasse/karbon. I forhold til i tidligere studier (f.eks. Hoen & Solberg 1994, Raymer et al. 2007) som har benyttet SGIS og AVVIRK-2000, der framskrivingene er arealbaserte, kan en med enkelttremodeller studere effektene av ulike hogstinngrep, for eksempel selektiv hogst kontra flatehogst, og ulike foryngelsesalternativ, for eksempel naturlig foryngelse kontra planting med forskjellig planteantall.

Materiale og metode. Internasjonalt finnes det mange modeller knyttet til biomasse- og karbonbinding i skog. I Norges offisielle rapportering av biomasse- og karbonbinding i skog benyttes svenske modeller for biomasseberegning i trevirke (Marklund 1988) og finske modeller for karbonmengden i skogsjord (Liski et al. 2006). Ved å implementere disse modellene i T vil simulatoren kunne benyttes til å analysere skogbehandlingen der de følgende komponenter relatert til biomasse- og karbonberegning er integrert; trærnes vekst og avgang, akkumulering av dødt trevirke, nedbryting av dødt trevirke fra hogstavfall, jordprosesser, sluttprodukt av treprodukt og redusert utslipp av karbon pga. substitusjon av mer energikrevende materialer med trevirke eller bruk av trevirke som energi i stedet for fossile energikilder.

Modeller for nytteprodukter, biologisk mangfold og rekreasjon

Målsetting. Utvikle modeller som kvantifiserer sammenhenger mellom ulike nytteprodukter /skogstruktur/biodiversitetsindikatorer og skogbehandling

Bakgrunn. Forvaltning av skog har tradisjonelt fokusert på tømmerproduksjon, og kanskje mindre på andre produkter og verdier som kan fås fra skogen. Dette har også vært reflektert i bruken av prognoseverktøyene ved at en har forsøkt å ta hensyn til slike produkter/verdier gjennom å legge restriksjoner på virkesproduksjonen, og deretter sammenlignet de reduksjoner i lønnsomhet dette har gitt med den potensielle nytten, eventuelt inntjeningen en kan få fra andre produkter. Eksempler på slike analyser gjort med prognoseverktøy er gitt av Eid et al.

(2001, 2002) og Nersten et al. (1999) knyttet til henholdsvis vurderinger av biologisk mangfold og produksjon av elg. Et alternativ til denne typen analyser er å utvikle modeller som direkte kvantifiserer de produkter eller verdier en er ute etter, eventuelt indikatorer på slike verdier.

Nytteprodukter. Det produseres flere ”nytteprodukter” i skog som er avhengig av skogtilstand og skogbehandling. Eksempler på slike produkter er hjortevilt, skogsfugl, sopp og bær. Modeller som kvantifiserer sammenhengen mellom produsert mengde av slike ”produkter” og skogbehandling/skogtilstand vil kunne integreres i en skogsimulator slik at tømmer og andre produkter blir ”likestilt” i prognosene. Et eksempel på en slik modell er utviklet av Ihalainen et al. (2003) i Finland. Modellene kvantifiserte sammenhenger mellom produksjon av blåbær og tyttebær og størrelser knyttet til voksested (produktivitet) og bestand (tetthet, trestørrelse). Ved at variablene som beskriver bestandet blir påvirket av skogbehandlingen vil en indirekte kunne kvantifisere sammenhengen mellom skogbehandling og bærproduksjon. I Norge har Landsskogtakseringen nå over noen år registrert dekningsgrad av blåbærlyng på de permanente prøveflatene. Dette datamaterialet kan brukes til å utvikle modeller som kvantifiserer sammenhengen mellom skogbehandling og produksjon av blåbærlyng. For å finne sammenhengen mellom produksjon av blåbærlyng og blåbær må det samles inn ytterligere informasjon.

Biologisk mangfold og rekreasjon. Kvaliteter knyttet til biologisk mangfold og rekreasjon kan beskrives indirekte gjennom indekser eller indikatorer. I Norge har Lexerød & Eid (2006ab) testet og utviklet bestandsindekser som fokuserer på planlegging av skogbehandling. Disse indeksene beskriver skogstrukturen for enkeltbestand, først og fremst ved å kvantifisere variasjoner i diameter og høyde. Slike indekser kan brukes i skogsimulatorer for å styre skogbehandlingen. Indeksene til Lexerød & Eid (2006ab) er implementert i T og kan brukes på denne måten. Schulte & Buongiorno (1998) og Wikström & Eriksson (2000) har beskrevet lignende løsninger. Slike indekser kan også utvikles til å beskrive biologisk mangfold mer direkte (se f.eks. Neumann & Starlinger 2001, Lähde et al. 2002), og deretter implementeres i en skogsimulator for å styre skogbehandlingen eller kvantifisere effekter av skogbehandlingen. Indekstankegangen kan også utvides til ikke bare å beskrive biologisk mangfold (biodiversitet) innen bestand, men også mellom bestand (se f.eks. Edenius & Mikusinski 2006) slik at også estetiske aspekter og rekreasjon og strategiske problemer kan analyseres.

6.2. Infrastruktur

Selv om skogs simulatoren er ”motoren” i prognoseverktøyet og denne legger de grunnleggende føringene for hvilke beslutningsnivåer, produkter, planleggingsnivåer og planleggingshorisonter en kan forholde seg til, er det nødvendig å bygge opp en ”infrastruktur” rundt simulatoren som tar seg av andre oppgaver som prognoseverktøyet skal utføre. I det følgende diskuteres de ulike elementene som inngår i prognoseverktøyet med fokus på problemstillinger for å tilpasse disse til praktisk skogbruksplanlegging.

6.2.1. Konverteringsmodul

Databasene med informasjon om skogen og skogarealene defineres ikke som en del av prognoseverktøyet. Ansvar for disse databasene ligger hos ”næringa”, og det har etter hvert blitt utviklet flere ulike løsninger. Det må imidlertid legges til rette for at de ulike databasene skal kunne kommunisere med selve prognoseverktøyet. Denne kommunikasjonen må styres gjennom en konverteringsmodul som er nært integrert med prognoseverktøyet.

Konverteringsmodulen har tradisjonelt vært en ”akilleshæl” for bruk av prognoseverktøy. Mye tid og krefter er blitt brukt på å tilrettelegge data, og antagelig er en ”god” konverteringsmodul en helt grunnleggende forutsetning for at prognoseverktøyene i særlig grad skal bli brukt i praksis. Konverteringsmodulen i sin enkleste form vil bare ha som omformål å spesifisere formater for innlesning fra databasen av de variablene som nødvendige for å kunne kjøre prognosen. Det vil imidlertid være svært sjelden at ”output” fra databasen i sin helhet kan brukes direkte som ”input” i prognosen. Konverteringen kan derfor bestå i alt fra å gjøre om volum pr. dekar til volum pr. hektar til å produsere detaljert informasjon om enkelttrær. Fordi framtidens skogsimulator vil bli basert biologiske og økonomiske modeller for enkelttrær, må en i konverteringsmodulen ta høyde for at det kreves informasjon for trær, for bestandet og for voksestedet (se også avsnitt 5). De viktigste rutinene knyttet til en konverteringsmodul som må utvikles er;

- rutiner for å handtere identifikasjonen til skogarealene slik at all informasjon er stedfestet fra enkelttrær (eventuelt bestand) og oppover til teig, eiendom, kommune, osv.
- rutiner som kvalitetssikrer data som leses inn gjennom logiske tester.

- rutiner som fanger opp og produserer eventuelle data som mangler for alle aktuelle takstmetoder. Dette bør inkludere totalklaving av bestand, klaving av systematiske prøveflater innen bestand, konvensjonell lasertakst, konvensjonell bestandstakst med relaskop eller fototolking og lasertakst med enkelttresegmentering (se også avsnitt 5.2).

Alle rutiner må være godt dokumentert.

6.2.2. GIS-verktøy

Framtidas prognoseverktøy må være integrert med et GIS-verktøy. Det bør imidlertid ikke være slik at GIS-verktøyet er en nødvendig forutsetning for å kunne kjøre prognosene. At GIS-verktøyet er integrert med prognoseverktøyet betyr at behandlingsalternativene i skogsimulatoren kan styres direkte ut fra kartgrensesnittet og at det kan legges inn arealrestriksjoner (vern, andel gammelskog, osv.) som kommuniseres direkte med beslutningsmodulen. I tillegg skal resultatene fra prognosen kunne visualiseres i form av temakart som GIS-verktøyet produserer. Slik funksjonalitet finnes allerede i SGIS, men det er et stort potensial for videreutvikling. Det bør imidlertid vurderes om det skal velges ulike løsninger avhengig av om verktøyet skal brukes i operativ eller strategisk planlegging. Et eksempel på dette er muligheten for å utvikle muligheten for en tredimensjonal visualisering av utviklingen i bestand over tid. En slik løsning vil kunne brukes i operativ planlegging, men vil antagelig bli for krevende ved strategisk planlegging

6.2.3. Beslutningsmodul

I beslutningsmodulen søkes løsningen (den optimale) på skog- og bestandsnivå ut fra målsettinger definert av brukeren. I SGIS brukes kjente prinsipper knyttet til lineær programmering for å finne den optimale løsningen. Modulen er basert på programvaren J (Lappi 2003) og er meget fleksibel med hensyn på å definere ulike objektfunksjoner og restriksjoner.

En lignende løsning med lineær programmering vil en også bruke i framtida, men det vil også bli vurdert å bruke av andre optimeringsmetoder. I tillegg må det vurderes om det også skal være muligheter for fullstendig brukerdefinerte beregninger (slik det er i AVVIRK-2000 i dag)

slik at en kan ha en "heuristisk" tilnærming til dette, det vil si at brukeren på en "bevisst og intelligent måte" må sondere mellom ulike behandlingsalternativer helt til den ønskede løsningen er identifisert. Et slikt opplegg kan "ordnes" i brukergrensesnittet ved at en kjører gjennom optimeringsrutinene men med bare ett eller noen få alternativer for ulike behandlinger.

6.2.4. Brukergrensesnitt og rapporter

Utviklingen av brukergrensesnitt og rapporter må i stor grad være basert på et nært samarbeid med brukerne. Når det gjelder brukergrensesnittet tenker en seg muligheten for å utvikle ulike brukertilpassede versjoner, enten ut fra hvor avansert bruk en forventer eller ut fra om verktøyet skal brukes i operativ eller strategisk planlegging;

- enkel versjon med ferdig definerte standardforutsetninger og få styringsmuligheter, og/eller en avansert versjon der brukeren har tilgang på alle styringsmuligheter
- en forholdsvis enkel versjon tilpasset strategisk planlegging der brukeren bare kan forholde seg til "overordnede" forutsetninger, eller en versjon tilpasset operativ planlegging med stor grad av detaljstyring

Bortsett fra noen få rapporter bør det ikke ved utviklingen av rapportgeneratoren legges mye vekt på å framstille "fancy" resultater. Den viktigste oppgaven til rapportgeneratoren er å produsere datafiler som inneholder periodiske opplysninger om alle aktuelle variabler (alder, middelhøyde, middeldiameter, treantall, volum, bruttoverdi, osv.) for den optimale/valgte løsningen. Ut fra disse datafilene kan en i prinsippet, med ulike verktøy (excel, GIS, osv.), produsere et uendelig antall ulike rapporter (og kart) både for enkeltbestand og for hele skogområdet som omfattes av analysen. Dette bør det i størst mulig grad være opp til brukerne å utvikle opplegg for.

Referanser

- Bergseng, E., Ask, J.A., Framstad, E., Gobakken, T., Solberg, B. & Hoen, H.F. 2007. Biodiversity protection in long-term boreal forest management – balancing economic and ecological aspects in complex modelling. Manuskript.
- Asper, Å. 2007. Forskjellen mellom skogsvolum og salgsvolum i utvalgte granbestand. Masteroppgave ved Institutt for naturforvaltning, Universitetet for miljø- og biovitenskap. 51 s.
- Barth, A., Lind, T. Petterson, H. & Ståhl, G. 2006. A framework for evaluating data acquisition strategies for analyses of sustainable forestry at national level. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21 (Suppl 7): 94-105).
- Blingsmo, K. 1984. Diametertilvekstfunksjoner for bjørk-, furu- og granbestand. Rapp. Nor.inst. skogforsk. 7/84:1-22.
- Blingsmo, K. & Veidahl, A. 1989. Program for bestandsprognoser. Produksjon - Dimensjonsfordeling - Økonomi. Informasjonsmøte i skogbruk 1989. Statens fagtjeneste for landbruket 4: 143-148.
- Blingsmo, K. & Veidahl, A. 1992. Funksjoner for bruttopris av gran- og furutrær på rot. Rapp.Skogforsk. 8/92:1-23.
- Bollandsås, O. M. 2007. Uneven-aged forestry in Norway: Inventory and management models. Thesis: 2007:30. Department of Ecology and Natural Resource Management, Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Bollandsås, O. M. & Næsset, E. 2007. Estimating percentile-based diameter distributions in uneven-sized Norway spruce stands using airborne laser scanner data. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22: 33-47.
- Brantseg, A. 1967. Volumfunksjoner og tabeller for furu. Sør-Norge. Meddr. norske Skogfors Ves. 22: 695-739.
- Brunner, A., Hahn, K., Biber, P. & Skovsgaard, J.P. 2006. Conversion of Norway spruce: A case study in Denmark based on silvicultural scenario modelling. - S 343-371 i: Hasenauer, H. (ed.). Sustainable forest management. Growth models for Europe. - Springer, Berlin.
- Braastad, H. 1966. Volumtabeller for bjørk. Meddr. norske Skogfors Ves. 21: 23-78.
- Braastad, H. 1967. Produksjonstabeller for bjørk. Meddr. norske Skogfors Ves. 22, 265-365.
- Braastad, H. 1982. Naturlig avgang i granbestand. Rapp.Nor.inst.skogforsk. 12/82:1-46.
- Dale, Ø. & Stamm, J. 1994. Grunnlagsdata for kostnadsanalyse av alternative hogstformer Rapp.Skogforsk 7/94:1-37.

- Dale, Ø., Kjøstelsen, L. & Aamodt, H.E. 1993. Mekaniserte lukkede hogster. Side 3-23 i: Aamodt, H.E. (ed.). Flerbruksrettet driftsteknikk. Rapp.Skogforsk 20/93:1-40.
- Duvemo, K.& Lämås, T. 2006. The influence of forest quality data on planning processes in forestry. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21:327-339.
- Edenius, L. & Mikusinski, G. 2006. Utility of habitat suitability models as biodiversity assessment tools in forest management. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21 (Suppl. 7) 62-72.
- Eid, T. 1990. Long term forest planning. Economical and biological production possibilities of a forest. Agricultural University of Norway, Ås, Doctor scientiarum theses. 1990 (9), 143 s.
- Eid, T. 1998a. Noen betraktninger omkring balansekvantum og langsiktig produksjonsnivå for et skogområde. Forelesningsnotat RØP210. Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole. 11 s.
- Eid, T. 1998b. Langsiktige prognoser og bruk av prestasjonsfunksjoner for å estimere kostnader ved mekanisert drift. Rapport fra skogforskningen 7/98:1-31.
- Eid, T. 2000. Use of uncertain inventory data in forestry scenario models and consequential incorrect harvest decisions. *Silva Fennica* 34:89-100.
- Eid, T. 2001. Models for prediction of basal area mean diameter and number of trees for forest stands in south-eastern Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 467-479.
- Eid, T. 2002. En vurdering av eksisterende diameter- og høydefordelingsmodeller. Rapport fra skogforskningen. 4/02:1-25.
- Eid, T. 2003. Model validation by means of cost-plus-loss analyses. Side 295-305 i Amaro, A., Reed, D. & Soares, P. (Red.). *Modelling forest systems*. CABI publishing, London, UK.
- Eid, T. 2004. Testing a large-scale forestry scenario model by means of successive inventories on a forest property. *Silva Fennica* 3:305-317.
- Eid, T. & Hobbelstad, K. 1999. AVVIRK-2000 - et Edb-program for langsiktige investerings-, avvirknings- og inntektsprognoser i skog. Rapport Supplement fra skogforskningen 8/99:1-63.
- Eid, T. & Hobbelstad, K. 2000. AVVIRK-2000 - a large scale scenario model for long-term investment, income and harvest analyses. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 472-482.
- Eid, T. & Hobbelstad, K. 2005. Langsiktige investerings-, avvirknings- og inntektsanalyser for skog med Avvirk-2000. *Aktuelt fra skogforskningen*.2/05: 1-29.

- Eid, T. & Hobbelstad, K. 2006. Langsiktige konsekvensanalyser – etterprøving basert på Landsskogtakseringens prøveflater og avvirkningsstatistikk. Rapport fra skogforskningen. 2/06:1-26.
- Eid, T. & Næsset, E. 1998. Determination of stand volume in practical forest inventories based on field measurements and photo-interpretation: The Norwegian experience. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13:246-254.
- Eid, T. & Tuhus, E. 2001. Models for individual tree mortality in Norway. *Forest Ecology and Management* 154: 69-84.
- Eid, T. & Øyen, B-H. 2003. Models for prediction of mortality in even-aged forest. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 64-77.
- Eid, T., Gobakken, T. & Næsset, E. 2004. Comparing stand inventories based on photo interpretation and laser scanning by means of cost-plus-loss analyses. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 512-523.
- Eid, T., Gobakken, T. & Næsset, E. 2005. Bestemmelse diameterfordeling i bestand – sammenligninger av ulike takstopplegg. INA Fagrapport nr.6. 31 s.
- 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* 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: 187-200.
- Evju, O. 1979. Metoder for langsiktige avvirkningsberegninger i ulike. Melding nr. 27, Institutt for skogtaksasjon, Norges landbrukshøgskole. 129 s.
- Fahlvik, N. & Nyström, K. 2006. Models for predicting individual tree height increment and tree diameter in young stands in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21 (Suppl 7): 16-28.
- Friedman, J. & Ståhl, G. 2001. A three-step approach for modelling tree mortality in Swedish forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 455-466.
- Gobakken, T. 2000a. Economical and biological production possibilities of broadleaves in long term forest production analyses. Agricultural University of Norway, Ås. Doctor Scientiarum Theses 2000:34.
- Gobakken, T. 2000b. The effect of two different price systems on the value and cross-cutting patterns of Norway spruce logs. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 368-377.

- Gobakken, T. 2003. Brukerveiledning til SGIS- et skoglig geografisk informasjonssystem. Versjon 2.1. 26 s. Upublisert brukermanual.
- Gobakken, T. 2007. Brukerveiledning til dataprogrammet T(re). Versjon 1.0. 60 s. Upublisert brukermanual.
- Gobakken, T. & Næsset, E. 2004. Estimation of diameter and basal area distributions in coniferous forest by means of airborne laser scanner data. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 529-542.
- Gobakken, T. & Næsset, E. 2005. Weibull and percentile models for LIDAR-based estimation of basal area distribution. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20: 490-502.
- Gobakken, T., Lexerød, N. & Eid, T. 2007. T - a forest simulator for bio-economic analyses based on models for individual trees. Submitted *Scandinavian Journal of Forest Research*.
- Gotaas, P. 1967. Beskrivelse av regneprogrammet for «Langsiktige beregninger med EDB-maskinen Univac 1107 over internt resultat (Ri), masseproduksjon og verdien av hogstuttakene, til bruk ved driftsplanarbeidet i skogbruket». S50, Oslo, 20 s.
- Gulbrandsen, K. 1980. Taksering av hogstavfall. *Meddr Nor. inst. skogforsk.* 35:361-381.
- Gulbrandsen, K. 1981. Forholdet mellom skogsvolum og tømmervolum for gran. *Rapp.Nor. inst. skogforsk.* 8/81:1-20.
- Hein, S., Mäkinen, H., Yue, C. and Kohnle, U. 2007. Modelling branch characteristics of Norway spruce from wide spacings in Germany. *Forest Ecology and Management* 242: 155.
- Hobbelstad, K. 1979. Edb-program for beregning av balansekvantum. I Bruaset, A. (Red.). *Landbrukets årbok*, s. 190-198 Tanum-Norli, Oslo.
- Hobbelstad, K. 1981. Edb-program for avvirkningsberegninger. Institutt for skogtaksasjon, Norges landbrukshøgskole, Ås, Melding nr 29. 27 s.
- Hobbelstad, K. 1988. Planleggingsprogrammet AVVIRK3. Institutt for skogtaksasjon, Norges landbrukshøgskole, Ås, Melding nr. 42. 38 s.
- Hobbelstad, K. 1998. Er det noe galt ved bruk av balansekvantumsberegningene ? I: Woxholt, S. (Red.). *Kontaktkonferanse skogbruk - skogforskning*. Elverum 5. og 6. november 1997, s. 40-43. Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole, Ås, *Aktuelt fra skogforskningen* 1/98.
- Hoen, H.F. 1990. Theoretical and empirical studies of long range forest management planning. Agricultural University of Norway, Ås, *Doctor Scientiarum Theses* 1990:23. 144 s.

- Hoen, H.F. & Eid, T. 1990. En modell for analyse av behandlingsalternativer for en skog ved bestandssimulering og lineær programmering. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning 9/90: 1-35.
- Hoen, H.F. & Gobakken, T. 1997. Brukermanual for bestandssimulatoren GAYA v.1.20. Upublisert brukermanual, Institutt for skogfag, NLH, Ås.
- Hoen, H.F. & Solberg, B. 1994. Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silviculture management. *Forest Science* 40: 429-451.
- Hoen, H.F., Eid, T. & Økseter, P. 1997. Investeringsstrategier, avvirkningsmuligheter og økonomiske konsekvenser av tiltak for et bærekraftig skogbruk. Resultater på landsbasis. Rapport til Landbruksdepartementet. 28 s + appendikser.
- Hoen, H.F., Eid, T. & Økseter, P. 1998a. Produksjonsmuligheter og tiltak for et bærekraftig skogbruk i norske skoger. En oppsummering. Side 1-19 i Sanness, B. (Ed.) 1998. Rapport nr. 10, Levende skog.
- Hoen, H.F., Eid, T. & Økseter, P. 2001. Timber production possibilities and capital yields from the Norwegian forest area. *Silva Fennica* 3:249-264.
- Hoen, H.F., Eid, T. & Økseter, P. 2006. Maintaining minimum levels of old forest area coverage - efficiency gains due to cooperative management among properties. *Forest Policy and Economics* 8:135-148.
- Hoen, H.F., Eid, T. & Veisten, K. & Økseter, P. 1998b. Økonomiske konsekvenser av tiltak for et bærekraftig skogbruk. Forutsetninger og metodebeskrivelse. Rapport Supplement fra skogforskningen 6/98:1-48.
- Hofstad, O. 1998. «Riktig» avvirkning. *Norsk Skogbruk* 12/98:26-27.
- Holmström, H., Kallur, H. & Ståhl, G. 2003. Cost-plus-loss analyses of forest inventory strategies based on *k*NN-assigned reference sample plot data. *Silva Fennica* 37: 381-398.
- Holopainen, M. & Talvitie, M. 2006. Effect of data acquisition accuracy on timing of stand harvests and expected net present value. *Silva Fennica* 40: 531-543.
- Holte, A. 1993. Diameter distribution functions for even-aged (*Picea abies*) stands. Meddelelse fra Skogforsk 46 (1): 1-46.
- Houllier, F., Leban, J.-M. and Colin, F. 1995. Linking growth modelling to timber quality assessment for Norway spruce. *Forest Ecology and Management* 74: 91-102.
- Hyypä, J. & Inkinen, M. 1999. Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. *Photogrammetric Journal of Finland* 16: 27-42.

- Ihalainen, M., Salo, K., & Pukkala, T. 2003. Empirical prediction models for *vaccinium myrtillus* and *v-vitis-idaea* berry yields in north Karelia, Finland. *Silva Fennica*, 37: 95-108.
- Kangas, A. 1996. On the bias and variance in tree volume predictions due to model and measurement errors. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11:281-290.
- Landbruks- og matdepartementet 2004. Forskrift om tilskudd til skogbruksplanlegging med miljøregistrering. Hefte 4, 2004.
- Lappi, J. 1992. JLP: A linear programming package for management planning. Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki, Finland. Research Papers Finnish Forest Research Institute 414, 134 s.
- Lappi, J. 2003. J-user's guide. Version 0.7.8, desember 2003. ed. Finnish For. Res. Inst. Suonenjoki.
- Lexerød, N. 2005. Recruitment models for different tree species in Norway. *Forest Ecology and Management* 206:91-108.
- Lexerød, N. & Eid, T. 2005a. Sammenligning av metoder for registrering av egnethet for selektive hogster ved praktisk skogbruksplanlegging. Rapport fra skogforskningen. 5 /05:1-27.
- Lexerød, N. & Eid, T. 2005b. Recruitment models for Norway spruce, Scots pine, birch and other broadleaves in young even-aged forests in Norway. *Silva Fennica* 39: 91-106.
- Lexerød, N. L. & Eid, T. 2006a. An evaluation of different diameter diversity indices based on criteria related to forest management planning. *Forest Ecology and Management* 222:17-28.
- Lexerød, N. L. & Eid, T. 2006b. Assessing forest areas suitable for selective cutting using a stand level index. *Forest Ecology and Management* 237:503-512.
- Lexerød, N. & Gobakken, T. 2002. Normerte prisfunksjoner for grantrær med og uten rotråte. Side 15-19 i Øyen, B-H. (Red.) Modelling av skogproduksjon for økologisk og økonomisk forvaltning. *Aktuelt fra skogforskningen* 6/02.
- Lexerød, N.L. & Gobakken, T. 2007. The profitability of selective cutting under different timber price scenarios. Manuskript.
- Liski, J., Palosuo, T, Peltoniemi, M & Sievänen, R. 2005. Carbon and decomposition model YASSO for forest soils. *Ecological Modelling* 189:168-182.
- Lähde, E., Eskelinen, T., Väänänen, A. 2002. Growth and diversity effects of silvicultural alternatives on an old-growth forest in Finland. *Forestry* 75: 396-400.
- Løvhaugen, O.I. 1997. Balansekvantum: begrepet bør fjernes. *Norsk Skogbruk* 6/97:9.

- Maltamo, M., Mustonen, K., Hyyppä, J., Pitkanen, J. and Yu, X. 2004. The accuracy of estimating individual tree variables with airborne laser scanning in a boreal nature reserve. *Canadian Journal of Forest Research* 34:1791-1801.
- Marklund, L. G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering. Rapport nr. 45.
- Moberg, L. 2006. Predicting knot properties of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* from generic tree descriptors. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21 (Suppl 7):48-61.
- Myrbakken, S. 1998. Hva er riktig avvirkningsnivå? *Norsk Skogbruk* 10/98:8-9.
- Mønness, E. 1982. Diameter distributions and height curves in even-aged stands of *Pinus sylvestris* L. *Meddelelse fra Norsk institutt for skogforskning* 36 (15): 1-43.
- Nabuurs, G.J., Schelhaas, M-J. & Pussinen, A. 2000. Validation of the European forest information scenario model (EFISCEN) and a projection of Finnish forests. *Silva Fennica* 34:167-179.
- Nersten, S. & Delbeck, K. 1965. Avkastningsprognoser i skogbruket I. *Tidsskrift for Skogbruk* 73: 47-140.
- Nersten, S., Eid, T. & Heringstad, J. 1999. Økonomisk tap på grunn av elgskader beregnet eiendomsvis. Rapport Supplement fra skogforskningen 9/99:1-37.
- Nersten, S., Delbeck, K., Gjølberg, R. og Hobbestad, K. 1981. Konsekvensanalyser for ulike investerings- og avvirkningsprogram. Melding nr. 29 fra Institutt for skogtaksasjon, Norges Landbrukshøgskole. 222 s + vedlegg 135 s.
- Neumann, M. & Starlinger, F. 2001. The significance of different indices for stand structure and diversity in forests. *Forest Ecology and Management* 145: 91-106.
- Nilsen, P. & Øyen, B-H. 2002. Nye tilvekstmodeller for fjellskoghogde bestand. I: Øyen B.-H. (Red.). *Modellering av skogproduksjon for økologisk og økonomisk forvaltning av skog. Aktuelt fra Skogforsk* 6/02:7-9.
- Näslund, B.-Å. 1986. Simulation of damage and mortality in young stands and associated stand development effects. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för Skogsskötsel. Rapport nr. 18. 147 s.
- Næsset, E. 2004. Practical large-scale forest stand inventory using small-footprint airborne scanning laser. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19:164-179.
- Opdahl, H. & Skrøppa, T. 1989. Avsmaling og volum hos osp (*Populus tremula* L.) i Sør-Norge. *Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning* ; 43:2. Ås ,. 42 s

- Persson, A., Holmgren, J. and Söderman, U. 2002. Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 68:925-932.
- Pretzsch, H., Biber, P. & Dursky, J. 2002. The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management*, 162(1): 3.
- Pukkala, T. 1987. Simulation model for natural regeneration of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens*. *Silva Fennica* 21: 37-53.
- Pukkala, T., Möykkynen, T., Thor, M., Rönneberg, J. & Stenlid, J. 2005. Modelling infection and spread of *Heterobasidion annosum* in Fennoscandia conifer stands. *Canadian Journal of Forest Research* 35:74-84.
- Raymer, A.K.P. 2005. Modelling and analysing climate gas impacts of forest management. *Philosophiae doctor Thesis* 2005:11.
- Raymer, A.K.P., Gobakken, T., Hoen, H.F. & Solberg, B. 2007. A forest optimisation model with a complete carbon flow account: Application to a mixed forest in Norway. *Manuskript*.
- Schmidt, M. 2004. Simulative prediction of branchiness for round timber of Douglas fir. *Allgemeine Forst Und Jagdzeitung* 175: 49-60.
- Schulte, B.J. & Buongiorno, J. 1998. Effects of uneven-aged silvicultural on the stand structure, species composition, and economic returns of loblolly pine stands. *Forest Ecology and Management* 111: 83-101.
- Seifert, T. 2003. Integration von Holzqualität und Holzsortierung in behandlungssensitive Waldwachstumsmodelle, Technische Universität München, Weihenstephan, 314 s.
- Skog-Data A.S. 2000. Verdsett. Brukermanual. Skog-Data A.S., Oslo. 27 s.
- Solberg, S., Næsset, E. & Bollandsås, O.M. 2006. Single tree segmentation using airborne laser scanner data in a structurally heterogeneous spruce forest. - *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 72:1369-1378.
- Sterba, H. & Monserud, R.A. 1997. Applicability of the forest stand growth simulator PROGNAUS for the Austrian part of the Bohemian Massif. *Ecological Modelling* 98: 23-34.
- Strand, L. 1998. Om bruken av balansekvantumsberegninger. I: Woxholtt, S. (Red.). *Kontaktkonferanse skogbruk - skogforskning*. Elverum 5. og 6. november 1997, s. 37-39. Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole, Ås, *Aktuelt fra skogforskningen* 1/98.
- Ståhl, G., Carlson, D. & Bondesson, L. 1994. A method to determine optimal stand data acquisition policies. *Forest Science* 40: 630-649.

- Thor, M., Ståhl, G., & Stenlid, J. 2005. Modelling root rot incidence in Sweden using tree, site and stand variables. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20:165-176.
- Trømborg, E. & Bergseng, E. 2003. Markedstilpasset skogbehandling og verdiskaping. Prosjektrapport fra Prevista. Kongsberg. 60 s.
- Tuhus, E. 1996. A simulation model for forest regeneration. I: Modelling regeneration success and early growth of forest stands. Proceedings from the IUFRO Conference, held in Copenhagen, 10-13, June 1996 I Skovsgaard, J.P. & Johanssen, V.K. (Red.). Danish Forest and Landscape Research Institute, Hørsholm. 606.
- Tveite, B. 1977. Bonitetskurver for furu. Intern rapport.
- Tveite, B. 1978. Bonitetskurver for gran. *Medd.Nor.inst.skogforsk.* 33:1-84.
- Veisten, K. 2003. Valuation of non-marked forest products – methodological and empirical studies. Doctor scientiarum theses, Norges Landbrukshøgskole 2003:14.
- Vestjordet, E. 1967. Funksjoner og tabeller for kubering av stående gran. *Meddr. norske SkogforsVes.* 22:543-574.
- Vestøl, G.I., Colin, F. & Loubière, M. 1999. Influence of progeny and initial stand density on the relationship between diameter at breast height and knot diameter of *Picea abies* (L.) Karst. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14:470-480.
- Vestøl, G.I. and Høibø, O.A. 2001. Prediction of knot diameter in *Picea abies* (L.) Karst. *Holz als Roh- und Werkstoff* 59:129-136.
- Wikström, P. & Eriksson, L.-O. 2000. Solving the stand management problem under biodiversity-related considerations. *Forest Ecology and Management* 126: 361-376.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spangberg, K., Lundqvist, S. O., Grahn, T. & Hedenberg, O. 2002. Models for predicting wood properties in stems of *picea abies* and *pinus sylvestris* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17:330-350.