

skog+
landskap

Forskning fra Skog og landskap 1/08

**STORM OG SKOGSKADER:
RISIKO FOR STORMSKADER
I SKOG, OG BETYDNINGEN
AV SKOGBEHANDLINGEN**

Svein Solberg, Knut Harstveit, Kristina Blennow,
Erika Olofsson, Eva Solbjørg Heggem og Volkmar
Timmermann

Forskning fra Skog og landskap

«Forskning fra Skog og landskap»
er en serie for publisering av
originale vitenskapelige resultater
innenfor Skog og landskaps
faglige områder. Serien er åpen for
relevante manuskripter, også fra for-
fattere som ikke er ansatt ved Norsk
institutt for skog og landskap

Utgever:

Norsk institutt for skog og landskap

Redaktør:

Bjørn Langerud

Dato:

Mars 2008

Trykk:

PDC-Tangen

Opplag:

?????????

Bestilling:

Norsk institutt for skog og landskap

Postboks 115, 1431 Ås

Telefon: 64 94 80 00

Telefaks: 64 94 80 01

www.skogoglandskap.no

ISBN 978-82-311-0037-9

ISSN 1890-1632

Omslagsfoto:

Stormskade i skog.

Foto Anders Hals.

Forskning fra Skog og landskap - 1/08

STORM OG SKOGSKADER: RISIKO FOR STORMSKADER I SKOG, OG BETYDNINGEN AV SKOGBEHANDLINGEN

Svein Solberg¹, Knut Harstveit², Kristina Blennow³, Erika Olofsson³,
Eva Solbjørg Heggem¹ og Volkmar Timmermann¹

¹ Norsk institutt for skog og landskap

² Meteorologisk institutt

³ Sveriges Lantbruksuniversitet

FORORD

Dette prosjektet ble initiert ved kontaktkonferansen for skogbruket og skogforskningen i Hedmark og Oppland i 2004, og er et forprosjekt for en eventuell videre forskning på temaet storm og skogskader. Prosjektet har vært finansiert av utviklingsfondet for skogbruket, Skogbrand Forsikringsselskap Gjensidige, og Norsk institutt for skog og landskap. Prosjektet har hatt følgende representanter for brukersiden som en referansegruppe:

- Adm. dir. Inge Fjalestad, Skogbrand Forsikringsselskap Gjensidige
- Fagsjef Trygve Øvergård, Glommen skogeierforening
- Overingeniør Carl Olav Holen, Fylkesmannen i Oppland
- Fylkesskogmester Torfinn Kringlebotn, Fylkesmannen i Hedmark

Mjøsen skogeierforening og Gran kommune v/Helge Midttun har vært behjelpelig med å skaffe skogbruksplandata og stedfestede data for stormskadene. Rune Eriksen (Skog og landskap) har skaffet til veie data fra landsskogtakseringen, dvs data som diameter/høyde-forhold (d/h) og avstand til kant. Geir-Harald Strand (Skog og landskap) har skaffet data for skogarealet i hver kommune. Bjørn Egil Nygård (met.no) har kjørt værvarslingsmodellen WRF for 15.11.2001 og derved skaffet inngangsdata til den svenske modellen WIN-DA.

INNHOLD

Forord	2
Sammendrag	4
Summary	5
1. Innledning	7
2. Simulering av en 100-års storm på Østlandet: hvor mye blåser ned?	9
Materiale og metoder	9
Resultater	12
3. Handlingsrommet: Hvor stor betydning har skogbehandlingen?	14
Materiale og metoder	14
Resultater	14
4. Kartlegging av vindfallsrisiko for enkeltbestand	15
Materiale og metoder	15
Resultater	16
5. Diskusjon	18
6. Konklusjon	21
Litteratur	22

SAMMENDRAG

Dette er resultatet av et forprosjekt innen temaet vind og skogskader, hvor målet har vært å legge et grunnlag for en eventuell videre forskning innen dette temaet. Vi har bygget opp et modell-datasett for skog og vind-data på Østlandet, og estimert at omkring 18 mill m³ virke ville blåst ned i denne landsdelen ved en 100-års storm. Dette utgjør omkring 4,4 % av den stående kubikkmassen. Skogbehandlingen kan ha stor innvirkning på omfanget av vindskader på skog. Dette er demonstrert ved å beregne hvor stort volum vindfall vi ville fått med tre alternativer for skogbehandling, dvs. ved å variere bestandsstørrelse og trærnes diameter/høyde-forhold i modell-datasettet. En strategi for å avveie hensynet til stabilitet opp mot andre hensyn i skogbehandlingen er å differensiere skogbehandlingen etter risikoen for vindskader, dvs. å fokusere på stabilitet der risikoen for vindskader er høy. Vi har prøvet modellen WINDA, som beregner risiko for vindskader for hvert bestand i en skogbruksplan, og slike modeller kan være et hjelpemiddel for skogeiere til å differensiere skogbehandlingen. Det viktigste utbyttet av dette er at vi har fått innblikk i hvordan slik modellering kan gjøres, og hvilke resultater man kan forvente å få. Det har blitt klart at hvis det skal gjøres slik modellering i Norge, må metoden videreutvikles for norske forhold, bl.a. for å håndtere det bratte norske terrenget. For øvrig synes WINDA-modelleringen å være godt faglig fundert og gi gode prediksjoner for risiko for vindskader, selv om vi i dette prosjektet ikke har hatt ressurser til å gjøre en fullstendig utprøving og validering av modellen.

Nøkkelord: Storm, vind, skog, stormskade, vindfelling

SUMMARY

This is the result of a pilot project about wind and forest damage, where the aim has been to establish a basis for further research in this field. We have developed a model dataset for forest and wind data covering southeastern Norway, and used this to estimate a total windthrow volume of about 18 mill m³ for a storm with a 100 year return period over the region. This makes up 4.4 % of the standing volume. Forest management may have a major influence upon the amount of windthrow. We have demonstrated this by re-estimating the volume of windthrow for three alternative forest management regimes. In these alternatives, we varied the stand size and diameter/height-ratios in the model dataset. A forest owner strategy to do a trade-off between stability and other aims for the forest management, may be to differentiate the management according to the risk of windthrow in each stand. We have tested the WINDA risk model, which is a model to produce such risk estimates. The main outcome of this exercise was that we have become familiar with how such modelling is done and what the outputs can be expected to be. It is clear, that the methods need to be modified for further modelling in Norway, in particular to handle steep terrain. Apart from that, the model apparently produces reliable risk estimates, although we have not had the resources in this project to carry out an extensive testing and validation of the model.

Key word: Storm, wind, forest, storm damage, windthrow

1. INNLEDNING

En sterk økning i mengden av stormfelling i Europa de siste 50 årene, sammen med de pågående klimaendringene, har økt fokuset på denne skogskadetypen. Dette ble ytterligere aktualisert etter stormen Gudrun i januar 2005, som med 75 millioner m³ vindfelt virke ble den 3. verste stormfelling i Europa de siste 100 år. Viktigheten av dette temaet er demonstrert ved at det ble satt på dagsorden på Nordisk Ministerråds sommermøte 2005 i Århus, der det ble avholdt en egen workshop på temaet; «Stormfald i skovene i januar 2005». Det kan forventes at omfanget av stormskader i Norge vil øke framover, særlig høst- og vinterstid (Solberg og Dalen 2007). Spesielle risikofaktorer for Norge er tynt jorddekke, mange lavtrykk og høy frekvens av rotråte i gran.

Storm er den mest omfattende skadeårsak på skog i vår del av verden. Det er beregnet at stormskader har utgjort 53 % av alle skogskader i Europa de siste 50 år, når skadeomfanget er regnet i kubikkmeter (Schelhaas 2003). Skadevolumet etter stormskader har også økt kraftig for Europa som helhet. I perioden 1870–1950 var stormskader relativt sjeldne og skadeomfanget var under 20 mill. kubikkmeter per storm. De siste 50 år har frekvensen økt, og skadeomfanget per storm har økt helt opp til 75, 120 og 180 millioner kubikkmeter for hhv. orkanene Gudrun (2005), Vivian (1990) og Lothar (1999) (Anon. 2001). En årsak til økningen i stormskader kan være økt frekvens av sterke stormer, men meteorologiske målinger tyder ikke på at det er tilfelle. En annen og udiskutabel årsak er en økning i mengden av skog i Europa, dvs. en økning i kubikkmasse, skogareal og trehøyde, samt en økning i andelen bartrær.

De økonomiske konsekvensene er betydelige. Etter orkanen 1. januar 1992 på nordvestlandet og i Trøndelag var det utbetalinger på omkring 250 mill kr i erstatninger, hovedsakelig fra naturskadefondet, samt noe fra forsikringsselskapet Skogbrand. I tillegg kommer de indirekte virkningene, i første rekke barkbilleangrep som ved den store epidemien på 1970-tallet etter stormen i Akershus og Sør-Hedmark i november 1969, sammen med redusert tømmerpris (etter Lothar-orkanen falt tømmerprisene med 35 % i Sveits), kvalitetsreduksjon, økte driftskostnader, lagringskostnader for tømmer og redusert omløpstid.

I RegClims scenarier for klimaendring i Norge projiseres det en økt frekvens av høye vindhastigheter,

for eksempel en økning i frekvensen av døgnet med vindhastighet > 15 m/s de fleste steder i Norge. Forekomsten av denne vindhastigheten vil mot slutten av århundret forekomme mellom 1 og 1,8 ganger hyppigere enn i normalperioden 1961–90, i henhold til RegClims scenarier basert på B2-scenariet for utslipp (Hansen-Bauer og Haugen, 2007). Dette er en moderat økning, men vi skal her være klar over to forhold: Skaden av en storm kan øke progressivt med økende vindhastighet fordi vindpresset øker progressivt med økende vindhastighet, og fordi stadig flere trær kommer i faresonen. I tillegg kan andre forhold ved klimaendringene slå uheldig ut, særlig økt nedbørmengde og mer tien og våt jord vinterstid.

Skogens stabilitet mot stormskader påvirkes dels av egenskaper ved stedet som sådan, dvs. faktorer som vind, jorddybde og terrengforhold. Og dels påvirkes den av bestandens egenskaper, dvs. av enkelttreets stabilitet, bestandets sosiale stabilitet og den romlige fordeling av skogen i landskapet. Trær med høy enkelttre-stabilitet kjennetegnes ved høyt d/h-forhold, stort rotsystem og lang krone. Bestand med høy sosial stabilitet har et lukket kronetak, trærne støtter hverandre i vinden, og den totale rotforankringen er stor. Det er derfor mulig å øke skogens evne til å tåle storm. Treslagsvalg, avstandsregulering, tynning, omfang og utforming av bestandskanter, romlig stabilisering og drenering av forsumpet mark er områder i skogbehandlingen som kan tilpasses for å forebygge vindskader. Slike tilpasninger må imidlertid avveies mot andre hensyn. Ønsket om mer naturnære hogstformer har ført til mer differensiert skogbehandling de siste 10–15 årene, og behandlingsformer som «kontus», fjellskoghogst og skjermstilling har blitt mer vanlig. Det har også vært et økende fokus på produksjon av kvalitetsvirke. Det er ikke mange år siden det ble innført krav til maksimal årringbredde i skurtømmer, og redusert kvistmengde er ønskelig for å kunne øke virkeskvalitet og -pris. Disse trendene i skogbehandlingen kan øke risikoen for vindfelling, dels ved at høye, gamle trær blir fristilt, og dels ved at stabiliteten reduseres fordi en velger høy utgangstetthet og seine tynninger for å redusere årringbredde og kvistmengde, og dermed reduseres også stabiliteten på flere måter pga. reduksjoner i d/h-forhold, rotutvikling og bestandens totale forankring. En må finne en balansegang mellom hensynet til bestandets stabilitet på den ene siden, og til ønsket hogstform og kvalitet på den andre siden. Det er her en risikovurdering for stormskader i det enkelte bestand kan komme inn som et mulig, viktig hjelpe-

middel. I bestand med høy risiko bør hovedfokus i skogbehandlingen være å sikre stabilitet. Bestand med lav risiko kan være egnet til produksjon av kvalitetsvirke, og det er her vi bør velge skjermstillingshogst og andre risikable hogstformer. En slik risikoscore knyttes til stedet som sådan, dvs vind-, terreng- og jordbunnsforhold, og en kan da legge opp til en langsiktig, tilpasset skogbehandling på de store arealer med ungskog og skog som skal forynnes framover i Norge.

Dette er et forprosjekt, hvor hovedmålet er å avgjøre om det bør settes i gang et større forskningsprosjekt innen problemområdet stormskader og skog, og i tilfelle hva som bør være hovedfokus. Prosjektets mål har vært å

- kartlegge skogbrukets behov for ny viten i dette problemområdet,
- kartlegge nye erfaringer etter de siste års stormskader i våre naboland,

- utvikle en testversjon av metoder for beregning av risiko for stormskader,
- beregne vindrisiko for hvert skogbestand i noen utvalgte områder, og
- inkludere en vurdering av de utviklede metodene.

Det er arbeidet på tre områder i prosjektet:

- «Worst case». Her er gjort en beregning av hvor stort volum av vindfall vi kan få over Sør- og Østlandet dersom landsdelen rammes av en 100-års storm.
- Hvor stor betydning har skogbehandlingen? Her er beregnet hvor stor betydning skogbehandlingen har for omfanget av slike stormskader.
- Kartlegging av risiko for stormskader for enkeltbestand i en skogbruksplan. Her er risiko for stormskader beregnet bestandsvis med en datamodell for et område i Gran, Oppland.

2. SIMULERING AV EN 100-ÅRS STORM PÅ ØSTLANDET: HVOR MYE BLÅSER NED?

Dette er en beregning for å estimere volum vindfelt virke ved en 100-års storm over Sørøst-Norge, dvs fylkene fra Østfold til og med Vest-Agder (fylkesnr. 01–10). En 100-års storm er en storm med så høy vindhastighet at den ut fra historiske data ventes å forekomme en gang per århundre. Den totale kubikkmassen i landsdelen er fordelt på strata, hvor hvert stratum er gitt en kritisk vindhastighet for vindfelling. Dette er en pilotstudie hvor vi har valgt en rekke forutsetninger på en enkel og skjønnsmessig måte. Resultatene må derfor regnes som et grovt estimat.

Materiale og metoder

Kritisk vindhastighet for skoglige strata: Den stående kubikkmassen i hogstklasse III-V på Østlandet er fordelt på 3096 strata, hvor hvert stratum er gitt en kritisk vindhastighet, eller stormfasthet, basert på en finsk studie (Peltola *et al.* 1999). Kritisk vindhastighet betyr den høyeste vindhastighet trærne tåler uten å blåse ned eller brette. I den studien har man brukt den mekanistiske modellen HWIND til å beregne kritisk vindhastighet, ut fra dreiemomentet på et tre avhengig av vindpress, gravitasjonskrefter og forankring i jorda. Peltola *et al.* (1999) har validert modellen ved å sammenholde beregnet dreiemoment for vindfall med målt dreiemoment ved eksperimentelt veltede trær. I gjennomsnitt var avviket mellom modellert og målt dreiemoment 12 % for furu og 16 % for gran. Kritisk vindhastighet er oppgitt for gran, furu og bjørk (med eller uten løvet på), og for ulike kombinasjoner av trehøyde, d/h-forhold, bestandstetthet og avstand til kant. Det er oppgitt kritisk vindhastighet både for vindfall og brekk, men disse verdiene er svært like, og vi har brukt verdiene for vindfall. De 3096 strataene er kombinasjoner av 172 kommuner og inntil 18 strata innen kommunene, dvs. 3 treslag (gran, furu, løv) x 3 hogstklasser (III, IV, V) x kant versus ikke-kant. Fordelingen av kubikkmassen på kommune, treslag og hogstklasse er estimert ved å kombinere

1. Produktivt skogareal per kommune fra digitalt markslagskart (DMK),
2. Fordeling av kubikkmasse (m^3/ha) på treslag og hogstklasse ut fra skogstatistikken registrert under Landsskogtakseringens 8. omdrev 2000–2004 (Larsson & Høyen 2007, Tabell 11), og

den inndeling i regioner som er foretatt i samme publikasjon (region 1: Østfold, Akershus, Oslo, Hedmark, region 2: Oppland, Buskerud, Vestfold, region 3: Telemark, Aust- og Vest-Agder).

Denne kombinasjonen av data fra DMK og Landsskogtakseringen gav visse skjevheter når totalvolumet ble summert, men dette har liten betydning for denne studien.

Kubikkmassen ble videre fordelt på kant og ikke-kant, ettersom trær i kant har lavere stormfasthet enn trær inne i bestandet. Kritisk vindhastighet øker gradvis fra bestandskant og innover i bestandet, men økningen er størst nær kanten, dvs. omtrent en trelengde innover i bestandet (Peltola *et al.* 1999). For å forenkle beregningene har vi delt kubikkmassen i kun to kategorier, dvs kant eller ikke-kant. Kant er her satt til å være nærmere en bestandskant enn 20 m, og bestandskant er satt som overgang fra hkl III, IV eller V til snauflate, ungskog, dyrka mark, myr eller vei. Vi har kjørt en GIS-analyse (BUFFER) på en del av skogbruksplanen fra 2003 for Gran kommune, Oppland, og beregnet at 39 % av skogarealet i hkl III-V står nærmere kant enn 20m (Fig. 1). Vi har forutsatt at denne skogbruksplanen er representativ for hele landsdelen. Vi har imidlertid her halvert denne kantandelen (dvs 19,5 % kantareal) fordi i en gitt storm vil vindretningen ramme kanter i ulik grad etter hvilken retning kantene vender. En storm har større innflytelse når vinden kommer inn mot en bestandskant fra åpent område, enn når den går fra skogen og ut til en kant, selv om også disse kantrærne er mer utsatt enn trær inne i skogen fordi beskyttelse fra andre trær er mindre. Når vi har halvert kantarealet vil det omtrent tilsvare at stormen har full effekt i 1 av 4 sektorer, begrenset effekt i 2 av 4 sektorer, og ingen effekt i den siste sektoren som får full skjerming av skog. Vi har regnet med full referansevindhastighet (se forklaring lengre ned) inn mot skogen over forholdsvis korte avstander uten skog, hvilket erfaringsmessig gir for sterk vind. Imidlertid har vi antatt at denne og øvrige usikkerheter i beregningene oppveier hverandre.

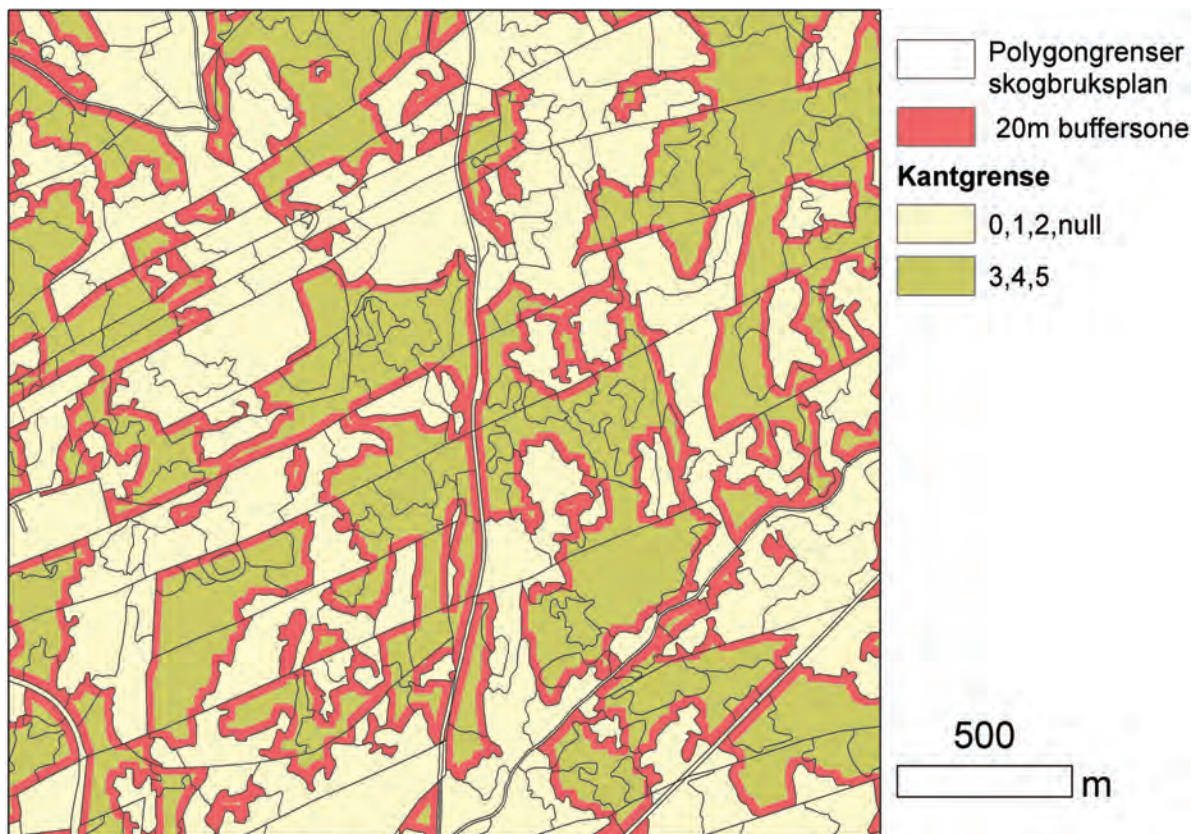


Fig. 1. Eksempel på GIS analyse for å beregne omfanget av skogkanter.

Vi har satt kritisk vindhastighet for våre strata basert på Peltola *et al.* (1999) slik:

- Kommune: Kritisk vindhastighet for hvert stratum er bestemt ut fra Landskogtakseringens d/h -forhold for det aktuelle treslaget og den aktuelle kommune (Fig. 2). Dette er grunnflateveide gjennomsnittstall, dvs. tatt fra relaskop-utvalgte trær. I en del kommuner manglet d/h -forhold for enkelte strata, og da er gjennomsnittstall for hele landsdelen brukt. Peltolas *et al.* (1999) verdier for ulike d/h -forhold er inter- og ekstrapolert ved hjelp av lineær regresjon for de aktuelle d/h -forholdene (Fig. 3).
- Treslag: Peltolas *et al.* (1999) verdier gjelder gran, furu og bjørk, og vi har da brukt verdiene for bjørk med løvet på for all løvskog
- Hogstklasse: For å kunne tilordne kritisk vindstyrke til ulike hogstklasser har vi satt trehøyde til å være 12m i hkl III, 16m i hkl IV og 20m i hkl V
- Kanteffekt: Kritisk vindhastighet i bestandskant er oppgitt av Peltola *et al.* (1999), og inne i bestandet har vi satt kritisk vindhastighet 50 % høyere. Dette tilsvarer omtrent tallene fra Peltolas tabell 3 (Peltola *et al.* 1999), hvor kritisk vindhastighet øker raskt innover fra kanten av

bestandet og flater ut på omkring 50 % høyere verdier.

Vi har her regnet med at en overskridelse av kritisk vindhastighet for et stratum fører til at hele stratumet blåser ned. Ved å kombinere vindhastighet for en 100-års storm med kritisk vindhastighet for alle strataene har vi fått et estimat på hvor mye skog som vil blåse ned i en 100-års storm i denne landsdelen, og hvordan denne kubikkmassen fordeler seg på ulike skogtyper.

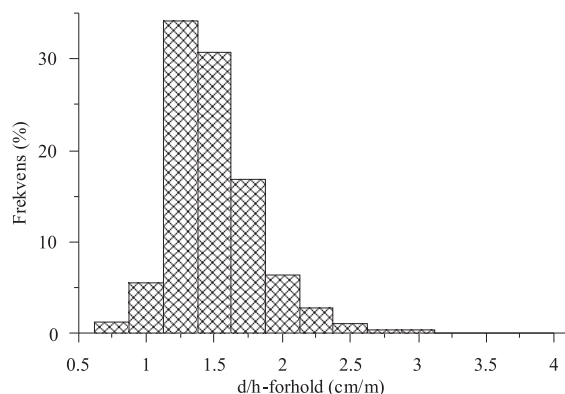


Fig. 2. Frekvensfordeling av strataenes d/h -forhold.

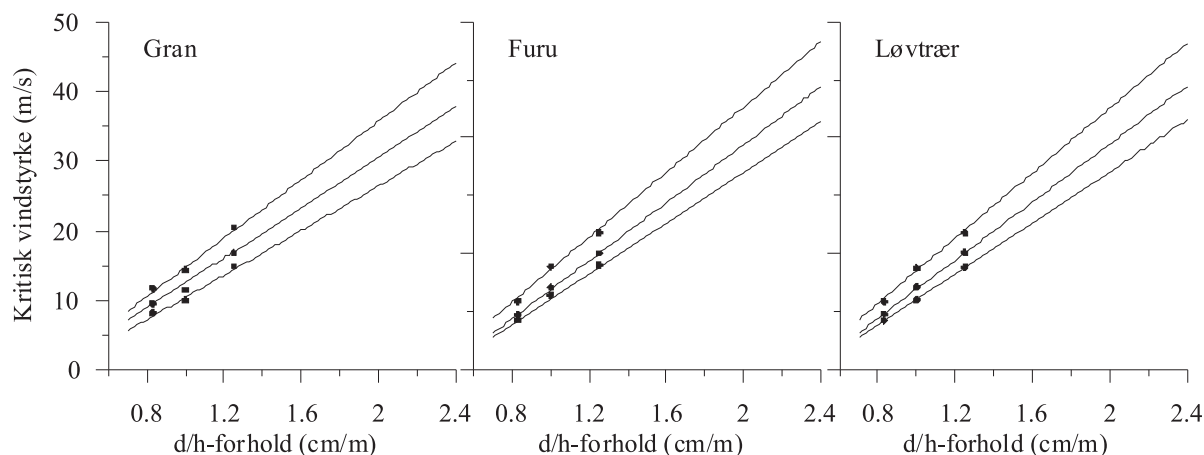


Fig. 3. Kritisk vindhastighet i kant for kombinasjoner av treslag, hogstklasse og d/h-forhold. Punktene er oppgitte verdier fra Peltola *et al.* (1999) og disse er interpolert og ekstrapolert for andre d/h-forhold. I hver graf gjelder de øverste punkter og den øverste linje for hkl V, de midterste er for hkl IV og de nederste er for hkl III.

Vindhastighet for en 100-års storm:

I norsk vindlaststandard NS3491-4 (2002) foreligger referansevindhastighet for hver kommune i Norge. Med referansevindhastighet menes ekstremverdi av middelvind i 10 m høyde over 10 minutter med 50 års returperiode, gitt at vinden blåser over et åpent, homogent og flatt område med overflateruhet, $z_0=0,05$ m. Med 50 års returperiode menes her en vindhastighet som har en statistisk forventning for å inntreffe en gang hvert 50. år. Vindhastighet for en 100-års storm, dvs 100-års verdi for referansevinden, er omkring 24 m/s og varierer lite over landsdelen (Tabell 1). Den er lavest i sentrale områder av indre Østlandet med 22,8 m/s. Enkelte kommuner nord og vest i området Hedmark, Oppland og Buskerud drar gjennomsnittsverdien litt opp i disse fylkene (Tabell 1). Fullstendig kommuneliste kan finnes i NS3491-4 (2002).

Tabell 1. Gjennomsnittlig 100-års referansevind, U_{ref} , fordelt på fylke [m/s]

Fylke	Uref
Akershus	22,8
Aust-Agder	25,6
Buskerud	23,3
Hedmark	23,3
Oppland	23,2
Oslo	22,8
Telemark	23,6
Vest-Agder	26,3
Vestfold	23,9
Østfold	24,1
Totalt	23,9

For å simulere effekten av en 100-års storm har vi lagt inn korreksjoner av disse vinddataene. Vi har korrigert referansevindhastighetene for ruhet, midlingstid for maksimalvind og returperiode. Videre har vi lagt inn en effekt av avstand til stormsentrum og en korreksjon for terrengskjerming. Detaljer for dette følger under.

Den angitte ruhet som er nevnt over svarer til åpent landskap uten høy vegetasjon utenom hekker og lignende. Harstveit og Andresen (1994) har vist at dette svarer til gjennomsnittsforskningene på norske flyplasser. I Sør-Norge gjelder denne referanseverdien alle områder under en tregrense på ca 900 moh, mens over denne legges det på en korreksjonsfaktor avhengig av høyde over havet. For overgang til andre høyder og til flater med andre ruhetsegenskaper benyttes en logaritmisk omregningsformel:

$$[1] \quad c_r(z) = k_T \ln(z/z_0),$$

der k_T og z_0 er angitte tall for aktuell overflatetyper (Tabell 2).

Tabell 2. Beskrivelse av ulike overflatetyper

Ruhetsklasse	Terrengruhetskategori	kT	z0 (m)
I	Kystnære, åpne vidder, kystnær sjø	0,17	0,01 m
II	Flyplassområde, åpent landbrukslandskap	0,19	0,05 m
III	Skog og småhusbebyggelse	0,22	0,3 m
IV	Særlig tung skog, storbyer	0,24	1,0 m

En kombinasjon av formel [1] og Tabell 2 resulterer i at vinden i 10 m høyde over bakken i en skog med ruhetsklasse III tilsvarer 77 % av referansevinden. Peltola *et al.* (1999) refererer sine vindkriterier for en kant til 10 m høyde over bakken og en ruhet på 0,06 m, og det vil ved bruk av Tabell 2, formel [1] og grafisk interpolasjon tilsvare 98 % av referansevinden i Norge. Peltola *et al.* (1999) refererer kritisk vindhastighet til 1 times middelvind, mens den referansehastighet vi har omtalt over har en midlingstid på 10 minutter, som er vanlig i Norge. Harstveit (2002) har funnet at maksimal hastighet i en storm over 1 time typisk er 93 % av maksimalverdien over 10 minutter. Samlet gir dette en korreksjonsfaktor på referansehastigheten på 0,91 som legges inn før beregningene av vindskader ved gitte returperioder blir gjort. Det er i vindlaststandarden også angitt en prosedyre som gir koeffisienter for overgang til andre returperioder. Overgangskoeffisienter til 2, 10, 100, 500, 1000, 10000 og 100000 år blir da beregnet til 0,78, 0,90, 1,04, 1,12, 1,16, 1,26 og 1,36.

Vi har korrigert for avstand til stormsentrum. Vi ser her på samlet skadeomfang dersom hele landsdelen rammes av en 100-års storm. Dette er ikke det samme som at alle kommuner rammes av en vindhastighet som tilsvarer deres 100-års storm, – det ville blitt en ekstremt sjelden begivenhet, kanskje med en returperiode på mange tusen år. Vi har forutsatt at 100-års stormen rammer Hedmark med full styrke, mens vindhastigheten i de andre fylkene er redusert til 90 % av en 100-års storm, noe som for disse fylkene tilsvarer ca en 20-års vind. Dette er ment å simulere en «worst-case» hendelse for skog, hvor en 100-års storm i Sør-Norge har tyngdepunkt i det mest skogrike fylket. En slik hendelse kan betegnes som en 100-års storm fordi vi kan anta at en slik situasjon oppstår i gjennomsnitt én gang hvert 100. år med dagens vindklima.

Vi har brukt en korreksjon for terrenkskjerming ved å redusere vindstyrken med en faktor på 0,9. Referansevinden gjelder flate og homogene områder. I norsk terreng er dette oftest ikke tilfelle. Norsk vindlaststandard (NS3491–4 2002) angir flere typer av

topografifaktorer for å korrigere for ikke-flate områder. Felles for disse er at de fokuserer på vindforsterkninger over åser og vindkastforsterkning bak bratt terreng. I noen grad behandles skjerming, da er det angitt en skjermingsfaktor på 0,8 for middelvinden kombinert med en turbulensforsterkningsfaktor. Dette gir en samlet virkning på 0,9 for vindkast i skjermet terreng. Disse topografitilpasningene er gjort med tanke på dimensjonering av konstruksjoner i et punkt eller mindre område. Da er det oftest av mindre betydning hvor vinden kommer fra, og det vil derfor bli fokusert på de retninger som kan gi forsterkning, mens skjerming i mindre grad tas hensyn til. Når vi skal beregne arealvirkning av vindpåkjenningen over skog i en storstorm for et større område, er det flere andre faktorer å ta hensyn til. For det første er det lite sannsynlig at en storm som dekker flere fylker gir vind fra alle sektorer. Vi antar her at den dekker 25 % av kompassrosen. Dette betyr at det i norsk dal- og åsterreng vil være mer typisk med skjerming enn med forsterkning. Det typiske i et slikt terreng er at referansevinden (modifisert til riktig ruhet) finnes på toppene, mens det nede i dalene oftest er skjerming. En kan også regne med at større deler av produktiv skog finnes på områder utenom toppene.

Vi har variert de ulike korreksjonsfaktorene for å belyse beregningenes følsomhet og usikkerhet, samt gjentatt beregningene for varierende vindhastigheter tilsvarende varierende returperiode.

Resultater

Vindfelt volum er beregnet til 18 millioner m³, som tilsvarer 4,4 % av den stående kubikkmassen på 420 millioner m³. Granskog i hogstklasse IV og V i bestandskant utgjorde alene 12 mill m³, eller 2,8 % (Fig. 4). Dette betyr at det kan forventes vesentlig større skader ved en granskog som består av ikke-sammenhengende enkeltbestand enn ved en skog som er mer sammenhengende. Denne fordelingen av skader på ulike skogtyper er et resultat som er robust mot usikkerhet i beregningene, selv om det

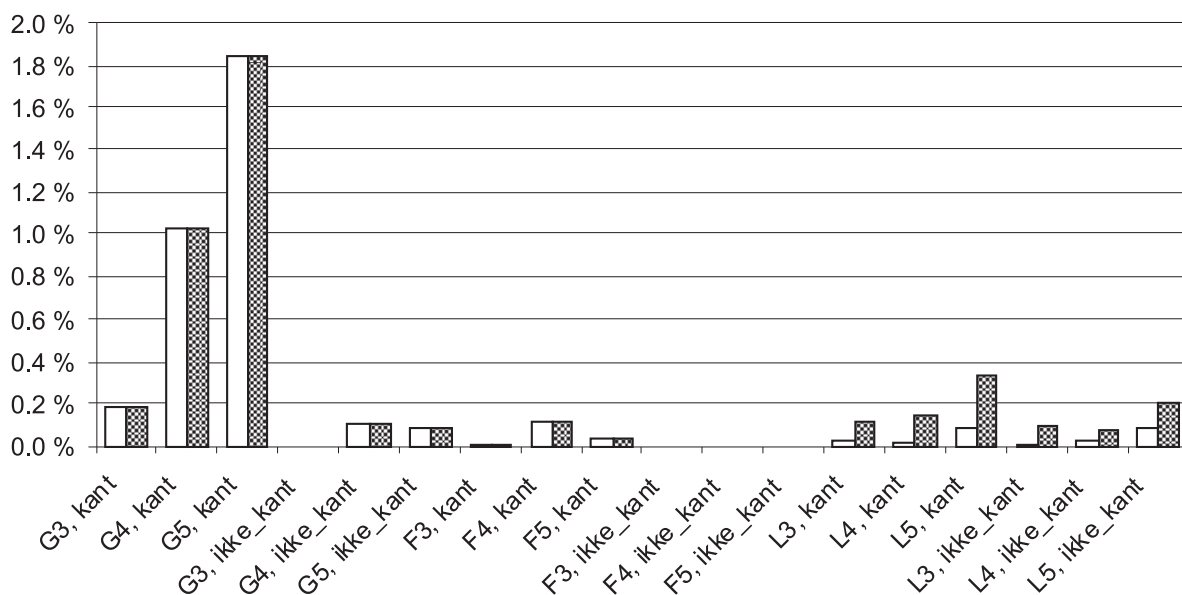


Fig. 4. Vindfelt tømmervolum i % av stående kubikkmasse fordelt på treslag, hogstklasse og kant versus ikke-kant, beregnet med og uten løv på løvtrær

totale omfanget er mer usikkert. Det ble omtrent ingen skader i furuskog, mens det ble betydelige skader i løvskog. Furu og løvtrær hadde omtrent identiske kritiske vindstyrker for en gitt diameter og høyde, så årsaken til at det ble mye større andel av vindfelte løvtrær skyldes at løvtrærne hadde klart lavere d/h-forhold enn furu i Landsskogtakseringens datasett. I gjennomsnitt i datasettet vårt var d/h-forholdet for løvtrær 1,36, mens det for furu var 1,80. De 4,2 mill m³ løvtrær som er beregnet vindfelt utgjør 6 % av den stående kubikkmasse for løvtrær. Det er imidlertid urealistisk å regne løvskog med løvet på, fordi sterke stormer oftest forekommer i vinterhalvåret. Ved å kjøre beregningene for løvskog uten løv på trærne, ble det totale skadeomfanget redusert til 3,7 % (15 mill m³).

Beregnet vindfelte volum økte fra 18 til 27 mill m³ (6,4 %) dersom vi ikke korrigerer for avstand til stormsenter, dvs. at alle kommuner fikk en vindhastighet tilsvarende sin 100-års storm (Tabell 3). Vindfelt volum økte videre til 45 mill m³ (10,7 %) dersom vi også fjernet effekten av terrengskjerming, og det økte til 79 mill m³ (18,8 %) dersom vi også fjernet effekten av vindretning på kanter med ulik eksposisjon. Dette viser at det særlig er to faktorer som slår sterkt ut på resultatet: Terrengskjerming og redusert kantareal. Betydningen av avstand til stormsentrum betyr lite her, og det skyldes at intensitetsmaksimum er lagt over det mest skogrike fylket.

Tabell 3. Volum vindfelt virke (% av stående kubikkmasse) med ulike forutsetninger (korreksjoner), og for ulike returperioder.

korreksjon	avstand stormsentrum	ja	nei	nei	nei	nei
	terreng-skjerming	ja	ja	nei	nei	nei
	redusert kantareal	halv	halv	halv	nei	hel
returperiode, år	2	0,5	0,7	1,9	3,5	0,4
	10	1,6	2,5	5,3	9,6	1,2
	50	3,0	5,2	9,2	16,6	2,3
	100	4,4	6,4	10,7	18,8	3,1
	500	7,0	9,6	14,8	24,0	6,0
	1000	8,2	10,7	17,5	26,8	8,5
	10000	12,2	16,2	25,9	35,5	16,5
100000	16,5	21,8	33,1	42,5	23,9	

3. HANDLINGSROMMET:

HVOR STOR BETYDNING HAR SKOGBEHANDLINGEN?

Vi har her gjort noen beregninger for å belyse hvordan risikoen for vindfall påvirkes av skogbehandlingen. Vi har brukt det samme datasettet som beskrevet i kapitlet over som et modell-datasett, hvor vi har endret på dataene for å simulere ulike alternativer for skogbehandling og se hvilket utslag det gjør på omfanget av vindfelling.

Materiale og metoder

Kritisk vindhastighet for hvert stratum er beregnet for ulike behandlingsalternativer, og dette er kombinert med ulike vindhastigheter, og vi har dermed fått en dose-respons modell med vindhastighet (m/s) som input (dose) og vindfelt kubikkmasse (%) som output (respons).

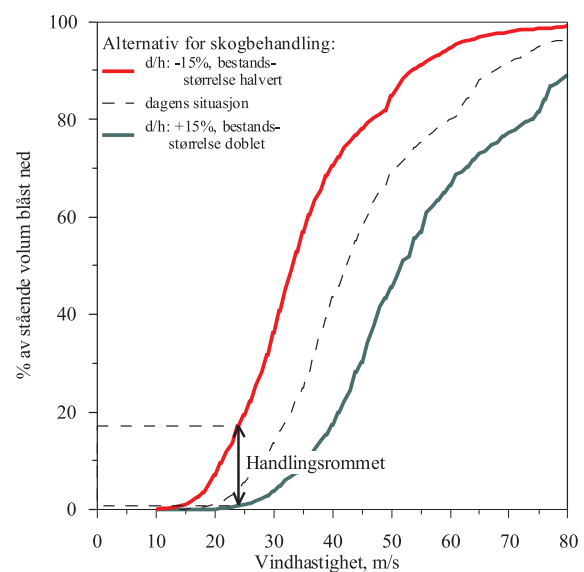
I tillegg til å utarbeide en dose-respons modell for dagens skogtilstand, har vi laget to alternativer: et alternativ der skogbehandlingen legges opp med tanke på økt stabilitet, og et hvor det tas mindre hensyn til stabilitet

- Alternativ økt stabilitet: D/h-forholdet er økt med 15 % i alle strata. Som eksempel tilsvarer det at et tre med $D_{bh}=25\text{cm}$ og $H=20\text{m}$ endres til $D_{bh}=28,8\text{ cm}$. Dette kan oppnås med en skogbehandling med lav tetthet, særlig lav utgangstetthet. I tillegg er det regnet med mindre kantproblemer, dvs at bestandsstørrelse er tenkt fordoblet. Det førte til at andelen kant avtok fra 39 % til 28 %.
- Alternativ redusert stabilitet: D/h-forholdet er senket med 15 % i alle strata. Som eksempel tilsvarer det at et tre med $D_{bh}=25\text{cm}$ og $H=20\text{m}$ endres til $D_{bh}=21,2\text{ cm}$, som vil være resultatet av å holde høy bestandstetthet. I tillegg er det regnet med mer kantproblemer, og det har vi lagt inn som en halvering av bestandsstørrelse. Vi beregnet ved BUFFER-analysen at andelen skog i kant da økte fra 39 % til 49 %.

For øvrig er beregningene gjort som beskrevet i forrige kapittel. Kritisk vindhastighet er inter- og ekstrapolert til aktuelle d/h-forhold, det er regnet med en skjermingsfaktor pga topografiske forhold på 0,9, og vi har tenkt på én vindepisode fra en spesiell retning slik at bare halvparten av kantarealet utsettes for denne vinden.

Resultater

Modellen viser at skogbehandlingen kan ha stor effekt på omfanget av stormskader (Fig. 5). Dersom hele landsdelen ble utsatt for en vind med 100 års referansehastighet på 24 m/s så vil omfanget av vindfelt skog variere mellom 0,8 og 19 % av det stående volumet på 420 millioner m^3 , dvs mellom 3 og 80 millioner m^3 , for de to alternativene. Effekten av redusert d/h-forhold og dermed redusert enkeltrestabilitet førte alene til en vindfallmengde på 15 %, mens en halvering av bestandsstørrelse alene gav 5 % i vindfallmengde. Modellen viser også at en beskjeden økning i vindhastighet ved klimaendring kan gi en betydelig økning i omfanget av stormskader. Det er særlig ved referansevindhastigheter fra 20 m/s og oppover, som er ekstremvinder som opptrer omkring hvert 10. år i denne landsdelen, at omfanget av stormskader øker sterkt. Det er også tydelig at mye av skogen er ekstremt stormsterk. Minst 50 % av skogen synes å overleve en storm med referansehastighet på 40 m/s uansett forutsetninger som legges til grunn, en slik hastighet vil i praksis ikke kunne forekomme over et større område i landsdelen. Orkan (32,6 m/s) har en returtid på ca 100.000 år på referanseterreng i landsdelen. Dersom denne skulle blåse over hele landsdelen, hvilket egentlig er en sjeldnere begivenhet, ville ca. 70 % av skogen overleve, men usikkerhetene er store.



Figur 5. Modelleret volum vindfelt virke med økende vindhastighet for tre alternativer av tilpasning i skogbehandlingen. I figuren er vindhastigheten referert til 10 min middelvind i 10 m høyde i flatt, åpent landskap, og det er regnet som om hele skogarealet i landsdelen ble utsatt for samme vindhastighet.

4. KARTLEGGING AV VINDFALLSRISIKO FOR ENKELTBESTAND

Dersom skogeier ønsker å differensiere skogbehandling, dvs. avveie hensynet til stabilitet opp mot andre hensynet i skogskjøtselen, kan det være nyttig å vite risikoen for vindskader i hvert bestand i skogen. Vi har her gjort en modellkjøring for å beregne risiko for vindskader for hvert enkelt bestand i en skogbruksplan.

Materiale og metoder

Vi har brukt den svenske modellen WINDA (Blenow & Sallnäs 2004). Der beregnes først et vindklima over en terrengoverflate ved hjelp av den danske WASP-modellen, som er utviklet for å optimalisere plasseringen av vindmøller. Deretter knyttes dette til skogbruksplandata, og risikoen for stormskader i hvert bestand beregnes som risikoen for stormskader i bestandskant.

Vi har valgt ut et område i Gran kommune, Oppland. Området for beregningene er på ca 20 km². Dette er et område hvor det er sterke topografiske variasjoner rundt Brandbukampen, samtidig som det er et område med mye granskog og et aktivt skogbruk. Dessuten var det i dette området omfattende stormskader etter en storm den 15. november 2001. Vi har beregnet risiko for vindfall for to alternativer. Først har vi beregnet en generell risiko basert på vindklimaet i området, basert på 50 år lange tidsserier av vinddata, dvs. vind med ulik styrke og ulik retning. Videre har vi beregnet risiko for stormskader ved den denne aktuelle stormen i 2001, og sammenliknet dette med stormskadenes faktiske omfang og fordeling.

WINDA-modellen: WINDA kombinerer modellen WASP, som beregner vindklima for et område ut fra terrengforhold og historiske vinddata fra meteorologiske stasjoner, og modellen HWIND, som er en dose-respons modell som gir kritisk vindhastighet ut fra skoglige variable (Peltola *et al.* 1999, se over). WINDA benytter skogbruksplandata i GIS og beregner sannsynlighet for vindfelling i skogkanter, ut fra vindklima, terreng, treslagsblanding, trestørrelse og skogkantens retning. Modellen er utviklet i Sverige og er validert mot observerte skader i et 6,7 km² forsøksområde i Asa, Sør-Sverige, etter to stormer med omfattende vindfelling i 1993.

Data input til WINDA-modellen ble tatt fra ulike datakilder, dvs norske kartdata og skogbruksplan

(Tabell 4). Data om stormskadene er registrert av landbrukskontoret i Gran kommune, og ble stilt til disposisjon for prosjektet.

Skoglige data: Variabler er tatt fra en skogbruksplan laget av Mjøsen skogeierforening i 2003. Vi har omregnet dataene til de inputvariablene som WINDA trenger. Det var noen variabler som ikke fantes i skogbruksplanen, og de måtte estimeres ut fra andre data. For eksempel krever WINDA grunnflateveiet middeldiameter, og den ble estimert vha en modell som er utviklet av Eid (2001):

$$[2] D = 0.80 \cdot G^{-0.196} \cdot H^{1.034} \cdot A^{0.204},$$

hvor G er grunnflate (m²/ha), H er middelhøyde (m) og A er alder (år).

For å kunne gjøre en sammenlikning mellom modellert vindfallsrisiko og registrerte stormskader ved stormen i 2001, måtte dataene i skogbruksplanen tilbakeføres i tid. Planen var ferdigstilt i 2003, dvs etter 2001-stormen, og vi måtte derfor tilbakeføre skogbruksplandataene til tidspunktet før stormen, – dvs vi måtte 'reise opp' skog som hadde blåst ned. Vi laget et program som kombinerte data for stormskadene, data fra en gammel skogbruksplan og data fra den nye skogbruksplanen, og koblet dataene ved hjelp av gårdsnummer, bruksnummer, teignummer, bestandsnummer og delbestandsnummer. Bestand som ble skadd i stormen ble tilbakeført i tid ved at de fikk tilordnet bestandsegenskaper fra liknende bestand, dvs bestand med omtrent samme treslag, bonitet, alder og stående volum. Vi støtte her på betydelige problemer pga. ulik praksis for identifisering av bestand.

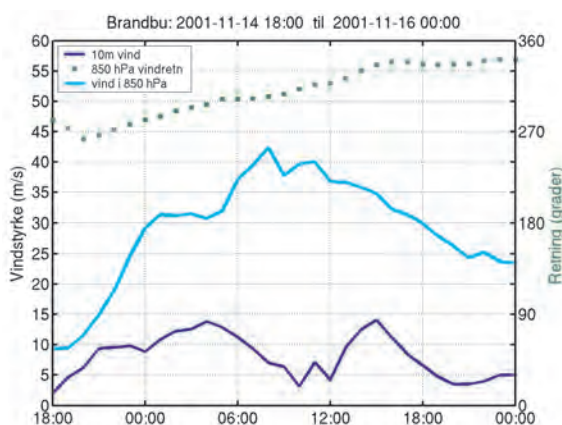
Vinddataene: For den generelle risiko for vindskader har vi brukt en 50 års tidsserie med vinddata fra Gardermoen. For modelleringen av risiko ved stormen i 2001 brukte vi også vinddata fra Gardermoen, dvs. vindretning og vindstyrke. I den stormen var imidlertid vindretningen fra nordvest, og da ligger Gardermoen i le av Romeriksbåsen. Vi har derfor økt vindhastigheten i modellen fra målte 12 m/s på Gardermoen til anslåtte 16 m/s i Gran. Som en kontroll på dette gjorde vi også en modellering av vinddata for området i Gran basert på vinddata fra stor høyde over bakken, dvs. en høyde tilsvarende et lufttrykk på 850 hPa (ca. 1500 m over havet) (Fig. 6). Situasjonen ble først forsøkt beskrevet ved

den numeriske værvarslingsmodellen ECMWF ved værvarslingsssenteret i Reading, England, men denne gav for liten romlig oppløsning for vårt formål. Vi gikk derfor videre og benyttet den amerikanske modellen WRF basert på inngangsdata fra ECMWF-modellen, og resultatet ble nestet ned til 1 km romlig oppløsning. Det kom da tydelig fram at

episoden var karakterisert av lange gravitasjonsbølger som brakte mild og sterk vind fra nordvest ned mange steder på Østlandet. Fig. 6 viser at det var ca. 40 m/s i 850 hPa i ca. 6 timer fra 6 til 12 UTC (kl 7–13 norsk tid), med vinddreining fra 300° til 320°.

Tabell 4. Data input til WINDA-modellens beregning av generell risiko for stormskader

Data	Område og romlig oppløsning	Data-kilde
Volumandel fordelt på treslag (g, f, l)	Bestand	Digital skogbruksplan 2003.
Middeløyde per treslag	Bestand	Digital skogbruksplan 2003
Grunnflateveid middeldiameter per treslag	Bestand	Digital skogbruksplan 2003. Estimert vha formel [2]
Antall stammer per ha	Bestand	Digital skogbruksplan 2003. Estimert ut fra grunnflate (m ² /ha) og grunnflateveid middeldiameter.
Bestandskart	Modellområdet, 20km ²	Digital skogbruksplan 2003. Bestandspolygoner.
Markslagskart	Modellområdet + 5 km rundt	Statens kartverks N50 serie: Arealdekke og byggpunkt. Innhold: Vannflater, skog, myr, dyrket mark, by og tettbebyggelse, flyplass, industriområde, idrettsplass, steinbrudd og grustak, kirkegård og steintipp. Bygningspunkt for ulike byggtyper.
Digital terrengmodell	Modellområdet + 5 km rundt. Romlig oppløsning 25m	Digital terrengmodell: Statens kartverks 25m DEM.
Vinddata, tidsserie av 10 min middelvind, 1955–2005	Gardermoen	Data-arkivet ved Meteorologisk institutt
Kart: vindstasjon	Høy oppløsning, 1 km rundt Gardermoen	Høyde og plassering av alle le-givende objekter, dvs bygninger



Figur 6. Modellerte vinddata for Brandbu (Gran) for stormen den 15. november 2001 plottet mot tidspunkt.

Resultater

Resultatene av modelleringen av generell risiko for stormskader viser tydelig hvordan WINDA-modellen fanger opp både terrengeffekter og skogkantefekter (Fig. 7). Framfor alt trer Brandbukampen og en nord-sørgående rygg fram med høy risiko. Nesten alle granbestand i hkl IV og V har høy risiko i disse to områdene.

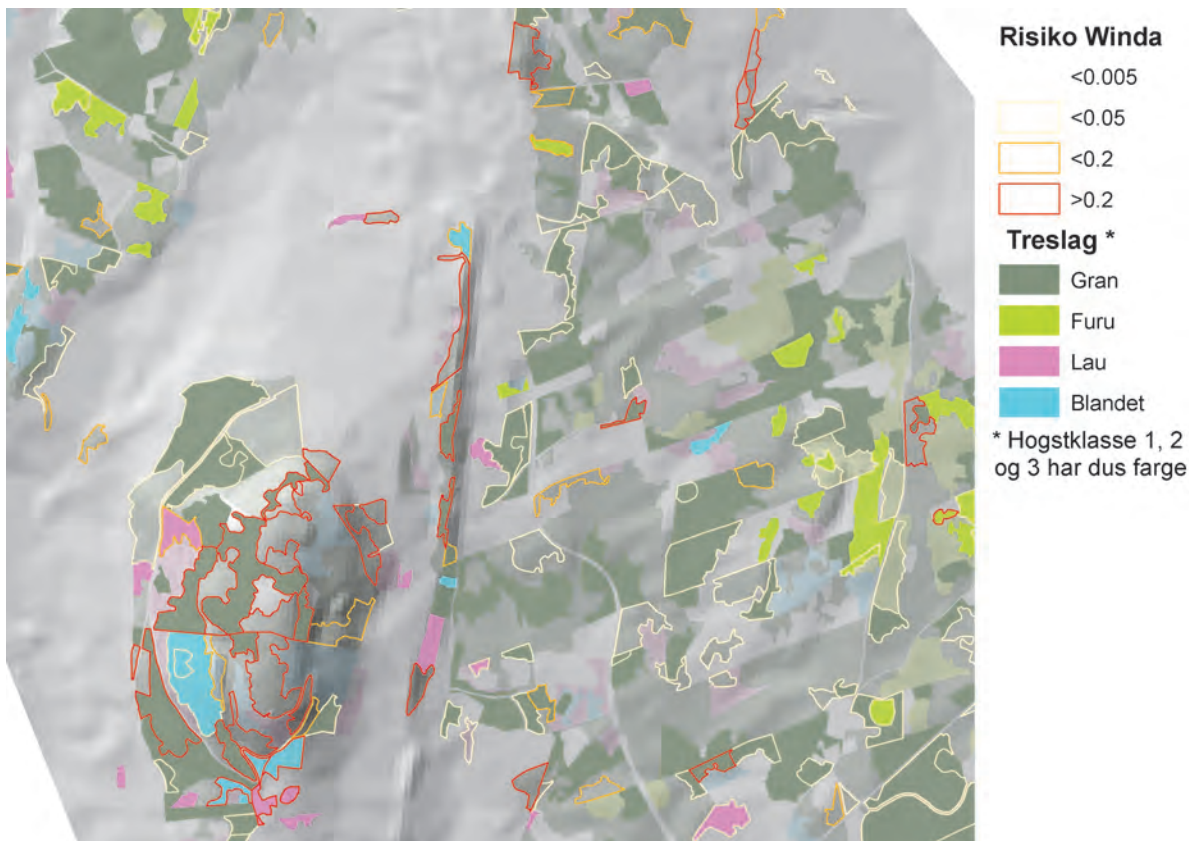


Fig. 7. Resultat av modellering av generell risiko for vindfall for et område rundt Brandbukampen (nede til venstre). Risikoen er gitt ved fargen på bestands-omrisset, etter som WINDA beregner risiko for bestandskant. Grå arealer er ikke skog.

Når det gjelder stormen i 2001 er predikert risiko for vindfall ut fra WINDA vist til venstre i Fig. 8, mens de registrerte skadene er vist til høyre. Det er et visst geografisk sammenfall mellom modellerte og registrerte skader. Særlig er det overensstemmelse for Brandbukampen og området nederst til venstre, hvor det er generelt høy risiko for skader og også stort omfang av skader. Forøvrig er det noe samsvar, men også store forskjeller. Noe av uoverensstemmelsene kan skyldes at WINDA-modellen

ikke angir skadeomfang, slik at bestand med svake skader kommer ut med høy risiko, selv om ventet skadeomfang er lavt. Lokalt i Gran var det en oppfatning at det var mye turbulens på lesiden av Brandbukampen, og at dette førte til mye tilfeldigheter i hvor det ble skader, og hvor sterke de ble. Vi kan se at det var en del spredte skader i dette området, dvs. sørøst for Brandbukampen, mens WINDA-modellen jevnt over predikerte lav risiko her.

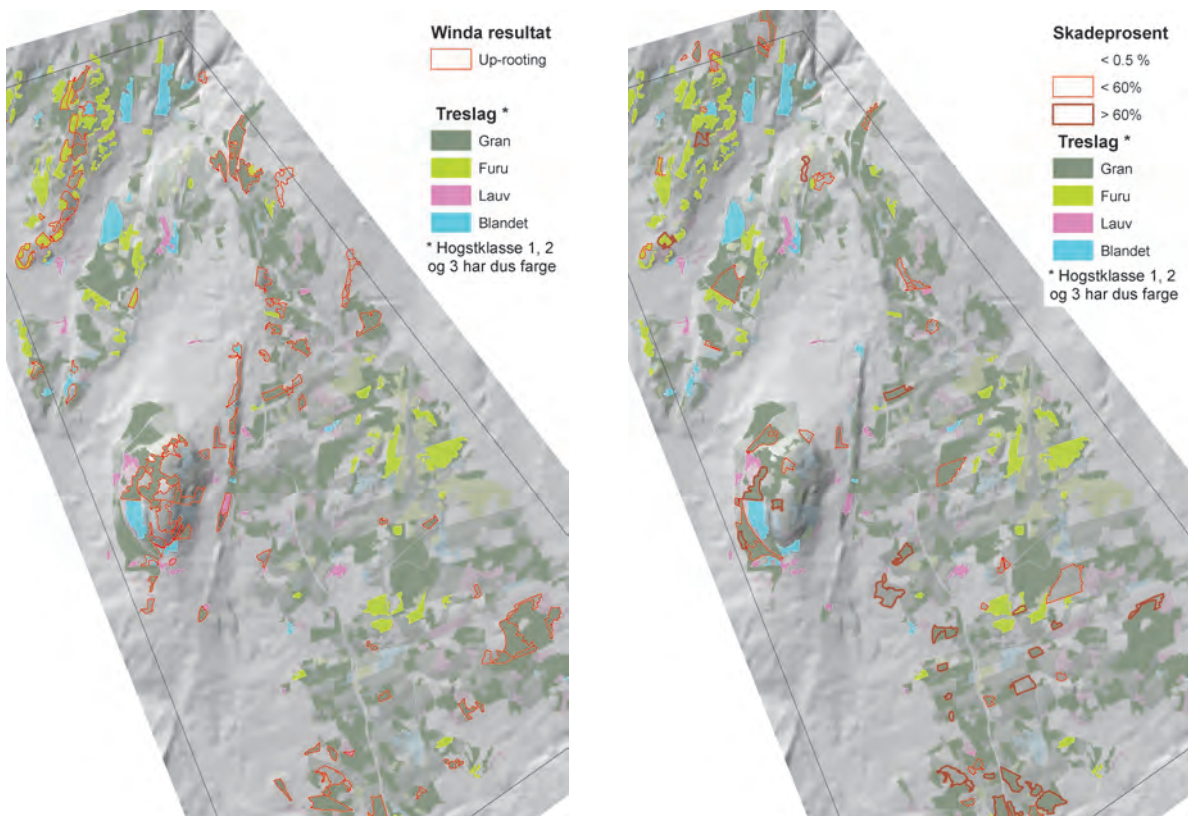


Fig. 8. Modellert og registrert skade etter stormen 15. november 2001, Gran, Oppland. Modellert risiko for vindfall etter WINDA-modellen er vist til venstre, hvor røde polygoner angir bestand med vindfall, dvs. hvor kritisk vindhastighet ble overskredet. Innmeldte stormskader til skogbrukssjefen i Gran etter stormen er vist til høyre.

5. DISKUSJON

Resultatene har vist at stormfastheten i dagens skog i Sørøst-Norge er svært variabel. Det vi opplever som sterke stormer, dvs. stormer med returperioder på 20–100 år, har vindhastigheter som overskrider stormfastheten for omkring 5 % av kubikkmassen, og treffer der den kumulative fordeling av stormfasthet øker bratt. Det betyr at moderate økninger i vindhastighet kan gi store økninger i volum vindfelt virke, og at skogbehandlingen kan ha stor betydning for dette volumet. Simulering av ulike skogbehandlingsalternativer underbygger også dette. Den ene testkjøringen med WINDA-modellen tyder på at det vil være mulig å lage brukbare risikoberegninger for enkeltbestand. Alt dette er resultater av et forprosjekt, med en hovedvekt på teoretiske beregninger. Resultatene er derfor beheftet med en del usikkerhet, og videre undersøkelser med mer datamateriale fra feltstudier er nødvendig hvis en vil underbygge resultatene bedre. Vi vil her peke på, og diskutere, disse usikkerhetsmomentene.

Alle resultatene bygger delvis på modellen HWIND, dvs. Peltolas *et al.* (1999) studie for kritisk vindstyrke fra Finland. Modellen er utviklet og validert under finske forhold. Vi regner med at dette i stor grad har gyldighet for norske forhold. Det er neppe store forskjeller i skogbehandlingen mellom de to land, og eventuelle forskjeller vil uansett fanges opp av modellen i og med at d/h-forhold er en viktig inputvariabel. Jorddybden i Norge er generelt lav sammenliknet med våre naboland, og det kan tenkes at et grunnere jorddekke gir svakere forankring. Imidlertid er det særlig gran som utsettes for vindfelling, og gran har uansett et relativt grunt rotsystem, så grunt jorddekke synes ikke å være en viktig forskjell.

Beregningen av vindfelt volum ved en 100-års storm og betydningen av skogbehandlingen har en rekke usikkerhetsmomenter i seg, men vi mener at resultatene er realistiske og angir riktig størrelsesorden. Og selv om det kan være usikkerhet om totalt volum, viser resultatene en del viktige momenter, hvorav noen er som ventet. Det er særlig gammel granskog i bestandskant som står i faresonen for stormskader, og skogbehandlingen synes å ha en

stor betydning fordi det styrer treslagsblandingen, enkelttre-stabiliteten, samt omfang og utforming av bestandskanter. Det er kjent at omfanget av stormskader på skog har økt kraftig de siste 50 år, særlig med stormene Vivian, Lothar og Gudrun de siste 15 år. Årsakene til denne økningen synes ikke å være økt vindhastighet eller økt stormfrekvens, men i hovedsak er det et resultat av skogbehandlingen som har gitt økt kubikkmasse i skog, økt trehøyde og økt andel gran. Dessuten kan vindhastighet ha økt lokalt (Alexandersson *et al.* 2000). Andre forhold kan også spille inn: Det er i flere studier vist at de store tilførselene av nitrogen med nedbøren i sentrale områder av Europa og det sørlige Skandinavia virker som en betydelig gjødsling, og vi må regne med at det fører til økt krone/rot forhold ved at barmassen øker mer enn rotsystemet ved N tilførsel. Dette kan bidra til økt vindfallsrisiko.

Som nevnt er det flere usikkerhetsmomenter i beregningene, og vi tar her en gjennomgang av dem:

- Motstanden mot vindfelling avhenger av tyngdekraftene og av forankringen av rotsystemet. Forankringen avhenger av flere forhold, dvs vekten av rotsystemet med tilhørende jordplate (rotkaka), dybde og diameter av rotkaka, og jordegenskaper. Effekten av faktorer utenom vekt er vanskelig å beregne og er i HWIND satt til å være proporsjonal med vekten av rotkaka, dvs 4 x rotkakas vekt for gran, og 2,3 x rotkakas vekt for furu og bjørk. Da stormen Gudrun traff Sverige 13. januar 2005 hadde det vært regnvær i to uker og forankringen i den sterkt vannholdige jorda var uvanlig lav, slik at også furu i stor grad blåste ned. Dette viser at forankringen ikke er fast slik som beregnet i slike modeller, men at den i våte perioder kan være betydelig nedsatt. Dette kan få økende betydning framover under en klimaendring.
- Det er grunnlag for mer raffinerte studier angående kanteffekt, for eksempel studier knyttet til kantrærnes varierende tålegrense som funksjon av vindretningen, bedre beskrivelse av vinden på begge sider av bestandsgrenser, samt fordelingen av storstormen på forskjellige retninger. For øvrig er kantarealet noe overvurdert i GIS-analysen BUFFER, fordi det ikke er tatt hensyn til at noen bestandsgrenser ligger mot kommunegrensen, og noen mot veier, slik at dette i mange tilfeller ikke er bestandskanter som er utsatt for vind. I Landsskogtakseringen er det også registrert hvorvidt flatene står nærmere kant enn 20 m, og i gjennomsnitt for disse

10 fylkene var det 30 % av hkl III-V som stod nærmere kant enn 20 m (mot vann, elv, myr, dyrka mark eller bestand av lavere hogstklasse). Vi har i beregningene lagt 39 % til grunn ut fra GIS-analysen på skogbruksplanen fra Gran, men dette tallet kan altså være noe for høyt.

- Referansehastigheten kan også gjøres retningsavhengig og årstidsavhengig gjennom angitte koeffisienter, men det er ikke gjort her.
- Det er naturlig å legge inn en skjermingsfaktor på 0,9 på ekstremvinden ved skadeberegning på skog, tilsvarende en typisk skjermingskoeffisient for vindkast i norsk vindlaststandard. I virkeligheten vil terrengforholdene gi en frekvensfordeling av ulike skjermingskoeffisienter, hvor vi regner med størst sannsynlighet for koeffisienten 0,9, noe lavere sannsynlighet for 0,8 og 1,0, og enda lavere for 0,7 og 1,1 (der 1,1 angir forsterkning). Men dette har vi ikke tall for, så slike beregninger må overlates til senere prosjekter. Vi har heller ikke gått inn på mulige kommunevariasjoner i skjermingen.
- På grunn av det ujevne og sporadiske nettet av klimatiske målestasjoner i Norge er det vanskelig å studere variasjoner i stormintensitet over land. Men det kan gjøres med bakgrunn i reanalyserte trykkdata. I dag har vi slike databaser over havområdene. I et prosjekt som pågår ved Meteorologisk Institutt, blir slike data tilgjengelige i et rutenett på 10x10 km i løpet av 2009, for perioden 1955–2007. På grunn av terrengvariasjonene er disse data ikke troverdige ved bakken, men i en høyde over bakken tilsvarende lufttrykket 850 hpa kan slike data gi en god pekepinn om variasjoner i stormintensitet i ulike avstander fra maksimalområdet. Derved kan det gjøres arealstudier av returperioder.

Modelleringen av stormskaderisiko for et område i Gran har gitt oss verdifulle erfaringer fra slik modellering, og et utgangspunkt for å vurdere om det bør satses videre på dette i Norge, og om det bør utvikles egne modeller tilpasset norske forhold. Vi erfarer gjennom arbeidet enkelte problemer med bruk av skogbruksplandata, som at enkelte inputvariable ikke var registrert. Det gjaldt for eksempel grunnflateveiet middeldiameter. Det er tydelig at modellen fanger opp både terrengeffekter og bestandskanter, og resultatene ser derfor ut til å være meningsfulle. Når det gjelder modelleringen av den aktuelle stormskaden i november 2001, var det et visst sammenfall mellom predikert og observert skade, men dette kan ikke brukes som en test på kvaliteten av WINDA-modellen. En del av inputvariablene var kun tilgjengelige som grove estimater, fordi enkelte

variabler ikke fantes i skogbruksplanen, og fordi data måtte tilbakeføres til tidspunktet før stormen. Videre fører Brandbukampens bratte topografi til vindkast som på lesiden er preget av tilfeldighet både når det gjelder vindretning og vindhastighet. Slike effekter er vanskelig å modellere, og inngår ikke i WASP-modellen. Vindklimamodellen som ligger i bunnen av WINDA er WASP, som er en modell utviklet i Danmark for å optimalisere plasseringen av vindmøller. Det at utviklingen er gjort i flate Danmark, gjør at resultatene ikke er særlig gode for kupert terreng. Vinddataene som ble brukt i modelleringen av generell risiko er fra Gardermoen. Dette er ikke en god stasjon for dette formålet, fordi det særlig er nordvestlig vind som gir sterk vind og stormskader på skog i Gran kommune, og Gardermoen ligger i le for denne vindretningen. Når det gjelder stormskadene i 2001, var som nevnt over skogbruksplanen ferdigstilt etter stormen, og vi måtte forsøke å tilbakestille den til før stormen. Det var også mangel på gode meteorologiske data for denne stormen på Gran. Hovedformålet med en modell som WINDA er imidlertid ikke å predikere risiko for skader i en enkelt storm, men predikere en generell risiko som vil ha gyldighet framover i tid. I undersøkelser i Sverige har WINDA gitt godt samsvar mellom predikert og observert skade (Fig. 9). Det finnes en alternativ modell for beregning av risiko for stormskader på skog: Modellen FOREST GALES er utviklet i Storbritannia, og i den beregnes risikoen ikke ut fra bestandskanter, men ut fra egenskapene i hele bestandet (Quine & White 1993, Quine & Wright 1993). I tillegg til bestandsegenskaper inngår variabler for vindsoner i Storbritannia, høyde over havet, terrengets eksposisjon, topografi, og jordbunnsforhold.

VIDERE FORSKNING

Det er ovenfor pekt på en rekke usikkerhetsmomenter, som kan belyses nærmere dersom en velger å fortsette forskning på dette feltet. Den gjennomførte analysen hviler på en del omtrentlige forutsetninger. Den kritiske vindhastigheten for skade er en funksjon av rotsystemets forankring og forholdet mellom diameter og høyde. Denne funksjonen er hentet fra finske forhold, mens norske d/h-forholdet er lagt på i form av enkel lineær interpolasjon. Videre forskning bør ta tak i begge disse problemområdene for å tilpasse forankringen til norske klimatiske og geologiske/jordbunnsmessige forhold. Rotsystemets tilpasning til vindforhold, samt variasjoner i forankringen i forhold til tørr, våt og frossen mark er aktuelle problemstillinger.

Den andre store usikkerheten er knyttet til hvilken faktisk vindhastighet som treffer skogen i en 100-års storm. Dette er særlig knyttet til begrepet ter-

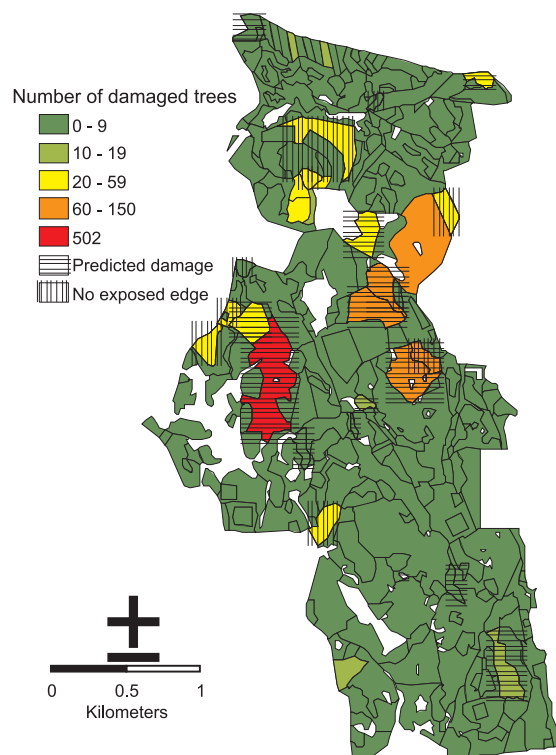


Fig. 9. Modellert risiko for vindskader (WINDA) sammenholdt med registrerte skader fra Asa, Sverige (Blennow & Sallnäs 2004).

rengskjerming. I vår analyse er det angitt en skjermingskoeffisient på 0,9, dvs. det er antatt at det norske terrenget med åser og daler demper vindhastigheten til 90 % av det den ville vært dersom landsdelen var helt flat. Dette er en forholdsvis grov og subjektiv tallfastsetting, selv om begrunnelsen for å gå lavere enn 100 % synes å være hensiktsmessig. Muligheten for videre forskning ligger her i å se på teoretiske terrengparametre som helning, eksponering og konkavitet ut fra kartstudier, og ved å se på faktiske vinddata og modellstudier. Vi vil da trolig ende opp i en fordeling av skjermingskoeffisienter der enkelte områder opplever en forsterkning, dvs. at de er utsatt for høyere vindhastighet.

Antagelsen om hvordan en 100-års storm i et område kan fordele seg i landsdelen kan studeres nærmere ved å studere hindcastdata, dvs. reanalyse av gamle data. Meteorologisk institutt leder for tiden et prosjekt der et viktig resultat vil bli en 50-års serie med vinddata 4 ganger pr. døgn i 10x10 km ruter. Vindhastighet og -retning ved bakken i en slik serie vil ikke være korrekte, men tidsserien kan brukes til å studere arealmessig funksjon av vindhastighet og vindretning i storstormer. Derved kan både historisk tidsutvikling, kantfordelt storm og

arealmessig returperiode studeres. Enkeltstormer kan også studeres ved å neste inn finskalamodeller for å se nærmere på terrengvirkningene. Det er også betimelig å spørre om hva som vil skje med vind og klimatisk forankring i et fremtidig klima. Det er foreløpig store usikkerheter i slike vindscenarier, men det er stor forskningsaktivitet på området og det kan etter hvert forventes forbedrede dataserier for ulike formål. Disse vil da kunne benyttes i virkningsstudier, slik som framtidig utvikling av stormskaderisiko. Det vil være naturlig å se nærmere på både WINDA og FOREST GALES modellene.

Skogbehandlingen er ansett å være en viktig faktor, og det kan derfor være fornuftig å fokusere mer på dette framover. En generell økning i fokuset på stabilitet kan være fornuftig. Men det kan også være at en bør differensiere skogbehandlingen mer, avhengig av risiko for stormskader i området eller i det enkelte bestand. Det dreier seg dels om langsiktige tiltak, som å sørge for lav utgangstetthet i ungskog og anlegge framtidige, gode kanter allerede i ungskogfasen, og dels om å prioritere riktige bestand for seine tynninger, kvalitetsproduksjon, sluttavvirkning og eventuelt naturlig foryngelse i granskog. Modellering av risiko for stormskader kan gjøres både tidløst for et aktuelt sted, med sitt vindklima og sitt terreng. Og det kan gjøres slik at risikoen vurderes ut fra den stående skogen på stedet. Tynning utgjør nå 25 % av hogstkvantumet i Hedmark, og det er en økende anvendelse av geografiske data (GIS) i forvaltningen, så slik sett ligger forholdene til rette for å ta inn risiko for stormskader i skogforvaltningen. Modellen WINDA kan også benyttes til simulering av skogbehandlings betydning for vindfallsrisiko for ulike behandlingsalternativer for et bestand (Fig. 10).

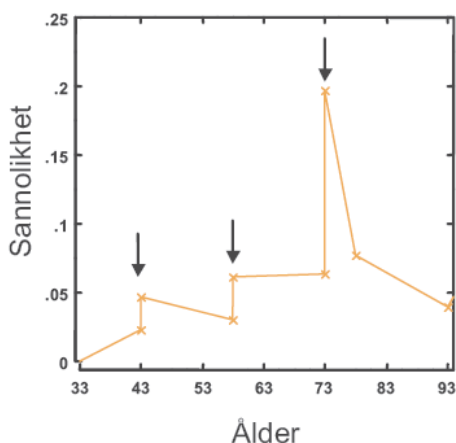


Fig. 10. Simulering med WINDA av risiko for vindfall over tid for et bestand med tre tynninger. Det er tydelig hvordan risikoen øker etter hver tynning (Blennow & Olofsson, 2004).

Til slutt kan det nevnes at flybåren laserskanning (LIDAR) er en teknologi som nå får økt anvendelse innen skogbruksplanlegging. Data fra LIDAR kan benyttes til å generere viktige inputdata for beregning av vindfallsrisiko. Både terrengets og kronetakkets geometri kan modelleres, og det enkelte treets posisjon, høyde og kronestørrelse kan bestemmes ganske bra (Fig. 11). Betydningen av skogkanter og bestandstetthet kan dermed belyses godt. Det kan derfor være at LIDAR-data vil øke mulighetene til å predikere vindfallsrisiko i skog.

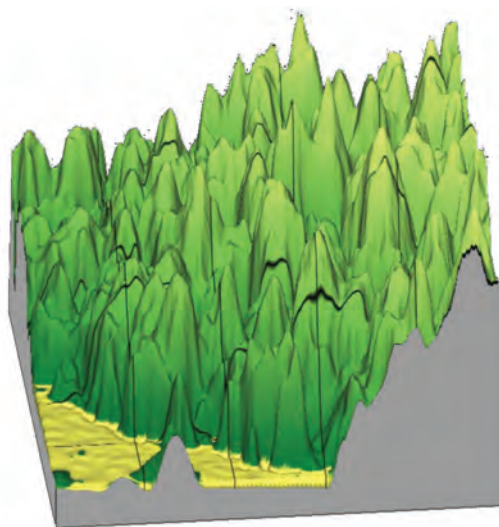


Fig. 11. Eksempel på modellering av skog ved hjelp av flybåren laserskanning.

6. KONKLUSJON

Resultatene har vist at stormfastheten i dagens skog i Norge er svært variabel. Det vi opplever som sterke stormer, dvs. stormer med returperioder på 20–100 år, har vindhastigheter som overskrider stormfastheten for omkring 5 % av kubikkmassen, og treffer der den kumulative fordeling av stormfasthet øker bratt. En moderat økning i vindhastighet kan derfor føre til en stor økning i volum vindfelt virke, og skogbehandlingen har stor betydning for dette volumet. En vei å gå for skogeier er å differensiere skogbehandlingen, dvs. å fokusere på stabilitet der risikoen for vindskader er høy. Vi har prøvet modellen WINDA som beregner risiko for vindskader for hvert bestand i en skogbruksplan, og slike modeller kan være et hjelpemiddel for skogeier til å gjøre slik differensiering. Alle resultatene er usikre fordi dette har vært et forprosjekt. Videre forskning kan være aktuelt, og det vil da være viktig å underbygge resultatene bedre med mer datamateriale fra feltstudier og videre undersøkelser.

LITTERATUR

- Alexandersson, H., Tuomenvirta, H., Schmith, T. & Iden, K. 2000. Trends of storms in NW Europe derived from an updated pressure data set. *Climate research* 14 (1): 71–73.
- Anon. 2001. Lothar. Der Orkan 1999. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Birmensdorf. 365 p.
- Blennow, K. & Sallnäs, O. 2004. WINDA – a system of models for assessing the probability of wind damage to forest stands within a landscape. *Ecological Modelling* 175 (2004) 87–99.
- Blennow, K. & Olofsson, E. 2004. Kan man undvika stormskador? S. 39–43 i: Blennow, K. (Red.) Osäkerhet och aktiv riskhantering. Aspekter på osäkerhet och risk i sydsvenskt skogsbruk. SUFOR 2004. ISBN 91–576–6643–1. 96s.
- Eid, T. 2001. Models for Prediction of Basal Area Mean Diameter and Number of Trees for Forest Stands in South-eastern Norway. *Scand. J. For. Res.* 16: 467–479.
- Hansen-Bauer, I. & Haugen, J.E. 2007. Klimascenarier. S. 9–12 i: Solberg, S. og Dalen, L. S. (Red.). Effekter av klimaendring på skogens helsetilstand, og aktuelle overvåkingsmetoder. Viten fra Skog og landskap 03–2007. 42 s.
- Harstveit, K. & Andresen, L. 1994. Ekstremvindanalyse for kyststrekningen Rogaland – Finnmark, DNMI Klima, 07/94. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo. NBRs vindprosjekt, rapport nr 3.
- Harstveit, K. 2002. Sammenhengen mellom vindhastighet og varighet. DNMI/KLIMA Rapport no 03/02.
- Larsson, J.Y. & Hysten, G. 2007. Skogen i Norge. Statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge registrert i perioden 2000–2004 [Statistics of forest conditions and forest resources in Norway]. Viten fra Skog og landskap 1/07: 91 s.
- NS 3491–4., 2002. Prosjektering av konstruksjoner – Dimensjonerende laster – Del 4 Vindlaster. Norges Byggestandardiseringsråd, NBR.
- Quine, C.P. & Wright, J.A. 1993. The effects of revised windiness scores on the calculation and distribution of windthrow hazard classes. Forestry Commission. Research information note 231. 4s.
- Quine, C.P. & White, I.M.S. 1993. Revised windiness scores for the windthrow hazard classification : the revised scoring method. Forestry Commission. Research information note 230. 5s.
- Peltola, H., Kellomäki, S., Väisänen, H., Ikonen, V.P. 1999. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Can. J. For. Res.* 29: 647–661.
- Schelhaas MJ, Nabuurs GJ, Schuck, A. 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology* 9 (11): 1620–1633.
- Solberg, S. & Dalen, L. S. (Red.) 2007. Effekter av klimaendring på skogens helsetilstand, og aktuelle overvåkingsmetoder. Viten fra Skog og landskap 03–2007. 42 s.

Forfatterinstruks for Forskning fra Skog og landskap

- Manus skrives i Word 12 punkt skrift med 1 ½ linjeavstand, ren tekst; uten bruk av stiltyper i word.
 - » Forord
 - » Sammendrag
 - » Innledning
 - » Materiale og metode
 - » Resultat
 - » Konklusjon/diskusjon
 - » Litteratur
- Titler skal identifiseres ved hjelp av nummerering; 1., 1.1., 1.2., 2., 2.1., osv.
- Avsnitt markeres med dobbel linjeavstand.
- Latinske navn skal skrives i kursiv.
- Som desimalskille i tall skal det brukes komma på norsk og punktum på engelsk.
- Alle tabeller og talloppsett som skrives i Word, skal være med tabellfunksjonen (ikke bruk tabulator), og plasseres i teksten der det skal stå.
- Alle tabeller, figurer og bilder som er laget i andre programmer enn Word, skal vedlegges i sitt originale filformat. Velg gode størrelser i fontene så figurene beholder sin lesbarhet når de skaleres/nedfotograferes.
- Merk i manuset hvor tabeller/bilder/figurer i annet format enn Word skal inn. Skriv også inn tabell/bilde/figuratekst her.
- Strektykkelsen i figurer og grafer må ikke være mindre enn 0,11 mm, det vil si ¾ punkt.
- Tenk lesbarhet i grafer. Farger ser fint ut på skjermen, men er vanskelig lesbart i svart/hvit gjengivelse.
- Redaktøren tar standpunkt til om manuskriptet er kvalifisert for utgivelse i serien.

NORSK INSTITUTT FOR
SKOG OG LANDSKAP

adr.: Pb 115
NO-1431 Ås

tlf.: +47 64 94 80 00
faks: +47 64 94 80 01

nett: www.skogoglandskap.no

REGIONKONTOR
NORD-NORGE

adr.: Skogbrukets hus
NO-9325 Bardufoss

REGIONKONTOR
MIDT-NORGE

adr.: Statens hus
NO-7734 Steinkjer

REGIONKONTOR
VEST-NORGE

adr.: Fanaflaten 4
NO-5244 Fana

NORSK
GENRESSURSENTER

adr.: Pb 115
NO-1431 Ås

