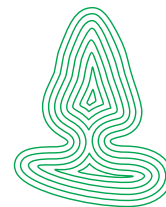


Oppdragsrapport
fra Skog og landskap

01/2014



skog+
landskap

NORSK INSTITUTT FOR
SKOG OG LANDSKAP

RISIKOFAKTORER FOR STORMSKADER:

Analyse basert på skader etter Dagmar

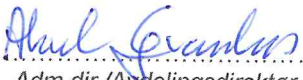
Svein Solberg, Tor Peder Lohne, Nikolas von Lüpke, Peter Tarp



Rapport til ekstern oppdragsgiver fra Skog og landskap

Postboks 115, 1431 Ås. Telefon 64 94 80 00

www.skogoglandskap.no

Tittel: Risikofaktorer for stormskader: Analyse basert på skader etter Dagmar	Nr. i serien: 1	Dato godkjent av oppdragsgiver: 4. mars 2014
Forfatter: Svein Solberg, Tor Peder Lohne, Nikolas von Lüpke, Peter Tarp		Antall sider: 12
Forfatterens kontaktinformasjon: sos@skogoglandskap.no , 64948996		
Oppdragsgiver: Skogbrand Andel privat finansiering: 100%	Prosjektnr. Skog og landskap / Kontraktsdato 347028	Tilgjengelig: Lukket: Begrenset: Åpen:X
Sammendrag: Formålet med denne studien var å identifisere risikofaktorer for stormskader basert på skadde felt etter stormen Dagmar 26. desember 2011. I tråd med erfaringer fra Norge og forskning fra andre land var hypotesen at omfanget av stormskader avhenger av topografiske forhold, jordbunnsforhold og skoglige forhold. Et datasett med 100 stormskade felt, samt et referansefelt med lite skader for hvert av dem, ble etablert. Forklaringsvariable for stormrisiko ble generert fra feltregistreringer, fra topografi-data, fra løsmassekart over Norge og fra skogbruksplaner. Vi benyttet en 'conditional logistic regression', som er spesielt tilpasset datasett med parvise observasjoner (skade versus ikke-skade). Resultatene var langt på vei i tråd med hypotesene, og viste at risikoen for stormskader varierer med topografiske forhold, jordbunnsforhold og skoglige forhold. For topografiske forhold viste analysene økt risiko på koller og øvre lisider, og TOPEX-variablene understøttet dette. For jordbunnsforhold var det generelt noe svake utslag, hvor en høyere risiko på grunt jordsmonn ble indikert. For skoglige forhold gav analysene flere resultater i tråd med hypotesene. Som ventet var det klare effekter av kant, og særlig av ny kant. Effekter av tynning var noe uklare, men indikerte økt risiko ved mange tynninger. Tynning er et tveegget sverd når det gjelder stormskader, ved at man på kort sikt øker risikoen, men på lang sikt reduserer risikoen. Det er derfor vanskelig å utforme en god tynningsvariabel som kan fungere mot denne dualiteten. Risikoen var høyere i blandingsskog enn i rene bestand. Dette stemmer med en hypotese om at innblanding av løvtrær øker risikoen i granbestand, men det stemmer ikke med at furu virker stabiliserende. Ensjet skog var mer utsatt enn flersjet skog, noe som kan forklares ved at ensjet skog ofte har stått tett i ungdommen og dermed fått svak rotutvikling.		
Ansvarlig signatur Jeg innestår for at denne rapporten er i samsvar med oppdragsavtalen og Skog og landskaps kvalitetssystem for oppdragsrapporter.  Adm.dir./Avdelingsdirektør		

Oppdragsrapport
fra Skog og landskap

01/2014

RISIKOFAKTORER FOR STORMSKADER:

Analyse basert på skader etter Dagmar

Svein Solberg, Tor Peder Lohne, Nikolas von Lüpke, Peter Tarp

Omslagsfoto: Stormfelling på Brandbukampen, Gran i Hadeland.
Foto: Anders Møyner Eid Hohle, Skog og landskap

Norsk institutt for skog og landskap, Pb. 115, NO-1431 Ås

SAMMENDRAG

Formålet med denne studien var å identifisere risikofaktorer for stormskader basert på skadde felt etter stormen Dagmar 26. desember 2011. I tråd med erfaringer fra Norge og forskning fra andre land var hypotesen at omfanget av stormskader avhenger av topografiske forhold, jordbunnsforhold og skoglige forhold. Et datasett med 100 stormskade felt, samt et referansefelt med lite skader for hvert av dem, ble etablert. Forklaringsvariable for stormrisiko ble generert fra feltregistreringer, fra topografi-data, fra løsmassekart over Norge og fra skogbruksplaner. Vi benyttet en 'conditional logistic regression', som er spesielt tilpasset datasett med parvise observasjoner (skade versus ikke-skade). Resultatene var langt på vei tråd med hypotesene, og viste at risikoen for stormskader varierer med topografiske forhold, jordbunnsforhold og skoglige forhold. For topografiske forhold viste analysene økt risiko på koller og øvre lisider, og TOPEX-variablene understøttet dette. For jordbunnsforhold var det generelt noe svake utslag, hvor en høyere risiko på grunt jordsmonn ble indikert. For skoglige forhold gav analysene flere resultater i tråd med hypotesene. Som ventet var det klare effekter av kant, og særlig av ny kant. Effekter av tynning var noe uklare, men indikerte økt risiko ved mange tynninger. Tynning er et tveegget sverd når det gjelder stormskader, ved at man på kort sikt øker risikoen, men på lang sikt reduserer risikoen. Det er derfor vanskelig å utforme en god tynningsvariabel som kan fungere mot denne dualiteten. Risikoen var høyere i blandingsskog enn i reine bestand. Dette stemmer med en hypotese om at innblanding av løvtrær øker risikoen i granbestand, men det stemmer ikke med at furu virker stabiliserende. Ensiktet skog var mer utsatt en flersiktet, noe som kan forklares ved at ensiktet skog ofte har stått tett i ungdommen og dermed fått svak rotutvikling.

Nøkkelord: storm, skogskader, risiko

INNHold

Sammendrag	ii
Innhold	iii
1. Innledning	1
2. Materiale og metoder	2
2.1. Utvalg	2
2.2. Datainnsamling	3
2.2.1. Feltregistrering	3
2.2.2. Skogplandata	4
2.2.3. Terrengdata	5
2.2.4. Jordbunnsdata	5
2.2.5. Statistisk analyse	6
3. Resultater	6
4. Diskusjon	10
Litteratur	12

1. INNLEDNING

Stormskader utgjør 50 % av det totale skadevolumet på skog i Europa, og er slik sett den mest omfattende skadetypen. Omfanget har økt betydelig de siste 50 år fordi mengden gammel granskog har økt betydelig i Europa (Scheelhaas et al. 2003, Bengtsson & Nilsson 2007). I tillegg kommer at barkbilleangrep, og særlig barkbilleepidemier gjerne kommer etter stormskader (Worrell 1983, Grégoire & Evans 2004, Økland & Bjørnstad 2006, Barkbilleovervåkingen 2011).

Det ventes at omfanget av stormskader vil øke med klimaendring. Det ventes ikke en økning i vindstyrke eller en økt frekvens av sterk vind, og det finnes heller ingen trender som tyder på at det har vært slike økninger hittil (Hansen-Bauer, I. & Haugen, J.E. 2007). Problemet med klimaendringen i denne sammenheng er at mildere og våtere vær, særlig i stormsesongen om vinteren vil redusere trærnes forankring. I en japansk studie nylig ble det vist eksperimentelt at våt jord reduserer trærnes forankring kraftig (Kamimura et al. 2012). Det kan nevnes her at når stormen Gudrun traff Sverige 7. januar 2005, så hadde det vært plussgrader og regnvær i omkring to uker, og skadene ble svært omfattende. Kanskje vil klimaendringene også redusere dybden og varigheten av tele i jorda, men dette er usikkert (Nilsson et al. 2004, Kellomäki et al. 2010). Det ventes hyppigere hendelser med tung, våt snø, som sammen med vind vil forsterke mengden av rotvelt og stammebrekk (Gregow et al. 2011).

Forskningsinnsatsen på stormskader i skog har vært beskjeden i Norge, men resultater fra utlandet gir et konsistent bilde av risikofaktorer for slike skader. Det er to hovedgrupper av risikofaktorer, - voksestedets egenskaper og skogens egenskaper. Når det gjelder voksestedet så avgjøres risikoen her av (i) vindklimaet på stedet, (ii) topografiske forhold, og (iii) jordbunnsforhold (Quine & White 1993). Høy risiko for stormskader har vi i de deler av landet der det er mye vind (meteorologiske forhold), på koller og høydedrag (terrengforhold) og der det er grunt jordsmonn, høytstående grunnvannsspeil eller aurløp som begrenser trærnes rotutvikling og forankring (jordbunnsforhold).

Risikoen for skader styres også i stor grad av egenskaper ved skogen, og skogbehandlingen (Peltola m.fl. 1999, Nørgård-Nielsen 2001, Blennow & Sallnäs 2004). En sterk avstandsregulering eller tidlig tynning gir god rotutvikling («enkelttre-stabilitet») og ved å unngå seine tynninger vil trærne gi hverandre støtte når de blir høye («sosial stabilitet»). Furu-innblanding øker stabiliteten, mens lauv-innblanding i barskog reduserer den. En god bestandskant skal være glissen og dermed slippe vinden inn i bestanden og bremse den gradvis opp. Kantenes plassering i landskapet er viktig, dvs. hvor topografisk utsatte de er og hvordan snauflatenes størrelse og utforming er. Solberg m. fl. (2008) estimerte at en 100-årsstorm på Østlandet ville føre til 18 millioner m³ stormskader, men at en annen skogbehandling kunne føre til at skadevolumet økte til 80 millioner m³ eller ble redusert til bare 3 millioner m³.

Det er en pris å betale ved å legge opp en skogbehandling som gir høy stabilitet. Sterke og tidlige tynninger og avstandsreguleringer fører til lavere tømmerkvalitet, ved større avsmalning og mer kvist. Det er derfor fornuftig å variere graden av tilpasning etter voksestedets risiko for stormskader. Det betyr at man på utsatte lokaliteter bør vektlegge stabilitet mer enn tømmerkvalitet, men på lite utsatte lokaliteter bør man vektlegge kvalitet framfor stabilitet. Et hjelpemiddel i skogbruksplanleggingen kan derfor være å utarbeide kart over voksestedets risiko for stormskader. Det finnes modeller for utenlandske forhold for å beregne slik risiko. Mest kjent er den svenske WINDA-modellen (Blennow & Sallnäs 2004) og den skotske ForestGales-modellen (Quine & White 1993). Det arbeides nå med å utvikle en kombinasjon av disse to modellene, den såkalte Winda-Gales modellen (Blennow & Gardiner 2009).

Det meste av kunnskapen om risiko for stormskader og tiltak i skogbehandlingen stammer fra forskning i utlandet. Lite er gjort i Norge. Norge er særpreget med mye topografi og generelt tynt jorddekke, sammenliknet med våre naboland og øvrige land med mer forskning på feltet. Norge har også en lang kystlinje med mye vind fra hyppig lavtrykksaktivitet. Det er derfor mulig at risikoen generelt er annerledes i Norge enn i andre land, og at risikofaktorene bør vektlegges annerledes. Formålet med denne studien var å identifisere risikofaktorer for stormskader basert på skadde felt etter stormen Dagmar 26. desember 2011. I tråd med erfaringer fra Norge og forskning fra andre land var hypotesen at omfanget av stormskader avhenger av topografiske forhold, jordbunnsforhold og skoglige forhold. Vindklimaet på stedet har også en betydning, men det har ikke lyktes å framskaffe data for Dagmar for det enkelte skadefelt. Denne studien er basert på en analyse av parvise felt, dvs. skadde felt og tilnærmet uskadde felt i nærheten. Dette designet på undersøkelsen gjorde at en del kjente effekter ikke kunne testes, særlig effekten av treslag og trehøyde (og alder).

2. MATERIALE OG METODER

Etter stormen Dagmar var det totalt 1300 skadefelt i skog som ble taksert av Skogbrand forsikring. I hvert felt ble det registrert bestandsnummer, areal, bonitet (H40), alder (år), rotverdi, skadevolum (m³/daa), skadevolumets %-vise fordeling på skjeve trær, rotvelter og brekkasje, normale driftskostnader (kr/m³), driftskostnader etter skade (kr/m³) og antall uskadde trær pr daa.

Feltnr.	Bestnr.	Areal	Bonitet	Alder	Rot verdi	Skade m ³ /da	Skjeve trær %	Rot velter %	Brekk- asje %	Normal driftskost (kr/m ³)	Driftkost etter skade (kr/m ³)	Uskadde trær pr da
1	1	6	F14	80	270	22	20	80	0	110	170 150	total skade
2	10	10	F14	65	270	22	30	70	0	110	170 150	total skade
3	16	20	F11	100	270	22	30	70	0	110	170 150	total skade
4	21	10	F11	65	250	14	30	70	0	110	170 150	total skade

Fig. 1. Skogbrands skaderegistreringsskjema.

Vi gjorde et utvalg av felt og samlet et større sett av forklaringsvariabler for dem, og kjørte deretter en stegvis statistisk analyse hvor modellen sjøl plukket ut de viktigste forklaringsvariablene.

2.1. Utvalg

For å analysere effekten av flere mulige risikofaktorer valgte vi ut 6 kommuner med til sammen 100 av skadefeltene for nærmere undersøkelser. De seks kommunene var Ullensaker, Elverum, Gran, Søndre Land, Ringerike og Stryn, og ble valgt ut for å gi geografisk spredning i Norge og for å ha data fra digitale skogbruksplan så langt som mulig. For å ha et referansedatasett i dette tilfellet valgte vi ut et tilnærmet uskadd referansefelt til hvert skadefelt. Dette ble valgt ut i felt, samtidig med feltarbeidet. Dette ble subjektivt valgt ut i nærmeste bestand med samme hovedtreslag og samme hogstklasse. I enkelte sterkt skadde områder var det vanskelig å finne mange egnede referansefelt i rimelig nærhet, og det ble da åpnet for å legge flere referansefelt i ett og samme referansebestand. Dette bestandet ble da inndelt i naturlige delbestand, og hvert av dem ble koblet til nærmeste skadefelt. Dette ga 100 par med felt, det vil si ett skadd og ett uskadd. Ideen her var da å identifisere risikofaktorer ved å gjøre parvise sammenlikninger av verdien av en rekke

variable i skadde felt og uskadde felt. Et eksempel på et par av felt fra Ringerike, og en del av forklaringsvariablene er vist i Tabell 1. Forklaringsvariablene er nærmere beskrevet under. Tabell 1. Utdrag av variable for de to feltene i par nr. 28, Ringerike

Kategori	Volum (m3/daa)	Skade (%)	Gran (%)	Furu (%)	Bestandstetthet (antall)	Sjiktning (antall)	Tynninger (antall)	Siste hogst (år)	Hogstgrad (%)	Terrengplassering	Eksposisjon	Jorddybde (cm)	Alder (år)	Hogstklasse	Volum (m3/daa)	TOPEX	ASPECT
Skadd	10	100	0	100	35	1	1	2	50	Kolle		50	81	5	23	41292	270
Kontroll	12	0	20	80	100	2	0			Nedre liside	N	50	46	3	15	41417	40

2.2. Datainnsamling

Det ble generert et datasett med en rekke mulige risikofaktorer. Dataene ble samlet inn fra

- feltregistreringer utført av Skogbrand
- skogplandata fra digitale skogbruksplaner (nesten full dekning)
- terrengvariable basert på den norske terrengmodellen DTED10
- jordbunnsforhold fra NGUs løsmassekart for Norge.

2.2.1. FELTREGISTRERING

De 100 skadefeltene ble gjenbesøkt sommeren 2013 av erfarne taksatorer fra Skogbrand forsikring, for å utføre tilleggsregistreringer. Både for skadefeltet og referansefeltet ble det opprettet ei stor flate (sirkulær, 1000 m²) hvor feltvariablene ble registrert (Tabell 2). Denne store flata ble lagt i den delen av bestandet som var sterkest skadd. I referansefeltet ble den normalt lagt midt i bestandet, men i de tilfeller hvor det var noe skader også i referansefeltet så ble den lagt i den mest skadde delen av bestandet. Enkelte variable ble registrert fra samtale med skogeier. I tillegg ble det lagt ut ei lita flate (sirkulær, 250 m²) for registrering av enkelttre-data (Tabell 3). Disse tremålingene skulle representere trærne i bestandet før skade. Under feltarbeidet ble det derfor brukt skjønn i utvalget av trær og plassering av flata. Den lille flata kunne legges i senter av den store flata, - særlig var det aktuelt i referansefeltene. Men den kunne også legges til en annen del av bestandet for å finne gjenstående trær, eller man kan velge ut gjenstående enkelttrær på ulike steder i bestandet. Dersom det ikke fantes gjenstående trær eller rotvelter, eller gjenstående trær ble vurdert til ikke å være representative for bestandet før skade så ble enkelttremålingene droppet både på skadefeltet og i referansefeltet.

Tabell 2. Variabelliste for felt

Variabel	Beskrivelse 1	Beskrivelse 2
FELT	Skadefeltnr, NB angis også for referansefelt	Intern felt-ID i prosjektet
KAT	S=skadefelt R=referanse	
PLAN	Plan	Skogbruksplanens navn / ID
PLANAAAR		år
EIER	Skogeier	Plan (planid, eiernr). Nødvendig for stedfesting
TEIG	teig	Plan (teignr). Nødvendig for stedfesting
BEST+SF.NR	Bestand+skadefeltnr fra skadetakst	Plan (bestandsnr). Nødvendig for stedfesting
SONE	Koordinat sone (håndholdt GPS)	Utm sone
X	Koord X (håndholdt GPS)	Utm x, m
Y	Koord y (håndholdt GPS)	Utm y, m
VOL	Volum	Felt, m3/da før skade
SKAD	Skadegrad	Felt, % skadet volum pr da
SKJEV	Skjeve trær	Felt, % av treantall

VELT	rotvelter	Felt, % av treantall
BREK	stammebrekk	Felt, % av treantall
G	G%	Felt, % av volum
F	F%	Felt, % av volum
L	L%	Felt, % av volum
ANN	Annet%	Felt, % av volum
TETT	bestandstetthet	Antall trær som er > ½ overhøyden
SJIKT	sjiktning	1 sjikt 2 sjikt 3 flere sjikt
AVST-1	Avstand kant	Felt, avstand til nærmeste bestandskant mot dyrka mark eller hkl 1-2. Angis i meter med 1 gjeldende siffer (dvs 1,,2,3,...,9,10,20,30,...,90,100,200,300,...,900, 1000, 2000, 3000, ...)
AVST-2	Avstand kant-stormretning	Felt, avstand til nærmeste bestandskant mot dyrka mark eller hkl 1-2 i stormretningen. Angis i meter med 1 gjeldende siffer (dvs 1,,2,3,...,9,10,20,30,...,90,100,200,300,...,900, 1000, 2000, 3000, ...)
KANT	Type kant-stormretning	G = gammel kant mot ikke-skog E = > 10 år gammel kant mot hkl 1-2 N = ny kant <= 10 år mot hkl 1-2
ETAB	etableringsmetode	P = plantet N = naturlig K = kombinasjon X = ukjent
UNG	Bestandshistorikk: Ungskogpleie, avstandsreg	Skogeier: J = ja N = nei X = ukjent
TYNN	Antall tynninger	0, 1, 2, 3, >3, X = ukjent
SISTE HOGST	Hvis ja: antall år siden siste hogst (før Dagmar)	0-3 4-10 11-20 > 20
HOGST GRAD	Styrken på siste hogst vol-uttak i % av stående volum før hogst	0-20% 21-40% 40-60% >60%
AR	Bestandsareal	Tas fra plan
ARRO	Arrondering	Tas fra plan, perimeter/areal
TERR	terrengplassering	K=kolle, ø=øvre liside, m=midtre liside, n=nedre liside, d=dalbunn, u=ujevnt, f=flatt
EKSP	eksposisjon	N, NØ, Ø, SØ osv
DYP	Potensiell forankringsdybde = dybde på løsmasser ned til fjell, vannspeil ((og hvis mulig aurhelle))	Bedømmes skjønnsmessig, cm. Dype sand og grusavsetninger settes til >100
FJEL	Fjell i dagen?	Ja / nei
BLOK	Blokkmark?	Ja / nei
VANN	Forsumpning, høyt vannspeil?	Ja / nei, bedømmes skjønnsmessig ut fra sett vann og stylerøtter
FELTMERK	Merknad for feltet	

Tabell 3. Variabelliste for trær

Variabel	Beskrivelse 1	Beskrivelse 2
FELT	Skadefeltnr, NB angis også for referansefelt	
KAT	S=skadefelt R=referanse	
H	trehøyde	Felt, høyde på alle ikke-undertrykkede trær (> ½ overhøyden). Registreres på inntil 10 representative ikke undertrykte trær.
D	diameter	Felt, diameter ved stubbeavskjær av alle ikke-undertrykkede trær (> ½ overhøyden). Registreres på inntil 10 representative ikke undertrykte trær.
R	Råte, JA, NEI	Felt, registreres på inntil 10 trær i stubbehøyde på trær > ½ overhøyden. Ved avskjær i skadefelt og med tilvekstbor i referansefelt.
TREMERK	Merknad	

2.2.2. SKOGPLANDATA

Så langt som mulig hentet vi data fra digitale skogbruksplaner. To kommuner manglet slike data. For Søndre Land fantes det ikke slike data, men de aktuelle bestandene i Søndre land blev digitalisert fra gamle papirkart slik at perimeter og arrondering kunne beregnes. Det var tekniske problemer med å skaffe til veie data fra Gran. Perimeter (omriss) og arrondering blev beregnet i GIS. Alle andre data ble ekstrahert direkte fra skogplanene.

2.2.3. TERRENGDATA

Vi brukte den nasjonale terrengmodellen DTED 10 som grunnlag for å generere terrengvariable. DTED10 er et raster med 10 m oppløsning som gir høyde over havet i meter. Vi beregnet topografisk eksposisjon (TOPEX) på samme måte som i den skotske ForestGales-modellen (Fig. 2). TOPEX gir et mål på hvor eksponert et gitt punkt er for vind, og er vinkelen fra punktet mot terrengets horisont. Enkelt forklart så er det slik at dersom terrengets horisont er lavere enn punktet så er man på en høyde, og er utsatt for vind. Vi satte maksimal avstand til horisonten lik 1 km. Vi beregnet 2 TOPEX-variable, dvs. som gjennomsnitt for 8 himmelretninger (N, NV, V, osv.) og i Dagmars hovedretning sørvest. For hvert felt ble TOPEX-variablene tatt ut for feltets koordinat.

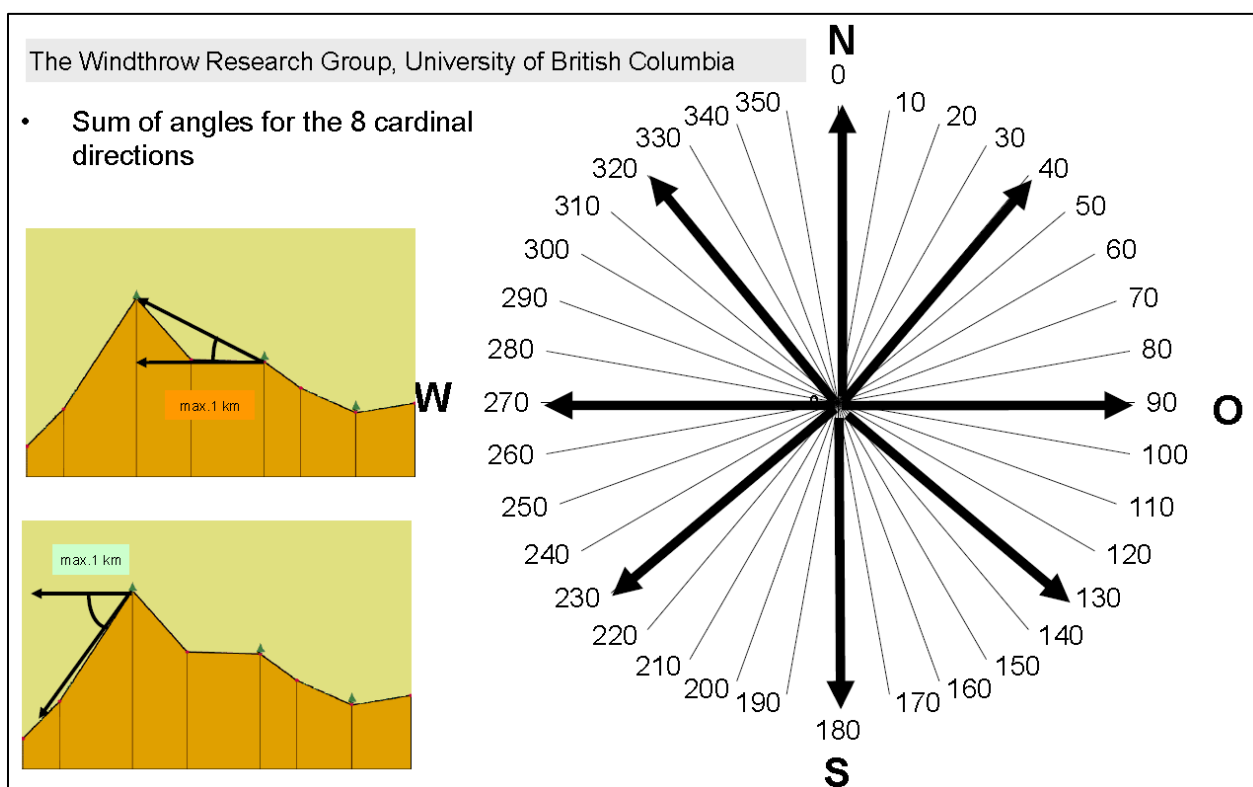


Fig. 2. TOPEX (topografisk eksposisjon) ble beregnet som vinkel i grader fra et gitt punkt til horisonten innenfor maksimalt 1 km avstand. Vi beregnet to alternative TOPEX-variable. Den ble beregnet både som sum av vinkel for 8 himmelretninger og bare mot SV som var Dagmars vindretning.

2.2.4. JORDBUNNSDATA

Vi brukte her NGUs løsmassekart for Norge (<http://www.ngu.no/no/hm/Kart-og-data/Losmasser/>). Løsmassetypene er her representert som polygoner med tilhørende variabler som beskriver opphavsmateriale og dybde. Vi kombinerte opphavsmateriale og dybde til en variabel med klassene marin avsetning, morene, sand, silt, torv og bart fjell, og en variabel for jorddybde med verdiene dyp og grunn. Klassen 'Grunn jord' ble her brukt for bart fjell og for alle typer opphavsmateriale som i NGUs database var kategorisert som 'tynt og usammenhengende dekke'. For hvert skadefelt hentet vi så ut disse to variablene fra feltets koordinat. I tillegg tok vi ut grunnvannspotensiale i jorda og infiltrasjonsevnen i jorda, som begge sier noe om vanninnhold og forankringsmuligheter for trærne.

2.2.5. STATISTISK ANALYSE

Vi benyttet en såkalt 'conditional logistic regression', som er spesielt tilpasset datasett med parvise observasjoner (skade versus ikke-skade). Sannsynligheten for skade (π_{ij}) er modellert som

$$P(y_{ij} = 1|x_{ij}) = \pi_{ij} = \frac{e^{(\alpha_i + x'_{ij}\beta)}}{1 + e^{(\alpha_i + x'_{ij}\beta)}}$$

hvor forklaringsvariablene for terreng-, jordbunns- og bestands-forholdene er gitt som (x'_{ij}), og skadefelt er gitt som indeksen j for et datapar i . En logaritmisk transformasjon av andelen skade ble gjort for å generere en kontinuerlig variabel uten grenseverdiene 0 og 100 %:

$$\log\left(\frac{\pi_{ij}}{1 - \pi_{ij}}\right) = \alpha_i + x'_{ij}\beta$$

I tolkningen av modellene brukte vi såkalt 'odds' statistikk, hvor odds er definert som forholdet mellom sannsynligheten for skade og sannsynligheten for ikke-skade:

$$Odd = \frac{\pi_i(x)}{1 - \pi_i(x)}$$

Forholdet mellom odds-verdiene for to observasjoner gir det såkalte odds-forholdet, eller 'odds ratio' (OR):

$$OR = \frac{\frac{\pi_i(x)}{1 - \pi_i(x)}}{\frac{\pi_i(x_0)}{1 - \pi_i(x_0)}}$$

Jo lengre OR er fra verdien 1 desto sterkere er effekten av forklaringsvariablene. Verdier >1 indikerer høyere sannsynlighet for skade, og verdier <1 indikerer lavere sannsynlighet, med økende verdi av forklaringsvariabelen.

Vi analyserte sammenhenger på to alternative måter.

a) Først kjørte vi modellen med en og en forklaringsvariabel alene, og deretter

b) kjørte vi en multivariat analyse, dvs. med flere forklaringsvariabler.

For å velge ut variable i alternativ b) gjorde vi en steg-vis statistisk analyse hvor modellen sjøl plukket ut de viktigste forklaringsvariablene. I denne multivariate tilnærmingen gjorde vi først en forberedende analyse av dataene, i to trinn. I et første trinn reduserte vi antall felt for å få et datasett med så mange komplette variabler som mulig. I et andre trinn reduserte vi så antall variabler. Vi brukte da en steg-vis regresjons-modell hvor vi valgte ut en og en variabel basert på det såkalte AIC-kriteriet (Akaike Information Criterion). Prinsippet for AIC-kriteriet er at forbedringen av modellen ved å ta inn en variabel til må stå i forhold til hvor mye ekstra informasjon man putter inn. For eksempel, hvis man tar inn en klassevariabel for jordbunnsforhold som har 7 ulike klasseverdier, så har man gitt mye mer informasjon til modellen og det forventes en betydelig forbedring av modellen. Oppnår man da kun en liten forbedring så forkastes denne variabelen.

3. RESULTATER

I den første delen av analysen fikk vi statistisk sikre utslag for de variablene som er listet opp i Tabell 4. Øvrige forklaringsvariabler gav ingen sikre utslag, og er ikke nevnt videre. Vi ser av Tabell 4 at mange av variablene gav resultater i samsvar med hypotesene, men at vi for enkelte fikk utslag i omvendt retning av det som var forventet. En rekke variable er uttrykk for

tilnærmet det samme, og de gav ofte tilnærmet identisk resultat, for eksempel for ulike kant-variable og ulike topografivariable.

- Topografiske forhold: Resultatene viser høyere risiko på koller og øvre lisider, og dette understøttes av høyere risiko ved lave TOPEX-verdier (høydedrag). Vi ser også at TOPEX-verdier regnet mot stormens retning (sørvest) gav det samme resultatet. TOPEX ble regnet ut dels som gjennomsnitt for skadefeltet ('felt') og dels for senterpunktet ('punkt'), og disse to variablene gav konsistente resultater. Når det gjelder terrengets eksposisjon så var risikoen høyest mot nordvest. Dette kan være en artefakt i undersøkelsen, pga korrelasjon med andre forhold.
- Jordbunnsforhold: det var høyere risiko ved fjell i dagen (grunt jordsmonn). Det var lavere risiko ved vann i dagen (delvis forsumpning), noe som er omvendt av hypotesen. Opphavsmateriale og jorddybde fra NGOs database gav ingen klare utslag.
- Skoglige forhold: Hogst øker risikoen. Dels ser vi dette ved at risikoen økte i glisne bestand, med økende antall tynninger, og for øvrig nært kant. Særlig var nye kanter utsatt. Risikoen økte også med alder og trehøyde, noe som vi tolker som en effekt hovedsakelig av at momentet fra vinden øker med økende trehøyde. Risikoen økte også med diameter og D/H-forhold, noe som er i strid med hypotesen, men dette kan skyldes at diameter og D/H-forhold er knyttet til alder og trehøyde, slik at resultatet blir misvisende. Når det gjelder treslag var resultatene uklare og bare delvis i strid med hypotesene. Dette er trolig et resultat av designet på undersøkelsen. I stor grad var skadefeltet og referansefeltet identiske når det gjaldt treslag, og disse resultatene bør derfor ikke vektlegges. Risikoen var høyere i blandingsskog enn i reine bestand. Dette stemmer med at innblanding av løvtrær øker risikoen i granbestand, men det stemmer ikke med at furu virker stabiliserende. Furuskog var mer utsatt en granskog. Ensjøktet skog var mer utsatt en flersjøktet. Dette virker meningsfylt, fordi ensjøktet skog ofte har stått tett i ungdommen og dermed fått svak rotutvikling.

Tabell 4. Variable som gav et statistisk sikkert utslag på 5 % og 10 % nivå

Variable	p-verdi	Odds ratio	Risiko høyere ...
<u>Statistisk sikre effekter på 5 % nivå:</u>			
TETT	< 0.0001 ***	0.96	I glisne bestand
AVST-1	0.0029 **	0.99	Nært kant
KANT2 (ja/nei)	0.0299 *	J: 2.67	I kant I stormretning
AVST-2	0.0412 *	0.99	Nært kant I stormretning
KANT2	0.00256 **	E: 3.32 G: 2.72 N: 14.33	Ved nye kanter
TYNN	0.0352 *	1: 4.65 2: 17.42 3: 40.80	Med mange tynninger
TERR	< 0.0001 ***	K: $1.34 \cdot 10^{24}$ M: 2.15 N: $2.54 \cdot 10^8$ U: 0.69 Ø: $1.59 \cdot 10^{16}$	På koller og øvre lisider
ALDER	0.0001 ***	1.06	Med økende alder
MIX (FELT)	0.0316 *	gran: 0.79 mix: 3.25	Blandingsskog > furu > gran
DOMINERENDE TRESLAG	0.0282 *	Gran: 0.22	Furu > gran
MAX % TRESLAG (FELT)	0.0015 **	0.95	I blandingsskog
TOPEX (PUNKT)	0.0108 *	0.97	På høydedrag
TOPEX (FELT)	0.0009 ***	0.95	På høydedrag
TOPEX SV (FELT)	0.0175 *	0.85	På SV-vendte høydedrag

D/H (FELT)	0.0399 *	10.18	Ved høyt D/H-forhold
D (FELT)	0.0065 **	1.12	Ved høy diameter
FJEL	0.0158 *	N: 0.20	Med fjell i dagen
Statistisk sikre effekter på 10 % nivå:			
MAX % TRESLAG (SKOGLANDATA)	0.0515	0.97	I blandingsskog
SJIKT	0.0700	2: 0.5556 3: $1.243 \cdot 10^{-8}$	Ensjiktet skog > flersjiktet
VANN	0.0959	N: $8.043 \cdot 10^7$	Uten vann i dagen (forsumpning)
TOPEX SV (PUNKT)	0.0636	0.88	SV-vendte høydedrag (punkt)
H (FELT)	0.0506	1.18	Med trehøyde
KANT2 (ja/nei)	0.0848	J: 2.40	Ved kant
EKSPOSISJON	0.0618	N: 2.12 NØ: 1.15 NV: 10.50 S 2.45 SØ: 1.24 SV: 1.95 V: 2.14	Høyest mot nordvest Lavest mot øst

I forberedelsene til den multivariate analysen fikk vi først et utvalg av 14 variabler og 76 par av felt (se kolonne A, Tabell 5). I enkelte tilfeller slo vi her sammen liknende klasser av variabler for å unngå klasser med få observasjoner. Dette datasettet var da komplett, i den forstand at alle felt hadde komplette variabler. På denne måten reduserte vi antall forklarings-variable ned til åtte. Med disse 8 variablene kunne antall felt økes til 98 par med komplette variable, dvs. nesten alle feltene (kolonne B, Tabell 5).

Tabell 5. Utvalgte variable i trinn 1 av forberedende analyse. Kolonne A angir variable som ble valgt ut blant 14 signifikante variable for et datasett med 76 feltpar, mens kolonne B angir variable som ble valgt ut blant 8 signifikante variable for et datasett med 98 feltpar

Variabel	Verdier	A	B
<u>Skoglige egenskaper</u>			
- Stående volum	5 – 60 m ³ /da	*	*
- Treantall (uten undertrykkede)	20 – 70 trær/da	*	*
- Gjennomsnittlig diameter	11.46 – 69.60 cm	*	*
- Gjennomsnittlig høyde	10.58 – 32.40 m	*	*
- Gjennomsnittlig diameter/høyde-forhold	0.95 – 2.57	*	*
- Nær kant	Ja, nei	*	*
- Foryngelsesmetode	naturlig, plantet, kombinasjon	*	
- Antall tynninger	0, 1, 2, 3	*	
- Reinbestand dersom ett treslag utgjorde >= 80 %	gran, furu, blanding	*	
- Råtefrekvens	0 – 60%	*	
<u>Topografiske forhold</u>			
- TOPEX, sum av vinkel i 8 retninger	-5 – 108.7	*	*
<u>Jordbunnsforhold</u>			
- Potensiell forankringsdybde til fjell, vannspeil, aurbelle	<1m, >=1m	*	*
- Grunnvannspotensiale i jorda	betydelig, begrenset, ingen	*	
- Infiltrasjonsevne i jorda	god, middels, lav	*	

I den stegvise statistiske analysen, dvs. hvor modellen sjøl har plukket ut de viktigste forklaringsvariablene, endte vi opp med kun fire variable (Tabell 6). Denne modellen hadde en

AIC-verdi på 115. Disse resultatene var i tråd med resultatene for en og en variabel, bortsett fra at det var færre effekter som var med i denne endelige modellen. Vi fikk her utslag for glisne bestand, bestandskant, høy diameter og høydedrag. Grunt jordsmonn var en variabel som oppførte seg ustabil, ved å gå ut og inn av de alternative modellene.

Tabell 6. Utvalgte variable som gav et statistisk sikkert bidrag til å forklare risiko for stormskader, og hypotesetest med Chi kvadrat-test

Var nr	Variabel	p-verdi	Risiko størst ...
1	Bestandstetthet	0.026	i glisne bestand
2	Nært kant (ja / nei)	0.074	nært bestandskant
3	Diameter	0.059	ved stor diameter i brysthøyde
4	Topografi («TOPEX»)	0.053	på høydedrag

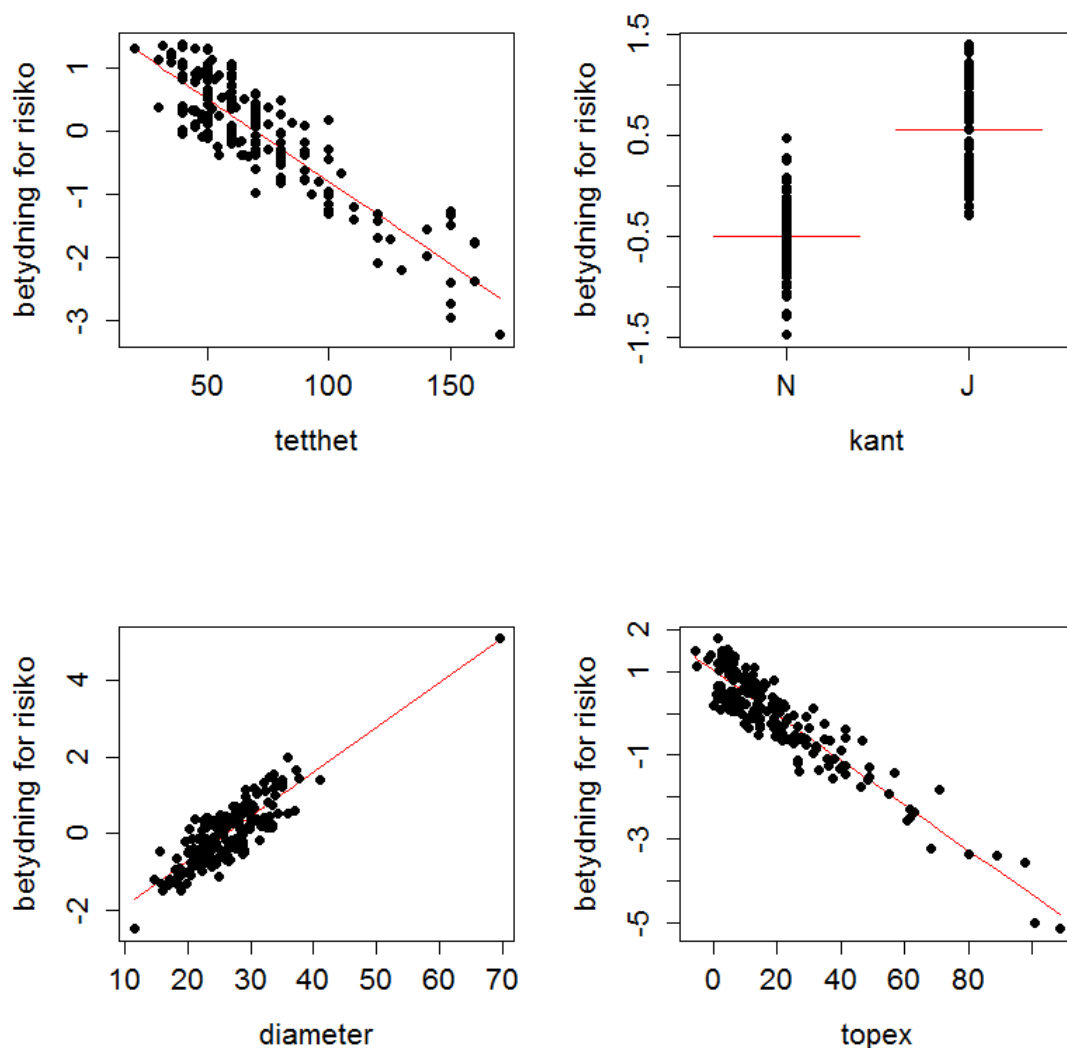


Fig. 3. Betydning for stormrisiko plottet mot de fire variablene som inngikk i den multivariate modellen. Plottene viser sterke og entydige sammenhenger.

4. DISKUSJON

Samlet sett var resultatene langt på vei tråd med hypotesene, og viste at risikoen for stormskader varierer med topografiske forhold, jordbunnsforhold og skoglige forhold. Enkelte resultater avviker fra hypotesene, men det skyldes trolig spesielle statistiske forhold. For det første, - i slike 'korrelative analyser' som dette, hvor man har en rekke forklaringsvariable som ikke stammer fra eksperimentell behandling, vil man vanligvis få enkelte feilaktige utslag på grunn av interkorrelasjon mellom variablene. For eksempel er det kjent fra litteraturen at trehøyde er den variabelen som sterkest forklarer variasjon i stormrisiko. Samtidig vil stor diameter øke indikere høy stabilitet, fordi det er knyttet til tidlige tynninger og høy enkelttrestabilitet. I et datasett vil imidlertid diameter og høyde være sterkt korrelert, og de to omvendte effektene av høyde og diameter vil motvirke og skjule hverandre i analysene. Vi fikk et klar effekt med økt risiko for stor diameter. Dette kan være effekten av trehøyde som slår gjennom. Et annet problem som er spesifikt for designet i denne studien er det parvise utvalget av felt. Referansefeltet skal på den ene siden være så likt som mulig skadefeltet for å gjøre de to feltene sammenliknbare, men på den annen side må det være forskjellig for å kunne fange opp hvilke faktorer det er som utgjør økt risiko. Vi valgte i denne studien at innen et par skulle treslag og aldersklasse være tilnærmet like, og dermed får vi usikre tester på effekt av treslag og alder, og variable som er korrelert med disse (f.eks. diameter og høyde).

For topografiske forhold viste analysene økt risiko på koller og øvre lisider, og TOPEX-variablene understøttet dette. Skog som står på høydedrag er altså helt klart mer utsatt for stormskader. Det var ikke noe klart utslag for terrengets eksposisjon, dvs. vi fant ikke noen høyere risiko i sørvest-vendte lisider selv om vindretningen ved Dagmar var sørvest. Dette kan skyldes at det var mye turbulens og vindkast som kom i retur fra motsatt retning etter å ha møtt fjellvegger og lisider. Men det kan også skyldes interkorrelasjon mellom variable.

For jordbunnsforhold var det generelt kun svake utslag. Fra analysen med enkelt-variable fikk vi en høyere risiko ved fjell i dagen, dvs grunt jordsmonn. Men vi fikk ikke noe utslag av forsumpning (vann i dagen). Det var imidlertid svært få observasjoner av forsumpning, og ingen god test av dette. Opphavsmateriale og andre variable fra NGUs løsmassedata viste kun svake eller ingen sammenhenger. Dette kan skyldes delvis at det var små og få forskjeller mellom skadefeltet og referansefeltet, fordi løsmassevariable kun har en begrenset variasjon over så små avstander som vi hadde mellom feltene i et par. NGUs løsmassedata har også en viss unøyaktighet på sine geografiske data, naturlig nok når man tenker på det arbeidet som måtte til dersom man skulle hatt dette svært nøyaktig for hele Norge. Det er derfor mulig og trolig at slike løsmassedata kan bidra til å forklare stormrisiko, selv om en parvise undersøkelse som dette viser svake eller ingen effekter.

For skoglige forhold gav analysene flere resultater i tråd med hypotesene. Som ventet var det klare effekter av kant, og særlig av ny kant. Dette er i tråd med grunnlaget for WINDA-modellen, hvor hogstkanter er helt sentralt i beregning av risiko (Blennow & Sällnäs 2004). Effekter av tynning var noe uklare, men enkeltvariabel-analysen viste økt risiko ved mange tynninger. Økt risiko i glisne bestand kan være et utslag av en tynningseffekt. Det er imidlertid mulig at vi ikke utformet tynningsvariabelen helt optimalt i denne studien. Tynning er et tveegget sverd når det gjelder stormskader, ved at man på kort sikt øker risikoen, men på lang sikt reduserer risikoen. Det er derfor vanskelig å utforme en god tynningsvariabel som kan fungere mot denne dualiteten. Flere av Skogbrands taksatorer hadde observert at nytynnede felt ofte var sterkt skadd. Risikoen økte med økende trehøyde, som ventet. Men den økte også med økende D og D/H-forhold. Vi tolker dette som en effekt av interkorrelasjon mellom variablene, og at dette resultatet var en artefakt. Risikoen var høyere i blandingsskog enn i rene bestand. Dette stemmer med at innblanding av løvtrær øker risikoen i granbestand, men det stemmer ikke med at furu virker stabiliserende. Furuskog var

mer utsatt en granskog. Ensiktig skog var mer utsatt en flersiktig. Dette virker meningsfylt, fordi ensiktig skog ofte har stått tett i ungdommen og dermed fått svak rotutvikling.

Ettersom denne studien hadde et spesielt design, med sine parvise felt, så vil det være fint å supplere den med andre studier med et annet design, eller andre publiserte studier. Særlig er det en viss usikkerhet rundt dette med treslagsvalg i denne studien, ettersom den viste høyere risiko for furu enn gran. Og det er også usikkerhet knyttet til enkelttrestabilitetens betydning, ettersom vi ikke fikk et utslag med lavere risiko ved høyt D/H-forhold. Vi fikk heller ikke noe klart utslag av råte, selv om det er velkjent at rotråte reduserer stabiliteten. Vi velger derfor her å anbefale følgende tiltak i skogbehandlingen for å forebygge stormskader, delvis i tråd med resultatene, og delvis i tråd med annen forskning fra utlandet:

- Reduser treantallet tidlig enten ved avstandsregulering eller tidlig tynning. Dette frigir rom i jorda for de unge trærne slik at de kan utvikle et stort rotsystem, dvs. stor enkelttrestabilitet. Det ekstreme alternativet her er å redusere treantallet ned til 100 trær pr daa i utgangstetthet, dvs. før overhøyden har nådd 6 m. Et slikt alternativ regnes å gi en granskog som tåler full storm (30 m/s) selv ved høy alder, dersom det ikke tynnes seinere.
- Unngå seine tynninger. Risikoen for stormskader øker sterkt med økende trehøyde, og ettersom trærne blir høyere vil den sosiale stabiliteten spille en økende rolle for å hindre rotvelt og stammebrekk. Dette består i at trærne støtter seg til hverandre, at den samlede forankringen (rotbiomassen) er stor, og at kronetaket er jevnt og tett slik at vinden stryker over tretoppene i stedet for å gå ned mellom trærne som turbulens (Nielsen 2001). I tillegg er hovedarkitekturen på rotsystemet fastlagt når trærne blir høye, og de har ikke lenger evnen til å utnytte det frigjorte rotvolumet etter tynning. Det ekstreme alternativet her er å kjøre helt tynningsfritt etter avstandsregulering, og til og med la tørrgran og billegran få stå.
- Stubbebehandling mot rotråte kan være aktuelt, og anbefales gjort på Vestlandet hvor rotkjuke forekommer sjelden eller aldri.
- Bland furu inn i gran, men unngå å blande inn løvtrær. Dette er ikke klart underbygget av denne studien. Furu har bedre forankring og mindre vindfang enn gran, og vil derfor virke stabiliserende, dvs. øke sosial stabilitet. Løvtrær i granbestand vil redusere stabiliteten. Dette fordi de er uten blader i stormsesongen om vinteren og derfor gir lite støtte for grantrærne da. I tillegg virker de som hull eller åpninger i kronetaket, slik at vinden kan slå ned og ta tak i grantrærne. Når løvtrærne står uten blader vil de heller ikke fange opp vinden som en trigger for å styrke rotsystem og stamme mot vind.
- Reduser mengden bestandskanter, og vær nøye med å utforme disse riktig og med plasseringen av dem i landskapet. Det ideelle er å bygge opp gode bestandskanter fra ungskogfasen, hvis mulig. En god kant skal være glissen og gradvis bremse vinden opp innover i bestandet. Trærne i kanten må ha en svært høy enkelttrestabilitet, kjennetegnet ved lang krone, vid krone og høyt D/H-forhold.

LITTERATUR

- Barkbilleovervåkingen 2011. <http://www.skogoglandskap.no/temaer/barkbilleovervaking>
- Bengtsson, A. & Nilsson, C. 2007. Extreme value modeling of storm damage in Swedish forests. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7: 3518–3543.
- Blennow, K. and Gardiner, B., 2009. The WINDA-GALES wind damage risk planning tool. *Proc. 2nd Int. Conf. Wind Effects on Trees*, Albert-Ludwigs-Univ., Germany, 13-16 Oct. 2009, Ber. Meteorologischen Inst. Albert-Ludwigs-Univ. Freiburg, pp 109-112. Ext. abstract.
- 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.
- Gregow, H., Peltola, H., Laapas, M., Saku, S. & Venäläinen, A. 2011. Combined occurrence of wind, snow loading and soil frost with implications for risks to forestry in Finland under the current and changing climatic conditions. *Silva Fennica* 45(1): 35–54.
- 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.
- Kamimura, K., Kitagawa, K., Saito, S. & Mizunaga, H. 2012. Root anchorage of hinoki *Chamaecyparis obtuse* (Sieb. Et Zucc.) Endl.) under the combined loading of wind and rapidly supplied water on soil: analyses based on tree-pulling experiments. *Eur J Forest Res* (2012) 131:219–227.
- Kellomäki, S., Maajärvi, M., Strandman, H., Kilpeläinen, A. & Peltola, H. 2010. Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland. *Silva Fennica* 44(2): 213–233.
- Nilsson, C. Ingrid Stjernquist, Lars Barring, P Schlyter, Anna Maria Jönsson, H Samuelsson 2004. Recorded storm damage in Swedish forests 1901-2000. *Forest Ecology and Management* 199(1): 165-173.
- Nørgård-Nielsen, C. 2001. Vejledning I styrelsen af stormfasthed og sundhed i nåletræbevoksninger. *Dansk Skovbrugs Tidsskrift* 4/01: 216 – 263.
- 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.
- 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.
- 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.
- Solberg, S., Harstveit, K., Blennow, K., Olofsson, E., Heggem, E.S., & Timmermann, V. 2008. Storm og skogskader: Risiko for stormskader i skog, og betydningen av skogbehandlingen. *Forskningsrapport fra Skog og landskap* 1/08: 1-22.
- Worrell R. 1983. Damage by the spruce bark beetle in south Norway 1970-80: a survey, and factors affecting its occurrence. *Medd. Nor. Inst. Skogforsk.* 38:1-34.