



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Skogbehandling langs kraftlinjer

Teorigrunnlag

NIBIO RAPPORT | VOL. 3 | NR. 65 | 2017



Svein Solberg, Eva Solbjørg Flo Heggem, Nils Egil Søvde og Harold McInnes

Divisjon for skog og utmark/Landsskogtakseringen

Divisjon for kart og statistikk/Geomatikk

Meteorologisk institutt

TITTEL/TITLE

Skogbehandling langs kraftlinjer. Teorigrunnlag

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Svein Solberg, Eva Solbjørg Flo Heggem, Nils Egil Søvde og Harold McInnes

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
04.05.2017	3/65/2017	Åpen	10131	17/01465
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-01850-6	2464-1162	39		

OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

Norges forskningsråd

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Svein Solberg

STIKKORD/KEYWORDS:

Stikkord norske: skog, kraftlinjer, vind, snø

Stikkord engelske: forest, power lines, wind, snow

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Skogbehandling

Forest management

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Trefall på linjene forårsaket av vind og snø er et stort og økende problem for nettselskapene. En endring av skogbehandlingen kan redusere dette problemet. En langsiktig oppbygging av stabil skog bør gjøres der det i dag er ungskog, og dette gjøres i hovedsak ved å gi tynne ut i ungskogfasen og la trærne får god plass til å utvikle solide rotsystemer og trestammer, samt å tilstrebe en homogen skog med rettvekste trær med regelmessige, symmetriske trekroner. Man oppnå da en høy enkelttre-stabilitet. Det anbefales at trærne langs kraftlinjene generelt har et D/H-forhold på minst 1,5 (diameter i brysthøyde målt i cm dividert på trehøyde målt i m), mens dette forholdet bør økes der det er høy risiko eller høy KILE-kostnad, og det kan reduseres der risiko og KILE er lav. Der det i dag er eldre og gammel skog må man unngå hogst, eller være varsom med hogst, særlig bredding og tynning. I eldre og gammel skog består stabiliteten i stor grad av sosial stabilitet, dvs at trærne støtter og skjermer hverandre, og den sosial stabiliteten reduseres ved hogst. Hvor langt man bør gå i en ny og endret skogbehandling på en gitt linjestrekning avhenger av risikofaktorer og konsekvens (KILE –kostnader) på denne strekningen. I det langsiktige arbeidet med å bygge opp stabil skog fra ungskogfasen må man ta hensyn til risikofaktorene på stedet som sådan. Disse risikofaktorene består av jorddybde og andre jordbunnsforhold som påvirker trærnes mulighet til solid forankring med rotsystemet, av den terrengmessige eksponeringen for vind, samt hvor klimatisk utsatt stedet er for sterk vind og sterke snøfall med våt snø. I det kortsiktige arbeidet der man har eldre og gammel skog må man også ta hensyn til risikofaktorene ved den skoen som står der nå. Dette er faktorer som D/H-forhold, trehøyde, treslag, homogenitet på skogen og trærnes helsetilstand.



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

LAND/COUNTRY: Norge

GODKJENT /APPROVED

Aksel Granhus

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Svein Solberg

Forord

Prosjektet «Sterkere skog» ble opprettet i 2016 for å redusere problemer med trefall på kraftlinjene i Norge. Primært skal prosjektet vurdere endringer i skogbehandlingen. Denne rapporten skal danne et teoretisk grunnlag for skogbehandlingen langs kraftlinjer.

Ås, 04.05.17

Svein Solberg

Innhold

1	Innledning.....	6
2	Vind- og snøkrefter på skog.....	8
2.1	Enkelttre-stabilitet.....	8
2.1.1	Stamme- og kroneform.....	11
2.1.2	Sår og råte.....	12
2.2	Sosial stabilitet.....	13
3	Kritisk vindstyrke.....	15
4	Stabilitet i ulike skogtyper og skogbehandlingsmetoder.....	20
4.1	Treslag.....	20
4.1.1	Gran.....	20
4.1.2	Furu.....	20
4.1.3	Løv.....	20
4.1.4	Treslagsblanding.....	21
4.2	Skogstruktur.....	21
5	Risikofaktorer på voksestedet.....	23
5.1	Jordbunnsforhold.....	23
5.2	Topografi.....	24
5.3	Vind- og snøforhold.....	26
6	Diskusjon.....	28
	Litteraturreferanse.....	35

1 Innledning

Trefall på linjene er et stort og økende problem i distribusjonen av elektrisk kraft i Norge, og problemet ventes å øke framover i tid. Problemet for distribusjon av strøm rammer både nettselskapene og samfunnet for øvrig som har stor avhengighet av sikker forsyning av elektrisk kraft. Trefall på linjenettet er i dag den viktigste årsaken til lengre strømbrudd og påfører nettselskapene store kostnader. Vindfall, snøbrekk og snøbøyde trær er et hovedproblem i distribusjonen av strøm i Norge. Kraftbransjen møter store utfordringer med den økende mengden skog med store trær langs luftlinjene, ikke minst på Vestlandet hvor de eldre plantefeltene av gran på frodig mark nå begynner å bli svært tette og høye. En undersøkelse blant 121 norske nettselskap i etterkant av stormen Dagmar 25.-26. desember 2011 viste at kostnadene til skogrydding langs linjenettet i Norge har vært økende de siste årene og nå er på 400 mill. I tillegg kommer kostnader på over 100 millioner hvert år til reparasjoner og økonomisk straff for ikke levert energi gjennom KILE (kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi). For kraftbransjen gir KILE-ordningen sterke insentiver for å unngå trefall på linjene. Hvert spart tre som ikke faller på linjene, betyr kroner spart for nettselskapet og nettkundene.

Problemet med trefall er økende fordi mengden av skog er økende i Norge, - særlig mengden av gammel skog med høye grantrær. Skogarealet øker ved at beite og annen innmark går ut av produksjon og gror til med trær. Samtidig øker tømmer volumet i Norges skoger fordi årlig avvirkning av tømmer (10 millioner m³) er langt lavere enn tilveksten på 25 millioner. Det akkumuleres dermed stadig mer gammel skog med høye trær som er utsatt for vindfall. Stormskader utgjør 50 % av det totale skadevolumet på skog i Europa, og omfanget har økt betydelig de siste 50 år (Schelhaas, et al. 2003). Det skyldes ikke mer vind, men at mengden gammel granskog har økt betydelig i Europa (Bengtsson and Nilsson 2007). Det er altså flere høye grantrær som kan blåse ned når stormen kommer. I tillegg er det en avtakende intensitet på skogskjøtselen generelt i Norge, og en økende mengde uskjøtta og utynna skog hvor stabilitetsproblemene er større.

Samtidig ventes det at klimaendringene fører til økende risiko for vindfall, snøbrekk og snøbøyde trær. Da stormen Gudrun rammet Sverige midtvinters (7. januar) 2005 hadde det regnet i 2 uker, - jorda i skogen var tien og gjennomvåt, og forankringen svært dårlig. Selv furu, som normalt står svært godt mot storm, blåste ned i stor grad. Dette kan være en forsmak på hva vi har i vente. Det er stor usikkerhet knyttet til scenariene for klimaendring for andre variabler enn temperatur og nedbør. Når det gjelder vind, så viser dagens scenarier kun en svak økning i vindstyrke og i frekvens av sterk vind (Hansen-Bauer and Haugen 2007). Økt risiko for vindfall er derfor knyttet til at trærne får en svakere forankring, eller rotfeste, i jorda, ved at det blir hyppigere tilfeller av ekstrem nedbør i form av regn i stormsesongen om vinteren, og kanskje også mindre tele (Kellomaki et al. 2010; Nilsson et al. 2004). Det er vist eksperimentelt ved vanning av jord at våt jord reduserer trærnes forankring kraftig (Kamimura et al. 2012). Det ventes hyppigere hendelser med tung, våt snø, som sammen med vind vil forsterke mengden av trefall (Gregow et al. 2011). Dette er særlig ventet i dal- og fjellstrøkene i Sør-Norge.

Dagens metodikk for linjerydding og forebygging av trefall har et stort forbedringspotensiale. Den er tradisjonell og enkel: Man har et etablert ryddebelte på et fast antall meters bredde. I spesielle tilfeller kan linjebredden økes (såkalt bredding). Bredding er et kostbart tiltak. I tillegg til den direkte kostnaden ved etablering av bredere linjegate vil de framtidige utgiftene til linjerydding øke. Men når trærne er over 25 meter høye og står i bratt terreng, hjelper det lite om ryddebredden er 8 eller 12 meter fra ytterfase. En økning av linjebredden, en såkalt bredding, er ikke noen god løsning. Det vil ha en betydelig kostnad. For en vanlig 22kV-linje vil kostnaden med vedlikeholdsrydding mer enn tredobles. Bredding har også, i tillegg til en formidabel prosess- og etableringskostnad knyttet til nye grunneieravtaler. Samtidig kan effekten av bredding være lav. Når trærne er over 25 meter høye og står i bratt terreng, hjelper det lite om ryddebredden er 8 eller 12 meter fra ytterfase og nrydding. En

bredding i gammel, tett skog vil også føre til ny kant, og derved økt risiko for vindfall i gjenværende skog, og dermed tap for skogeier. Det vil også være negativt sett fra et landskaps- og miljømessig syn.

En grunnleggende antakelse for denne rapporten (og prosjektet) er at det i dag er mulig å finne mer effektive tiltak for å redusere problemene med trefall på strømledninger. Tilfanget av geodata er i dag stort, og økningen i regnekraft muliggjør modeller og beslutningsverktøy som kan hjelpe beslutningstakere å prioritere tiltak der effekten er størst.

Formålet med denne rapporten var å beskrive teorigrunnlaget for en ny skogbehandling langs kraftlinjene, med fokus på redusert risiko for trefall og strømutfall.

2 Vind- og snøkrefter på skog

Vi bruker her «trefall» som et felles uttrykk for rotvelt (vindfall) og stammebrekk (snøbrekk, toppbrekk). Vindskader opptrer oftest som rotvelt, men stammebrekk forekommer også og særlig ved tele. Snøskader opptrer vanligvis som stammebrekk.

Det oppstår et dreiemoment på treet, hvor kraften utgjøres av vindpresset og snøtyngden, og armen utgjøres av avstanden fra kraftens tyngdepunkt til ytterspissen av rotsystemet eller et punkt på stammen. En tilleggs-kraft som forsterker dreiemomentet på et tre som er bøyd er vekta av treet sjøl, samt vekt av eventuell snø i trekrona. De kreftene som motvirker trefall er rotsystemets forankring i bakken og vedens styrke, samt støtte fra nabotrær. Vindskader oppstår gjerne når det oppstår en form for resonans mellom et svaiende tre og vindkast. En annen og sjeldnere mekanisme for trefall er rotasjon rundt trets egen akse, som kan oppstå dersom krona er usymmetrisk (ensidig) og vi får et dreiemoment hvor armen er lik lengden på greinene på den sida hvor krona er videst.

Skogkanter er utsatt for ekstra store påkjenninger av vind og snø, fordi de er eksponert og fordi det oppstår turbulens og ekstra sterk vind helt lokalt rundt trær i en kant. Jo høyere og tettere en kant er, desto sterkere blir turbulensen og vindkreftene. I en kant som har små trekroner og glissen tresetting, vil vinden slippe inn i skogen og turbulens og vindkrefter på trærne blir svakere (Fig. 1).

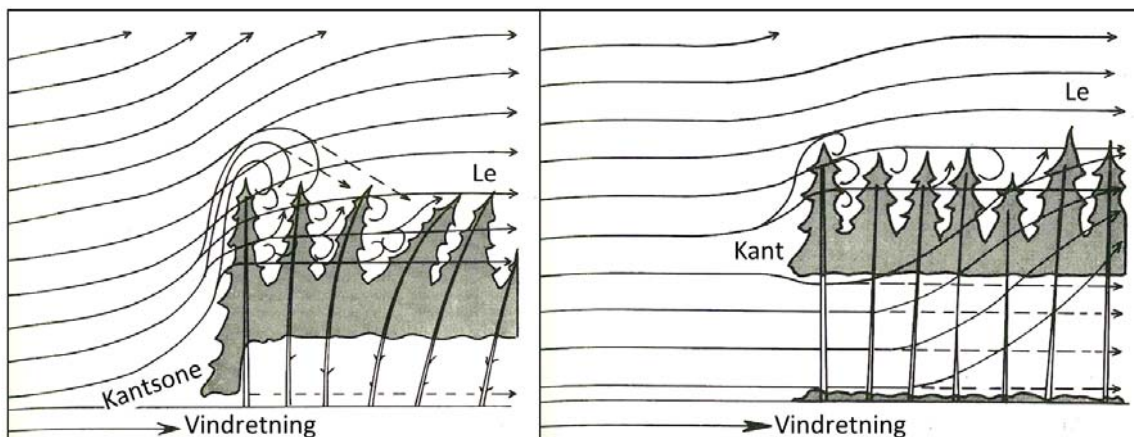


Fig. 1. Vindkrefter på skogkant: Kraftig turbulens og sterke krefter på tett kant til venstre og svakere krefter i glissen kant til høyre. Etter Mitscherlich (1974)

Et tres høyde har stor betydning for dreiemomentet, og risikoen for trefall øker med trehøyde, og særlig gjelder dette for rotvelt. Stabilitet er et uttrykk for skogens evne til å motstå vind- og snøkrefter og unngå trefall. Stabiliteten består av to hovedkomponenter; enkelttre-stabilitet og sosial stabilitet. For kraftgater er det særlig enkelttre-stabiliteten som er viktig.

2.1 Enkelttre-stabilitet

Enkelttre-stabilitet er trets egen evne til å tåle vind og snø uten å få rotvelt eller stammebrekk, hvor vi med «egen evne» mener uavhengig av nabotrær, dvs hvor mye vind- og snøkrefter tret ville motstå dersom vi fjernet alle nabotrærne. De to hovedkreftene på treet er vindpåkjenningen som virker tilnærmet vannrett og tyngdekrafta som utgjøres av trets egen vekt og vekt av eventuell snø og regn som enten ligger i trekrona eller treffer trekrona (Fig. 2). En helt annen type stammebrekk oppstår i

sjeldnere tilfeller, når trær med usymmetrisk krone får en rotasjon rundt sin egen stamme, slik at den øvre delen av treet blir vridd av den nedre delen.

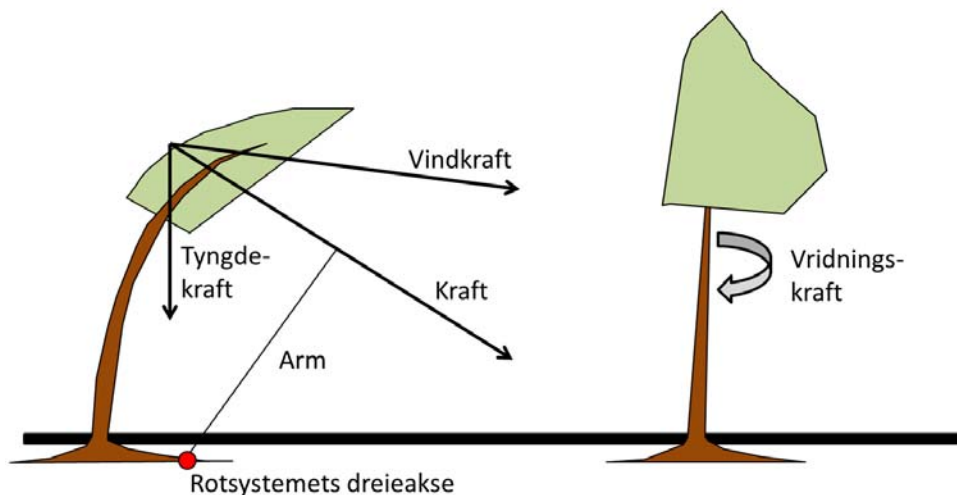


Fig. 2. Oversikt over dreiemomentet på et tre under vindpåkjenning. Tyngdekraften utgjøres av treetts vekt og vekta av eventuell snø. Vridningskrafta kan oppstå ved usymmetrisk krone.

Evnen til å motstå rotvelt ligger i rotsystemets størrelse og utforming, og dette inkluderer indirekte vekta av jorda (rotkaka) som ligger oppå røttene eller som røttene gjennomvever. Et stort, djupt og tett rotsystem gir stabilitet mot rotvelt. Evnen til å motstå stammebrekk ligger i treetts diameter, og treetts tilpasninger for økt stabilitet, dvs strekk- og trykkved (tennar), eksentrisk vekst og elliptisk stammeverrsnitt. En rask bedømmelse i felt av enkelttre-stabilitet består av treetts høyde, kronelengde og avsmalning. Generelt øker risikoen for trefall med økende trehøyde, avtakende kronelengde og avtakende D/H-forhold (Nykänen et al. 1997; Nørgård-Nielsen 2001). Når man skal bedømme stabilitet ut fra kronelengde må man ta hensyn til treslagets normale kronelengde, hvor gran vanligvis har lengre kroner enn furu og løvtrær.

Som mål på enkelttre-stabilitet brukes ofte D/H-forholdet i cm/m, eller omvendt H/D-forholdet. En vanlig brukt grenseverdi i skogbruket for å skille høy og lav enkelttre-stabilitet er D/H-forhold på 1,25, som tilsvarer et H/D-forhold på 80 (Tabell 1). Denne grensa er relativt lik for treslagene. For eksempel i en undersøkelse i Montana, USA, målte man H/D-forhold på trær skadd av vind og snø samt uskadede nabotrær, og fant at de skadde trærne generelt hadde lavere D/H-forhold enn 1,25 (H/D høyere enn 80). Dette gjaldt fire ulike treslag (*Pinus ponderosa*, *Larix occidentalis*, *Pseudotsuga menziesii* var. *Glauca* og *Pinus contorta* var. *Latifolia*) (Fig. 3, Wonn and O'Hara (2001)). Ekstremt høy enkelttre-stabilitet kan vi regne med at verdens største trær har, fordi de er eksponert for ekstreme vindpåkjenninger ved at de er høye og rager over trærne rundt. Verdens høyeste tre er «Hyperion Coast Redwood» som har en høyde på 116 m og en diameter i brysthøyde på 4,7 m, noe som gir D/H-forhold = 4,1. Verdens største tre når det gjelder stammevolum er «General Sherman» med H=84 m, D=7,7 m og D/H = 9,2.

D/H-forholdet er et enkelt mål på stabilitet, og man kan benytte det for å gi måltall for skogbehandlingen langs kraftlinjene. Et valgt måltall, eller en grenseverdi, vil imidlertid ikke være noen garanti mot skader. Ved stormer kan det lokalt oppstå turbulens og så ekstreme vindstyrker at D/H-forholdet må være svært høyt for å stå i mot. For eksempel under stormen Gudrun i Sverige var det områder hvor alt blåste ned uavhengig av D/H-forhold (Valinger and Fridman 2011). Langs kraftgater har vi imidlertid muligheten for å oppnå høyere D/H-forhold enn det man vil gjøre i skogbruket. Generelt vil vi anbefale et D/H-forhold langs kraftgater på 1,5, men dette bør varieres avhengig av andre risikofaktorer på steder. For eksempel på utsatte steder som er topografisk utsatt for vind, som har grunt jordsmonn, som har et klima med hyppig tilfeller av sterk vind og store nedbørmengder i

form av våtsnø, og der vi har trær som blir svært høye og ofte er angrepet av rotråte bør vi ha D/H-forhold på minst 2,0. Og omvendt, på steder som er skjermet for vind, hvor det sjelden er sterk vind og mye våtsnø, hvor det er djup og god jord, og hvor vi har homogen furuskog kan vi gå ned til 1,25.

Tabell 1. Omregning mellom D/H- og H/D-forhold

D / H cm/m	H/D m/m	Enkelttre-stabilitet
<0,80	>125	Lav
1,00	100	Middels
1,25	80	Høy
>1,50	67	Svært høy

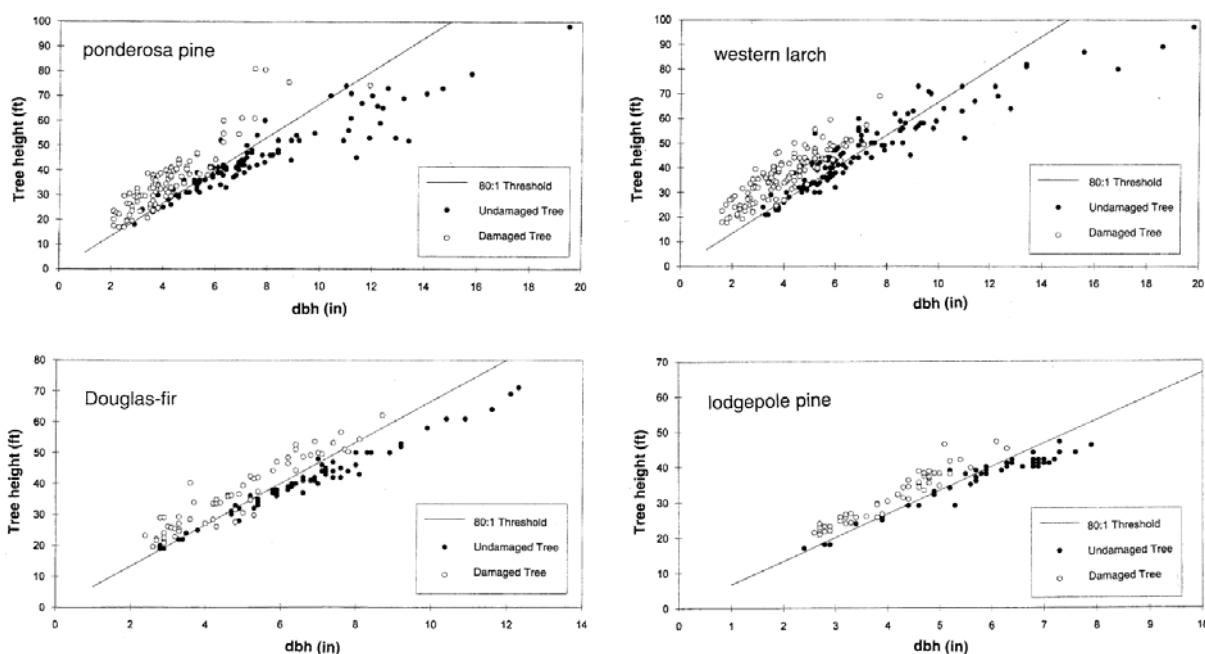


Fig. 3. H/D-forhold på skadde ○ og uskadde ● trær for fire ulike treslag etter en vind- og snøskade i Montana, USA. Grenseverdien på H/D=80 (D/H=1,25) er angitt som ei linje (Wonn and O'Hara 2001).

Høy enkelttre-stabilitet oppnår man ved å gi trærne god plass i ungskogfasen, av to grunner. For det første så øker diameter- og rotvekst med økende avstand mellom trærne, mens trærnes høydevekst er tilnærmet upåvirket av tettheten. Trær som står tett vil altså få samme høyde, men tynnere stammer og mindre rotsystem enn trær som står glissent. D/H-forholdet blir høyere desto glisnere trærne står, og et høyt forhold er derfor en indikator også på at rotsystemet er godt utviklet. Det er avgjørende at det er i ungskogfasen at trærne får god plass, dels fordi trærnes rotvekst er særlig stor i ungskogfasen, og dels fordi rotsystemets hovedarkitektur med noen hovedrotgreiner blir gradvis mer permanent fastlagt med økende alder (Nørgård-Nielsen 2001). Ved seinere tynninger får vi altså ikke den samme effekten.

For det andre blir trærne til en viss grad herdet av å stå glissent og eksponert for vind. Trærne senser vind- og snøkraftene, og responderer på disse ved å få redusert høydevekst, økt diametervekst, kortere greiner, sterkere røtter, og reaksjonsved (tennar) og eksentrisk vekst i stamme og røtter

(Telewski 1989; Telewski and Jaffe 1986). Disse tilpasningene i treet varierer med vindretning, og er mest utviklet på vindsida mot framherskende. I tillegg vil stammen bli noe oval i framherskende vindretning, røttene vokser mer på vindsiden og vedens styrke økes ved at det dannes såkalt reaksjonsved (tennar) i stammen og i røttene. Denne herdingen kalles også «thigmo-morfogenese». Det har vært spekulert på om denne funksjonen hos trær bare er aktiv i vekstsesongen, og at man av den grunn bør fjerne løvtrær i granbestand (Persson 1975). Han viste til at en kappe av løvtrær rundt et granbestand ikke beskytter grantrærne mot vindskader som man kanskje kunne tro, men tvert i mot i en del tilfeller øker vind-skadene på grantrærne. Forsøk har riktignok vist at herdingen av trærne også fungerer under veksthvilen vinterstid, men herdingen er da svakere og den er indirekte ved å føre til økt sensitivitet og herding i påfølgende vekstsesong (Valinger et al. 1995).

Eldre trær som har stått tett har ofte lav enkelttre-stabilitet og det er risikabelt å fristille slike trær (Fig. 4).



Fig. 4. Trær med lav enkelttre-stabilitet kjennes ved at de er høyt oppkvistede (kort krone). Det er risikabelt å fristille slike trær ved utbredding langs kraftlinje. Foto: Hans Peter Eidseflot.

2.1.1 Stamme- og kroneform

I tillegg til det som er nevnt over kan stabiliteten være svekket av spesielle grunner i enkelte trær, og det er viktig at de som utfører skogbehandlingen oppdager slike svakheter. Det er to grupper av svakheter, (1) skjevheter som gir ensidige krefter på treet, og (2) svakheter i rotsystem eller stamme som svekker motstanden mot fall og brekk. I den første gruppa har vi trær som henger i en retning, som har to eller flere stammer på samme rot, eller som har usymmetrisk krone (Fig. 5).



Fig. 5. Fra venstre: Tre med høy enkelttre-stabilitet, med lav enkelttre-stabilitet, risikotre pga dobbelt stamme og pga usymmetrisk krone.

2.1.2 Sår og råte

I den andre gruppa har vi råte i rotsystemet eller i stammen (Fig. 6). Råte forårsaket av rotkjuke (*Heterobasidion parviporum*) er svært vanlig i røtter og stamme på gran i Norge. I granas naturlige utbredelsesområde i Sørøst-Norge og midt-Norge er omkring hvert 4 grantre i gammel skog angrepet. Forekomsten av råte er særlig høy i områder med kalkrike bergarter, særlig i kambrosilur-områdene i Mjøstraktene. Dette skyldes at rotkjuka har en konkurrerende sopp, stor barksopp (*Phlebia giganteum*) (som for øvrig ikke skader levende trær), og denne soppen trives ikke i kalkrik jord.

I skogreisningsstrøkene på Vestlandet finnes rotkjuke imidlertid sjelden. Trærne kan infiseres av rotkjuke gjennom sår i barken etter hogst og maskinkjøring, gjennom rotsammenvoksninger med infiserte nabotrær, og ved at stubber blir infisert og det sprer seg gjennom rotkontakt til nabotrær. Spredning fra stubber er særlig et problem ved tynningshogst, men også ved avstandsregulering i ungskog. Slik spredning kan forekomme på stubber helt ned til 2 cm i diameter, men risikoen øker med økende diameter på stubber og gjenstående trær (Gunulf et al. 2013). Det er derfor en fordel å utføre avstandsregulering og tynning så tidlig som mulig. Infeksjon av stubber kan forhindres ved å påføre stubbene urea eller en oppløsning med sporer av stor barksopp (handelsnavn 'Rotstop'). Slik stubbebehandling er imidlertid kun aktuelt når lufttemperaturen er over null grader.

En annen type sår kan vi få etter beitegnag i barken på gran av hjort, og noe sjeldnere av elg. Slike sår, som vi gjerne får 1-2 m over bakken, infiseres gjerne med toppråtesopp (*Stereum sanguinolentum*) og favnvedsopp (*Cylindrobasidium evolvens*). I hellende terreng gnager hjorten helst på oversida, og skadene kan derfor lett overses (Veiberg and Solheim 2000). Råte i rota øker risikoen for vindfall, mens råte i stammen øker risikoen for stammebrekk. Trær som av andre grunner er syke, døende eller døde har naturligvis også økt risiko for å ende opp som trefall.

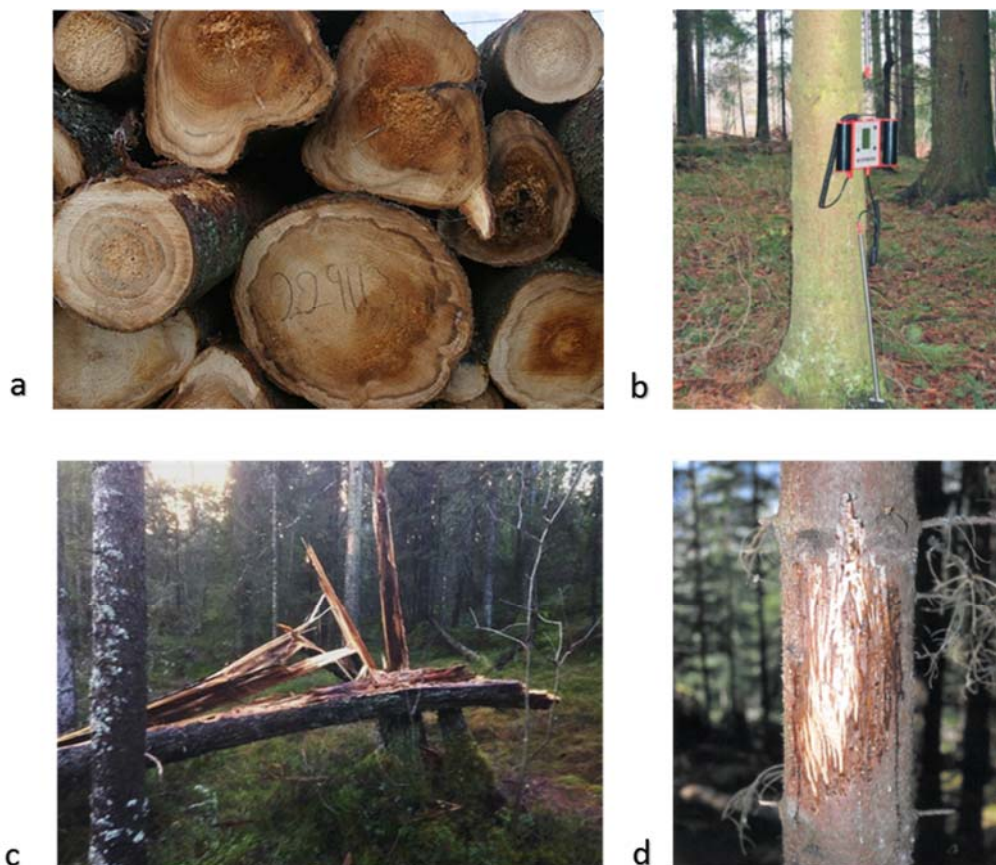


Fig. 5. Sår og råte i rotsystem og stamme øker risikoen for trefall. a) Råte i grantømmer. Legg merke til variasjonen i råstens nedbrytning fra stakk til stakk fra svakt, begynnende angrep som har liten betydning for stammens styrke til hulråte som har stor betydning (foto: John Y. Larsson). b) Rotfinder råtedetektor (foto: Per Otto Flæte). c) Stammebrenn i sterkt råteangrepet gran (foto: Svein Solberg). d) Sår i barken etter hjortegnav, med risiko for råteangrep og stammebrenn (foto: Vebjørn Veiberg).

Det er vanskelig å plukke ut råteskadde trær, og usikkert om nettselskapene kan basere seg på at de skal gjøre dette for å fjerne slike trær. Råteangrepne trær kan ha symptomer som kvæutflod utenpå barken på nedre del av stammen, utsvelling av den nederste 0,5-1 m av stammen og glissen krone. Råtefrie trær kan imidlertid ha de samme symptomene, og de fleste råteangrepne trær har ingen symptomer. En rekke bærbare måleinstrumenter har vært utviklet for å identifisere trær med råte. Rotfinder er et slikt instrument, og det bør undersøkes nærmere om det er hensiktsmessig at nettselskapene bruker dette. En utprøving av Rotfinder viste at alle trær som den gav utslag på hadde råte, men mange trær med råte gav ikke utslag (Flæte and Alfredsen 2008). Det var imidlertid slik at det særlig var sterkt angrepne trær som ble detektert, og det er nettopp slike trær som har redusert stabilitet. Det kan nevnes her at for skogbruket så er instrumentet av mindre verdi, ettersom den ikke detekterer svake råteangrep.

2.2 Sosial stabilitet

Sosial stabilitet er den andre hovedkomponenten i skogens stabilitet. Den utgjøres av at trærne skjermer og støtter hverandre. Denne stabilitetsegenskapen er viktig i eldre og gammel skog. I en tett skog vil trærne ved vind- og snø-påkjenning bare kunne bøye seg noe før toppen finner støtte i et nabotre. I en skog har trærne ofte rotsammenvoksnings med nabotrær, og på denne måten har trærne i en tett skog delvis en felles forankring. En tett skog med et jevnt og lukket kronetak vil også

forhindre vinden i å trenge ned mellom trærne og skape turbulens. En gruppe trær har denne stabiliteten, mens frittstående trær mangler den. Trærne i en skogkant langs ei kraftgate har bare en viss sosial stabilitet sammen med trærne bak.

Den sosiale stabiliteten er viktig i skog av middels til høy alder (Fig. 6). Denne stabiliteten bevarer man i skogbehandlingen ved å ikke hogge trær. Dersom alle trær får stå i eldre og gammel skog så opprettholdes den sosiale stabiliteten. Samlet sett så oppnår man altså maksimal stabilitet i skog ved å tynne ut, eller «avstandsregulere», i ungsbogen, mens man ikke hogger noen trær i gammelskogen. Særlig er bredding i gammel skog risikabelt fordi man da fjerner kanttrær som ofte har utviklet høy enkelttre-stabilitet ved å stå i kant hele livet, og man blottstiller en ny kant med trær som har lav stabilitet.

Ofte er det slik at trærne i en gammel skogkant har høy enkelttre-stabilitet og tåler mye vind og snø. Innenfor skogkanten er det gjerne den sosial stabiliteten som hindrer vind- og snøskader, og enkelttre-stabilitetstabiliteten er lav. Derfor er risikoen for trefall særlig stor der gamle kant-trær er borte. Vi har derfor særlig stor risiko for trefall der det har vært stormskader tidligere, i kanten av nye snauflater, i gjensatte trær mellom ny snauflate og kraftlinje og der det er foretatt bredding i gammel skog langs ei kraftgate.



Fig 6. Typisk skog med høy sosial stabilitet (foto Bernt Håvard Øyen (venstre) og Sigve Sæbø (høyre)). Ofte har trærne her lav enkeltrestabilitet og det er risikabelt å bredde ut kraftgate i slik skog. Man bør alltid måle diameter og høyde på trærne og beregne D/H-forholdet når man vurderer å bredde ut.

3 Kritisk vindstyrke

Kritisk vindstyrke er det som skal til av vind for å føre til trefall. Beregninger av kritisk vindstyrke er gjort av Peltola et al. (1999), og er basert på målt dreiemoment som skal til for å velte trær med vinsj, sammen med teoretisk modellering av trærnes vindfang og andre forhold. I deres studie er det presentert tall for kritisk vindstyrke for fire typer skade på trær i skogkant, dvs rotvelt pga vind, stammebrekk pga vind, rotvelt pga vind og snø og stammebrekk pga vind og snø. I deres tall er det forutsatt at det er en åpen flate uten trær på 10 ganger trelengden i retning mot vinden. De har også gitt korreksjonsfaktorer dersom det er en smalere åpen flate enn dette, og i Tabell 2 er kritisk vindstyrke beregnet ut fra dette for ei kraftgate som er 15 m bred.

Tabell 2. Kritisk vindstyrke for rotvelt i kant av kraftgate med bredde 15 m for gran, furu, og bjørk med og uten blader, og for ulike kombinasjoner av trestammens diameter i brysthøyde, dvs 1,3 m over bakken (D), trehøyder (H) og tilhørende forhold mellom DBH og H. Kritisk vindstyrke er gitt for fire alternativer, dvs bare vind og rotvelt, bare vind og stammebrekk, vind når det er snø i krona og vindfall, og vind når det er snø i krona og stammebrekk, - basert på Peltola et al. (1999)

Treslag	D, cm	H, m	D/H-forhold	Kritisk vindstyrke, m/s			
				Vind		Snø og vind	
				Rotvelt	Brekk	Rotvelt	Brekk
Gran	10	12	0.83	29	26	12	12
	12	12	1	36	44	18	18
	15	12	1.25	51	62	26	27
	13.3	16	0.83	22	22	11	11
	16	16	1	26	37	15	16
	20	16	1.25	38	52	21	24
	16.7	20	0.83	18	21	9	10
	20	20	1	22	35	13	14
	25	20	1.25	32	46	18	22
Furu	10	12	0.83	29	23	17	14
	12	12	1	44	30	23	21
	15	12	1.25	59	51	31	31
	13.3	16	0.83	22	20	14	14
	16	16	1	33	27	19	19
	20	16	1.25	46	46	25	28
	16.7	20	0.83	19	18	12	13
	20	20	1	28	25	16	17
	25	20	1.25	39	41	21	25
Bjørk m. blader	10	12	0.83	29	36	-	-
	12	12	1	44	55	-	-
	15	12	1.25	59	72	-	-
	13.3	16	0.83	22	31	-	-
	16	16	1	33	46	-	-
	20	16	1.25	46	61	-	-
	16.7	20	0.83	18	28	-	-
	20	20	1	26	40	-	-
	25	20	1.25	38	52	-	-
Bjørk u. blader	10	12	0.83	55	61	31	34
	12	12	1	65	76	42	49
	15	12	1.25	80	100	59	74
	13.3	16	0.83	43	51	26	30
	16	16	1	52	64	35	66
	20	16	1.25	63	83	49	64
	16.7	20	0.83	36	44	22	28
	20	20	1	43	55	30	39
	25	20	1.25	52	72	57	56

Vi ser av Tabellen 2 effekter av flere forhold:

Effekt av d/h-forhold: Trær med høyt D/H-forhold tåler mer enn de med lavt. For eksempel hvis vi har gran på 20 m høyde, så er kritisk vindstyrke for rotvelt henholdsvis 18, 22 og 32 m/s for trær med 16.7, 20 og 25 cm diameter i brysthøyde (Tabell 3).

Tabell 3. Utsnitt av Tabell 2 med fokus på effekt av d/h-forhold

Treslag	D, cm	H, m	D/H-forhold	Kritisk vindstyrke, m/s			
				Vind		Snø og vind	
				Rotvelt	Brekk	Rotvelt	Brekk
Gran	10	12	0.83	29	26	12	12
	12	12	1	36	44	18	18
	15	12	1.25	51	62	26	27
	13.3	16	0.83	22	22	11	11
	16	16	1	26	37	15	16
	20	16	1.25	38	52	21	24
	16.7	20	0.83	18	21	9	10
	20	20	1	22	35	13	14
	25	20	1.25	32	46	18	22

Effekt av trehøyde: Høye trær tåler mindre vind enn lave trær med samme d/h-forhold. For eksempel hvis vi har gran og et D/H-forhold på 1,0 så skal det til 36 m/s for å rotvelte et tre som er 12 m høyt, 26 m/s for et tre som er 16 m høyt og 22 m/s for et tre på 20 m. En fast grenseverdi for d/h-forholdet har altså den ulempen at det ikke fanger opp den økende risiko med økende trehøyde. Hvis vi interpolerer og ekstrapolerer verdiene i tabell 2 så ser vi at et d/h-forhold på 1,25 gir trær som tåler orkan (32 m/s) når høyden er under 21 m, mens de bare tåler liten storm (22-24 m/s) når de er 25 m høye. Vi kan også presentere dette for en gitt vindstyrke, sterk storm, 31 m/s. Da må et grantre på 15 m høyde ha et d/h-forhold på 1,0, mens et tre på 25 m må ha et d/h-forhold på 1.44. For hver meter vi øker treets høyde, så må vi altså øke d/h-forholdet med omkring 4%. Vi har her ekstrapolert verdiene til trehøyder på 25 m, og dersom trærne på et sted har maksimal trehøyde over 25 m, så bør vi ha d/h-forhold på minst 1,5 (Fig. 7).

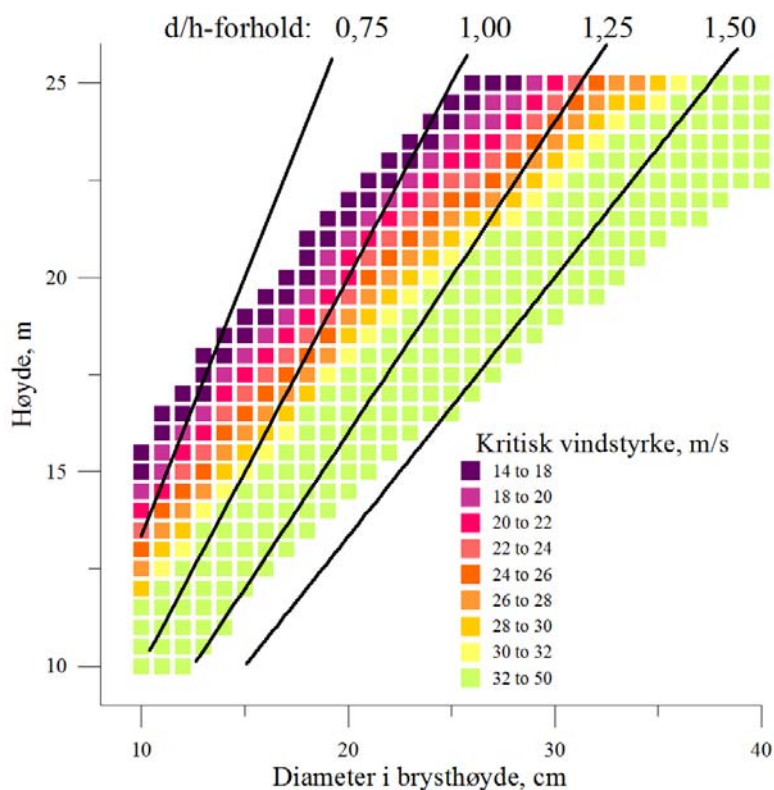


Fig. 7. Kritisk vindstyrke for gran som står i kant mot ei 15 m bred gate, avhengig av treets diameter og høyde.

Effekt av snø: Dersom det ligger mye snø i krona så tåler trærne betydelig mindre vind, ca halvparten, sammenliknet med trær uten snø. I gjennomsnitt for grantrærne i tabellen er kritisk vindstyrke 30,4 m/s for rotvelt uten snø i krona, og bare 15,9 m/s dersom det er snø i krona (Tabell 4).

Tabell 4. Utsnitt av Tabell 2 med fokus på effekt av snø

Treslag	D, cm	H, m	D/H-forhold	Kritisk vindstyrke, m/s			
				Vind		Snø og vind	
				Rotvelt	Brekk	Rotvelt	Brekk
Gran	10	12	0.83	29	26	12	12
	12	12	1	36	44	18	18
	15	12	1.25	51	62	26	27
	13.3	16	0.83	22	22	11	11
	16	16	1	26	37	15	16
	20	16	1.25	38	52	21	24
	16.7	20	0.83	18	21	9	10
	20	20	1	22	35	13	14
25	20	1.25	32	46	18	22	

Effekt av treslag og bladfelling: Det er en moderat forskjell mellom treslagene, hvor gran tåler ca 15% mindre enn furu og bjørk med blader. Det er stor forskjell på bjørk med og uten blader. Grovt sett regner man at vindfanget på løvtrær reduseres med 90% når de feller bladene, og kritisk vindstyrke i tabellen under øker med ca 50% (Tabell 5).

Tabell 5. Utsnitt av tabell 2 med fokus på treslag

Treslag	D, cm	H, m	D/H-forhold	Kritisk vindstyrke, m/s			
				Vind		Snø og vind	
				Rotvelt	Brekk	Rotvelt	Brekk
Gran	20	20	1	22	35	13	14
Furu	20	20	1	28	25	16	17
Bjørk m. blader	20	20	1	26	40	-	-
Bjørk u. blader	20	20	1	43	55	30	39

Vi ser også at det i de fleste tilfeller skal noe sterkere vind til for å brette et tre sammenliknet med å rotvelte det. Dette viser også fordelene av å ha tele i bakken. Normalt så vil et tre rotvelte før det brekker, mens dersom vi har tele i bakken så er stammebrekk eneste mulige skade og det skal sterkere vind til for å få slik skade. Særlig hvis det ikke er snø i trekronene skal det betydelig mer vind til for rotvelt enn for brekk, mens dersom det er snø i kronene så er forskjellen mindre.

4 Stabilitet i ulike skogtyper og skogbehandlingsmetoder

Beslutninger om skogbehandling vil vanligvis tas av skogeier uten at han involverer nettselskapet i den. Et nettselskap har interesse av å påvirke utforming og stabilitet i kantskogen, og denne rapporten beskriver hva som vil være gode løsninger for et nettselskap forutsatt at dette er ordnet og avtalt med skogeier. Nettselskapene kan på denne måten bli mer involvert i beslutninger om skogbehandling generelt, og vil derfor ha nytte av å ha noe kjennskap til skogbehandling generelt.

4.1 Treslag

Valg av treslag er en beslutning som kan tas ved planting av ny skog, eller ved avstandsregulering i en ung blandingsskog. Generelt kan man oppnå høy stabilitet med alle treslag, men furu anbefales som det beste treslaget langs kraftlinjer ut fra en samlet vurdering (se under). Stabiliteten varierer mellom treslag og kunnskap om dette er viktig dels for å velge riktig treslag i ungskogfasen, og dels for å håndtere eldre skog av ulike treslag og treslags-blandinger.

4.1.1 Gran

Gran har et rotsystem som er tilsynelatende grunt og flatt fordi man tydelig ser de horisontale røttene i jordoverflata, mens den egentlig har djuptgående røtter der det er mulig. Stabiliteten til gran er ofte funnet å være dårlig i undersøkelser, men det skyldes i mange tilfeller at gran ofte vokser på fuktig eller tett jord hvor rotsystemet blir gruntliggende. Gran har imidlertid en del egenskaper som gjør den utsatt for vindskader. Den har et stort vindfang ved at krona er lang og tett. Den har ofte råteangrep i rotsystem og stamme, og det svekker stabiliteten. Den er utsatt for barknag av hjort og elg, og får ofte råte og svake punkter på stammen her. Den har også den ulempen at den vokser seint i starten. I den grad nettselskapet er involvert i ungskogpleie, vil det kreves mye arbeid med fjerning av gress og andre småtrær i ungskogfasen for å hjelpe grana fram.

4.1.2 Furu

Furu har mange fordeler sett fra et stabilitets-perspektiv. Vindfanget er lite, fordi krona er kort og glissen. Den setter pelerot der det er mulig. Den angripes sjelden av råte. Et problem med furu er imidlertid at den er utsatt for beiteskader av elg vinterstid, inkludert toppbrekk. Furu kan derfor være vanskelig å få opp i områder med mye elg om vinteren.

4.1.3 Løv

Det er både fordeler og ulemper med løvtrær, og dette varierer også mellom artene. Løvtrærne har lavt vindfang under stormsesongen om vinteren. Når bladene felles reduseres vindfanget med omkring 90%. Løvtrærne har rask ungdomsvekst og forynger seg sjøl og er derfor egnet til rask og billig etablering. Ulempa med løvtrær er at de er heliotropiske, dvs at de strekker seg etter lyset, og de har ofte skeiv og slengete stamme, de kan være flerstammede, og har ofte uregelmessig og usymmetrisk krone (Fig. 8). Løvtrærne har ikke loddrett stamme og regelmessig krone slik som bartrærne, og kan derfor være mer utsatt for snøskader. Disse problemene varierer, og for eksempel osp er gjerne rettstammet og med kort krone, mens selje ofte er flerstammet og har hengende stammer.



Fig. 8. Løvtrær er ofte flerstammede og med uregelmessig stammeform og forgreining, og det gjør dem utsatte for snøbrekk. Foto: Hans Peter Eidseflot.

4.1.4 Treslagsblanding

Treslagsblanding anbefales ikke langs kraftlinjer av flere årsaker. Ved treslagsblanding får man et komplisert skogbilde og dette vanskeliggjør beslutninger om skogbehandling. Treslagsblanding øker sannsynligheten for at enkelttre-stabiliteten varierer mye mellom trærne, og dermed for at man har enkelte trær som har særlig høy risiko for å blåse ned eller brenke. Treslagsblanding vil ofte gi en tettere kant enn med bare ett treslag, fordi treslagene gjerne har trekroner i ulike sjikt. De lyskrevende treslagene (furu og de fleste løvtrærne) har krona i det øverste sjiktet, mens skyggetålende treslag (gran og bøk) har lange kroner ned mot bakken. En annen effekt av treslagsblanding mellom bar- og løvtrær er at løvtrærne hemmer herdingen (thigmo-morfogenesisen). Om sommeren mens løvtrærne har løvet på så vil de skjerme bartrærne for vind, slik at bartrærne ikke får et tydelig 'vind-signal' om å styrke seg. Når så vinteren og stormsesongen kommer, så mister løvtrærne bladene og bartrærne står uforberedt til å møte vindkreftene. Denne negative effekten av løvtrær har vært kalt 'herdingsblokkering' (Nørgård-Nielsen 2001). Det er særlig uheldig å ha en kant av løvtrær og bartrær bak, - da blir herdingsblokkeringen særlig sterk.

4.2 Skogstruktur

En homogen struktur hvor jevnstore trær av samme treslag er jevnt fordelt anbefales langs kraftlinjene. Dette gjør skogbehandlingen effektiv. Skogbehandlingen blir da sjablongmessig og kan i stor grad planlegges innendørs. Enhver form for heterogenitet øker behovet for tidkrevende målinger, vurderinger og beslutninger ute i felt.

Litteraturen på dette området kan være motstridende og dermed forvirrende. I skogbruket har det i seinere år vært en trend mot naturnær skogbehandling hvor man hogger store enkelt-trær og slipper opp yngre småtrær. Dette kalles Continuous Cover Forestry (CCF), fordi man hele tida opprettholder et skogdekke, i motsetning til en skogbehandling med ensjiktet og ensaldret skog og snauhogst med 50-120 års mellomrom (Rotation Forest Management, RFM). En rekke studier har funnet at risikoen for vindskader er lavere i CCF-skog enn i RFM-skog (f. eks. Pukkala et al. (2016)). Videre er flersjiktet

skog funnet å ha lavere risiko enn ensjiktet skog (Valinger and Fridman 2011). Dobbertin (2002) studerte skader etter to av de sterkeste vindskadene på skog i Europa i nyere tid, ved stormene Vivian and Lothar, og fant at skog med uregelmessig struktur hadde mindre skader enn skog med regelmessig struktur. Disse resultatene må imidlertid tolkes som et resultat av at CCF gir lite skogkanter, fordi man har store sammenhengende områder med flersjiktet skog. Ved ensaldret skog (RFM) får man nye kanter hver gang et område med gammel skog hogges, og slike kanter er særlig utsatte for vindskader. Dette har imidlertid liten overføringsverdi til kraftgater hvor det nødvendigvis må være en skogkant.

CCF-skog gir også lavere enkelttrestabilitet, fordi trærne i ungdommen får lite lys og plass til å utvikle rotsystem og en sterk stamme, og de får heller ingen herding. Det er også sann at en ensaldret skog øker sjansen for at man får massive skader av vind og snø når man har ekstremvær, og mange studier er gjort etter slike stormer. I flersjiktet skog får man gjerne spredte vindfall til enhver tid, og dette utgjør et kontinuerlig problem for nettselskapene som ikke fanges opp i slike studier basert på ekstremvær. Simuleringer av vindskader i ulike typer skogstruktur med modellen FOREOLE viste at uregelmessige bestand har et kontinuerlig problem med spredte vindfall, at man får skader også ved moderate vindstyrker, og at det er særlig store enkeltrær som blåser ned (Ancelin et al. 2004). Det er også vist at omfanget av stormskader øker hvis det er stor høydevariasjon mellom de dominante trærne i en skog (Cucchi and Bert 2003). Tilsvarende viste Somerville (1980) at det bli mye turbulens og friksjon mellom vind og trær, og dermed økt risiko for vindfall, hvis det er høydevariasjoner på trærne på mer enn 5 m. Når kronetaket i skogen er jevnt så vil vinden i stor grad stryke over med lite turbulens mellom trærne. Nettselskapenes erfaring er også at uregelmessig skog har et kontinuerlig problem med vindfall, samt at slik skog er uoversiktlig og gjør det vanskelig å identifisere risikotrær.

5 Risikofaktorer på voksestedet

Risikoen for vind- og snøskader avhenger ikke bare av trærne, men også av andre risiko-faktorer på stedet. Disse faktorene har å gjøre med topografi, jordbunnsforhold og klima. I skogbehandlingen langs kraftlinjene må man ta hensyn til disse faktorene, ved å gi høy prioritet på skogbehandling på steder med høy risiko.

5.1 Jordbunnsforhold

Trærnes mulighet for god forankring er viktig for stabiliteten, og særlig for enkelttre-stabiliteten som er av stor betydning i skogkanter som vi har langs kraftlinjene. Et djuptgående rotsystem gir god forankring. Alle forhold som hindrer et djupt rotsystem reduserer dermed forankringen (Fig. 9). Først og fremst er dette et problem der det er tynt jorddekke over berggrunnen. Norge har generelt tynt jorddekke, også sammenliknet med våre naboland Sverige og Danmark. Det meste av skogarealet i Norge har tynn bunnmorene på fjell, og ofte er jorddekket usammenhengende slik at fjellgrunnen stikker opp. Høytstående grunnvannsspeil hindrer også djup forankring. Vi finner det særlig på leirejord og torvmark. Vannet blir stillestående og oksygenfattig, og røttene kan dermed ikke leve her. En tredje faktor som hindrer djup rotutvikling er aurhelle. Aurhelle er harde lag som likner stein, og finnes på noen dm djup. Aurhelle hindrer rotutvikling nedover og kan også hemme dreneringen og lokalt gi forsumpning. Aurhelle skyldes kjemisk utfelling av jern-, humus- og andre forbindelser som løses opp i høyere jordlag og fraktes med vannet nedover i jorda, og felles ut på noen dm djup. Aurhelle er vanlig i hele landet og finnes i flatt terreng der vannet dreneres vertikalt nedover, og særlig i fuktige og kjølige områder hvor det blir stor vanntransport nedover i jorda.

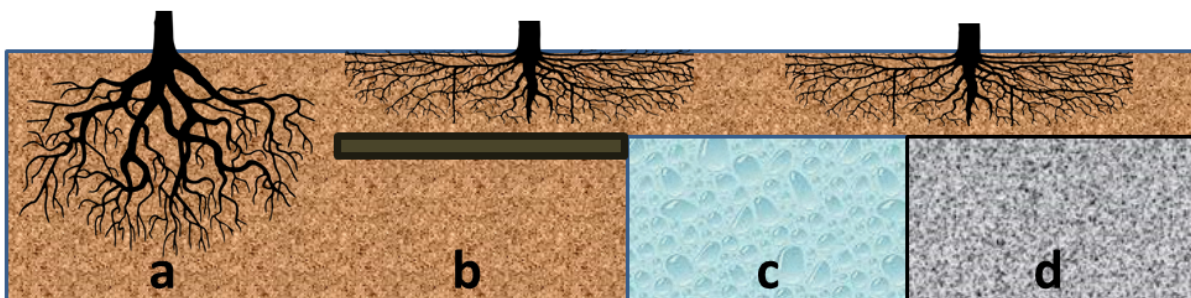


Fig. 9. Risikofaktorer i jordbunnsforhold. a) Djup jord og god forankring. b) Aurhelle, c) høyt grunnvannsspeil og d) tynt jorddekke over fjell gir grunt rotsystem og svakere forankring.

Når vi skal vurdere hvordan jordbunnsforholdene påvirker skogens stabilitet må vi altså ta hensyn både til jordas opphavsmateriale og dens tjukkelse. Det finnes et heldekkende og digitalt GIS-datasett for løsmasser over hele Norge (Fig. 12), og som dermed kan benyttes i nettselskapenes planlegging. Det er satt sammen av løsmassekart av ulik detaljering og kan stedvis være unøyaktig, men det vil være velegnet for stor-skala planlegging. Et annet datasett med informasjon om jord er det såkalte AR5, som forvaltes av NIBIO (<https://kilden.nibio.no>).

Rotsystemets forankring varierer også gjennom året avhengig av nedbør og temperatur. Når jorda har tele, så blir forankringen svært sterk. Tele er en viktig stabiliseringsfaktor fordi stormsesongen er om vinteren. Vi kan imidlertid få stammebrekk i stedet for rotvelt når det er tele. Jordas vanninnhold har også stor betydning for forankringen. Generelt gir våt jord dårligere forankring, men dette varierer noe med jordtype. Det er vist eksperimentelt ved vanning av jord og nedvinsjing av trær hvor stor effekt dette har (Kamimura et al. 2012). En bekymring med hensyn til klimaendringene, er at vi får dårligere stabilitet om vinteren, (i) fordi det kan bli mindre tele, (ii) fordi mer av nedbøren vinterstid komme som regn eller våt snø, og (iii) fordi nedbøren oftere vil komme som kraftige nedbørepisoder. Vi vil da

dels få dårligere forankring, og dels større tyngdekrefter på trær med tung snø når de svaier i vinden. Da stormen Gudrun rammet Sverige i januar 2005, så hadde det regnet i 14 dager, og forankringen var svak.

En geografisk grovinnledning av løsmasser for Sør-Norge er vist i Fig. 12.

5.2 Topografi

Koller og høydedrag stikker opp og er mer utsatt for sterk vind enn søkk og dalbunner. I England har man vist hvordan vindstyrken varierer med topografi ved å utplassere bomullsvimpler ('tatter flags') på ulike lokaliteter, og etter en stund måle slitaskaden på vimplene. Man har så testet ulike topografiske indekser for å beskrive vindklimaet på et sted. Et resultat av dette arbeidet er variabelen TOPEX ('Topographic Exposure') (Quine and White 1994). Den er beregnet som vinkelen mellom en horisontal linje og terrengets horisont, og beregnes vanligvis i åtte himmelretninger og innenfor en maksimal avstand på 1 km. Man får da TOPEX-verdier for ulike retninger og en totalverdi for alle retninger. I dag har vi digitale terrengmodeller og vi kan enkelt beregne TOPEX for hver 10 m langs kraftlinjer, samt rutenett av punkter i områdene rundt. På denne måten får vi detaljerte kart for vindstyrke som kan brukes operasjonelt av nettselskapene for å prioritere strekninger som krever særlige hensyn og prioritet i skogbehandlingen (Fig. 10 og 11).

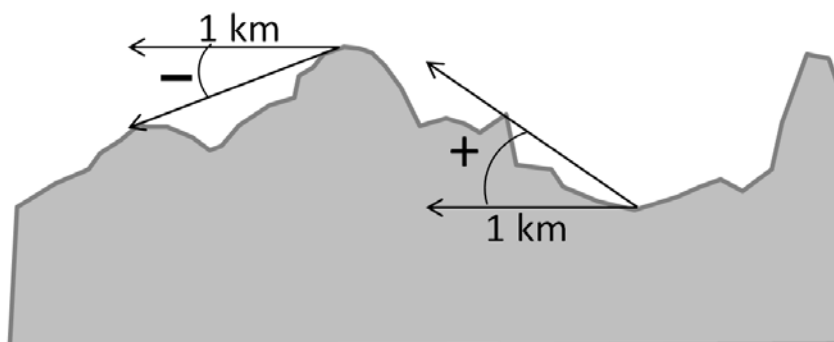


Fig. 10. Prinsippet for beregning av TOPEX i én retning på et terrengprofil. Vinkelen måles altså til det punktet innenfor 1 km som danner horisonten.

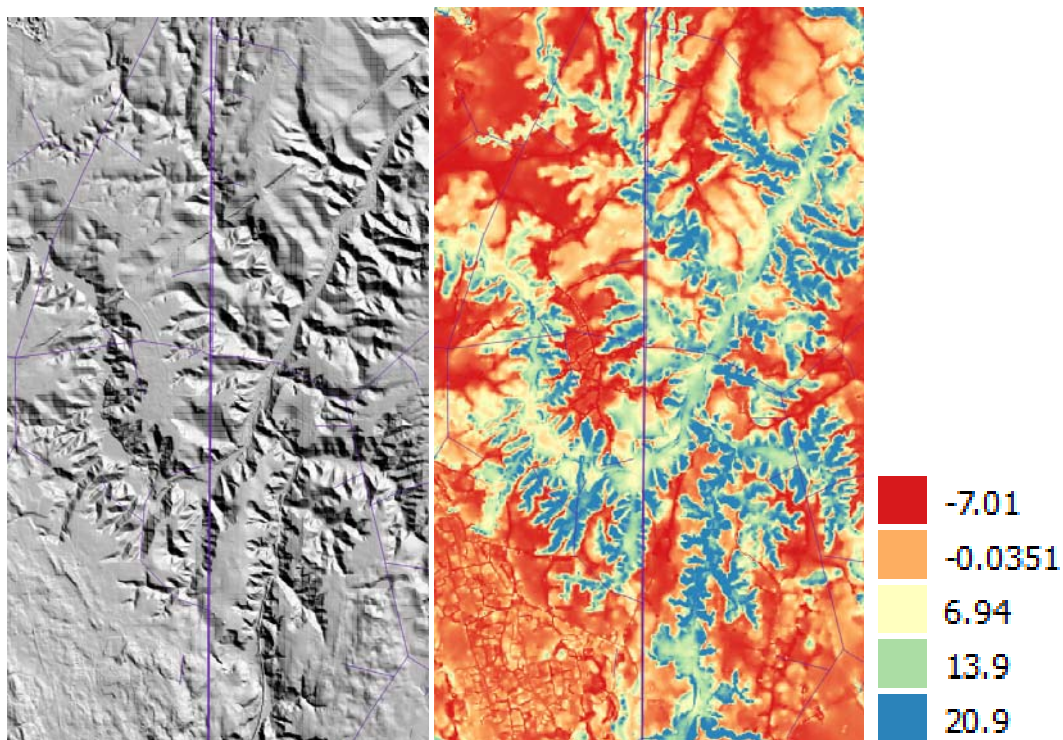


Fig. 11. Eksempel på beregnet TOPEX for et 3 km x 5 km område i Hurdal, hvor det går flere kraftlinjer (fiolett linje). Til venstre: terrengmodellen vist med skyggeeffekt. Til høyre: gjennomsnittlig TOPEX for 8 himmelretninger med fargeskalaen fra rød (negative verdier, vindutsatt) til blå (positive verdier, skjermet). Tallverdiene angir vinkel i grader. Vi ser hvordan TOPEX og vindforholdene varierer langs kraftlinjene, med vindutsatte områder på topper og høydedrag, og skjermede områder i ravedalene.

Selv om TOPEX gir et uttrykk for vindutsatthet, så er det ikke alltid slik at risikoen for vindskader er høyest på vindutsatte steder. I stor grad vil en urørt skog bli herdet på vindutsatte steder, ved at den blir kortvokst og får store diametere og store rotsystemer. Ofte har vi gammel furu med høy enkelttre-stabilitet på slike steder, og den vil tåle mye vind og vil også tåle hogst og utlegging av nye kraftgater. Imidlertid kan vi ha andre treslag eller andre aldersklasser på slike steder, og det er da viktig å ha en skogbehandling med sterk vekt på stabilitet. Flere studier av stormskader har imidlertid funnet en sammenheng mellom TOPEX og skaderisiko. På baksida av bratte åser kan vi få turbulens, som kan slå ned og gi høy vindstyrke på små områder. Vi får da gjerne grupper av nedblåste trær. Slik turbulens treffer svært tilfeldig og er vanskelig å gardere seg mot. Geografisk variasjon i TOPEX er gitt for Sør-Norge i Fig. 12.

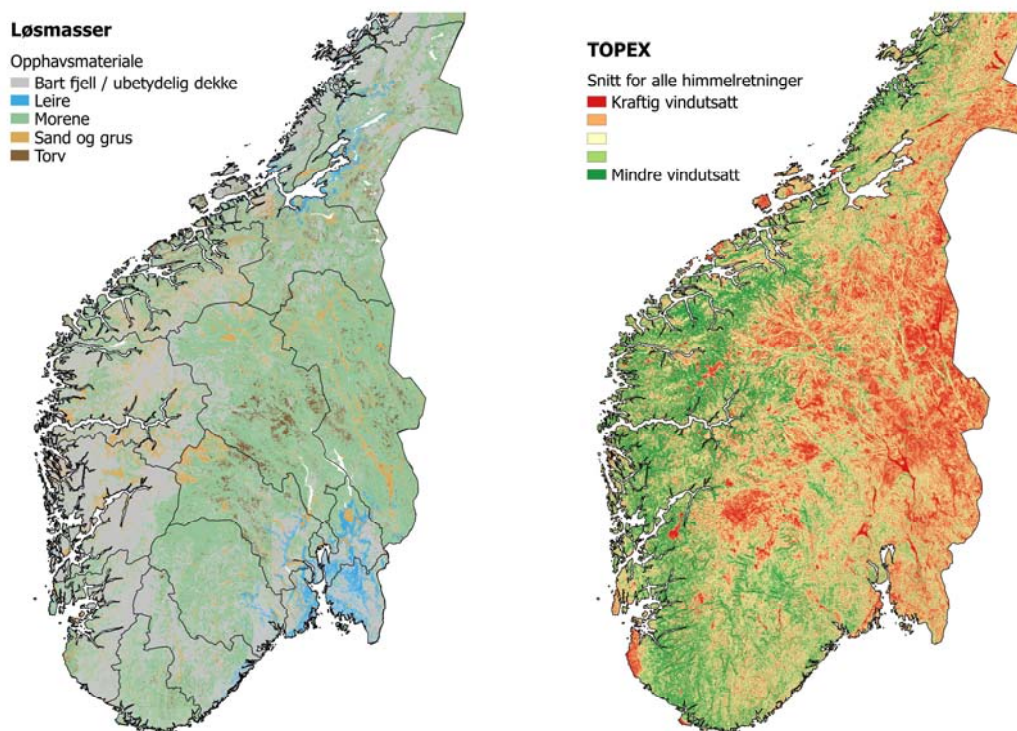


Fig. 12. Geografisk variasjon i risikoforhold i et 2,5 km rutenett over Sør-Norge: Venstre: Løsmasser re-klassifisert til noen typer som har betydning for trærnes forankring. Datasettet er basert på løsmassedata fra Norges Geologiske Undersøkelser (NGU). Høyre: TOPEX i gjennomsnitt for åtte himmelretninger og beregnet med 1 km radius rundt hvert punkt i et 10 m x 10 m rutenett.

5.3 Vind- og snøforhold

Generelt har vi mye vind i Norge som genereres av lavtrykk som kommer inn fra Nordsjøen og passerer over landet. Risikoen for skader av vind og snø avhenger av vind- og snøklimaet på et gitt sted. Sterkest vind og hyppigst forekomst av storm og kraftig snøvær har vi langs kysten på Vestlandet og nordover, og et stykke inn i landet (Fig. 13). Norsk vindlaststandard angir den maksimale vindstyrken som ventes å opptre i løpet av en 50-års periode, og er angitt for hver kommune. Det er stor usikkerhet omkring hvordan dette vil endre seg med klimaendringene. Klimascenariet tilsier en liten til moderat økning i frekvensen av sterk vind, men som sagt er dette noe av det mest usikre ved klimascenariene. Når det gjelder sterke nedbørepisoder med tung og våt snø, så tyder scenariet på at det særlig er omkring fjellområdene på Østlandet at vi vil få en økning. Et uttrykk som brukes for å identifisere hendelser med tung, våt snø på kraftforsyningsnettet er nedbørmengde på over 10mm i løpet av et døgn og samtidig lufttemperatur mellom 0,5 og 2 grader (Bonelli et al. 2011; Nygaard and Fikke 2012). Vi kan regne med at dette er et uttrykk som også beskriver risiko for snøbrekk på trær.

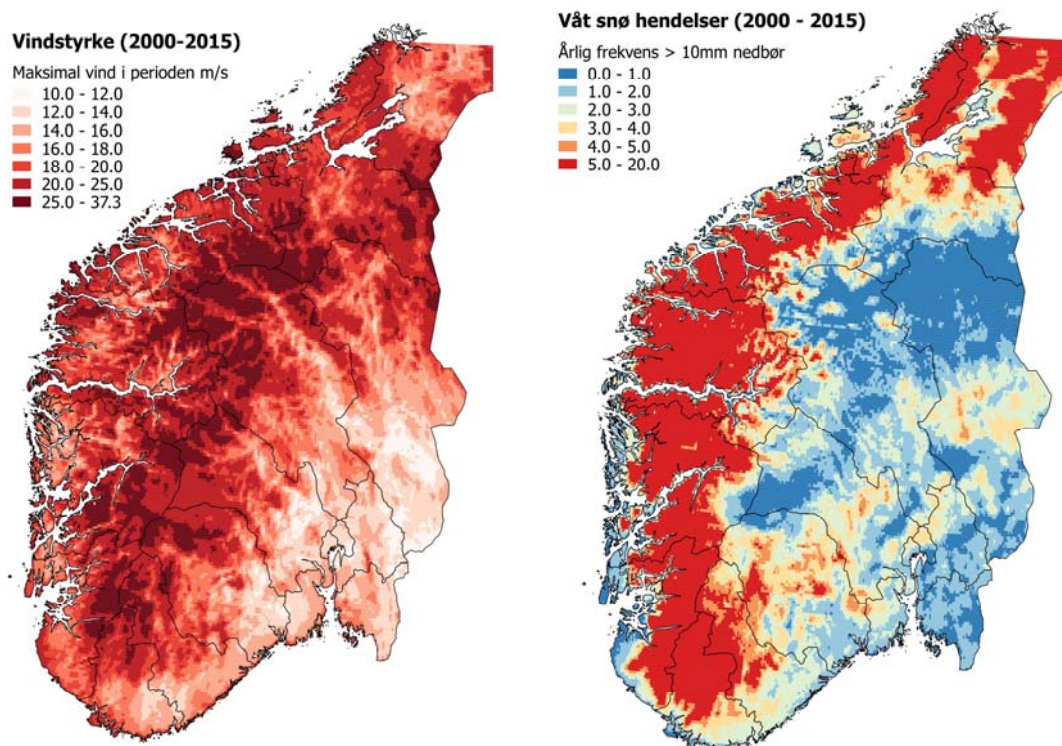


Fig. 13. Geografisk variasjon i risikoforhold i et 2,5 km rutenett over Sør-Norge: a) Maksimal vindstyrke 10 m over bakken for årene 2000-2015. Dette kartet er basert på statistisk nedskalering av vinddata hvor de sterkeste vindene kan bli noe underestimert, men kartet angir på en realistisk måte hvordan vindstyrken varierte geografisk. b) Frekvens av våtsnø-episoder 2000-2015 gitt som antall døgn med 0,5-2 grader gjennomsnittstemperatur og ≥ 10 mm nedbør i snitt per år. Dataene er fra forskningsprosjektet WISLINE.

6 Diskusjon

Denne rapporten omhandler risikoen for trefall, og hvordan skogbehandlingen kan legges opp for å redusere denne. To andre momenter må imidlertid inn i nettselskapenes beslutning omkring skogbehandlingen. For det første må man ta hensyn til konsekvensen av trefall på linja og utfall av strøm. Dette kan kvantifiseres ved KILE, og i tillegg må man vurdere hvilken rolle den aktuelle linja har i forsynings situasjonen lokalt. For det andre må man legge til grunn at eventuelle ekstra-kostnader ved en endret skogbehandling oppveies av redusert risiko (Figur 14). Disse to momentene er ikke behandlet i denne rapporten.

Vi har to ulike beslutnings-situasjoner hos et nettselskap. Dersom man står over for ei snauflete eller en ungskog, så har man muligheten for langsiktige oppbygging av stabil skog. I hvor stor grad man da skal vektlegge skogens framtidige stabilitet avhenger av egenskaper ved voksestedet (topografi, jordforhold og klima, Fig. 12). På områder som er topografisk utsatt for vind, som har dårlige muligheter for djup rotfesting eller som ligger i områder som er utsatt for sterk vind eller kraftige snøfall, bør man vektlegge stabilitet i behandlingen av skogen langs kraftgata. I et langsiktig perspektiv der eksisterende skog langs kraftgatene etter hvert blir hogd, så har nettselskapene da mulighet for å komme over i et slikt spor i skogbehandlingen og dermed på sikt få langt mindre problemer med trefall på linjene. Dersom man har stående skog langs linja må man også ta hensyn til stabiliteten i den, se lengre ned.

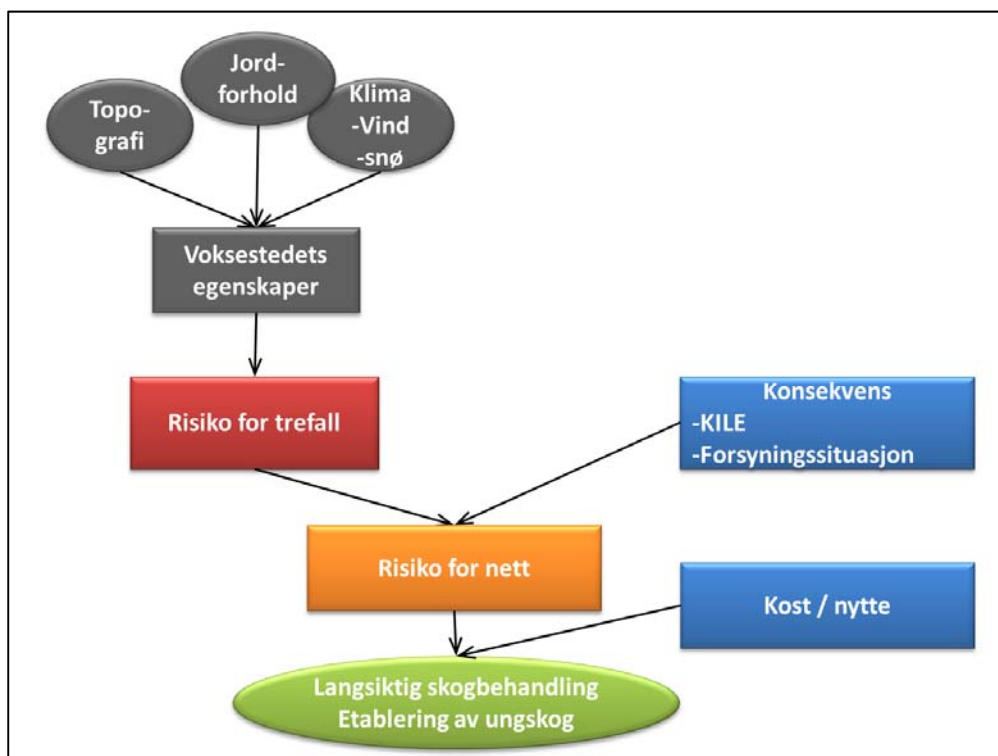


Fig. 14. Beslutningsstøtte for langsiktig skogbehandling i ungskog langs kraftlinje. Det er voksestedets egenskaper og konsekvens som er grunnlaget for beslutning.

Basert på teorien blir en enkel mal for skogbehandlingen langs ei kraftgate å regulere treantallet i ungskog ned til 80-100 trær per daa (3-3,5 m avstand mellom trærne) og være varsom med hogst (særlig bredding) i eldre og gammel skog. Denne tettheten mellom trærne får vi ved såkalt avstandsregulering i tett ungskog, eller ved planting. I ungskogfasen må man også bestemme seg for hvilket treslag man vil satse på, og som nevnt over vil ofte furu være det beste valget, men også gran og løvtrær kan gå bra. Dette avhenger av forhold som elgtetthet og råteforekomst i området. Denne malen forutsetter at vi begynner med snau mark og skal etablere ny skog langs kraftgata, eller ungskog. Det er nødvendig å gjøre dette i en bredde som tilsvarer en potensiell trelengde ut fra ytterfasen, dvs omkring 25 m. Vi kan kalle dette beltet langs kraftlinja for et skjøtselsbelte (Figur 15). Dette er en enkel mal som kan brukes langs alle kraftlinjer. Den kan imidlertid nyanseres noe ut fra risikoen på voksestedet. Jo høyere risiko det er for trefall på stedet, ut fra topografi, jordbunnsforhold og vind- og snøklimate, desto viktigere er det å følge denne malen.

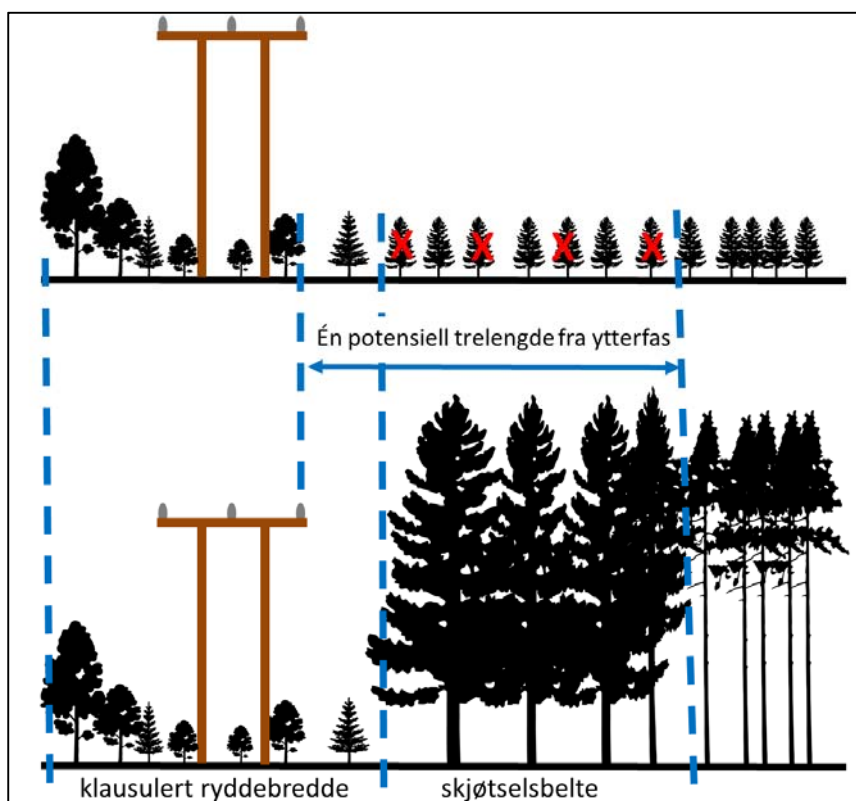


Fig. 15. Langsiktig oppbygging av stabil kant: Ved å avstandsregulere i ungskogen (øverst) får vi trær som blir storm- og snøsterke når de blir store (nederst).

En skogbehandling som beskrevet over går vanligvis utenfor klausulert ryddebredde, og dette betinger da at man oppretter et samarbeid eller en avtale med skogeier. Nettselskapene vil ha fokus på stabilitet mot snø- og vindskader, mens skogbruket har fokus på virkesproduksjon. Denne forskjellen er illustrert i Figur 16. I skogbruket starter man med en tettere ungskog og reduserer ofte treantallet med en eller flere tynninger for å oppnå tømmer av høy kvalitet med lite kvist og liten avsmalning på tømmeret. Vi må derfor legge til grunn at nettselskapets skogbehandling kan gi et visst produksjonstap hos skogeier. Forskjellen mellom skogbruk og skogbehandling langs kraftgater er ikke veldig stor. Ofte er det ikke skogbrukets skogbehandling som er alternativet, men heller en uskjøttet skog. Mange av skogeierne i Norge har lite skogareal og skogen skjøttes lite. Derfor kan nettselskap og skogeier ha felles nytte av et samarbeid.

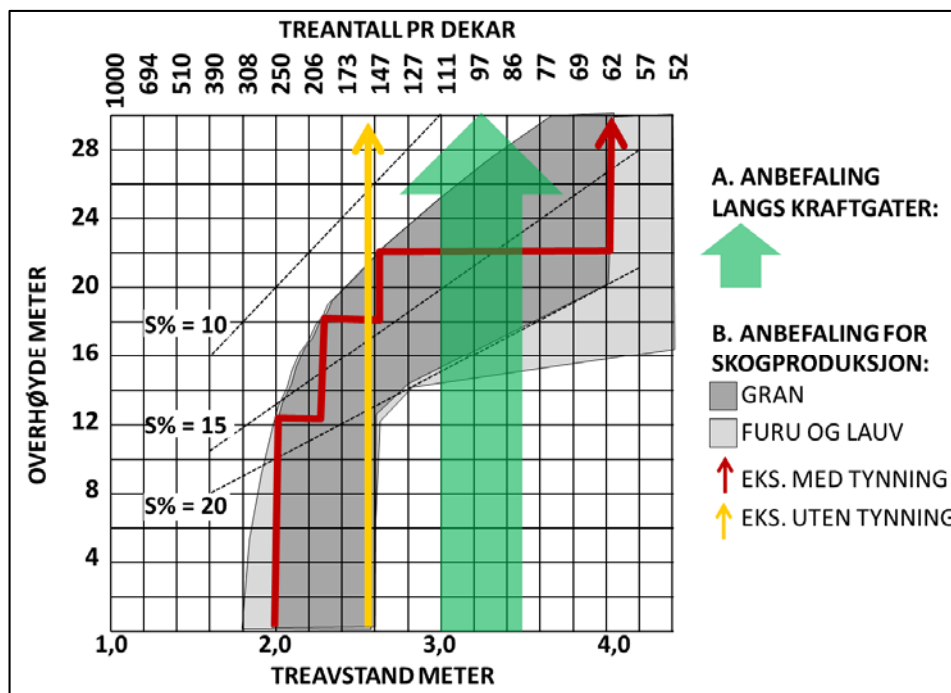


Fig. 16. Alternativer for skogbehandling, hvor grønn pil angir en skogbehandling som gir svært høy stabilitet mot vind- og snøskader og er anbefalt langs kraftgater, mens gul og rød pil angir alternativer som gir høyere verdiproduksjon (volum og kvalitet) og er vanlige i skogbruket, men som gir lavere stabilitet. De grå områdene angir yttergrensene for det som anbefales for gran og furuskog i skogbruket. Figuren angir også den såkalte stammetallsfaktoren (S%), som er et mål på tetthet og er beregnet som gjennomsnittlig treavstand i prosent av skogbestandetsoverhøyde.

I de fleste tilfeller er det stående skog langs kraftlinja, og da må man i tillegg forholde seg til stabilitets-egenskapene i den skogen. Dette vil da utgjøre en svært viktig input til de kortsiktige beslutninger i skogbehandlingen (Fig. 17). Jo eldre og høyere trærne er, desto mer forsiktig må man være med hogst, - inkludert bredding. I middels høy skog, med trehøyder på 6-15 m så kan man tynne ut dersom skogens står tett. Målet med å fjerne enkelte trær og tynne ut i kanten vil være å gjøre kanten noe mer åpen slik at vinden slippes innover i skogen og bremses opp. Man bør fjerne trær som er risikable, dvs som har lavt D/H-forhold, usymmetrisk krone, hengende stamme, sår og skader som kan gi råde og svakheter, som står i tette grupper, flerstammede trær, eller trær som avviker på ulike vis ved å være ekstra høye eller avvike fra hovedtreslaget. Inngrep i denne fasen kan gjerne gjøres som svake inngrep i flere omganger med noen års mellomrom

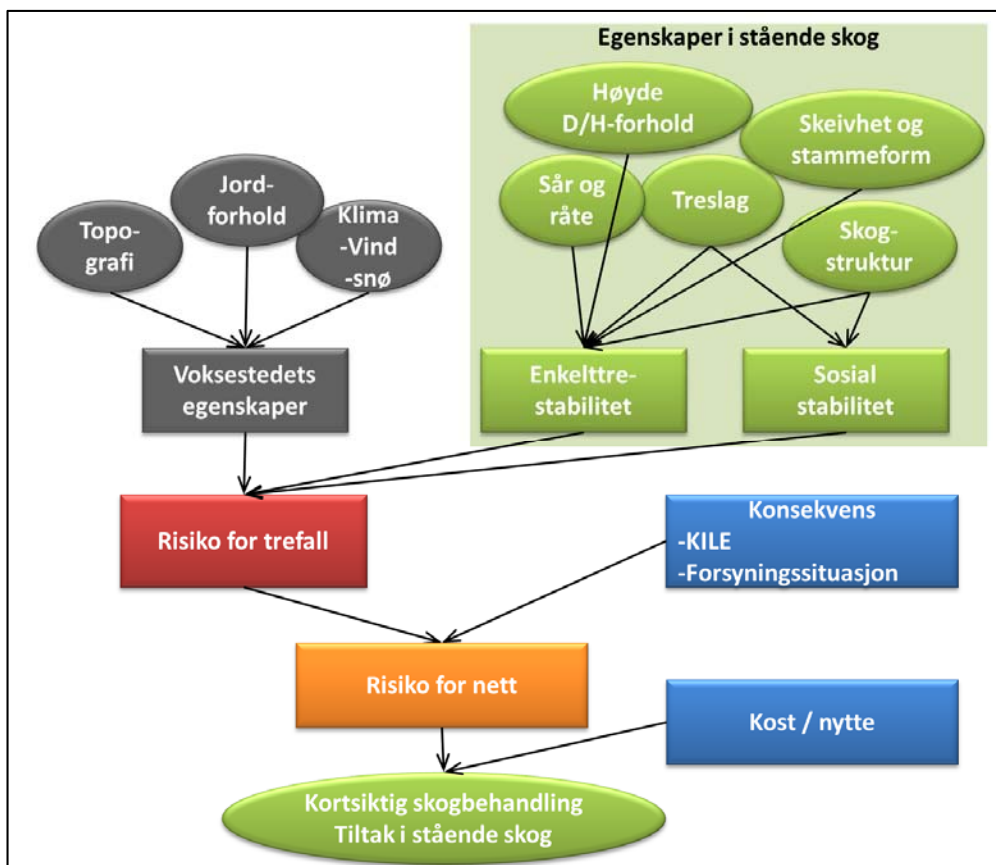


Fig. 17. Beslutningsstøtte for kortsiktig skogbehandling i stående skog langs kraftlinje. I tillegg til voksestedets egenskaper må vi nå ta hensyn til skogens stabilitet som grunnlag for beslutningene.

Hvordan man skal skjøtte en gammel skog langs kraftlinjene avhenger av hvor heterogen den er, og hvor høy enkelttre-stabilitet den har. I en heterogen skog, hvor det er stor variasjon i treslag, tre-høyde og -diameter kan man gjøre sikringshogst. Det betyr å fjerne de trærne som har høy risiko. Det er alle enkelt-trær som står nær nok til å kunne fall på linjene, og som har høy risiko for å bli trefall. De må plukkes ut i felt på samme måte som nevnt over. Det er mulig at man med laserskanning kan få fram risiko-faktorer for hvert enkelt tre, og dette bør undersøkes nærmere.

Dersom man har gammel skog som er homogen og alle trærne utgjør en potensiell risiko pga sin høyde og nærhet til linja, så bør man gjøre en mer sjablongmessig skogbehandling, dvs enten bredde ut eller søke å avvirke hele skogbestanden i samarbeid med skogeier (Fig. 18). Dette valget avhenger særlig av D/H-forholdet. Bredding må aldri gjøres i gammel skog dersom D/H-forholdet er lavere enn 1,25, og helst bør det være høyere enn 1,5.



Fig. 18. Kraftgate gjennom høy og tett plantet granskog på Vestlandet. Et vanlig tiltak er utbredding av kraftgata (venstre), mens en løsning som er mindre risikabel er å samarbeide med skogeier om å avvirke hele skogbestandet (høyre).

Man kan også redusere vindkreftene på skogkanten dels ved å ha en glissen kant som slipper vinden inn i skogen, og dels ved å avrunde kraftgatas tverrsnitt. En slik avrunding kan gjøres dels ved å få opp en underskog i kraftgata som danner et U-profil, - dog må den ikke bli så høy og tett at kanten blir for tett. Dels lages en avrunding ved å kappe toppen av kanttrærne, noe som kun gjennomførbart med helikopter (Fig. 19).



Fig. 19. Eksempel på vurderinger. Dette området ligger på Vestlandet som er en region med mye vind og kraftige snøfall, men vi er her i en skjermet lokalitet nede i en dal og det er djup jord med frisk fuktighet og gode muligheter for god forankring av rotsystemet. Vi har sjelden råte i gran på Vestlandet og vi kan regne med at trærne og deres rotsystemer er sunne og friske. Granskogen til venstre står tett, og trærne har blitt såpass høye at tynning og bredning er risikabelt. Her bør man følge med på utviklingen av høyde og d/h-forhold, og så forsøke å få til en hogst av hele skogbestandet i samarbeid med skogeier når man kommer til et tidspunkt da risikoen begynner å bli høy. Et alternativ er å beskjære trekronene inn mot kraftgata og toppe trærne, - begge deler kan gjøres fra helikopter. Til høyre for kraftgata er det en tett ungsog av løvtrær. Det er fortsatt mulig å bygge opp enkelttre-stabilitet her, dersom man regulerer treantallet ned til omkring 100 pr dekar. Man bør da sette igjen løvtrær som har loddrett, gjennomgående stamme og symmetrisk krone, jevnt fordelt i en bredde på omkring 25 m fra ytterfas. Foto: Hans Peter Eidseflot.

Vi har gitt konkrete anbefalinger for D/H-forhold på minimum 1,25 – 2,0, avhengig av risikofaktorene på stedet. Dette er imidlertid ikke noen garanti mot trefall. Det vil være tilnærmet umulig å gardere seg mot trefall, fordi vi av og til får helt ekstreme værhendelser. Det kan være for eksempel en ekstrem storm, eller det kan være et sammenfall av ulike værforhold. Et eksempel på det siste er den såkalte 'Nedsnødd'-hendelsen på Sørlandet den 5. – 6. november 2016. Det var da omfattende trefall på nettet, forårsaket av en serie av tre uheldige forhold; mye våt snø, deretter frost som gjorde at snøen festet seg i trærne, og så vind. Det er imidlertid ikke helt åpenbart hvordan de ulike hendelsene virket sammen basert på meteorologiske målinger. I løpet av døgnet mellom 5. og 6. november kl 07:00 ble det ved Landvik ved kysten i Grimstad kommune målt 113 mm nedbør. En så stor nedbørmengde er i seg sjøl en sjelden hendelse. For sesongen september, oktober, november har en slik nedbørmengde en returperiode på mer enn 50 år. Ser vi imidlertid på en innlandslokalitet som Nelaug i Åmli kommune var nedbørmengden bare 53 mm, og det har en returperiode på mindre enn 5 år. Samlet sett, dersom vi ser bort fra området rundt Landvik, var dette en nedbørsepisode som må påregnes med noen års mellomrom på denne årstiden. Det som gjorde denne episoden spesiell var at nedbøren ble etterfulgt av et temperaturfall og en samtidig moderat vindøkning. Temperatur og vind er vist i Fig. 20. Vinden økte fra 3 til 4 m /s til nesten 8 m/s mellom 5. og 6. november, noe som betyr at vinden i seg selv ikke var spesielt sterk. For Nelaug var utviklingen i vind og temperatur tilsvarende, men der var temperaturen i utgangspunktet litt lavere. Snøfallet kom mens det var forholdsvis mildt slik at snøen var våt, og som følge av temperaturfallet frøs den fast på trærne og utgjorde en betydelig belastning. Dermed ble den moderate vinden tilstrekkelig til å velte en stor mengde trær. Det var med andre ord kombinasjonen av relativt mye nedbør ved en temperatur som gjør at den faller som våt snø og påfølgende fall i temperaturen som medførte at snøen frøs fast på trærne. Vind opp mot frisk bris gjorde derfor at mange trær falt. Det lar seg ikke gjøre å estimere noen returperiode for denne hendelsen ut fra tilgjengelige data, men for at skaden skal bli så stor kreves store mengder nedbør ved temperatur i et smalt temperaturintervall fulgt av temperaturfall og samtidig vind av en moderat styrke. Derfor vil returperioden være adskillig lenger enn returperioden for nedbørepisoden i seg selv.

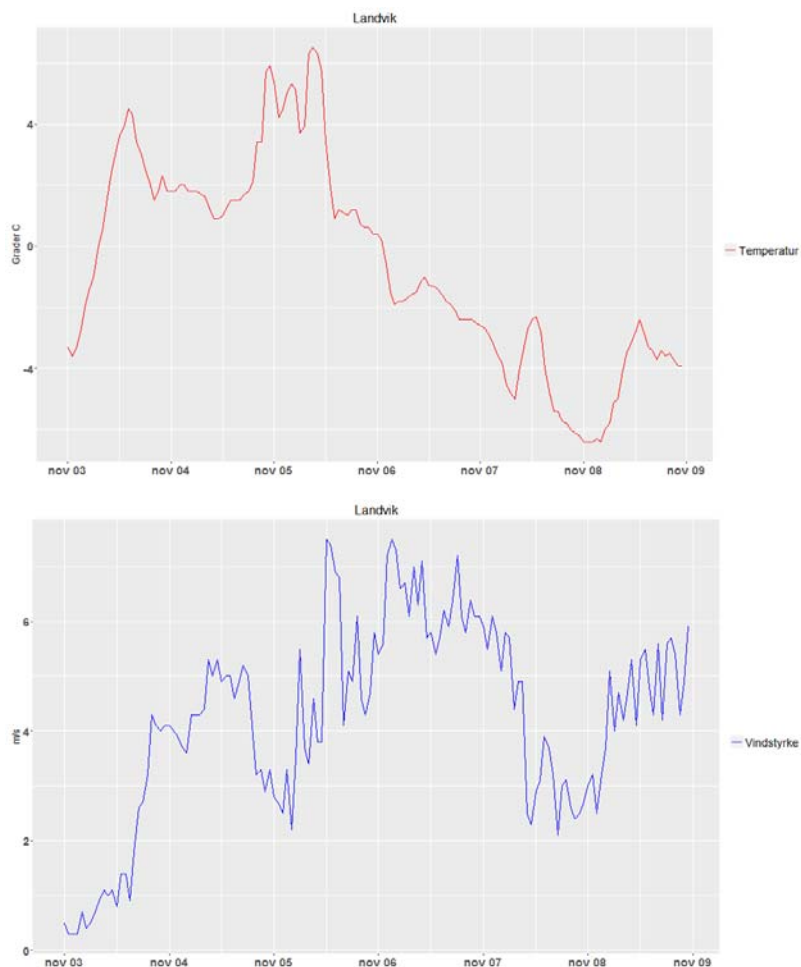


Fig. 20. Temperatur og vindstyrke på landvik, Grimstad, i perioden 3. – 9. november 2016, omkring hendelsen 'Nedsnødd'.

Det er mye litteratur på dette området. Ikke alltid har de sammenfallende resultater, og det er derfor tidvis vanskelig å lage en omforent tolkning av ulike resultater. Det er også behov for mer forskning på dette feltet, særlig på utforming av kraftgatas tverrprofil, mulig foredling av trær for å utvikle spesielt egnede trær langs kraftgater som f.eks smalkronet gran, en avklaring på om det finnes en optimal tetthet for maksimal stabilitet eller om det er slik at jo glisnere desto bedre, og til slutt hvordan de ulike risikofaktorene skal kombineres i en operativ planlegging hos nettselskapene. Det anbefales at nettselskapene etablerer en database for trefall og en løpende overvåking og innlegging av alle hendelser. Over tid vil dette danne et grunnlag for optimalisering av skogbehandlingen langs kraftlinjene.

Litteraturreferanse

- Ancelin, P., Courbaud, B., & Fourcaud, T. (2004). Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands. *Forest Ecology and Management*, 203, 101-121
- Bengtsson, A., & Nilsson, C. (2007). Extreme value modelling of storm damage in Swedish forests. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 515-521
- Bonelli, P., Lacavalla, M., Marcacci, P., Mariani, G., & Stella, G. (2011). Wet snow hazard for power lines: a forecast and alert system applied in Italy. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 2419-2431
- Cucchi, V., & Bert, D. (2003). Wind-firmness in *Pinus pinaster* Ait. stands in Southwest France: influence of stand density, fertilisation and breeding in two experimental stands damaged during the 1999 storm. *Annals of Forest Science*, 60, 209-226
- Dobbertin, M. (2002). Influence of stand structure and site factors on wind damage comparing the storms Vivian and Lothar. *Forest Snow and Landscape Research*, 77, 187-205
- Flåte, P.O., & Alfredsen, G. (2008). Måling av råde i stående trær. *Glimt fra Skog og landskap*, 2008:2
- Gregow, H., Peltola, H., Laapas, M., Saku, S., & Venalainen, 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, 35-54
- Gunulf, A., Wang, L., Englund, J.-E., & Rönnberg, J. (2013). Secondary spread of *Heterobasidion parviporum* from small Norway spruce stumps to adjacent trees. *Forest Ecology and Management*, 287, 1-8
- Hansen-Bauer, I., & Haugen, J.E. (2007). Klimascenarier. *Solberg, S. og Dalen, L. S. (Red.). Effekter av klimaendring på skogens helsetilstand, og aktuelle overvåkingsmetoder. Viten fra Skog og landskap*, 03/2007, 9-12
- 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. *European Journal of Forest Research*, 131, 219-227
- Kellomäki, S., Maajarvi, 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, 213-233
- Mitscherlich, G. (1974). Sturmgefahr und Sturmsicherung. (Risk of gale damage and preventive measures. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 125, 199-216
- Nilsson, C., Stjernquist, I., Barring, L., Schlyter, P., Jonsson, A.M., & Samuelsson, H. (2004). Recorded storm damage in Swedish forests 1901-2000. *Forest Ecology and Management*, 199, 165-173
- Nygaard, B.E., & Fikke, S. (2012). Isstorm. Ising på kraftforsyningsnettet. In R. Steen (Ed.), *NVE rapport*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat
- Nykänen, M.L., Peltola, H., Quine, C., Kellomäki, S., & Broadgate, M. (1997). Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica*, 31, 193-213
- Nørgård-Nielsen, C. (2001). Vejledning I styrelsen af stormfasthed og sundhed i nåletræbevoksninger. *Dansk Skovbrugs Tidsskrift*, 4/01, 216 – 263

- Peltola, H., Kellomaki, S., Vaisanen, 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. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 29, 647-661
- Persson, P. (1975). *Stormskador på skog : uppkomstbetingelser och inverkan av skogliga åtgärder*. Stockholm
- Pukkala, T., Laiho, O., & Lande, E. (2016). Continuous cover management reduces wind damage. *Forest Ecology and Management*, 372, 120-127
- Quine, C.P., & White, I.M.S. (1994). Using the Relationship between Rate of Tatter and Topographic Variables to Predict Site Windiness in Upland Britain. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 67, 245-256
- Somerville, A. (1980). WIND STABILITY - FOREST LAYOUT AND SILVICULTURE. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 10, 476-501
- Telewski, F.W. (1989). STRUCTURE AND FUNCTION OF FLEXURE WOOD IN ABIES-FRASERI. *Tree Physiology*, 5, 113-121
- Telewski, F.W., & Jaffe, M.J. (1986). THIGMOMORPHOGENESIS - THE ROLE OF ETHYLENE IN THE RESPONSE OF PINUS-TAEDA AND ABIES-FRASERI TO MECHANICAL PERTURBATION. *Physiologia Plantarum*, 66, 227-233
- Valinger, E., & Fridman, J. (2011). Factors affecting the probability of windthrow at stand level as a result of Gudrun winter storm in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 262, 398-403
- Valinger, E., Lundqvist, L., & Sundberg, B. (1995). MECHANICAL BENDING STRESS APPLIED DURING DORMANCY AND (OR) GROWTH STIMULATES STEM DIAMETER GROWTH OF SCOTS PINE-SEEDLINGS. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 25, 886-890
- Veiberg, V., & Solheim, H. (2000). *Råte etter hjortegneg på gran i Sunnfjord*. Norsk Institutt for Skogforskning
- Wonn, H.T., & O'Hara, K.L. (2001). Height:diameter ratios and stability relationships for four northern Rocky Mountain tree species. *Western Journal of Applied Forestry*, 16, 87-94

Etterord

Dette er en publikasjon fra prosjektet «Sterkere skog» finansiert av Forskningsrådet og fem nettselskap. Disse er Mørenett, Agder Energi Nett, Eidsiva Nett, Hafslund Nett, og Trønderenergi Nett, hvor førstnevnte er prosjektleder.

Nøkkelord:	Trefall, vind, snø, kraftgater
Key words:	Wind- and snow damage, powerlines
Andre aktuelle publikasjoner fra prosjekt:	

NOTATER

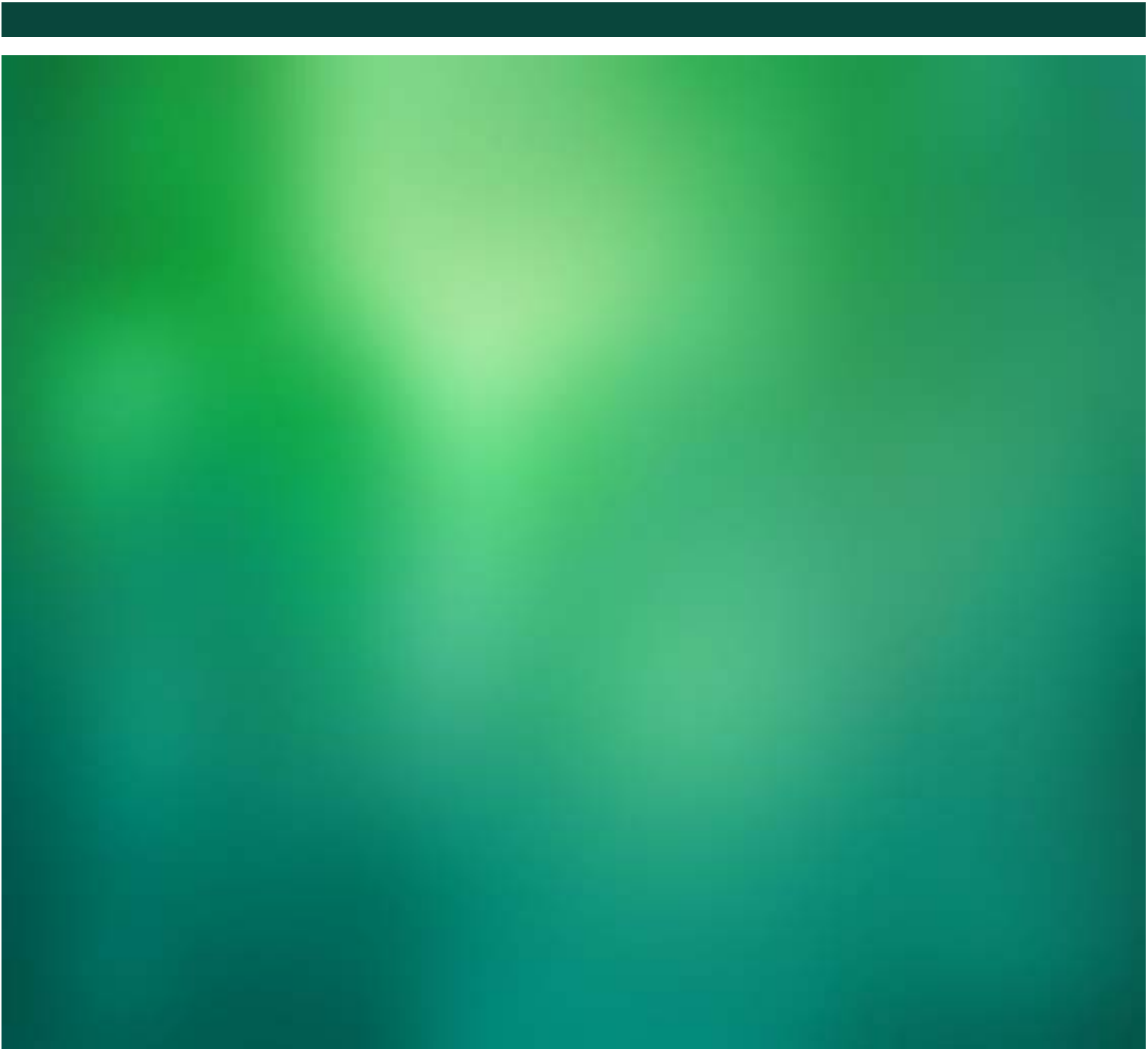
NOTATER

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.



Forsidefoto: Anders Martinsen. Store problemer med strømforsyningen etter hendelsen 'Nedsnødd' den 5.-6. november 2016 på Sørlandet.