



Ungskogfelt langs kraftlinje i Ørsta hvor man har gjennomført avstandsregulering for å få utviklet sterke trær for framtida.  
Foto: Hans Peter Eidseflot, MøreNett.

## Skjøtselsbelter i ungskog langs kraftlinjer

**Mange steder langs kraftlinjene står skogen i dag upleid og tett, og med liten styrke til å tåle vind og snø utgjør den en betydelig risiko for trefall på linjene. Ett av tiltakene for å redusere denne risikoen er å etablere skjøtselsbelter i ungsbogen.**

Skjøtselsbelter er et forebyggende, langsiktig tiltak. I et skjøtselbelte reduseres treantallet i ungskogfasen slik at trærne får god plass og dermed utvikler solide rotsystemer og god forankring i bakken, samt solide trestammer som tåler sterk vind og mye snø. Treantallet i et slikt belte skal være 80-100 trær per dekar, og trærne bør være jevnstore og jevnt fordelt over arealet. Vi skal her se nærmere på lønnsomheten for skjøtselsbelte som tiltak, og beregne optimal bredde av et slikt belte.

### NYTTE VED SKJØTSELBELTE

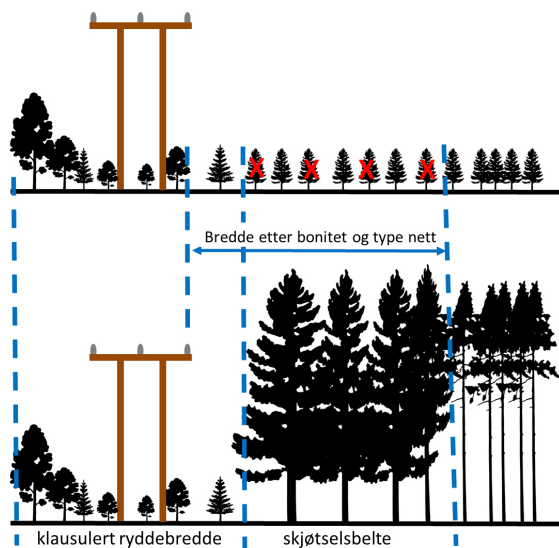
Nytten ved etablering av et skjøtselbelte er todelt. Det blir færre trær som potensielt kan falle på linjen og trærne som står igjen får mer plass til å utvikle større rotsystem og større diameter for samme høyde (Solberg *et al.* 2017). Trær med god plass utvikler også dypere og mer symmetriske kroner. Til sammen gjør dette at man kan forvente at trær som står spredt over tid utvikler større motstandsdyktighet mot vind enn trær som står tett. For å beregne om det er lønnsomt

### PROSJEKT STERKERE SKOG

med skjøtselbelter må vi estimere sannsynligheten for trefall på linjene og det avhenger av hvor sterk vind trærne tåler (kritisk vindstyrke) og frekvensfordelingen av ulike vindstyrker. Beregningene i denne rapporten gjelder bare for vindskader. Effekten av snø er holdt utenfor for å forenkle arbeidet.

### KRITISK VINDSTYRKE FOR TRÆR

Sannsynligheten for at et tre skal falle (rotvelt eller stammebrekk) avhenger først og fremst av treslag, trehøyde (se for eksempel Elie & Ruel 2005; Schmidt et al. 2010), og diameter i brysthøyde. Et mål på stabiliteten er kritisk vindstyrke, dvs hvor sterk vind



Skjøtselbeltets bredde bestemmes i hovedsak av bonitet og type ledningsnett. Anbefalt treantall etter regulering er 80-100 trær per dekar. Dette tilsvarer 3-3,5 meters gjennomsnittlig avstand mellom trærne. Figur: NIBIO.

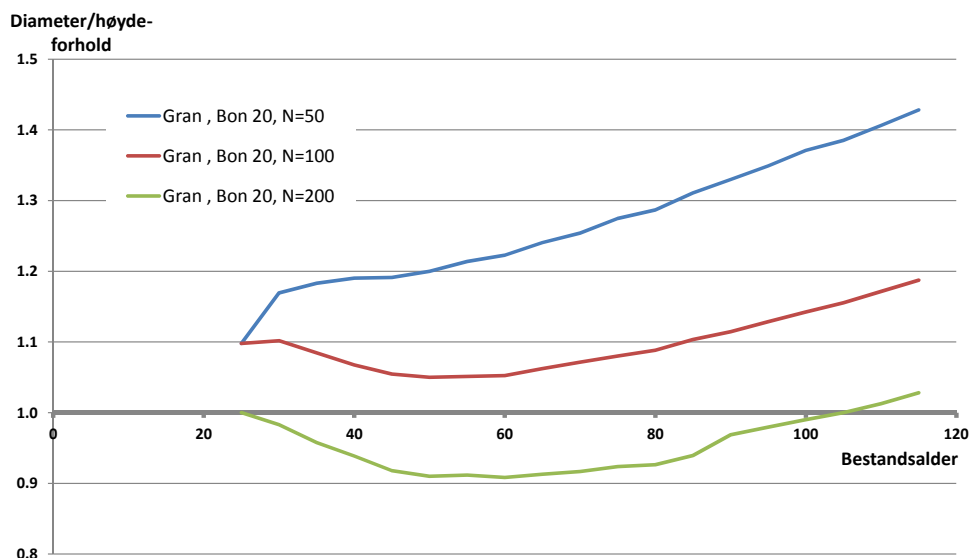
som skal til for å blåse et tre overende. Vi bruker her en beregningsmodell for kritisk vindstyrke av Peltola et al (1999), som undersøkte hvordan kraften som skal til for å velte et tre varierer med trærnes diameter og høyde, samt tetthet. Vi har benyttet dette til å beregne kritisk vindstyrke for en del ungskogfelter med alternative skogbehandlinger. I Peltola et al. (1999) er effekten av en liten åpning mot vindretningen omtrent like stor som effekten av å flytte seg fra skogkant og inn i skogen. Peltolas studie er imidlertid ikke beregnet på bruk langs kraftlinjer, hvor man fokuserer på vindfall og brekk fra kanten og ut i kraftgata. Det er derfor noe usikkerhet knyttet til dette, og nærmere studier av de spesielle forholdene langs kraftlinjer og særlig kritisk vindstyrke i ulike retninger ved en kant vil være nødvendig for å avklare dette nærmere.

### UTFORMING AV SKJØTSELBELTE

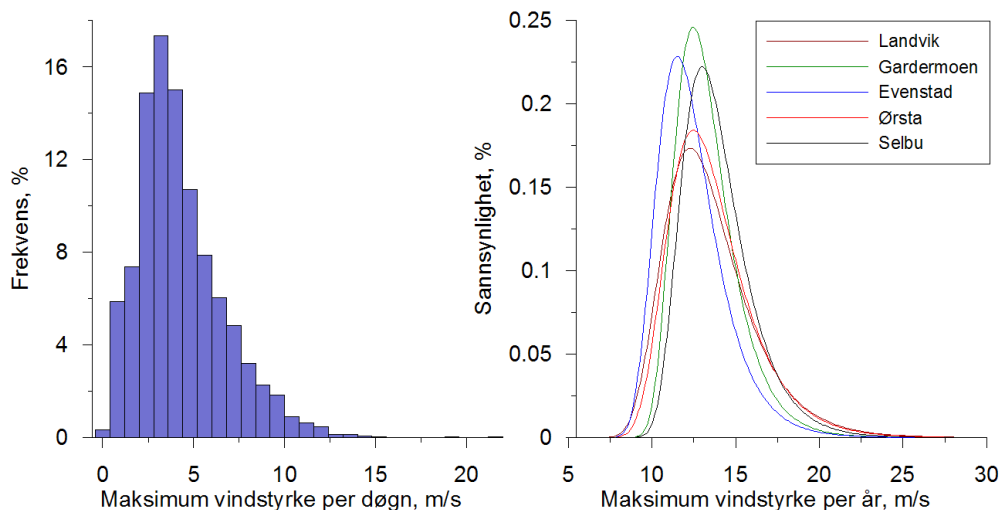
Skjøtselbelte utformes som beskrevet av Solberg et al. (2017). Teoretisk burde avstanden mellom trærne øke fra ny bestandskant mot kraftlinja slik at det er størst avstand mellom trærne som står nærmest linja. Dette er praktisk vanskelig, spesielt i bestand der trærne ikke er jevnt fordelt. Derfor er det naturlig å oppgi forventet treantall etter regulering og så er det opp til utførende å nå dette målet.

### SKOGENS UTVIKLING VED ULIK TETHET

Vi har brukt en modell for å framskrive skogens vekst og utvikling med ulik utgangstetthet i ungskogen.



Figuren viser simulert utvikling i diameter/høyde-forhold for forskjellige utgangstettheter der skogen får stå uten inngrep fram til den blir gammel. Skog med lav utgangstetthet, altså lavt treantall, utvikler høyere diameter/høyde-forhold og dermed mer stabile trær. Trærne får altså en høyere kritisk vindstyrke. Figur: NIBIO.



Frekvensfordeling (venstre) av døgnlig maksimum-vind for Ørsta 1. januar 2004 – 31. desember 2016 og (høyre) estimert maksimum vindstyrke per år for fem meteorologiske stasjoner, basert på Gumbelfordeling.

### SANNSYNLIGHET FOR EN GITT VINDSTYRKE

For å beregne sannsynligheten for å få trefall på et gitt sted, må vi kjenne trærnes kritiske vindstyrke og frekvensfordelingen for vindstyrke på stedet. Vi har estimert sannsynlighet for å overskride kritiske vindstyrker gjennom en femårsperiode for hvert nettselskap som deltar i prosjektet. Basert på data for døgnlig maksimum vindstyrke har vi tilpasset Gumbel frekvensfordelinger, som er særlig egnet for ekstrem-vind, for å beskrive sannsynligheten for forskjellige vindstyrker (Figur 3).

### ESTIMERING AV ANTALL TREFALL PÅ KRAFTLINJE

Ved hjelp av funksjoner for kritisk vindstyrke og frekvensfordeling av vindstyrker kan vi beregne forventet antall trefall gjennom en femårsperiode for et gitt område. Antall trefall kan så regnes om til forventet antall trær som faller på kraftlinja, og dermed antall utfall på nettet på grunn av trefall. For det første har vi justert for antall trær som faller i grupper heller enn

som enkelttrær ved å gange med en faktor på 0,3, dvs. at antall hendelser er snaut 1/3 av antall trær som felles av vind og faller mot linja fordi flere trær faller samtidig.

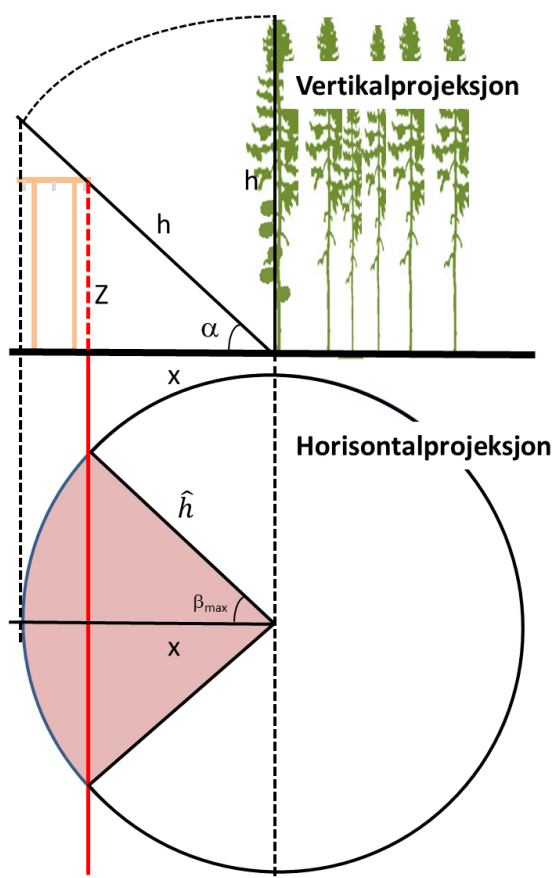
Videre har vi korrigert for treets retning og avstand fra linja, og lagt til grunn at et tre kan falle i ulike retninger, og at alle retninger har like stor sannsynlighet. Det betyr at det bare er en andel av fall-retningene som vil treffe linja, og denne andelen avtar med økende avstand mellom tre og linje. Situasjonen når et tre faller på skrå mot linja er vist i figuren på neste side. For alle mulige retninger av et trefall, så har vi grensetilfellet der et tre faller med en vinkel slik at toppen akkurat treffer ledningen. Vi får trefall på linja når treet faller innenfor det skraverte området i figuren og er tilstrekkelig høyt slik at horisontalprojeksjonen av det når det ligger på linja er større enn  $\hat{h}$ . Om trærne kan treffe linja når de faller bestemmes av ledningens høyde over bakken, avstand fra den ytterste ledningen (ytterfas) til treet og treets høyde.

Estimert sannsynlighet for vindstyrker over 15, 20 og 25 m/s for en femårsperiode. Til sammenlikning er tatt med femårs returvind for de aktuelle kommunene estimert ut fra Norsk Vindstandard (Standard Norge, 2009) for kategori 3 (skog, ruhetlengde  $z_0 = 0,3$ ) og kategori 4 (barskog, ruhetlengde 1,0). Femårs returvind er den vindstyrke som har 20 prosent sannsynlighet for å overskrides gjennom en femårsperiode.

Nettområde	Sannsynlighet for 5-års overskridelse av vindstyrke			5-års returvind			
	Stasjon	P>15 m/s	P>20 m/s	P>25 m/s	Kommune	Skog	Barskog
Agder	Landvik	0.751	0.123	0.0124	Grimstad	16.8	15.7
Hafslund	Gardermoen	0.600	0.032	0.0011	Ullensaker	14.2	13.3
Eidsiva	Evenstad	0.438	0.025	0.0012	Stor Elvdal	14.2	13.3
Møre	Ørsta	0.755	0.109	0.0094	Ørsta	18.1	16.9
Trøndelag	Selbu	0.776	0.070	0.0036	Selbu	16.1	15.1



Rent geometrisk vil ikke hellende terreng ha nevneverdig innflytelse på bredden av skjøtselbeltet. Hvis vi tenker oss en kraftledning som henger åtte meter over bakken og trær som er 20 meter høye, så vil i flatt terreng et tre som står 18,3 meter unna akkurat kunne falle med toppen på ledningen. Dersom terrenget heller med 21,8 grader så vil rota på treet akkurat være i høyde md ledningen, og treet kan da stå 20 meter unna. Når det blir brattere avtar denne maksimumsavstanden for mulig trefall på ledningen. Dersom det er dobbelt så bratt terreng (43,6 grader), blir avstanden den samme som ved flatt terreng, så treet må stå nærmere enn 18,3 meter (horisontalavstand).



Om et tre som rotvelter treffer kraftlinja eller ikke avhenger av avstanden fra linja og hvilken retning det faller i. Når avstanden fra linja øker blir det en stadig mindre andel av fallretningene som kan treffe linja. Figur NIBIO.

### HVOR LANGT UT FRA KRAFTGATA BØR SKJØTSELBELTET GÅ?

Riktig bredde på et skjøtselbeltet kan beregnes med kost/nytte, hvor kostnaden utgjøres av arbeidet og av verditapet ved å ha glissen skog, og nytten utgjøres av færre strømbrydd og dermed reduserte KILE-kostnader og reduserte oppryddingskostnader. Nyttien avtar gradvis med økende bredde, mens kostnaden er lik hele vegen. Nyttien kan beregnes ved å

kombinere kunnskapen om i) hvordan skogen vokser, ii) hvordan trær av forskjellige dimensjoner reagerer på forskjellige vindstyrker, iii) hvor ofte forskjellige vindstyrker forekommer og iv) sannsynligheten for at trær treffer kraftlinja fra forskjellige posisjoner. Bredden på skjøtselbeltet vil altså variere fra sted til sted, avhengig av en rekke faktorer. Figuren under viser kurver for distribusjons- (D) og Regional-nett (R) for tre forskjellige boniteter (gran på bonitet 11, 14 og 20). Vi har her gitt de to nett-typene forskjellig høyde på ledningen (D-nett 8 m og R-nett 14 m) og forskjellig bredde på klausulert ryddebelte angitt som avstand fra ytterste ledning (ytterfas) til kant (D-nett 5 m og R-nett 8 m). Boniteten representerer forskjellige potensiale med tanke på veksthastighet og potensiell trehøyde ( $G_{11}=23$ ,  $G_{14}=24$  og  $G_{20}=29$  m). Beregningene er basert på at utgangstettheten var 300 trær per daa, og et gjennomsnittlig vindregime basert på de fem meteorologiske målestasjonene nevnt over.

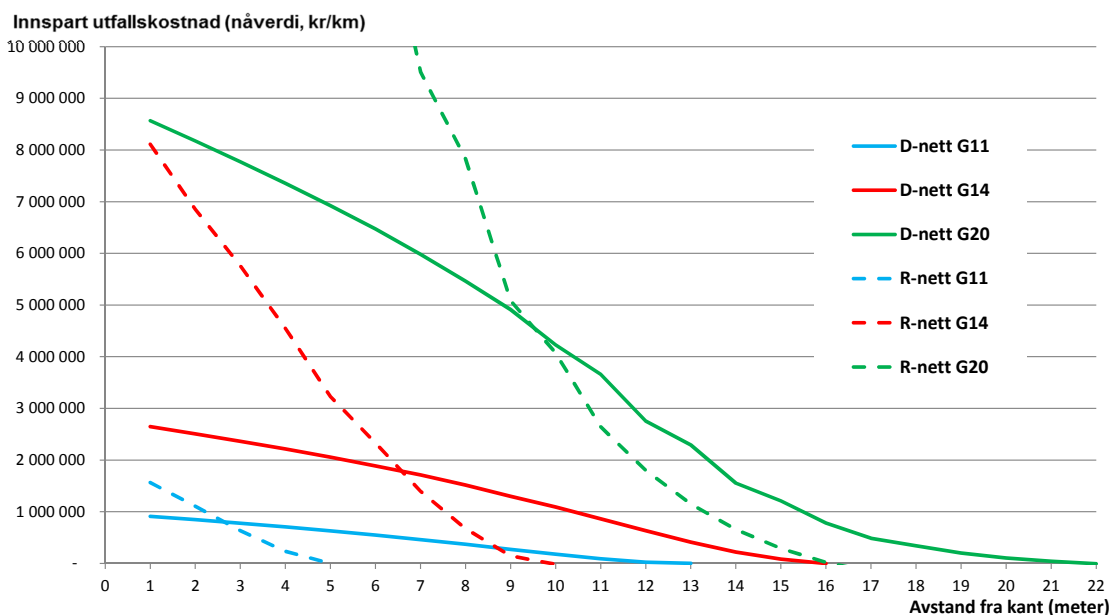
Kurvene angir innspart utfallskostnad (i kr/km linjelengde) ved å øke bredden på skjøtselbeltet med én meter. Forventet kostnad knyttet til et utfall er gjennomsnittlig KILE for et utfall i perioden fra 2009-2016 (NVE-tall). Dette er hhv. 53 078 kr for D-nett og 371 535 kr for R-nett. Så lenge kurvene er over null, er forventet antall utfall og dermed kostnader for kraftselskapene høyere for skog som er uregulert, og har høyt treantall, enn for skog som er regulert ned til 100 trær per dekar.

### ERFARINGER «ETABLERING AV SKJØTSELBELTE»

I regi av prosjekt «Sterkere skog» er det gjennomført forsøk med etablering av skjøtselbeltet i de fem nettselskaperens områder. Det var stor variasjon i feltenes treslag og treantall. De fleste feltene hadde et så høyt treantall at det ville gitt ustabile bestand på sikt uten tiltak.

Blant skogeierne var det delte oppfatninger om å etablere forsøksfelt, fra «svært positiv» til «veldig skeptisk». Selv om et stort flertall var positive og så tiltaket som en grei måte å få gjennomført ungskogpleie, så var det hos enkelte grunneiere ikke mulig å få tillatelse til verken å gjøre registreringer eller avstandsregulering, og noen krevde skriftlig bekreftelse på erstatning.

Kostnadene til skjøtselbeltet vil omfatte både direkte kostnader til rydding/regulering av treantall og erstatning til grunneiere, i tillegg til prosessuelle kostnader hos kraftselskapet eller i kontakten med grunneiere og andre aktører. Det var også svært stor



Bredden på skjøtselbeltet øker med økende bonitet og er større for D-nett enn for R-nett. Dette kommer av at skogen blir høyere og vokser raskere på gode boniteter og at ledningen henger lavere og nærmere skogkanten i distribusjonsnett enn i regionalnett. De angitte avstandene gjelder fra en skogkant som er 5 m fra ytterfas i D-nett og 8 m i R-nett. Hvis man ønsker å bruke figuren for å beregne avstand fra ytterfas må man altså legge til henholdsvis 5 og 8 meter. Figur NIBIO.

forskjell i skogsarbeid-kostnadene på de forskjellige forsøksflatene. Generelt lå disse kostnadene for etablering av skjøtselbelte (~740 kr/daa) et stykke over normale kostnader for ungskogpleie i skog (~400 kr/daa for hele Norge i 2016). Det er naturlig siden det ved kraftlinjer normalt må fjernes flere trær og det kreves grundigere vurdering for utvalg av trær til gjensetting. Kostnadene var også høyere enn det som vil være normalt når opplegg og praksis blir mer innarbeidet. Noen flater hadde svært høye kostnader, og dette skyldes trolig en kombinasjon av forholdene på flatene, med svært mange trær og helling, og mye informasjon og diskusjon med mannskap med liten erfaring med denne type arbeid.

### ERSTATNING VED SKJØTSELBELTE

Etablering av skjøtselbelte, med et lavere treantall enn normalt, gir skogeieren et tap i produksjon og dermed verdi. Erstatning for dette tapet kan beregnes som differansen mellom forventet verdi uten inngrep og verdi ved etablering av skjøtselbelte på det samme arealet. Svendsrud (2001, "Det Grønne Heftet") kan brukes til å beregne forventede verdier for skog i forskjellige situasjoner, basert på tetthet, alder, bonitet og avkastningskrav (rente). Sentralt i dette er å vurdere hvilket produksjonstap som oppstår ved treantall som avviker fra det optimale, dvs full tetthet eller

den tetthet som gir arealet størst verdi. Både Nersten et al. (1998) og Svendsrud (Svendsrud, 2001) antyder at korreksjonsfaktor for verdi eller produksjon for et treantall på 100 trær/dekar er i intervallet 0,7-0,8 avhengig av bonitet. Det må altså forventes å erstatte et verditap på 20-30 prosent i forhold til full verdi.

Tabellen under viser eksempel på forventet verditap i kroner per dekar for kombinasjoner av bonitet og treslag. Det er forutsatt 3 prosent avkastningskrav, rotnetto bartrær på 200 og lauv 100 kr/kbm, plante-kostnad 5kr/plante og 25 prosent verditap pga redusert treantall. Etablering av skjøtselbeltet skjer ved 20 års alder. For gode granboniteter (20-23) er verditapet i samme størrelsesorden som kostnaden knyttet til å etablere skjøtselbeltet på felt med relativt mange trær (600-900 kr/daa).

Verditap (kr/daa)			
Bon	B	F	G
8	21	31	73
11	69	91	116
14	94	208	260
17	118	376	431
20	207	571	639
23	323		921

Informasjon om forsøksfeltene (sted, bonitet, treantall og kostnad). For felt med lav bonitet og lav tetthet er det lite å hente på et bredt skjøtselbelte, mens i bestand på god bonitet med mange trær vil det være god effekt av et skjøtselbelte. Skjøtselbeltets bredde er her angitt i meter fra kant, dvs at bredde fra ytterfas blir fem meter større.

Felt	Kommune	Bonitet	Treantall/daa		Kostnad ungskog-pleie (kr/daa)	Antall utfall (nåverdi/daa)		Bredde skjøt-sels-belte	
			Uten tiltak	Med tiltak		Uten tiltak	Med tiltak		
Trønder-5	Malvik	G17	520	100	740	522	0	21	
Trønder-4	Melhus	G11	170	60	478	0	0	0	
Trønder-3	Melhus	G14	396	111	481	28	0	13	
Trønder-2	Skaun	G11	118	76	254	0		0	
Trønder-1	Melhus	G8	178	Ikke gjennomført rydding					
Eidsiva-1	Løten	F17	800	93	770	179	0	21	
Eidsiva-3	Gjøvik	G17	182	98	1 925	0	0	21	
Eidsiva-2	Gjøvik	G17	121	96	1 155	0	0	20	
Eidsiva-4	Gjøvik	B17	390	80	642	105	0	20	
Møre-1a	Volda	F17/G20	1250	100	7 219	0	0	19	
Møre-1b	Volda	F17/G20	1600	80	5 133	0	0	17	
Møre-2	Volda	B17	510	100	2 450	223	0	20	
Møre-3	Volda	G17	320	117	6 844	6	0	21	
Møre-4	Volda	G17	310	100	9 625	1	0	20	
Møre-5	Vanylven	G20/B17	400	100	6 814	4	1	20	
Møre-6	Vanylven	G20	700	85	5 183	558	0	26	
Hafslund-1	Ullensaker	G17	3203	1103	585	647	438	11	
Hafslund-2	Ullensaker	G17	5262	128	740	472	0	21	
Hafslund-3	Ullensaker	B17	320	98	231	406	0	20	
Agder-1	Lillesand	F14	617	105	955	5	0	15	
Agder-2	Grimstad	G17	146	88	*	0	0	20	
Agder-3	Grimstad	G17	188	88	1 364	0	0	21	

\* Ikke registrert. Benyttet standardtall i beregningen.

## ANBEFALING I FORSØKSFELTENE

Det er stor forskjell på skogbildet i forsøksfeltene (se tabell over). I noen av feltene ble det ryddet vekk svært mange trær, mens i andre felter var det en moderat justering av treantallet. Kostnadene varierer derfor også veldig mye mellom feltene. Basert på metodikken skissert over har vi beregnet forventet antall utfall for de neste 30 årene for alle feltene både med og uten regulering av treantall. Anbefalt bredde for skjøtselbeltet er så basert på differansen i forventet antall utfall mellom felt med og uten regulering. I to tilfeller er det ikke tilstrekkelig forskjell mellom forsøksfeltet med og uten rydding til å forsvare etablering av skjøtselbeltet. I noen tilfeller er det høye kostnader for etablering som gjør at beltet ikke anbefales å være bredere, men det er bare snakk om en meters forskjell.

## LITTERATUR

- Elie, J-G & Ruel, J. C. 2005. Windthrow hazard modelling in boreal forests of black spruce and jack pine. *Canadian Journal of Forest Research* 35(11): 2655-2663. doi:10.1139/x05-189
- Nersten, S., Eide, B. & Veidahl, A. 1998. Beregning av korreksjonsfaktorer for inoptimalt treantall, samt optimalt treantall ved planting og regulering. *Rapport fra skogforskningen, Supplement 5*: 74.
- Peltola, H. et al. 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(6): 647-661. doi:10.1139/cjfr-29-6-647
- Schmidt, M. et al. 2010. An inventory-based approach for modeling single-tree storm damage - experiences with the winter storm of 1999 in southwestern Germany. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* 40(8): 1636-1652. doi:10.1139/x10-099
- Solberg, S., Heggem, E. S. F., Søvde, N. E. & McInnes, H. 2017. Skogbehandling langs kraftlinjer. Teorigrunnlag. NIBIO Rapport 3(65).
- Standard Norge 2009. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-4: Allmenne laster Vindlaster NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009
- Svendsrud, A. 2001. Tabeller for beregning av verdien av skogbestand [Tables for valuation of forest stands]. *Rapport fra skogforskningen, Supplement 17*: 16 [30].

## FORFATTERE:

Avdelingsleder Even Bergsens (even.bergseng@nibio.no), seniorforsker Svein Solberg (svein.solberg@nibio.no) og forsker Harold Mc Innes, Meteorologisk Institutt (harold.mcinnnes@met.no).