

VINDSTABILITET I SKJERMSTILLINGER AV GRAN.

WIND STABILITY IN UNIFORM SHELTERWOOD SYSTEMS OF NORWAY SPRUCE
(PICEA ABIES).

ØIVIND NORMAN BERNTSEN

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2008



Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på 5 års studier i skogfag ved Universitetet for miljø og biovitenskap. Jeg fikk tips om vindstabilitetsprosjektet til NORSKOG, gjennom Oslo kommune, Friluftsetaten. Siden jeg har vært på utallige turer i Oslomarka i oppveksten, var valget enkelt da jeg fikk muligheten til å utføre feltarbeidet i dette området. Feltarbeidet ble utført i Nordmarka over en periode på 3,5 uker i juli 2007.

Jeg ønsker først og fremst å rette en stor takk til førsteamanuensis og hovedveileder Lars Helge Frivold ved Institutt for Naturforvaltning (INA), for meget grundig, seriøs og konstruktiv veiledning under hele prosessen. Uten veiledning fra Lars Helge, ville denne oppgaven vært betraktelig vanskeligere å gjennomføre og jeg er veldig takknemmelig for jobben han har gjort og den åpne tonen vi hadde under veiledningen.

Seniorforsker og biveileder Svein Solberg ved Norsk institutt for skog og landskap har også bidratt med god veiledning til databehandling og statistiske tester, og fortjener en stor takk.

Jeg ønsker å rette en takk til Oslo kommune, Friluftsetaten v/Helge Haakenstad for tips til oppgavetema og om vindstabilitetsprosjektet. En takk til Arne Sandnes og NORSKOG for hjelp med utformingen og tilrettelegging av oppgaven. NORSKOG har bidratt med kjøregodtgjørelse til feltarbeidet, dekket utlån av PDA/Gps og svart på spørsmål ved behov. FORAN Norge A/S har lånt ut PDA/GPS systemet og Thomas Børke var hjelpsom med support og tilrettelegging av dette utstyret. Øyvind Foss, Løvenskiold- Vækerø har vært behjelpelig på spørsmål, utlån av bomnøkkel og skogbruksplan. Vegard Lien, vit.ass. INA har vært til stor hjelp med ESRI ArcGIS og gitt nyttige råd underveis i oppgaveskrivingen. En takk må også gis til tidligere norsklærer på Bjerke Vgs. Fred Burum for gjennomlesning av oppgaven.

Ellers ønsker jeg å takke medstudenter på lesesalen for mange gode råd og et godt sosialt miljø rundt hele skriveprosessen.

Ås 13. mai 2008

Øivind Norman Berntsen

Sammendrag

Berntsen, Ø. N. 2008. Vindstabilitet i skjermstillinger av gran. Masteroppgave ved Institutt for naturforvaltning, Universitetet for miljø- og biovitenskap. 69 sider.

Denne oppgaven er en del av NRF-prosjektet ”Vindfellingsfrekvens og trestabilitet ved lukkede hogster” som utføres av NORSKOG i samarbeid med Norsk institutt for skog og landskap. Hovedmålet med denne oppgaven var å kartlegge fordelingen av vindskader i skjermstilte bestand av gran og å se på utslagsgivende variabler for trestabilitet.

Feltarbeidet ble utført i skogområdet Nordmarka, nord for Oslo. I alt ble 16 bestand totalregistrert for vindskader, ved å gå systematisk igjennom bestandene med et PDA/GPS system. En rekke sentrale variabler i tilknytning til vindskadene ble registrert på både enkelttre og bestandsnivå.

Det var ingen storskala vindskader i feltene i denne perioden, men alle bestand hadde småskala vindskader som rotvelt og stammebrekk. Vindskadefordelingen innad og mellom de ulike bestandene viste stor variasjon, også i bestand i nær tilknytning til hverandre. Hovedtyngden av vindskadene lå inne i bestandet og ikke i så stor tilknytning til bestandskant. Vindskadene hadde en tendens for å fordele seg tettere oppe i lisiden enn nede ved libunn eller vannkant.

I gjennomsnitt var det 0,66 vindskader per daa, og gjennomsnittlig grunnflatesum på gjenstående skjermtrær var 22 m² per hektar. Avgjørende utslagsgivende variabler for vindskader var et høyt høyde- diameterforhold, en høy bestandsalder og lav kroneprosent. Bestand med råtefare og trær med råte er sannsynlig også mer utsatt for vindskader, uten at dette er testet i oppgaven.

Omkringliggende bestand og terrengutforming er viktige variabler ved vurdering av skjermstillingsbestand, og vindskadeandelen kan være betydelig også de første årene etter hogst, noe som ikke bør undervurderes ved vurderingen av ulike skjermstillingsbestand.

Summary

Berntsen, Ø.N. 2008. Wind stability in uniform shelterwood systems of Norway spruce (*Picea abies*). Master thesis, Department of Ecology and Natural Resource Management, Norwegian University of Life Sciences. 69 pages.

This master thesis is a part of the NRF-project entitled "Vindfellingsfrekvens og trestabilitet ved lukkede hogster [Wind and single tree stability in continuous cover forestry]", and it is managed by NORSKOG and The Norwegian Forest and Landscape Institute. The aim of this dissertation is to identify the distribution of wind damage, and to look at determining variables to tree stability of Norway spruce shelter trees.

The fieldwork was conducted in the forest area Nordmarka, north of Oslo. A total number of 16 stands were assessed for wind damage, and several important variables were recorded on the wind damaged trees.

There were no big scale wind damages in any stands during the time period, but all stands had small scale damages like uprooted trees and stem breakage. The distribution of wind damage varied greatly between and within in the stands, also for stands in near connection to each other. Emphasis of wind damage occurred mostly within the stand, and not in that amount against stand edge. Wind damage had also a greater distribution situated higher in the hillside, rather than lower altitudes or the water edge.

In average there was 6.6 cases of wind damage per hectare and the average basal area on remaining shelter trees was 22 m² per hectare. Determining variables for wind damage were a high height- diameter ratio, a high stand age, and low crown cover percent. Stands and trees with fungal decay are probably more exposed to wind damage, though this variable was not recorded in this work.

Surrounding stands and terrain shape are important variables when evaluating possible shelterwoods stand. The portions of wind damage in these stands are considerable, also the first years after establishment of the shelterwood. These variables should not be underestimated when selecting different shelterwoodstands.

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn for studien	1
1.2	Skjermstillinger av gran og vindstabilitet.....	1
1.3	Problemstilling.....	2
2	Teori.....	3
2.1	Definisjoner – avgrensning av oppgaven	3
2.2	Historisk utvikling av lukkede hogster	3
2.3	Lukkede hogster	3
2.4	Skjermstillingshogst generelt	4
2.5	Treslag og rotsystem – vindfasthet.....	4
2.6	Grunnforhold og stabilitet	7
2.7	Gran som skyggetålende treslag	8
2.8	Skjermstillingshogst av gran - ulike biotiske/biologiske aspekter	9
2.9	Abiotiske faktorer - Hvordan skogen påvirkes av vind.....	11
2.10	Vindretning generelt på Østlandet.....	11
2.11	Vindforhold og tilpassing hos gran	13
2.12	Bestand og enkelttre stabilitet.....	16
2.13	Bestandet og behandling.....	17
2.14	Vindstabilitet i skjermstillingshogster av gran	18
3	Materiale og metoder	21
3.1	Valg av forsøksfelt.....	21
3.2	Vindfallregistreringer, enkelttreskjema	26
3.3	Vindfallregistreringer – bestandsskjema	28
3.4	Databehandling.....	32
4	Resultater	35

4.1	Vindskadefordeling i bestandene.....	35
4.1.1	Forklaring til kart	35
4.2	Vindskadefordeling generelt.....	46
4.3	Bestandsvariabler.....	46
4.4	Vindretning.....	53
4.5	Enkeltreresultater.....	55
5	Diskusjon	58
6	Konklusjon.....	66
7	Litteratur	67

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for studien

Skjerpede miljøkrav og sertifiseringsordninger i skogbruket har ført til at lukkede hogster nå skal vurderes før avvirkning. I Levende Skog standarden står det blant annet i kravpunkt 11- hogstformer: ”Der forholdene økonomisk og biologisk ligger til rette for det, skal det brukes lukkede hogster ved foryngelse av gran [*Picea abies*]. Forutsetningen for bruk av lukkede hogstformer i grandominert skog er at en kan oppnå god stabilitet hos gjenstående trær, og at hogstformen gir grunnlag for en tilfredsstillende foryngelse slik forholdene er på voksestedet”(Levende Skog u.å.:24). I tillegg understøttes overnevnte forhold i § 5, 5 ledd i *Forskrift om berekraftig skogbruk* nr. 593 av 7. juni 2006. Negative effekter ved bruk av snaufletehogst som stigende grunnvannstand, frostskaider, raskvoksende vegetasjon og mulige negative konsekvenser for viltet er også forhold en må ta i betraktning. Av ovennevnte grunner er en lukket hogstform som skjermstillingshogst, igjen blitt aktuell i dagens skogskjøtsel. Hvilke muligheter og begrensninger vi har med lukkede hogstformer er derfor et dagsaktuelt tema.

1.2 Skjermstillinger av gran og vindstabilitet

Et av de større problemene med denne hogstformen er at gran som treslag er ansett som lite vindstabil. Derfor har lukkede hogster av gran de siste 50- 60 årene vært lite utbredt i Norge, grunnet mangel på kunnskap og erfaring. ”Sviktende trestabilitet og vindfelling er et reelt problem ved slike hogster. Kunnskapen om det faktiske omfanget av vindfelling og tiltak for å redusere vindfellingsrisikoen er mangelfull. Denne usikkerheten er en direkte årsak til at mange skogeiere og– forvaltere avstår fra å bruke lukkede hogstformer” (NORSKOG u.å.).

Hovedårsaken til dårlig vindstabilitet relateres ofte til rotsystemet og ved fristilling av enkelttrær.

Skjermstillingshogster er avhengig av at vegetasjonstypen tillater naturlig foryngelse og dermed passer hogstformen best på de rikere vegetasjonstypene, der det er enklere foryngelsesforhold og tynnere humusdekke. Solbraa (2001) skriver at et humuslag på mer enn 3-4 cm kan føre til vanskelige foryngelsesforhold og markberedning bør vurderes. Et problem med slike vegetasjonstyper (i alle fall på storbregne) er at det til tider kan være høy grunnvannstand og skjermtrærne får dermed et høyere rotfeste enn normalt. I slike tilfeller kan skjermen blåse ned

før den har sikret tilstrekkelig med foryngelse. Vindfall i skjermstillingsbestandet er et komplekst tema og selv på steder med gode grunnforhold kan vindfall utgjøre et stort problem.

Vindproblematikk er som nevnt en av de viktigste årsakene til at skogeiere og forvaltere er skeptiske til å bruke skjermstillingshogst, og det er derfor meget interessant å kartlegge faktorer av betydning for vindproblematikken. I tillegg konkluderer de fleste klimarapporter med at klimaet skal bli varmere, villere og våtere (IPCC 2007), noe som gir skogbruket økte utfordringer i fremtiden. Et våtere klima i fremtiden kan også føre til å senke kohesjonsevnen i marka, slik at man får en større andel vindfall. Hvis antagelsen om et villere klima slår til, betyr dette at man vil få økt frekvens av sterke vinder. Dette fenomenet kan by på store problemer i de hogstformene der man setter igjen foryngelsestrær. Økland *et al.* (2007) skriver at et varmere klima kan også føre til endret bestandssyklus hos en rekke arter, noe som kan føre til at skadegjørende insekter utvikler to generasjoner pr år i Norge.

Det er en rekke andre faktorer av betydning ved vurdering av en skjermstillingshogst, for eksempel kan plantekostnader og proveniensstilknytting spille en større rolle i fremtiden. Rekreasjonsmessige aspekter som både har innvirkning nært ved skogkant, og på skogen i landskapet, kan ha en merkbar større betydning for skogskjøtselen i fremtiden. Dette gjelder spesielt på steder med stor pågang av turgåere etc. som kanskje ønsker et mer helhetlig skogbilde med varierte hogstformer.

1.3 Problemstilling

Fordelingen og frekvensen av vindskader i skjermstilte bestand, er til nå lite undersøkt i Norge. Det er derfor interessant å se om en kan finne enkelte avgjørende faktorer for vindskader, mellom og innen bestand. Resultatene fra denne oppgaven kan være til hjelp ved vurdering av skjermstillingshogst slik at man kan unngå å sette skjermen på spesielt utsatte steder. Denne oppgaven har to hovedproblemstillinger som er relevante i forhold til temaet.

1. Hvordan fordeler vindskader seg i et skjermstilt bestand? Er vindskadene hovedsakelig i kanten av bestandet, eller fordeler de seg mer tilfeldig rundt i bestandet?
2. Er det mulig å finne enkelte variabler som er avgjørende for vindskadefrekvensen i skjermstillinger og som samtidig er enkle og effektive å måle i felt?

2 Teori

2.1 Definisjoner – avgrensning av oppgaven

Denne oppgaven har skjermstillinger av gran som hovedtema og av den grunn vil teorien hovedsakelig omhandle dette temaet. For å sette temaet i perspektiv er det naturlig å starte med en generell gjennomgang av eksisterende teori, før oppgaven vender mer spesifikt over på vindproblematikk og tilslutt vindproblematikk i skjermstillingshogster.

2.2 Historisk utvikling av lukkede hogster

Skogbruket i Norge er i stadig utvikling og siden starten på forrige århundre har det skjedd store endringer i skogbehandlingen. Rundt 1920 var skogbildet i Norge ganske annerledes fra det man ser i dag, og skogen var preget av mange år med intensive dimensjonshogster, plukkhogster og bledningshogster. Dette ble bemerket av blant annet Agnar Barth som i 1916 skrev sin berømte artikkel ”Norges skoger med stormskridt mot undergangen”, og diskusjonen om fremtidig forvaltning av skogresurssene i Norge var i gang. Kjente uttrykk som ”den grønne løgn”¹ fikk folk til å våkne og en ny skoglov trådte i kraft i 1932 der grunneier blant annet var forpliktet til å sørge for gjenvekst etter hogst. Det var nå enighet om at noe måtte gjøres, og diskusjonen dreide seg nå om hvordan man skulle gjenreise skogene. Tilhengere av lukkede hogster, som bledning og gruppehogster, hadde få forskningsresultater fra Norge å vise til. Dette var avgjørende for at bestandsskogbrukets tilhengere, med gode produksjonsresultater å vise til, vant frem. Denne nye forvaltningsmodellen med åpne hogster var enerådende frem til rundt 1990 da blant annet rekreasjonsmessige aspekter, miljøhensyn (levende skog), skoglov og skog/markaforskrifter, samt økte skogkulturkostnader for alvor medførte at lukkede hogster igjen ble aktuelle i moderne skogskjøtsel (Frivold 2006).

2.3 Lukkede hogster

Lukkede hogster skiller seg fra åpne hogster ved at det settes igjen et større antall trær i ulike tettheter og dimensjoner ved avvirkning, i den hensikt at gjenstående trær skal sørge for frø til naturlig foryngelse og ha en skjermende effekt mot ytre påvirkninger. Til sammenlikning med

¹ Den grønne løgn: skogen så flott ut på avstand, men på nært hold var skogen glissen, pistrete og hadde generelt lite kubikk.

åpne hogster bevarer lukkede hogster skogmiljøet i en større grad, og hogstformen kan være hensiktsmessig på steder med stor fare for ytre påvirkninger som erosjon, tørke, frost etc. I Norge omhandler begrepet lukkede hogster som regel bledningshogst, gruppehogst, småflatehogst, kanthogst, skjermstillingshogst og blandingsvarianter av disse hogstformene, som for eksempel fjellskoghogst.

Skjermstillingshogster er en hogstform som igjen har sett dagens lys etter mange tiår med flatehogst og planting i det norske skogbruket. Det er flere aspekter som igjen har ført til at lukkede hogster nå skal vurderes før avvirkning, blant annet Levende Skog standard.

Skjermstillingshogst er en aktuell hogstform som oppfyller flere hensyn og krav, samtidig som hogsten kan utføres over et større areal eks. på bestandsnivå. Småflatehogst og gruppehogster som navnene tilsier, er ikke gjennomførbare over større arealer samtidig. Hogstformen ”bledning” krever hyppig avvirkning, med en bledningstid ofte mellom 5-20 år (Andreassen 1994) og skogstrukturen tar det ofte opp mot 100 år å få gjennomført, alt etter utgangspunktet. Samtidig kan en storm ødelegge hele skogstrukturen på en dag. Av ovennevnte grunner er skjermstillingshogst en enklere hogstform å administrere og utføre, samtidig som den kan utføres over et større areal med ett inngrep, noe som er å etterstrebe i dagens skogbruk.

2.4 Skjermstillingshogst generelt

Hogstformen defineres i lærebøkene som en hogstform der man setter igjen 16-40 trær/daa (Solbraa 2001). Hovedhensikten er å få frem naturlig foryngelse og gi en positiv verditilvekst på skjermtrærne. Generelt kan man si at hogstformen passer best for gran og furu (*Pinus sylvestris*), og fungerer godt i blåbærskog (*Vaccinium myrtillus*) eller rikere vegetasjonstyper for gran, men bør også vurderes på tresalg med tunge frø som eik (*Quercus spp.*) og bøk (*Fagus silvatica*) (Solbraa 2001). Skjermstillinger er et bredt tema hvor flere aspekter kan analyseres, som treslagsvalg, ulike tettheter, foryngelsesmuligheter, abiotiske og biotiske faktorer, lokaltopografi, med flere.

2.5 Treslag og rotsystem – vindfasthet

I Norge skilles det mellom tre typer røtter blant de norske treslagene. En type rot er pælerot med en enkelt tykk rot som går rett ned i jorda og tynnere røtter ut til sidene. Typiske treslag i denne kategorien er furu, eik og alm (*Ulmus glabra*). En annen rottype er fastrot (hjerterot) deler seg

opp i jorda som en bunt med omtrent like store rotgreiner som går på skrå ned i jorda.

Rotsystemet finner vi hos lerk (*Larix spp*) og de fleste lauvtrær. Den siste kategorien er flatrot (horisontal rot) der rota deler seg opp i flere like store siderøtter, som breer seg utover i jordoverflaten. Gran og osp (*Populus tremula*) er typiske treslag i denne kategorien (Børset 1985).

Helles (1983) referer til flere arbeider som konkluderer med at enkelte treslag har rykte på seg for enten å være stormsvakt eller stormstabil, noe som ikke alltid stemmer med virkeligheten. Han skriver videre at det stort sett er jordbunnens karakteristika som er avgjørende for om treet står godt rustet mot vind. Han referer at gran står like godt som bøk under optimale forhold, mens på dyp morene- og sandjord er gran og sitkagran mer ustabile. Han skriver også at på vassjuk mark er det mindre forskjeller mellom artene når det gjelder stormfasthet. En skal være forsiktig med å generalisere treslag og voksested i forhold til vindstabilitet da dette er et komplekst tema med flere utslagsgivende variabler.

I tette bestand vil trærne gjerne ha et høyere tyngdepunkt enn frittstående trær pga. konkurranse om lys og dermed ha kortere kroner, noe som kan øke andelen vindfall. Av den grunn er det ugunstig å sette tette utynnede bestand i skjerm. Røttene slutter også relativt tidlig å utvikle seg i dybden, mens høydetilveksten ikke avtar, dette gjør at jo eldre (høyere) trærne blir, jo større sjanse har de for å blåse ned.

En annen undersøkelse Drouineau (2000) skriver at en må være ekstremt forsiktig med å analysere ulike treslags sårbarhet ovenfor vindproblematikken, men det kan trekkes noen generelle konklusjoner.

- Under forhold der rotsystemet kan utvikle seg fritt, ser det ut til at trær med mulighet for det, lager hjerterot med bedre feste i jordbunnen og er dermed bedre rustet mot rotvelt. På våtere jordsmonn har arter med flatrot en større fare for rotvelt, som for eksempel gran.
- Siden løvtrær mister løvet om høsten er de mindre utsatt enn bartrær (ikke lerk) på senhøsten og om vinteren når man som regel får de sterkeste stormene.

- På dypt jordsmonn med godt utviklet rotsystem har trær med samme høyde blitt testet med trekkprøver. Resultatet viser at bøk er meget resistent, deretter eik. Douglasgran (*Pseudotsuga menziesii*) er middels resistent, mens gran har lav resistens mot trekkprøvene. Bøk og eik knakk i stammen, douglasgran ved roten, mens gran ble revet opp med rot.

Helles (1983) skriver at uregelmessigheter i kronetaket er uheldig fordi det her kan skapes turbulens der vinden får høyere hastighet enn ved lukket jevn struktur. Andre mener at dette fenomenet er hensiktsmessig siden trærne da tilvender seg vind på en helt annen måte og slik sett er mer tilpasset sterke vinder. Det er viktig å passe på at dette skjer før trærne når en kritisk høyde, altså at man legger opp til uregelmessigheter i kronetaket før bestandet når 12- 15 meter. Helles (1983) referer Møller (1965) og skriver at lauvtrær har naturlig nok størst fare for vindfall mens bladverket sitter på trærne. Generelt er grunnlendte jordsmonn og steder med sterk jordoppbløtning fra nedbør potensielle steder med mye vindfall.

Helles (1983) referer ulike arbeider der innblanding av andre treslag av stabilitetsårsaker er diskutert. Han konkluderer med at blandingsskog bør defineres nærmere, men at et ujevn kronetak taler imot barblanding, men sunnhetstilstand kan tale for dette. Han vil likevel ikke generalisere dette punktet. Det er også viktig å merke seg at lauvtrærne har liten eller ingen effekt som vindskjerm om vinteren da man ofte har de sterkeste stormene. En vindtunellundersøkelse av Gardiner *et al.* (2005) har vist at det var liten forskjell mellom ulike tettheter (hogstformer) i forbindelse med stabilitet, bortsett fra i skjermstillings/gruppehogst ”etterlikningen”. I denne hogstformen tror de at forekomsten av mindre trær under kronetaket, ser ut til å dempe belastningen på de største trærne, enten ved å fungere som støtte og øke dempingen av vinden eller ved å absorbere energien fra kronegjennomtrengende vinder. Det er meget viktig å merke seg at dette er resultat fra vindtunell og kan dermed ikke direkte overføres til reell skog, men det kan støtte oppunder utsagnet om at ujevn sjiktning kan føre til mindre vindfall.

Helles (1983) skriver at tynninger øker faren for vindfall og at sterke, sene tynninger er mer risikabelt enn svake, tidlige tynninger. Det er selvfølgelig at skjermstilte bestand bør behandles på et tidspunkt før skjermen settes, slik at skjermtrærne har mulighet for å tilpasse seg ny skogstruktur før trærne når kritisk høyde.

2.6 Grunnforhold og stabilitet

Grunnforhold og treslag har mye å si for stabiliteten. En undersøkelse fra England har sett på forskjeller mellom bartrær på ulike jordsmonn og kommet frem til at det er store forskjeller avhengig av jordsmonn og dybden på jordsmonnet. For eksempel var sitkagran bedre forankret på dyp torvmark (*Sphagnum spp.*) enn contortafuru (*Pinus contorta*), og på grunnere jordsmonn av mineraljord hadde sitkagran (*Picea sitchensis*) dårligere forankring enn på torvmark. Dette viste seg å være tendensen også for andre treslag, men gran viste seg å være signifikant dårligere forankret i jorden. Stammemassen var den faktoren som alene var viktigst for å bestemme det kritiske momentet for å rive ned et tre (Nicoll *et al.* 2006).

Det er viktig å merke seg at man ikke kan sammenlikne treslag og stabilitet uten videre. Nicoll *et al.* (2006) har funnet sprikende resultater om treslag og jordbunnsforhold fra sine resultater sammenliknet med andres. Enkelte steder kan for eksempel furu være mer vindstabil enn gran, mens på andre voksesteder finner man ikke denne forskjellen. Det er nesten umulig å finne to like trær på samme voksested i geografisk/topografisk like områder, og dermed er det vanskelig å gi generelle råd på en større skala uten å trekke inn hvilket jordsmonn det snakkes om.

Helles (1983) skriver at jordbunnens innflytelse på trærnes vindstabilitet kan deles inn i to aspekter, jordbunnen som forankringsmedium og jordbunnens påvirkning av rotutviklingen. ”De viktigste fysiske faktorer, som bestemmer jordens styrke som forankringsmedium for røttene er, kohesjon [bindekraften], adhesjon [vedhenging] og friksjonsvinkelen. Tørr sand har ingen kohesjon og fester røttene ved adhesjon alene, derfor må rotutviklingen være kraftig.” ”På alle jordtyper også sand er forankringsstyrken som helhet omvendt proporsjonalt med vanninnholdet.”

Når treet på vannmettet jord blir utsatt for sterke svingninger, løsnes først de vertikale røttene, som på vindsiden fester de horisontale røttene til mineraljorden. Hvis røttene på lesiden er svake, faller treet så snart de vertikale røttene på vindsiden er løsnet. Er de horisontale røttene på lesiden derimot sterke, velter ikke treet selv om de vertikale røttene løsner eller rives over. I så fall overføres treet svingninger til rotkaken. Videre omtaler Helles (1983) en pumpeprosess ved sterke vinder som fører til slike svingninger i rotkaken, der rotkaken stadig løftes opp. Vann kan

da sige inn under rotkaken og videre vaske bort finjorden under rotkaken, noe som tilslutt fører til vindfallet.

På ikke vannmettet jord beveger rotkaken seg kun ved sterke vinder. Horisontalrøttene brytes på lesiden nær stammen (0,2-0,7 m fra stammesentrum). Dermed er dette årsaken til at røttene brytes av og treet faller, mens det på vannmettet jord er selve fallet som bryter av horisontalrøttene. På ikke vannmettet jord er det utover rotkakens vekt, horisontalrøttenes bruddstyrke som er avgjørende for om treet faller.

Ved frost er røttene godt forankret og det er stammebruddstyrken som er avgjørende for om treet overlever stormen. Tørkeperioder nedsetter også faren for vindfall, mens det er motsatt ved snøsmelting og andre nedbørsrike perioder.

2.7 Gran som skyggetålende treslag

Skyggetålende arter er som regel sett på som mer vindsterke fordi de takler en balansegang mellom vekst og mekanisk styrke bedre enn lyselskende arter. Lyselskende arter bruker mer ressurser på å vokse, spesielt i høyden istedenfor å vektlegge stabilitetsegenskaper i like stor grad som skyggetolerante arter. Dermed blir lyselskende arter ofte ansett som mindre vindstabile (Rich et al. 2007).

En undersøkelse fra USA Rich *et al.*(2007) inkluderte flere treslag, deriblant svartgran (*P. mariana*) viste at et modent bestand (90 år) ser ut til å være mer utsatt for vindfall enn et eldre (126-137 år) og et gammelt (184-195 år) bestand, noe de antar kommer av at eldre bestand har gått over i en mer flersjiktet struktur og er dermed bedre rustet mot sterke vinder. De mener dette kan forklares ved at det er en sterkere sammenheng mellom frekvens av fatale stormskader på trær i øvre bestandssjikt og utviklingsstadiet til bestandet, enn mellom frekvens av fatale stormskader på trær i øvre bestandssjikt og bestandets alder. Den samme studien konkluderer også med at individuell tredødelighet forårsaket av vind, er en funksjon av treslag, diameter, bestandsalder og at størrelsesforskjellen mellom artene også er påvirket av vindintensiteten. En annen undersøkelse fra Europa konkluderte også med at for blant annet gran er eldre skog mer utsatt for vindfall enn yngre (Ulanova 2000). Når det gjelder vindfallfrekvens bekreftet Rich *et*

al.(2007) ved bruk av regresjon at, hypotesen om at større trær har høyere sannsynlighet for å blåse ned.

I skandinavisk skogbruk har gran ofte blitt sett på som mindre vindstabil enn furu, men ingen eksisterende studier har funnet noen signifikant forskjell (Holgén & Hånell 2006).

I denne oppgaven er vindstabilitet i skjermstillingshogster av gran hovedtema og det er derfor naturlig å omtale fordeler og ulemper i tilknytting til dette treslaget i skjerm mer spesifikt. Av den grunn vil ikke denne oppgaven ta for seg andre forhold i tilknytting til skjermstilling enn det som er relevant for hovedtemaet. Under følger en kort gjennomgang om hva vi vet om skjermstillingshogster av gran i dag på et mer generelt nivå.

2.8 Skjermstillingshogst av gran - ulike biotiske/biologiske aspekter

Hovedhensikten med skjermen er som nevnt å legge forholdene til rette for naturlig foryngelse av fortrinnsvis skjermtreslaget. Skjermen har, som ordet tilsier, en skjermende effekt for skogbunnen på flere måter. Først og fremst sørger den for mindre lysinnstråling til bakken og dermed holder konkurrerende lyselskende vegetasjon tilbake.

Smyle (*Deschampsia flexuosa*) er som regel et problem for naturlig foryngelse pga. konkurransen om nitrogen, men arten blomster ikke under lukkede bestand. På snauflater der lystilgangen er god, kan denne arten stå for så mye som 75 % av biomassen i feltsjiktet og er dermed en sterk konkurrent til foryngelsen. Skjermstillingen kan dermed ha en positiv effekt for foryngelsen ved å forhindre konkurrerende oppslag av smyle (Nilsson & Örlander 1999; Solbraa 2001).

Et annet aspekt er at skjermen fungerer som en temperaturregulator både sommer- og vinterstid. Sommerstid vil skyggeeffekten fra trærne sørge for at skogbunnen er mindre utsatt for tørke enn på en snauflate. Vinterstid er skjermen hensiktsmessig for å unngå store temperatursvingninger innad i bestandet og ved at minimumstemperaturen på bakken er høyere enn på en snauflate og dermed reduser faren for frost. (Langvall & Ottosson Lofvenius 2002)

Valg av tetthet i skjermstillingen er essensielt. Tettheten bør vurderes ut i fra flere forhold som høydeutvikling på foryngelsen, beiteskader, insektangrep og skadeomfang på foryngelse og resterende skjermtrær ved uttak av skjermen. Ulike rapporter har kommet frem til at en optimal

skjermstillingstetthet ligger på rundt 160- 200 trær per ha. (Holgen & Hånell 2000; Hånell & Ottosson-Lofvenius 1994; Örlander & Karlsson 2000).

Forskning fra Sverige har vist at jo tettere skjermen er, desto dårligere høydeutvikling har foryngelsen, og dermed 2-3 ganger så lang foryngelsestid (Holgen & Hånell 2000; Örlander & Karlsson 2000). I en undersøkelse fra Sverige var antallet foryngede granplanter høyere i de tette skjermene, men dog hadde tettheten på skjermen lite å si for andelen bjørkeplanter under skjermen (Holgen & Hånell 2000).

Skjermstillingens tetthet har stor betydning for utviklingen til foryngelsen, og forskning fra Sverige har vist at skjermstillinger har en positiv effekt på overlevelsen til foryngelsen, da spesielt med tanke på tørke og frostskafer. I en undersøkelse har man sammenliknet skjermstillinger i ulike tettheter 160- 320 trær per ha. mot snauflater og frøtrestillinger (80 trær per ha). Skjermen hadde en positiv effekt mot gransnutebillen og i skjermstillinger >160 trær per ha. drepte billen ingen planter over 20 cm (Örlander & Karlsson 2000). Også for planter uten innsektsbehandling viste det seg at skjermstillinger hadde en positiv effekt mot gransnutebillen, spesielt på de markberedte flater (Petersson & Örlander 2003).

Planter skadet eller drept ved uttak av skjermen ligger i gjennomsnitt på ca 40 % og det er derfor viktig at en har tilstrekkelig med foryngelse før en avvirker skjermen for å sikre et tilfredsstillende resultat (Glöde & Sikstrom 2001). Dersom enn skal ta ut skjermen i flere omganger, er det også stor fare for skader på gjenstående skjermtrær, noe som kan føre til uheldige konsekvenser som mekaniske skader og råteangrep.

Når det gjelder beiting på granforyngelse, kan skyggen fra skjermen (hvis tett nok) påvirke den kjemiske sammensetningen og morfologien til plantene og dermed gjøre granforyngelsen mindre attraktive for beiting fra hjortedyr, og da spesielt for rådyr (Bergquist et al. 2001). Undersøkelsen referert fant ingen store forskjeller i beitefrekvens mellom de ulike forsøkene, men de antar at skjermen ikke var tett nok for å endre på energiinnhold og morfologien til plantene. De skriver videre at skjermen kan på lokalt nivå ha en innvirkning på beitefrekvensen, men mest sannsynlig ikke på landskapsnivå eller større skala.

2.9 Abiotiske faktorer - Hvordan skogen påvirkes av vind

Vindens betydning for skogen består først og fremst i at den påvirker de primære økologiske faktorene varme og fuktighet. Dette kan ha både positive og negative effekter på skogen.

Vindforholdene i skogen beskrives gjennom vindfrekvens, vindstyrke og vindretning. Vindstyrke er ofte hensiktsmessig å oppgi i meter per sekund (m/s). I skogbruket omtales ofte begreper som herskende vindretning og farlig vindretning, hvorpå sistnevnte er det som skaper mest vindfall (Børset 1985). Helles (1983) omtaler en kritisk vindstyrke på 20m/s og at det er liten sjanse for at trærne står, etter vindhastigheter på 120-140 km/t eller 33-39 m/s.

Skogen fungerer også som en brems på vinden og det er store forskjeller i vindhastigheten langs bakken og i kronetaket (Børset 1985). Solbraa (2001) skriver at 200 meter inn i et bestand kan vindhastigheten være redusert til 10 % av hastigheten på friland, men virkningen er avhengig av treslag, tetthet og topografi.

Skogen som helhet har også stor betydning for vindstrømmene på en større skala særlig på lesiden, og faktorer som topografi, trehøyde og bestandsstruktur er avgjørende faktorer (Børset 1985).

Vinden har en kontinuerlig påvirkning på treets form og utvikling. Derfor er trær som vokser inne i et bestand slankere enn frittstående trær i og med at de har mindre vindpåvirkning. Problemene oppstår når disse trærne fristilles og ikke har mulighet for å tilpasse seg vinden. Gran motstår sterke vinder ved å bygge ut rotsystemet på lesiden, der det dannes såkalte plankerøtter. Trærnes motstandskraft mot stormfelling er sterkt avhengig av jordbunnsforholdene, og jordbunnsforholdene er avgjørende for hvordan røttene får utvikle seg. Gran kan derfor være stormsterk på steder med dypt og bindekraftig jordsmonn. Trærnes stormfasthet avtar også med alderen, siden påkjenningen på røttene blir større proporsjonalt med at trestørrelsen øker. Råtefaren øker også ved sterke vinder, ved at finrøttene slites av og blir inngangsporter for råtesopper (Børset 1985).

2.10 Vindretning generelt på Østlandet

For å kunne vite hvordan vinden opptrer på Østlandet og litt generelt om ulike vindretninger relatert til årstider, er det hentet inn informasjon fra Meteorologisk institutt.

Meteorologisk institutt skriver følgende om vind i de ulike årstidene: ” *Vanligste vindretning på Østlandet om våren er fra sørvest og sør. Stiv kuling eller mer forekommer som regel bare i fjellet og i utsatte områder langs kysten...*

På varme sommerdager med mye sol er det langs kysten av Østlandet vanlig med sjøbris (solgangsbris). Vindretninga dreier etter hvert som sola passerer under horisonten, derav navnet solgangsbris. Solgangsbris kan også forekomme på større innsjøer i innlandet, som f.eks. Mjøsa...

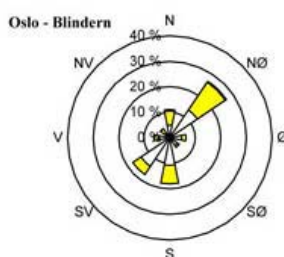
Høsten er sesongen med størst hyppighet av kraftig vind. I fjellet og langs kysten forekommer storm av og til. Under uværsperioder dominerer vind fra sørlige og vestlige sektorer over hele Østlandet...

Om vinteren er det ikke noen klar hovedvindretning på Østlandet. Den dominerende vinden kommer normalt fra sektoren sørøst til sørvest. Under kraftige lavtrykksperioder blir det gjerne kuling og enkelte ganger storm i fjellet. En kan da også oppleve sterk vind fra nordvest etter at lavtrykk har passert på vei østover. Denne "baksidevinden" har ofte med seg kraftige vindkast og kan til tider gjøre stor skade i utsatte områder også i lavereliggende områder på Østlandet”, (Meteorologisk institutt 2007) se figur 1.



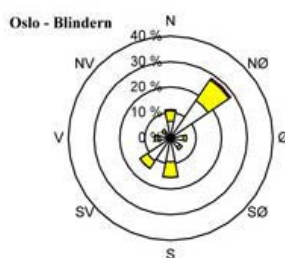
Vindroser for perioden 1971-2000 Østlandet vår (mars - mai)

Wind roses for the period 1971-2000
East Norway spring (March - May)



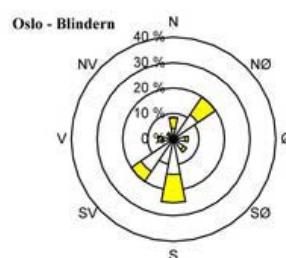
Vindroser for perioden 1971-2000 Østlandet høst (september - november)

Wind roses for the period 1971-2000
East Norway autumn (September - November)



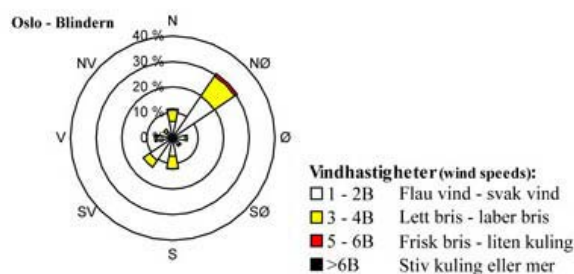
Vindroser for perioden 1971-2000 Østlandet sommer (juni - august)

Wind roses for the period 1971-2000
East Norway summer (June - August)



Vindroser for perioden 1971-2000 Østlandet vinter (desember - februar)

Wind roses for the period 1971-2000
East Norway winter (December - February)



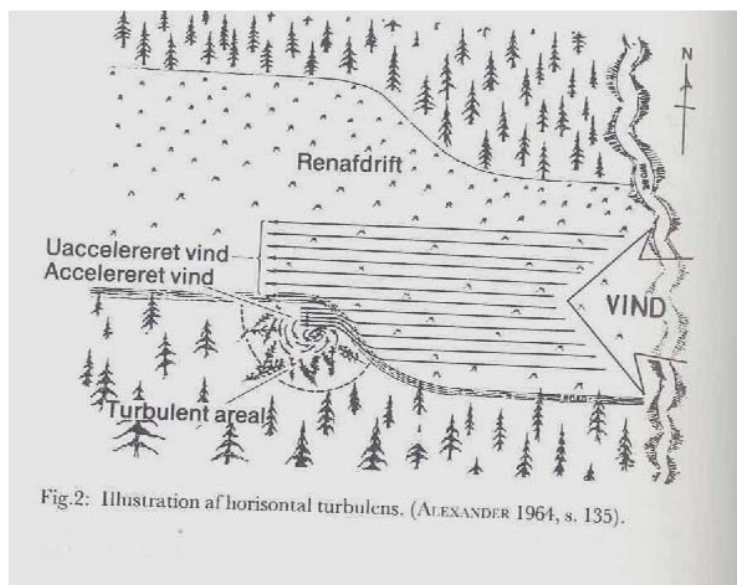
Figur 1. Vindretningsfordeling fra Blindern i perioden 1971- 2000 fordelt på 4 årstider. Vindretningen indikerer hvor vinden har kommet fra (Meteorologisk institutt 2007).

2.11 Vindforhold og tilpassing hos gran

Det er snevert med informasjon om vindproblematikk i skjermstillingshogster. Flere søkermotorer som ISI Web of Knowledge, Aks, og Google Scholar er brukt for å innhente informasjon med flere nøkkelord i søkerteiksten. Siden det var få undersøkelser direkte om vindproblematikk i skjermstillingshogster av gran, var det naturlig å utvide søket med andre trelag og hogstformer.

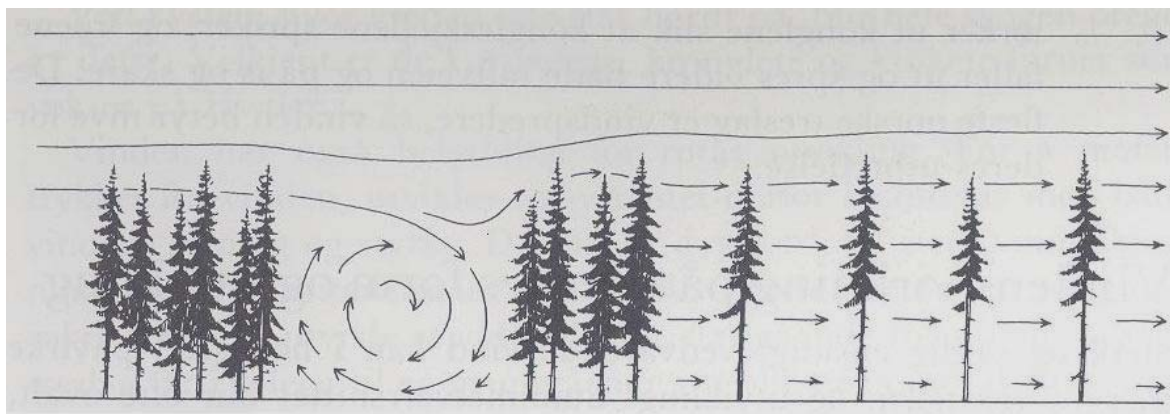
Helles (1983: 248) skriver i sin artikkel, ”De klimatiske og biologiske forhold, som fører til stormfald, kan være uhyre komplekse, og billedet bliver endnu mer broget, når samspillet med topografi og eksposition iøvrigt samt med bevoksningskarakteristika skal udredes.” og videre skriver han at ”blant de mange faktorer, som er bestemmende for omfanget af stormfald, kan nevnes: stormens styrke og varighed samt de enkelte vindstøds kraft, topografiske forhold, jorbundstyper og –tilstand, og en række karakteristika for den vindpåvirkede bevoksning så som træart, højde, tidspunkt siden sidste tynding o.m.m”

Den generelle oppfatningen i skogbruket er at trærne tilpasser seg vind fra dominerende vindretning. Derfor er det sterke vinder fra andre retninger enn den dominerende som forårsaker mest vindfall. Turbulens er beskrevet som en stor potensiell fare for vindfall og defineres som en oppløsning av vindens strømningshastighet i flere komponenter med hhv. større og mindre hastigheter enn ved utgangstilstanden, (Helles 1983) se figur 2.



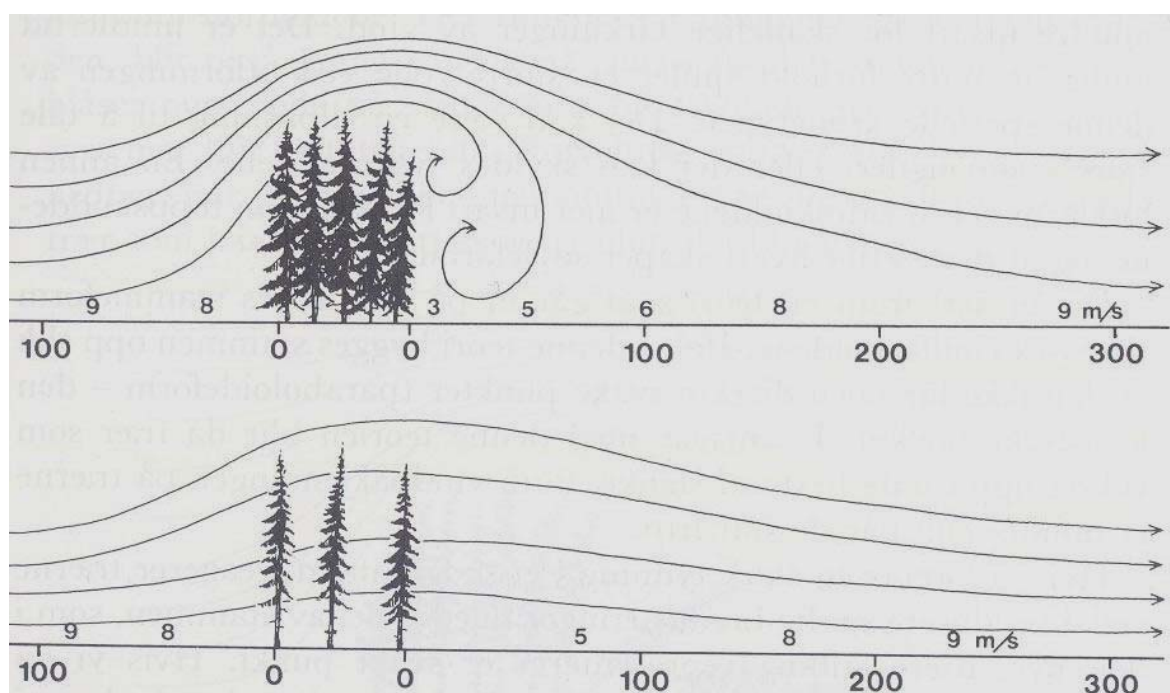
Figur 2. Eksempel på hvordan horisontal turbulens kan oppstå i skog. Fra (Helles 1983)

Vertikal turbulens oppstår ved at vinden bremses for eksempel av en skogkant der vinden presses opp for så å slå hardt ned lenger inn i bestandet (Helles 1983). Det refereres videre til vindtunellforsøk hvor en tett kant fører til at vinden slår over kanten og hardt ned lenger inn i bestandet (turbulens), se figur 3.



Figur 3. Her ser en blant annet vertikal turbulens i en liten åpning (gruppe) og vindbevegelse under en skjerm (Børset 1985).

En glissen kant kan være hensiktsmessig for å filtrere vinden inn i bestandet og dermed bremse vinden istedenfor å tvinge vinden inn i turbulens. Kanten spiller derfor en stor rolle, men også topografien har mest sannsynlig en additiv effekt uten at dette er undersøkt, (se figur 4).



Figur 4 Prinsippskisse på virkningen av en tett stormkappe (øverst) og en glissen (nederst). En tett kappe tvinger lufta oppover, med fare for at den slår ned igjen på baksiden. En glissen skjerm siler vinden bedre av og får en bedre le-effekt (Børset 1985).

Nielsen (1990) nevner fem velkjente tilpassingsmekanismer for gran som utsettes for stigende vindbelastning.

- 1) Forbedret rot/topp forhold, ved at vedmassen forskyves nedover i treet og ut i de vindbelastede røttene.
- 2) Forminsket avsmaling av støtterøtter, ved at trykkveddannelsen på oversiden av støtterøttene fortsetter lenger ut på disse ved tiltagende vindeksposering.
- 3) Forbedret symmetri av rotsystemet. Den belastningsstyrte tilvekstfordeling fører med tiden til en rumlig utjevning av asymmetriske rotsystemer. De sidene av rotsystemet som har få røtter oppnår gjennom vindbelastning en relativ større tilvekst enn de delene av rotsystemet med mange røtter.
- 4) Morfologisk tilpassing av horisontalrøtter gjennom subletale forankringsløsninger. Spesielt sterkt vindeksposerte grantrær tilpasses fortrinnsvis gjennom en avrivning av basale siderøtter til støtterøttene. Dermed konsentreres rotttilveksten på ca 6-10 meget lange, uforgrenede og kabelaktige horisontalrøtter.
- 5) Forminsket høydevekst. Med avtagende h/d – forhold og trehøyde forminskes ”storm-momentets” arm, hvorpå vindkraften virker på forankringssystemet.

Tilpassingsmekanismens enorme betydning for stabiliteten hos solitærtrær, randtrær og eldre skjermtrær er visstnok velkjent. Slike ekstreme tilpassinger finner man ikke i tradisjonelle ensaldrede bestand, men foregår utvilsomt i uensaldrede og sjiktede bestand (Nielsen 1990).

2.12 Bestand og enkelttre stabilitet

Når det gjelder vindstabilitet er det viktig å skille mellom enkeltrestabilitet og bestandsstabilitet (sosial stabilitet). Enkeltrestabiliteten beskrives som hvor sterkt rustet hvert enkelt tre er mot vinden, mens bestandsstabiliteten (kollektiv stabilitet) er et sammensatt begrep på hvordan trærne sammen i bestandet oppfører seg i forhold til vinden. ”Trær med høy enkelttre-stabilitet kjennetegnes ved høyt d/h-forhold, stort rotsystem og lang krone. Bestand med høy sosial stabilitet har et lukket kronetak, trærne støtter hverandre i vinden, og den totale rotforankringen er stor” (Solberg et al. 2008). Et grantre med høyde diameter forhold under 0,8 er ofte ansett som stormsterkt (Bachofen & Zingg 2001; Brække & Rudi 2004).

Helles (1983) referer til ulike arbeider der tettstående trær kan vokse sammen i røttene og dermed ha en kollektiv stabilitet, men ved tynning/skjermstilling bortfaller denne evnen og enkelttreet blir dermed vindsvakt.

2.13 Bestandet og behandling.

Trær som står i kanten av bestandet har tilpasset seg vinden på en helt annen måte enn de trærne som står inne i bestandet, grunnet vindeksponering. Kanttrær kan derfor være mer vindstabile enn trær inne i bestandet. Dette understøttes av en undersøkelse på strandfuru (*pinus pinaster*) der enn fant ut at på aurfelle var kanttrærne 20 % mer resistente mot å bli dratt overende (Cucchi et al. 2004).

Holgén & Hånell (2006) referer Lukkala (1946) som skriver at tynning før skjermstillingsetablering er en viktig komponent for å unngå omfattende vindfallskader på skjermtrærne. De refererer videre Mork (1971) som mener det bør være minst to tynninger før naturlig foryngelseshogster i tett granskog. Mezibovskij (1970), referert av Holgén & Hånell (2006) mener det kan være fordelaktig å ikke ta ut mer en 60 % av utgangstettheten ved første skjermhogst og at hogsten orienteres mot dominerende vindretning. Det kan også være fordelaktig å sette igjen løvtrær i kantene på sterkt eksponerte flater. Videre i litteraturgjennomgangen referer Holgén & Hånell (2006) flere arbeider som peker ut viktigheten av bestandsalder og høyde som avgjørende vindskadefaktorer.

Det er utarbeidet noen mekaniske modeller som for eksempel ForestGALES og HWIND, som brukes for å predikere vindfallrisikoen i ensartet bestand i blant annet Storbritannia og Finland. Varierende trestørrelse og sunnhet, varierende bestandsstruktur og problemet med å modellere vindstrømmer i lokalklimaet, spesielt i kupert terreng har ført til at slike modeller har et begrenset bruksområde (Scott & Mitchell 2005). Siden terrenget i Norge er av en slik karakter og i tillegg til at slike programmer krever lisens, medfører at de ikke er testet i denne oppgaven. Alternativt er det mulig å bruke modeller mer tilpasset norske forhold som den svenske modellen WINDA. Denne modellen kan beskrives slik: "Først beregnes et vindklima over en terrengoverflate ved hjelp av den danske WASP-modellen, som er utviklet for å optimalisere plasseringen av vindmøller. Deretter knyttes dette til skogbruksplandata, og risikoen for stormskader i hvert bestand beregnes som risikoen for stormskader i bestandskant" (Solberg et al. 2008). Alle disse

modellene krever en viss brukerterskel og blir derfor for omfattende for denne oppgaven.

I en undersøkelse fra USA, Scott & Mitchell (2005) har sammenliknet ulike treslag og vegetasjonstyper mot vindfallsfrekvens, og de fant ut at andel vindfall ble redusert desto høyere andel gjennomtrengelig jordsmonn tilgjengelig. Det var ingen forskjell i vindfallsfrekvens mellom treslag eller kroneklasse, men andelen av vindskader økte når høyde- diameter forholdet økte og ettersom andelen levende krone avtok. Undersøkelsen fant også ut at det var en større andel vindfall for trær som vokste på organisk substrat (torvmark), enn for trær som vokste på tre eller mineral substrat. Vindfallsfrekvensen økte også ettersom kronedensiteten økte. Høyde- diameter forhold var den variabelen som betydde mest og en tett krone økte faren for vindfall nesten tre ganger så mye som en glissen krone. I undersøkelsen ble det antatt at man skulle finne flere vindfall i ensartet bestand siden trærne er høyere og slankere enn i flersjiktet bestand, men dette var ikke tilfelle. Prosent gjensatte trær og tetthet før hogst ser ut til å være en viktigere variabel for vindfallrisiko, enn sammensetting og type gjensetting av trær. Dersom man satt igjen 20 % av stammene er det liten sjanse for vindfall, sammenliknet med nesten 50 % vindfall når man satt igjen mindre enn 20 % av trærne. De diskuterer også faren for at trær med lang frisk krone er mer utsatt for vindfall rent intuitivt, men de fant ingen trend mot dette, og argumenterer for at disse trærne har som oftest best h/d- forhold og har tilpasset seg vindpåkjenning på en bedre måte. En høy h/d -verdi og en høy kronedensitet viste seg å gi høyere andel vindfall, og økte jo mer utsatt treet stod. Undersøkelsen er fra USA og er derfor ikke direkte overførbar til norske forhold, grunnet andre treslag og lokalklima, men det kan likevel fungere som et generelt sammenlikningsgrunnlag. De anbefaler å sette igjen minst 20 % av opprinnelig bestandstetthet på vindutsatte steder og sette igjen de trærne med et lavt h/d forhold og glissen, men lang levende krone noe en også bør ha i bakhodet under norske forhold.

2.14 Vindstabilitet i skjermstillingshogster av gran

En svensk undersøkelse av Holgén & H nell (2006) har etablert skjermstillingshogster uten forberedelseshogst i grandominert skog på torvmark, med både grunt og dypt jordsmonn og med seks forskjellige skjermtettheter (140- 400 trær per ha). Etter fire og 11 år etter skjermstillingen har de registrert bestandet og sammenliknet det med utgangstilstanden. De fant at vindfallsfrekvensen varierte fra 0-70 % og med et gjennomsnitt på 40 %. Mest vindfall inntraff

de 3 første årene etter hogst. De høyeste verdiene kan ha en sammenheng med nærliggende hogstflater og dermed større eksponering for vind. Ifølge resultatene deres var det ingen store forskjeller i vindfallsfrekvens mellom de ulike tetthetene i skjermstillingen, men trehøyden hadde en påvirkning på antallet gjenværende skjermtrær. Med andre ord betyr dette at felter med store (dominerende) trær var mindre utsatt for vindfall enn felter med mindre (ikke dominerende) trær som skjermtrær.

Undersøkelsen anbefaler 5 hovedretningslinjer i forhold til vindfall i skjermstillingshogster.

- 1) Forberedelseshogster minsker risikoen for vindfall i påfølgende hogster.
- 2) Viktigheten av topografien må ikke undervurderes, og på vindutsatte områder bør man vurdere alternative hogstformer.
- 3) Det er viktig å planlegge skjermstilling i forhold til omkringliggende bestand, spesielt om disse skal flatehugges i fremtiden.
- 4) Tettheten på skjermen er viktigere for foryngelsesresultatet enn for antall vindfall.
- 5) Hvilke trær man setter igjen spiller en stor rolle og det bør etterstrebes å sette igjen de mest dominerende trærne. Dersom man utfører en forberedelseshogst før skjermstillingen, kan man vurdere å ta ut de dominerende trærne og sette igjen de mindre dominerende, for å forbedre økonomien.

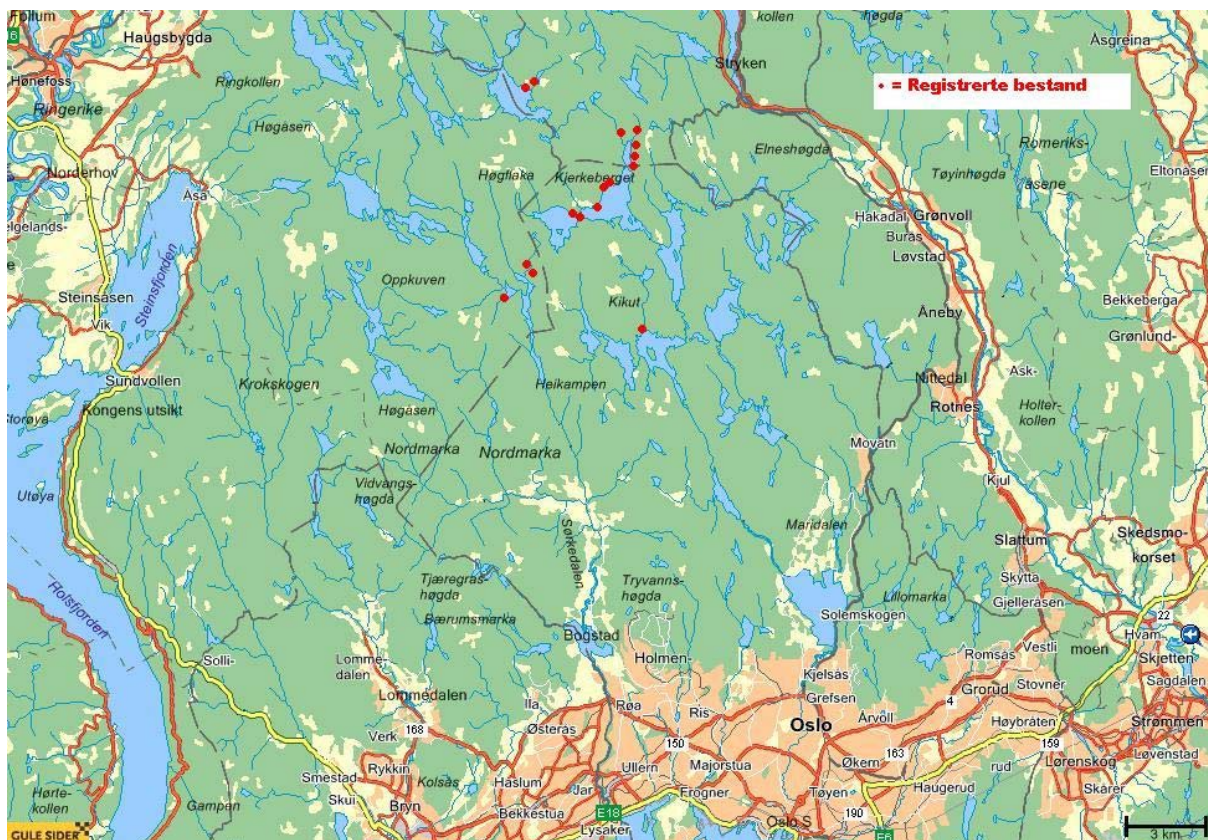
En annen undersøkelse fra Sverige Hånell & Ottosson-Lofvenius (1994) har også sett på vindfall i skjermstillingshogster av gran på torvmark i både Nord, Midt og Sør- Sverige. Undersøkelsen bygger på ni feltområder, seks år etter skjermstillingen var satt og tettheten på skjermen var 140 og 200 trær pr per ha. Ved slutten av seks års perioden var 43 % av trærne i de glissene skjermstillingene blåst ned, mens 38 % av trærne hadde blåst ned i de tettere skjermene. De fant ut at 50 % av trærne blåste ned i løpet av de første 2 årene etter hogst og at dette var trenden i Nord og Midt- Sverige, mens i sør økte andelen vindfall med årene. De har også sett på meteorologiske data og det viste seg at i undersøkelsesperioden var det registrert sterkere vinder enn de siste 40 årene. Det er viktig å merke seg at alle skjermstillingene var i nærheten av en stor snauflete og at skjermstillingene ble utført som sterke tynninger. Derfor kan disse resultatene

sprike litt fra undersøkelser i et mer praktisk skogbruk. Forfatterne anbefaler også at man har tettere skjermstillinger på torvmark og prøver å unngå å legge dem i nærheten av store åpninger som hogstflater.

3 Materiale og metoder

3.1 Valg av forsøksfelt

Denne oppgaven er en del av et samarbeidsprosjekt mellom NORSKOG og Norsk institutt for Skog og Landskap. Tittelen på prosjektet er ”Vindfellingsfrekvens og trestabilitet ved lukkede hogster”. Hovedmålet med dette prosjektet er å ”dokumentere vindfellingsfrekvens og sammenstille prediksjonsvariabler egnet til risikovurderinger av trestabilitet og vindfelling ved lukkede hogster, og dermed bidra til et mer stedstilpasset skogbruk med mulige økonomiske og miljømessige gevinster” (NORSKOG u.å.). I forbindelse med prosjektet har en forespurt enkelte større skogeiere deriblant Løvenskiold- Vækerø, om å foreta registreringer i nylig skjermstilte bestand. Hovedprosjektet tar prøveflatetakst av hvert bestand på 1 daa, mens denne oppgaven tar for seg en totalregistrering av vindfall i hele bestandet. Denne oppgaven vil dermed fungere som et supplement til hovedprosjektet, der en kan kontrollere om prøveflatene gir et representativt datagrunnlag for bestandet. Studieområdet i denne oppgaven er i skogområdet Nordmarka (N 60⁰7, E 10⁰38), nord for Oslo. Se kart 1 der bestandslokalitetene er tegnet inn som røde punkter.



Kart 1. Oversikt over feltregistreringene i Nordmarka, røde punkter indikerer registreringsbestand. (Gule sider)

Studieområdet er et 700 km² stort skogkledd platå, med en høydevariasjon som strekker seg fra 200 til 700 meter over havet. Området har et sub oseansk klima, med en nedbørsmengde årlig rundt 1100 mm og en gjennomsnittstemperatur på 3,5°C. Nordmarka ligger i den midtboreale vegetasjonssonen Moen (1999), referert av (Storaunet & Rolstad 2002). I sentrale deler av Nordmarka er gran hovedtreslag med mer enn 95 % av stående volum, mens furu og ulike løvtrær står for ca 5 %. Blåbærskog er den dominerende vegetasjonstypen og området har en bonitetsfordeling fra lav til middels, med snitt på < 5,5 m³ ha⁻¹ år⁻¹ ved høyden der feltregistreringene er gjort (Storaunet & Rolstad 2002).

Ut ifra forespørselen fra prosjektet har Løvenskiold- Vækerø rapportert inn 24 skjermstillingshogster av gran i Nordmarka. Disse bestandene varierer i størrelse fra 10-70 daa, hvor det er store variasjoner både mellom hvor tett skjermen er, og hvor stor del av bestandet som er skjermstilt. Datainnsamlingen ble utført i juli 2007, under til dels vanskelige værforhold med

blant annet mye nedbør. Ved befaring av bestandene, viste det seg at enkelte bestand ikke var skjermstillingshogster, mens andre bestand viste seg å være for uregelmessige for denne oppgavens omfang. Hovedkriteriet for utvelgelsen av bestandet var at det var en regelmessig skjermstilling av gran over 10 daa.

Etter en utvelgelse av bestand på kart og i felt, var det tilslutt 16 bestand som var egnet for totalregistrering. Innenfor bestandet er alle vindskader registrert og variabler i tilknytting til vindskaden er taksert, hvorpå sistnevnte er delt inn i enkelttrevariabler og bestandsvariabler, se vedlegg 1 og vedlegg 2.

Registreringsområdet i Nordmarka er inndelt i fem mindre områder (Katnosa, Sandungen, Sandungskalven, Langlia og Kikut). Hoveddelen av materialet kommer fra områdene rundt Sandungen, der det var størst andel egnede skjermstilte bestand.

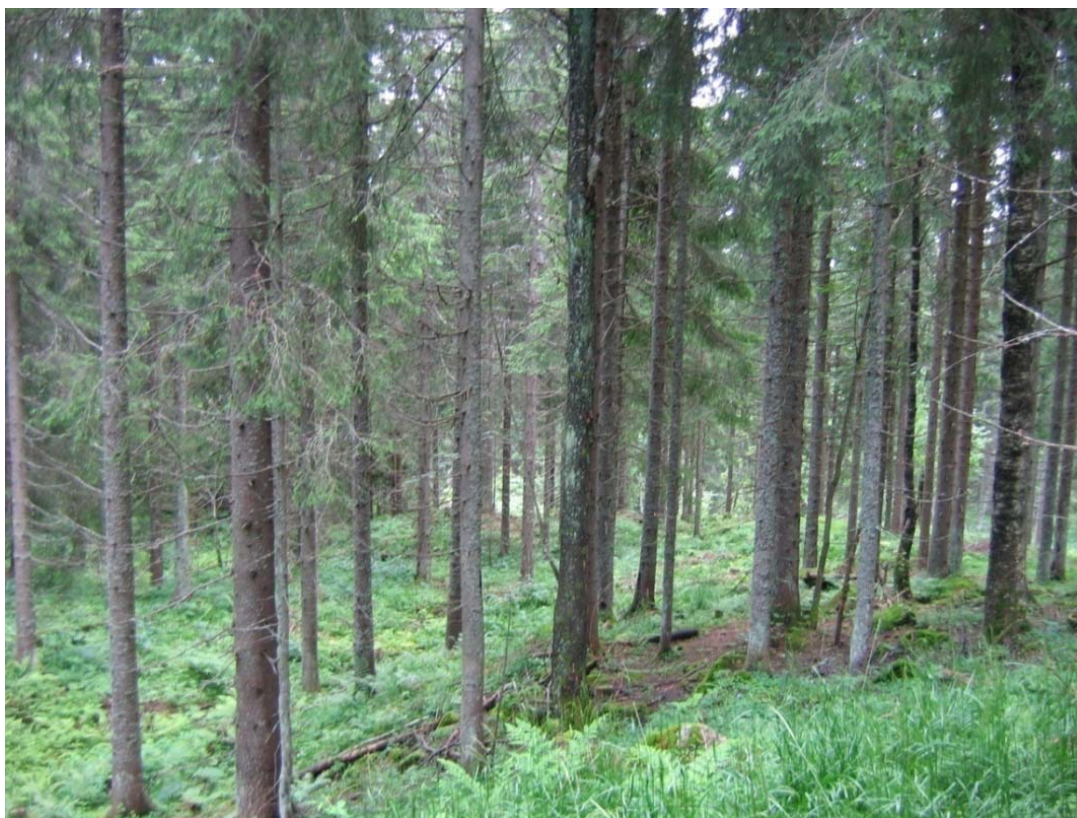
I starten av registrering av bestandet, oppdaterte jeg meg på informasjonen fra skogbruksplanen om ulike bestandsdata som alder, bonitet, hogstklasse, areal, m³ per daa, treantall, vegetasjonstype og overhøyde, for å kunne danne et bilde av hva jeg burde forvente i bestandet. Skogbruksplanen er utarbeidet av FORAN AS i år 2000- 2001, og denne er en såkalt "light takst" hvor alle hogstklasse IV og V ble kvalitetssikret for blant annet volum. Etter dette er tallene justert litt på skjønn hvis det er gjort inngrep etterpå som for eksempel skjermstilling (*pers. med. Øyvind Foss, Løvenskiold-Vækerø*). I felt ble forhåndsdata fra skogbruksplan verifisert med virkeligheten, før jeg tok en avgjørelse på om bestandet var egnet. Deretter var orienteringen i bestandet utført på bakgrunn av terrengkjennetegn og ved hjelp av et GPS/PDA (*personlig digital assistant*) system med sporlogg. Registreringsmetoden jeg brukte i bestandet var å gå opp linjer gjennom bestandet med ulik bredde avhengig av oversikten. I tette bestand med mye undervegetasjon var avstanden mellom linjene ca 5 meter, mens avstanden i nyhogde oversiktlige bestand var opptil 20 meter. Lengden på takseringslinjene varierte mellom 50- 300 meter avhengig av oversikt og arronderingen av bestandet. I de største bestandene var det nødvendig å dele opp bestandet i mindre deler for å få en fullstendig oversikt.

Tidsforbruk i bestandene varierte fra noen timer til flere dager, avhengig av tidspunkt for skjermstillingshogst, størrelse og av andelen undervegetasjon. I nyhogde bestand med lite undervegetasjon gikk registreringsarbeidet relativt raskt (2-4 timer). I eldre skjermstillingshogster

med stort innslag av undervegetasjon og vindfall i ulike nedbrytningsgrader tok registreringsarbeidet betraktelig lengre tid (1-2 dager). Se bilde 1. for en illustrasjon av et nyhogd bestand der registreringsarbeidet gikk relativt raskt, og bilde 2 der registreringsarbeidet tok lengre tid.



Bilde 1. Skjermstillingshost fra vinter 2007, Langlia. Foto: Øivind Berntsen



Bilde 2. Skjermstillingshogst fra 2002, Sandungskalven. Foto: Øivind Berntsen

En bestandsoversikt (kart) med omkringliggende bestand er medbrakt under bestandsregistreringene slik at det var mulig å korrigere for endringer i både bestandet og omkringliggende bestand. Uregelmessigheter som feil i bestandsgrenser, feil hogstklasser, ikke skjermstilt areal, buffersoner, etc. er notert på dette kartet. I enkelte bestand var det store avvik mellom hva som var registrert som skjermstilt areal og virkeligheten. I visse tilfeller var bare små deler av bestandet behandlet. Sistnevnte er også korrigert av Arne Sandnes (NORSKOG) og de delene han har korrigert, er ikke alltid dobbeltsjekket av meg. Det var til tider store forskjeller mellom bestandene i tetthet og uregelmessighet og bilde 1, bilde 2 og bilde 3 gir en grei illustrasjon av dette.



Bilde 3. Skjermstillingshogst fra 2005, Sandungen. Foto Øivind Berntsen

Vindstatistikk er hentet fra meteorologisk institutt gjennom tjenesten ”eKlima”, hvor nærmeste målestasjon med vindregistreringer var plassert på Blindern. Dette er tatt med for å vise en dominerende vindretning i nærområdet på makronivå, da det er umulig å gjenskape vindstrømmer på mikronivå, som for eksempel i bestandet.

3.2 Vindfallregistreringer, enkelttreskjema

Se vedlegg 1, for en fullstendig oversikt over hvilke variabler som ble registrert.

Ved et vindfall startet registreringene ved roten av vindfallet og det var ofte naturlig å starte med enkelttrere registreringene.

Først registrerte jeg vindfallnummer på PDA og noterte ned GPS posisjonen på feltskjema.

Høyde over havet ble lest av på PDA og notert. Fallretning ble så registrert med et 400 ° kompass (Suunto), der siktelinjen gikk parallelt med stammen fra rot mot topp.

Ved rotvelt ble kun symbolet R notert, mens høyde på stammebrekk ble målt med VertexIII (elektronisk høydemåler) til midten av margen på stammebrekket på stående tre. Vertex III hadde følgende innstillinger; *Setup: Metric, Degrees, P. Offset 0,3, T. Height 1,1, Baf 1,0*. Vertex ble kalibrert hver morgen ved bruk av målebånd og når Vertex var tilpasset lokaltemperatur. Ved store endringer i temperatur/fuktighetsforhold ble ny kalibrering utført. Rotvelt er definert som der deler av rotkaken er dratt opp fra bakken.

Dr (*Diameter rot*) ble registrert rett ovenifra stammen ved et tenkt rotavskjær, med standard klave (40cm måleintervall), slik at klavespissene pekte ned mot bakken. På stående trær var det tilfeldig hvilken side registrering av diameter ble utført, men ofte ble diameter på treet registrert i den retningen jeg gikk.

DBH (*Diameter brysthøyde*) på liggende trær ble registrert ved 2 klavelengder over Dr (*en klavelengde er ca 57 cm*), mens på stående trær var min brysthøyde registreringshøyde. På trær med større diameter enn 40 cm, ble omkretsen målt med målebånd. Diameter er målt utenpå bark, men i enkelte tilfeller var barken borte, uten at dette har blitt kompensert for. Minste aksepterte DBH i denne oppaven er 12 cm, slik at alle trær under 12 cm ikke ble registrert.

Dm (*desimeter*) til første levende grein viste seg å være vanskelig å registrere. På trær med nåler var denne faktoren enkel å registrere og ble definert som lengde/høyde til første levende grein målt fra rotkaken (bakken). Eldre vindfall uten nåler/greiner var det tilnærmet umulig å se kronehøyde på, og der det var greiner uten nåler, ble denne registreringen utført skjønnsmessig.

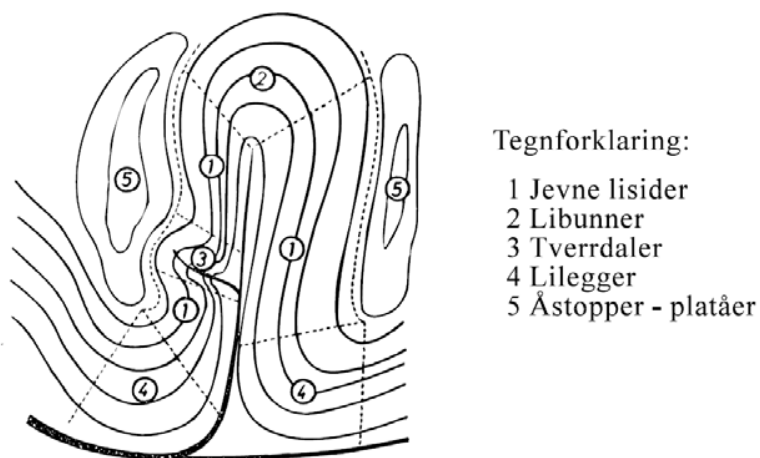
Høyde topp ble registrert der det var mulig, og registreringspunktet er ved 2006 skuddet slik at årets vekst ble sett bort ifra. I de tilfeller der toppen var brukket/borte, ble det enten notert topp-mangler eller at toppen ble målt og lagt til på høyden. I enkelte tilfeller var toppen bøyd over en hindring/kolle/stein og i slike tilfeller ble det lagt til 1-2 meter avhengig av hvor bøyd stammen var og notert i merknadsfeltet. Dette innebærer at registreringen ble utført ved topp, men siden topp var bøyd var det naturlig å legge til litt på høyden. Ved stammebrekk er resterende trelengde målt og lagt til på høyden, dersom det var mulig å identifisere hvilke tredeler som hørte sammen. Alle høyder/lengder er målt med VertexIII og mottager (reflektor) ble plassert ved rot eller tilnærmet nærmest mulig roten. Dersom treet hang fast i andre trær er hellingsgraden på treet

registrert med stigningsmåler langs stammen. I de tilfeller der deler av registreringspunktene ikke var mulig å måle, er disse utelatt i registreringene.

3.3 Vindfallregistreringer – bestandsskjema

Bestandsskjemaets omfang er avhengig av variabel som registreres definert som området i nærheten av vindfallet (omkrets 10 meter), men relaskopsummen og eksponeringsgraden har naturlig nok ingen fast registreringsradius.

Terreng helling/type er inndelt i 8 typer (1. Lisode, 2. Libunn, 3. Tverrdal, 4. Li-egg, 5. Åstopp, 6. Platå, 7. Forsenkning, 8. Annet). Disse registreringene er å anse som lokale og selv om man vindfallet befant seg i en lisode på stor skala, kan det ha blitt definert som liegg/platå på lokal nivå. Lisode er den terrengtypen som er mest frekvent brukt, selv om den ikke alltid ville blitt definert som en lisode på en større skala. Se forøvrig figur 5 for nærmere forklaring av enkelte av typene.



Figur 5. Terrengklasifisering (*NORSKOG's feltinstruks*)

Hellingsgraden er målt med en Suunto stigningsmåler. Hellingsgraden er registrert i prosent ved å bruke nærstående trær som referansepunkt for målingene. I enkelte tilfeller der hellingen var av liten betydning er det anslått en hellingsprosent skjønnsmessig ettersom skjønnnet ble bedre og bedre etter hvert. Mot slutten av feltarbeidet ble denne stort sett anslått i 5 % intervaller, derfor er

hellingsgraden ofte avrundet. Hellingsprosenten er også definert på lokalnivå og ikke etter hvor bratt lia er på generelt nivå.

Vegetasjonstypen er beskrevet ut ifra de nærmeste 5-10 meterne rundt vindfallet og kan variere innad i bestandet. Dominerende vegetasjonstype rundt vindfallet er avgjørende og ikke vegetasjonstypen generelt. I enkelte tilfeller kan det forekomme arter som ikke hører hjemme i dominerende vegetasjonstype, men dette er det ikke tatt hensyn til. Det er ikke alltid like enkelt å registrere vegetasjonstype innenfor et mindre område og derfor kan det være noen feilaktige registreringer. Noen av småbregneregistreringene kan være storbregne og motsatt, noen av disse kan også ha vært lågurt og høgstaude, men i det store og hele tviler jeg på at det har store betydningen.

Vindfallets alder er kategorisert i 4 nedbrytingsklasser etter system A (Storaunet & Rolstad 2002). Siden eldste skjermstilling er 10 år, faller alle vindfall i klasse 3 og eldre ut av datamaterialet. Klassene er som følger:

1. Nylig falt tre med nåler og bark (Bilde 4).
2. Nåler borte, men greiner og bark intakt (Bilde 5).
3. Bark i ferd med å falle av, bare store greiner igjen.
4. Eldre (Bilde 6).



Bilde 4. Vindfall i nedbrytningsgrad 1. Foto: Øivind Berntsen



Bilde 5. Vindfall i nedbrytningsgrad 2. Foto: Øivind Berntsen



Bilde 6. Vindfall i nedbrytningsgrad 4. Foto: Øivind Berntsen

Relaskopsummen er målt med relaskopåpning 1 for å finne grunnflatesummen per ha. Målingen er utført så nære roten på vindfallet som mulig, og der det var flere vindfall på samme sted er denne summen tatt på et representativt sted for alle vindfallene. Dersom det var andre vindfall eller stubber rundt vindfallet, er ikke disse med i relaskopsummen, selv om de muligens hadde vært med, om trærne ikke var blåst ned.

Eksponeringsgraden rundt vindfallet er vurdert skjønnsmessig for å kunne si noe om hvor eksponert det er rundt vindfallet. Hovedvekten av vurderingen er basert på hvor vinden har slått inn, men også resterende retninger er avgjørende. Eksponeringsgraden er delt inn i 5 klasser; 1 er tilnærmet snaumark, 2 er glissnere enn middels av bestandet, 3 er middels for det skjermstilte bestandet, 4 er tettere enn middels og 5 er full tetthet som i utynnet bestand.

3.4 Databehandling

I databehandlingen har jeg brukt hovedsakelig brukt Microsoft Excel og Microsoft Access for behandling av rådata. Statistikkprogrammet SAS-JMP er brukt ved alle statistiske beregninger og GIS verktøyet ESRI-ArcGIS (ArcGIS) er brukt for å visualisere vindfall i bestand samt andre oppgaver i tilknytting til kartredigering.

Under feltarbeidet har jeg registrert fallretning i 400 grader, mens GIS programmet ArcGIS opererer med 360 grader, derfor er alle fallretninger dividert med 9/10 slik at gradene korresponderer med ArcGIS.

I de fleste bestandene har arealet etter skjermstilling ikke blitt oppdatert og hele arealet står ofte som skjermstilt i planen. For å kompensere for dette har jeg tegnet inn et nytt ”skjermstilt areal” grense, på bakgrunn av notater i felt og beregnet arealet for det skjermstilte arealet i ArcGIS.

Et tre med to stammer er definert som 2 trær dersom det er mulig å måle DBH på begge, altså om stammene er delt før DBH. Dersom de er delt over dette punktet, defineres det som ett tre.

Alder på vindfall er ikke alltid like enkelt å vurdere og noen steder kan nedbrytingsgrad 1 og 2 bli litt feilvurdert. Alder på rot som er hogd kan være vanskelig å bestemme, og det kan forekomme enkelte feilvurderinger på bestemmelse av nedbrytingsgraden til røtter. I databehandling har jeg utelukket alle vindfall i nedbrytingsgrad 3, siden ingen av skjermstillingene er mer enn ni år gamle, og et vindfall har veldig liten sannsynlighet for å ha kommet i denne klassen innenfor det tidsrommet. Snittalder på vindfall som klassifiseres under kategori 3 er ca 20 år, men det er selvfølgelig muligheter for at enkelte av disse vindfallene skulle vært med (Storaunet & Rolstad 2002). I og med at snittalderen er på 20 år, ville det mest sannsynlig føre til flere feil å ta dem med enn å utelate dem. Grensen mellom nedbrytingsgrad 1 og 2 går i mine beregninger på tre år. Dersom skjermstillingen er satt i 2005 (2 år gammel) blir kun vindfall i klasse 1 tatt med i databehandlingen og i de statistiske testene. Vindfall som blir utklassifisert grunnet nedbrytingsgrad eller ligger utenfor bestandsgrensen, er også fjernet fra kartet, slik at kun relevante vindfall vises i kart.

I enkelte tilfeller var det ikke mulig å måle høyde topp og denne variabelen er da beregnet ved hjelp av regresjonslinjen utarbeidet av resterende trær. Dette innebærer altså at dersom kun d.b.h

eller d.r er målt og høyden mangler, blir høyden beregnet ut ifra regresjonslinjen i hvert bestand (på bakgrunn av de trærne som har begge variabler). Hvor god denne sammenhengen var i de ulike bestand, varierte noe i forklaringsverdi (R^2), men jeg føler likevel at dette er en bedre metode for å estimere høyden enn for eksempel å bruke overhøyden i bestandet. I de tilfeller der det var en lav R^2 , kan enkelte av de regresjonsestimerte høydene være forbundet med feil, som igjen kan føre til følgefeil i statistikk beregningene.

I ArcGIS har jeg laget kart der jeg først viser økonomisk kartverk (ØK-kart), deretter legger jeg bestandsinformasjon (hogstklasse) over dette kartet og sørger for at ØK-kartet synes igjennom bestandsinformasjonen. Tilslutt er vindfallene lagt inn som punkter med en strek som viser hvilken retning treet har falt. Denne streken er med vilje laget slik at det er mulig for strekene å overlappe hverandre, dog fører dette til at strekene til tider bærer preg av ”klynge”-ansamling. Ved en målestokk der hele bestandet vises, kan slike klynger til tider gi et litt uoversiktlig bilde, noe som er tilfelle i de fleste bestandene.

Av statistiske tester på bestandsnivå har jeg kjørt en regresjonsanalyse på de kontinuerlige variabler og variansanalyse på klassevariablene. I testene har vindfall pr/daa vært uavhengig variabel (y), mens avhengige variable har vært testet mot (y). Klassevariablene på bestandsnivå er: andre treslag, hogstklasse, hogstklassetetthet og vegetasjonstype. De resterende variable har jeg klassifisert som kontinuerlige variable.

Jeg har brukt prøveflatene fra NORSKOGS datasett som et utvalg som skal representere hele bestandet, siden denne oppgaven ikke har registrert på stående trær. Feltbeskrivelsen på prøveflatene er som følger ”Registreringer utføres på sirkulære prøveflater med $r = 17,84\text{ m}$ (1000 m^2). Én, 1, prøveflate legges ut skjønnsmessig på en for bestandet representativ lokalitet. Dette gjøres etterfølgende totalregistrering av vindfall i bestandet (del 2)” (NORSKOG u.å).

Prøvetrærne til NORSKOG er også brukt for å estimere antall stående stammer i hele bestandet på bakgrunn av antall trær på prøveflaten. Ved å sammenlikne estimert treantall for bestandet med antall vindfall kan man finne en vindskadeprosent for hvert enkelt bestand.

Av statistiske tester på enkelttrenivå har jeg sammenliknet stående trær med vindfall og stammebrekk, ved bruk av variansanalyse mot ulike avhengige kontinuerlige variable. Stående trær stammer fra NORSKOGS datasett og skal representere alle stående trær i bestandet.

Fallretning er inndelt i 8 himmelretninger, slik at hver himmelretning dekker 45° . Vindfall og stammebrekk er adskilt slik at en kan se dominerende fallretning for både vindfall og stammebrekk.

Data fra meteorologisk institutt er innhentet for å se vindroser og vindretninger på makronivå fra ulike perioder.

4 Resultater

4.1 Vindskadefordeling i bestandene

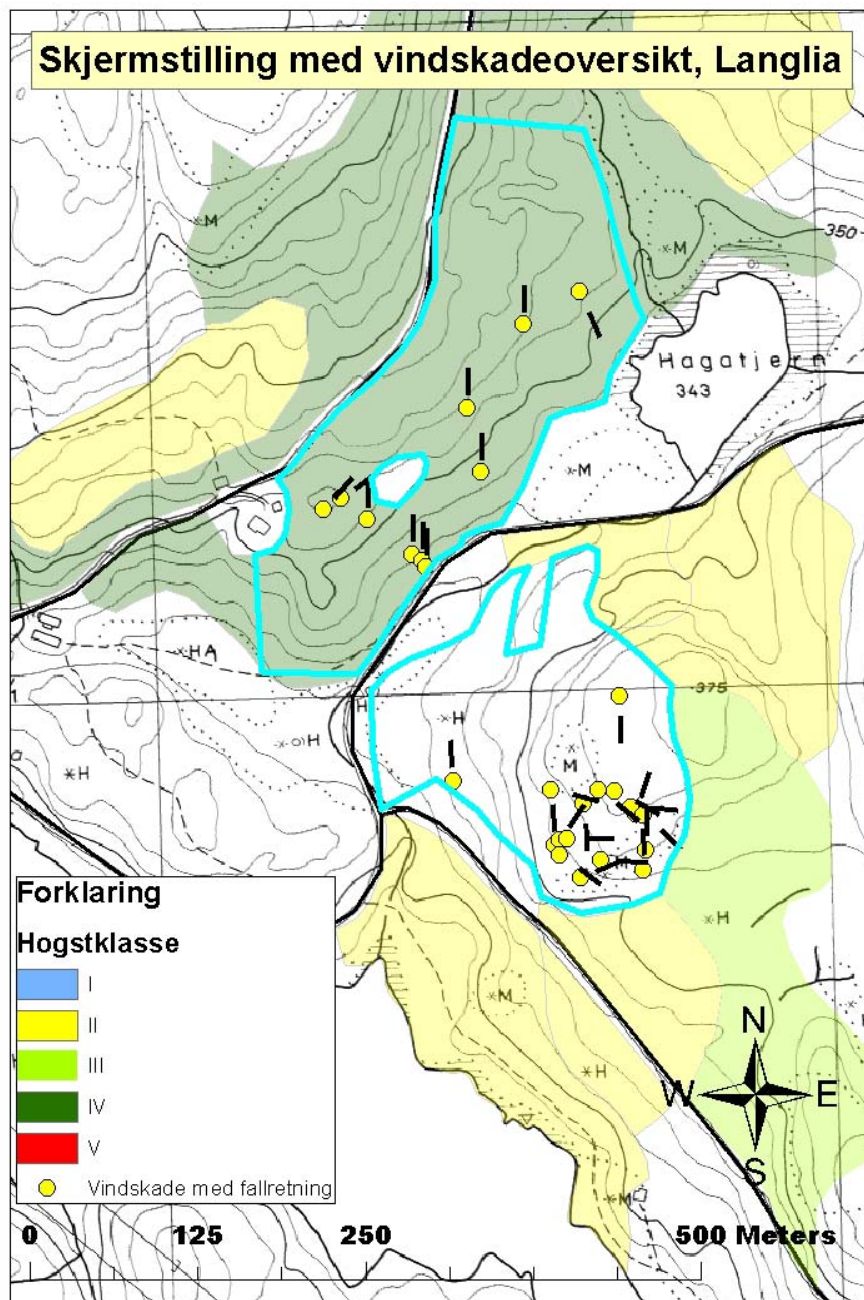
4.1.1 Forklaring til kart

På påfølgende sider er det en rekke kart over skjermstilte bestand med vindskadeoversikt og fallretning inntegnet. Den blå streken rundt bestandet viser hvor grensen for skjermstilt areal er satt, selv om bestandet kan være definert som et større areal. Det er viktig å huske på at dette ikke er bestandsgrensen, men en grense der arealet utenfor ikke kan defineres som skjermstilling.

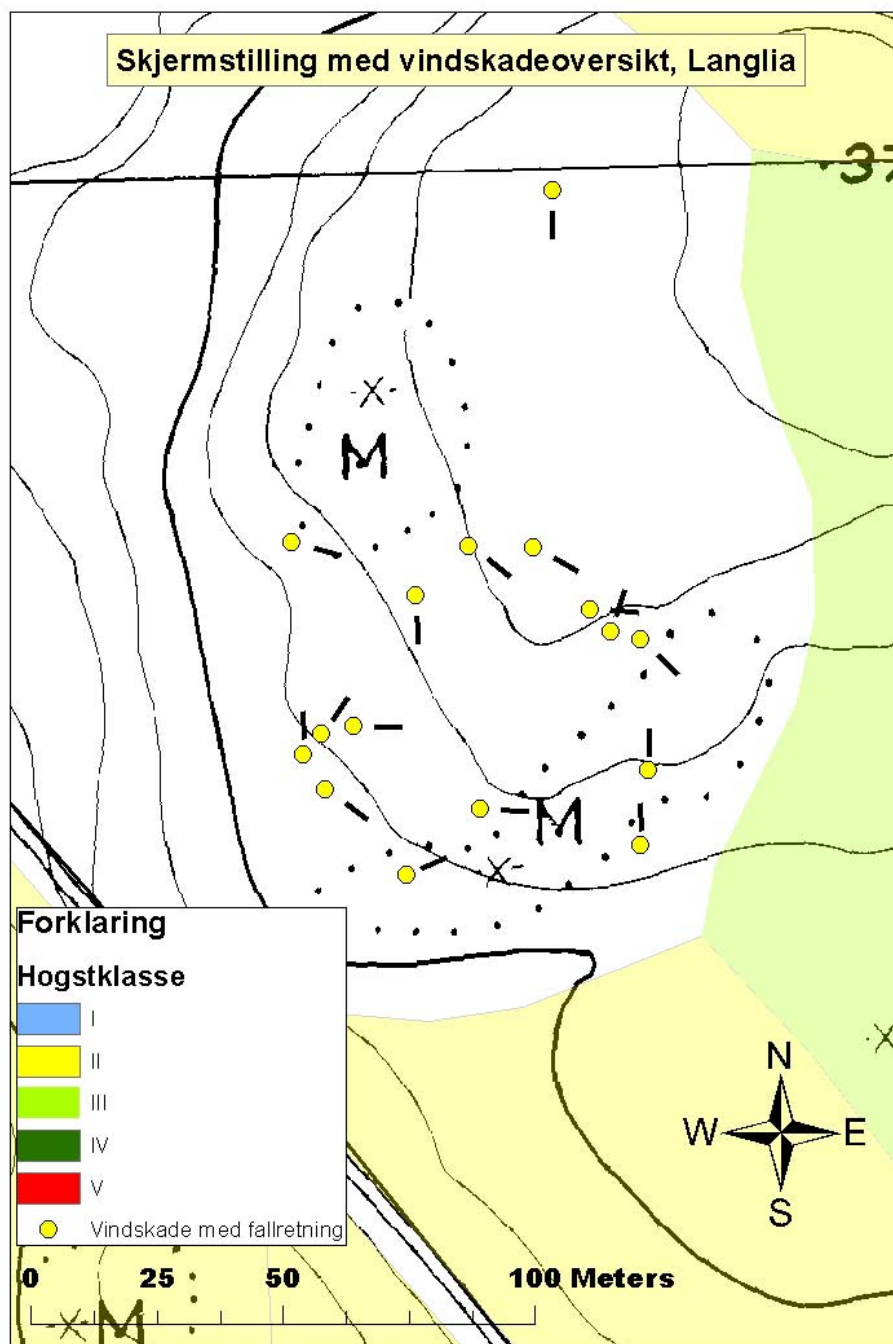
Dette kan være buffersoner mot bekker og vann eller andre arealer som ikke var skjermstilt i bestandet av forskjellige grunner som for eksempel terreng og fremkommelighet.

Økonomisk kartverk (Øk) og hogstklasse er transparent slik at høydekurver og annen informasjon fra Øk er mulig å se igjennom hogstklassen.

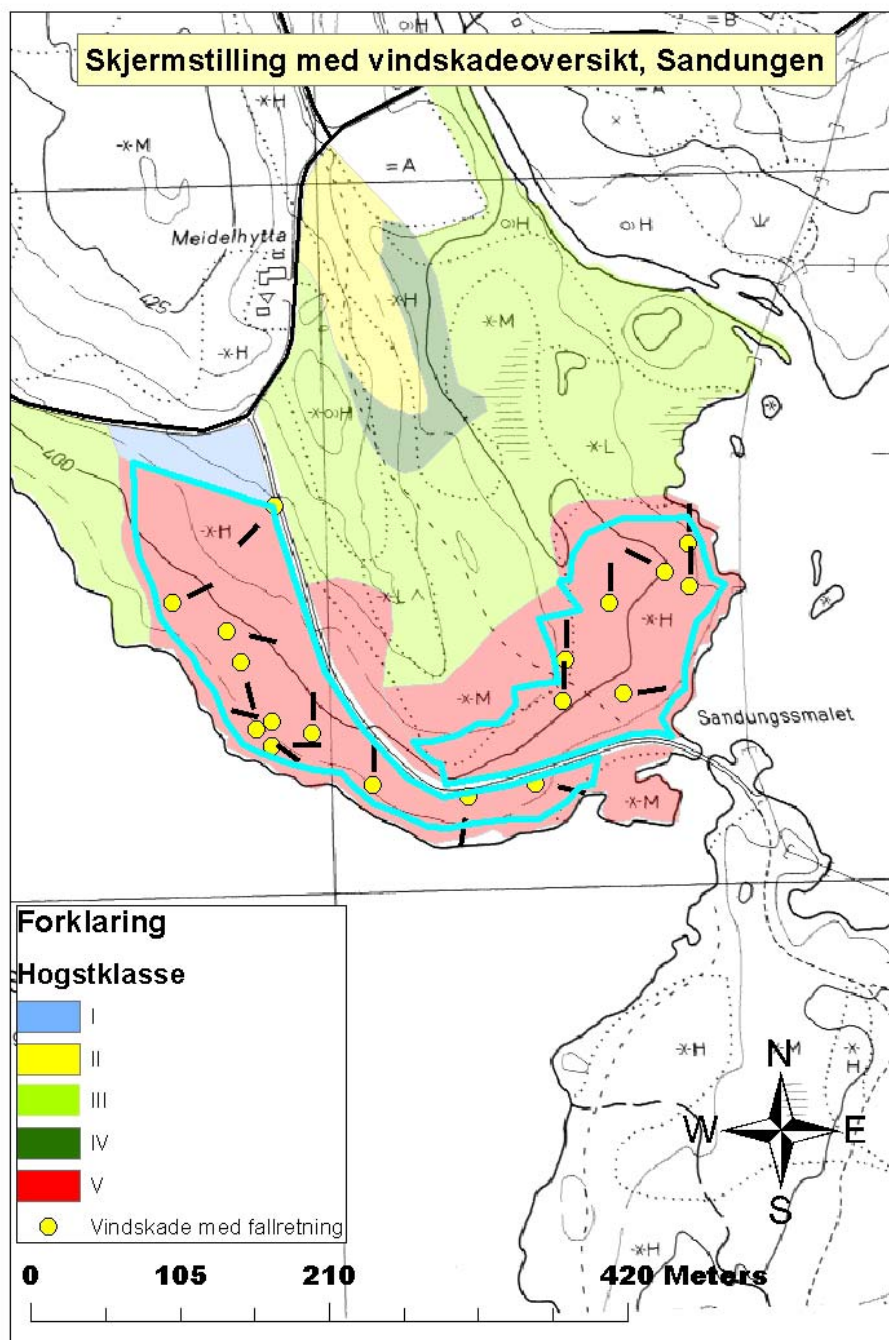
De gule punktene i kartet indikerer rotplasseringen til vindskaden i bestandet, enten det er stammebrekk eller vindfall. I de tilfellene det var mulig å registrere fallretning, er fallretningen vist som en svart strek ut fra roten. Det kan forekomme gule punkter uten streker som var stammebrekk uten registrert fallretning. Hvite felter uten høydekurver er i alle tilfeller vann, men på Kart 9 er nederste del hvit, i mangel på bestandsinformasjon og ØK.



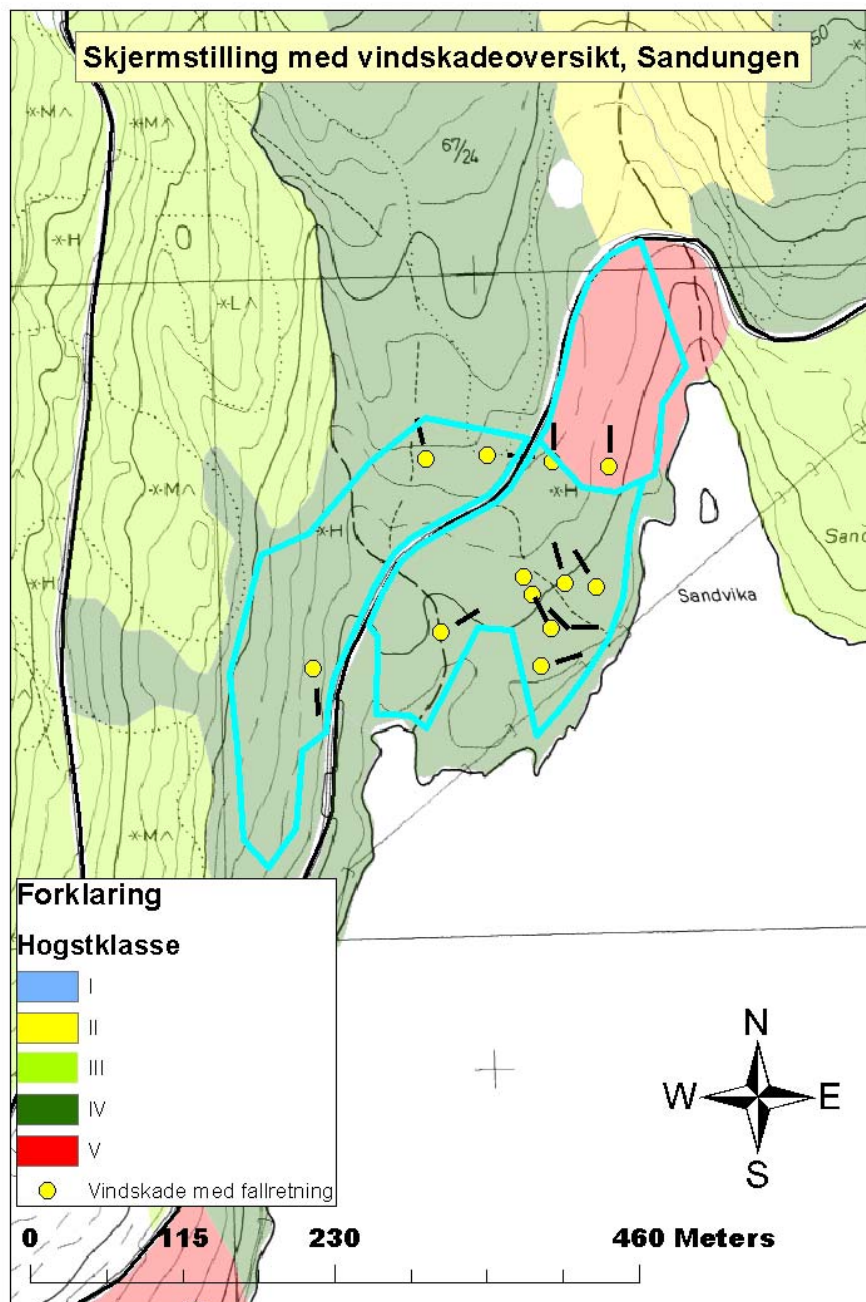
Kart 2. To bestand i nær tilknytting til hverandre, men vindskadefordelingen er totalt forskjellig. I det øverste bestandet lå de fleste vindskadene mot nord, mens i det nederste bestandet er det ingen klar sammenheng i fallretning. Klyngeansamlingen i nederste bestand kan være et tilfelle av høy vindeksponering og turbulens på kollen. Se Kart 3 for en bedre oversikt over klyngeansamlingen.



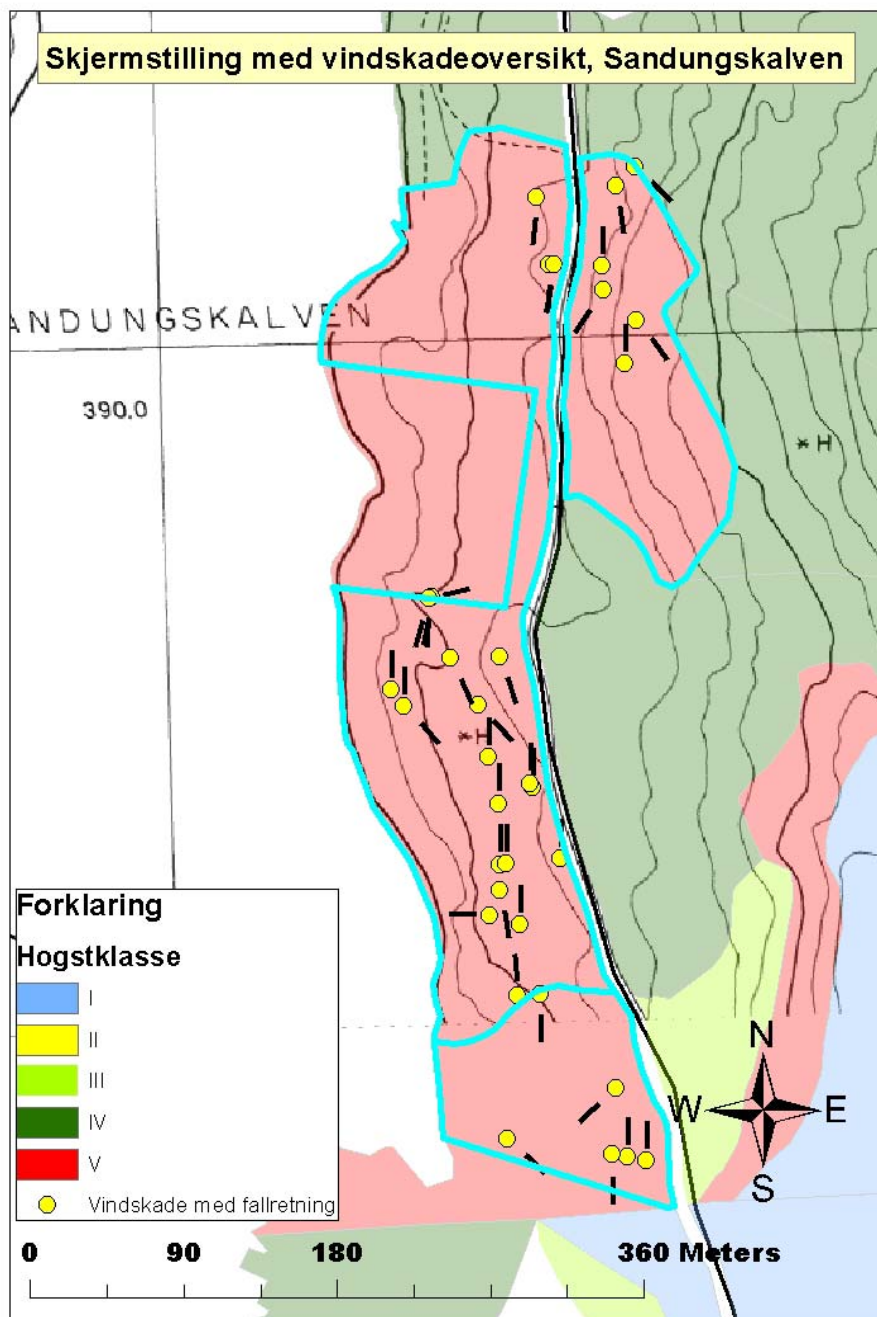
Kart 3. Klyngeansamlingen i nederste bestand på kart 2 er forstørret opp her for å få en bedre oversikt over fallretningene. Hovedtyngden av vindfallene lå mot østlig retning, men det er ingen klar tendens i klyngen. Mot sørvest var det meget eksponert uten at det ser ut til å ha stor innvirkning på fallretning.



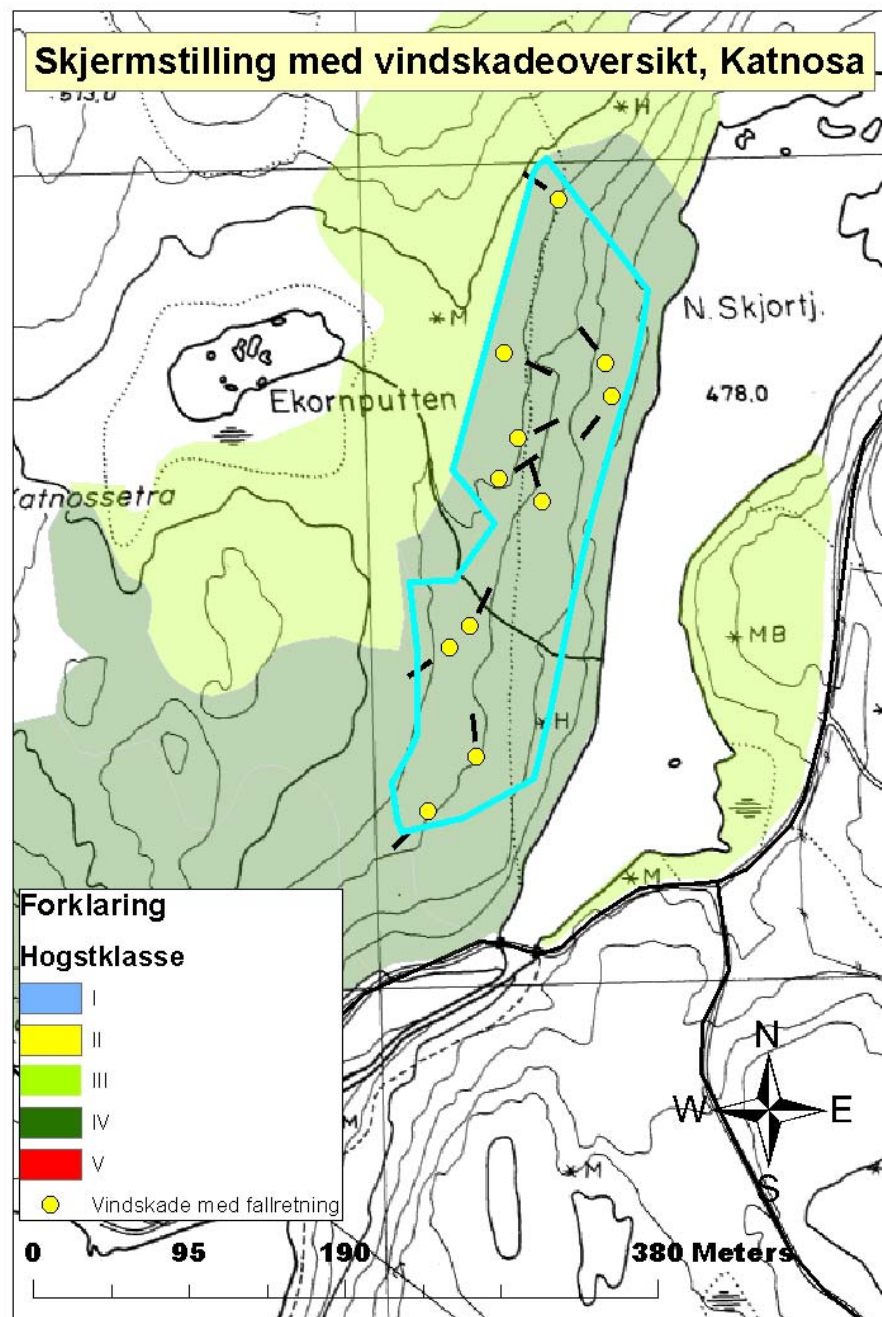
Kart 4. Her ligger to bestand i meget nær tilknytning til to store vann (vesle og store Sandungen). Vind over større vann kan oppnå høyere hastigheter enn over kupert terreng, men fallretningen i disse to bestandene så ikke ut til å ha blitt påvirket i større grad av nær tilknytting til vannet.



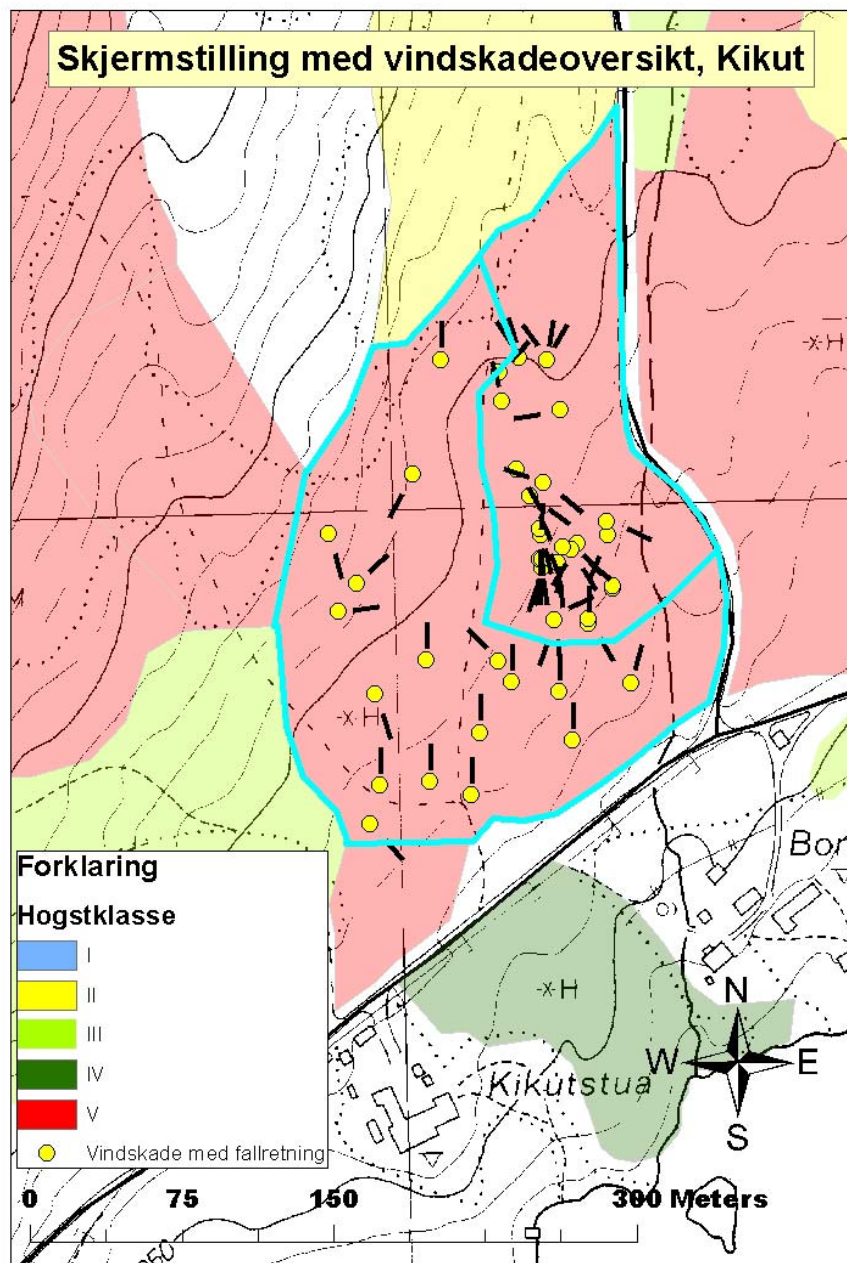
Kart 5. Oversikt over tre nabobestand der vindfallandelen var meget forskjellig. Bestandet i hogstklasse V, var skjermstilt i 1997 og 2005, mens bestandene i hogstklasse IV var skjermstilt i 2005. Det kommer frem av kartet at andre faktorer enn alder på skjermstilling kan ha større innvirkning på vindfallfrekvensen.



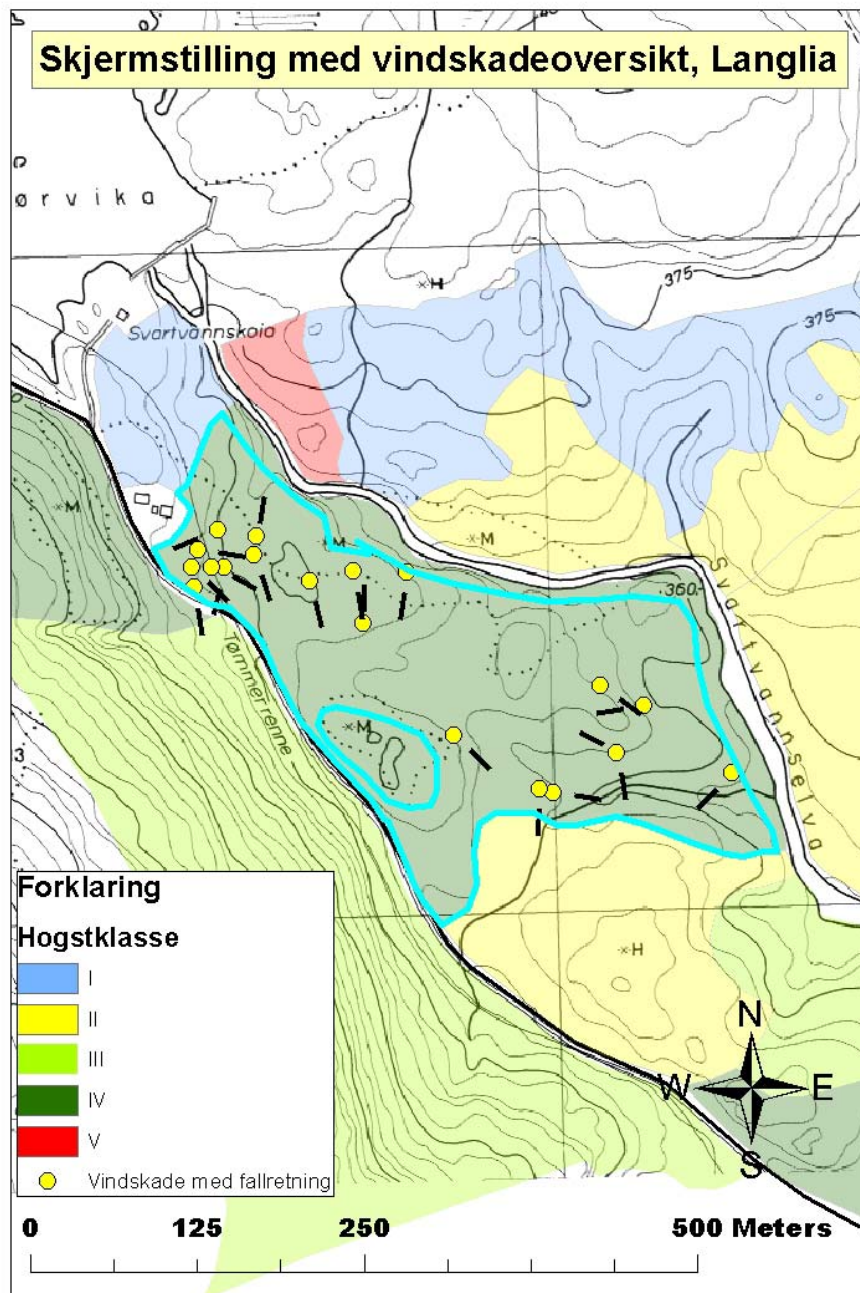
Kart 6. Stor variasjon i fallretning på vindskader i disse to bestandene, og vindskadene lå hovedsakelig litt opp i lia fra vannet. Hogstklasse I helt sørøst på kartet har vært et mislykket forsøk på skjermstilling satt i 1996. Så si hele dette bestandet blåste ned i 2000, mens skjermstillingene i hogstklasse V (med vindskaderegistreringer) er fra 2001.



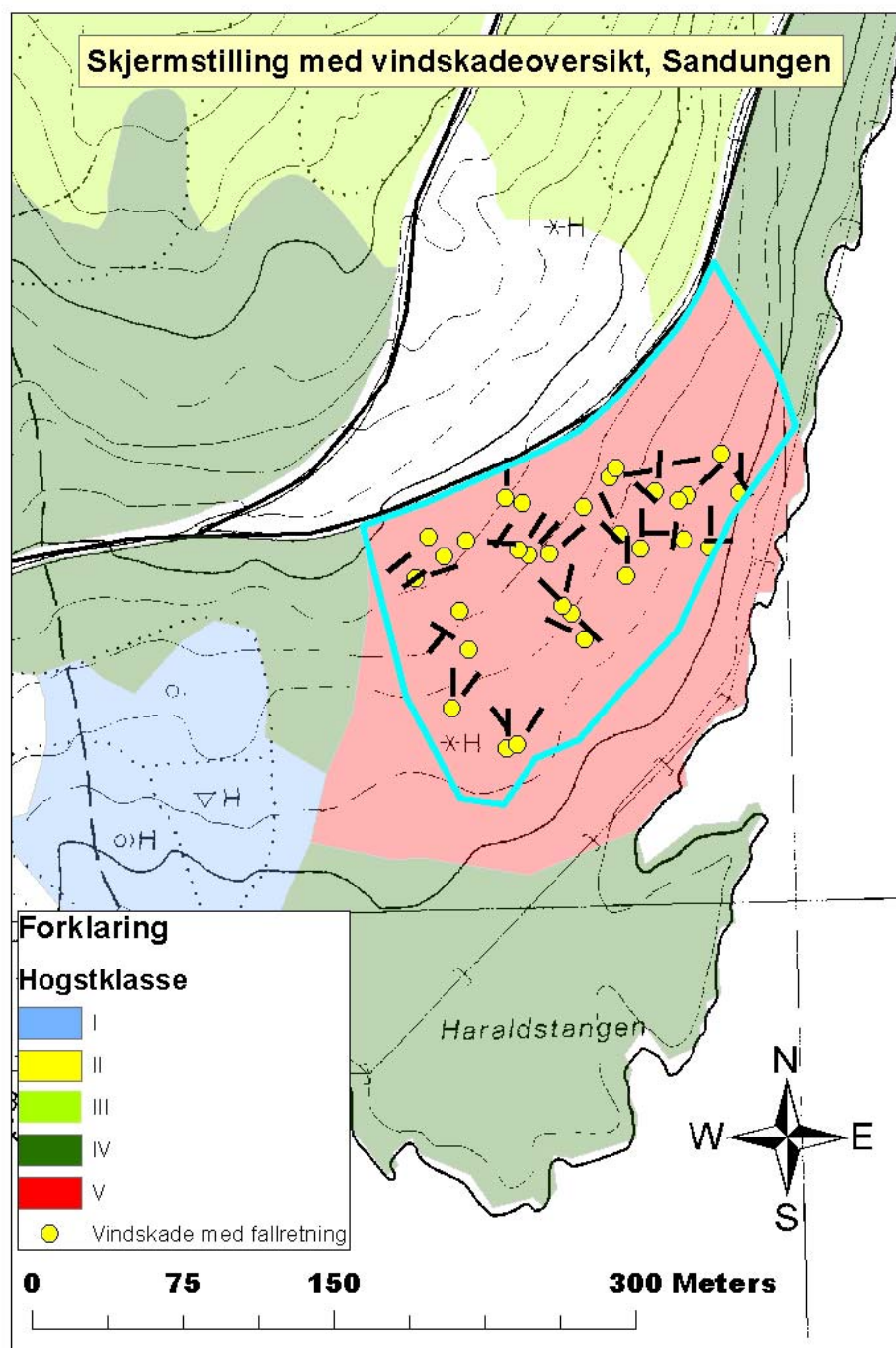
Kart 7. En østvendt li uten en klar tendens i fallretning på vindskadene. Igjen fordelte vindskadene seg hovedsakelig inne i bestandet og opp i lia.



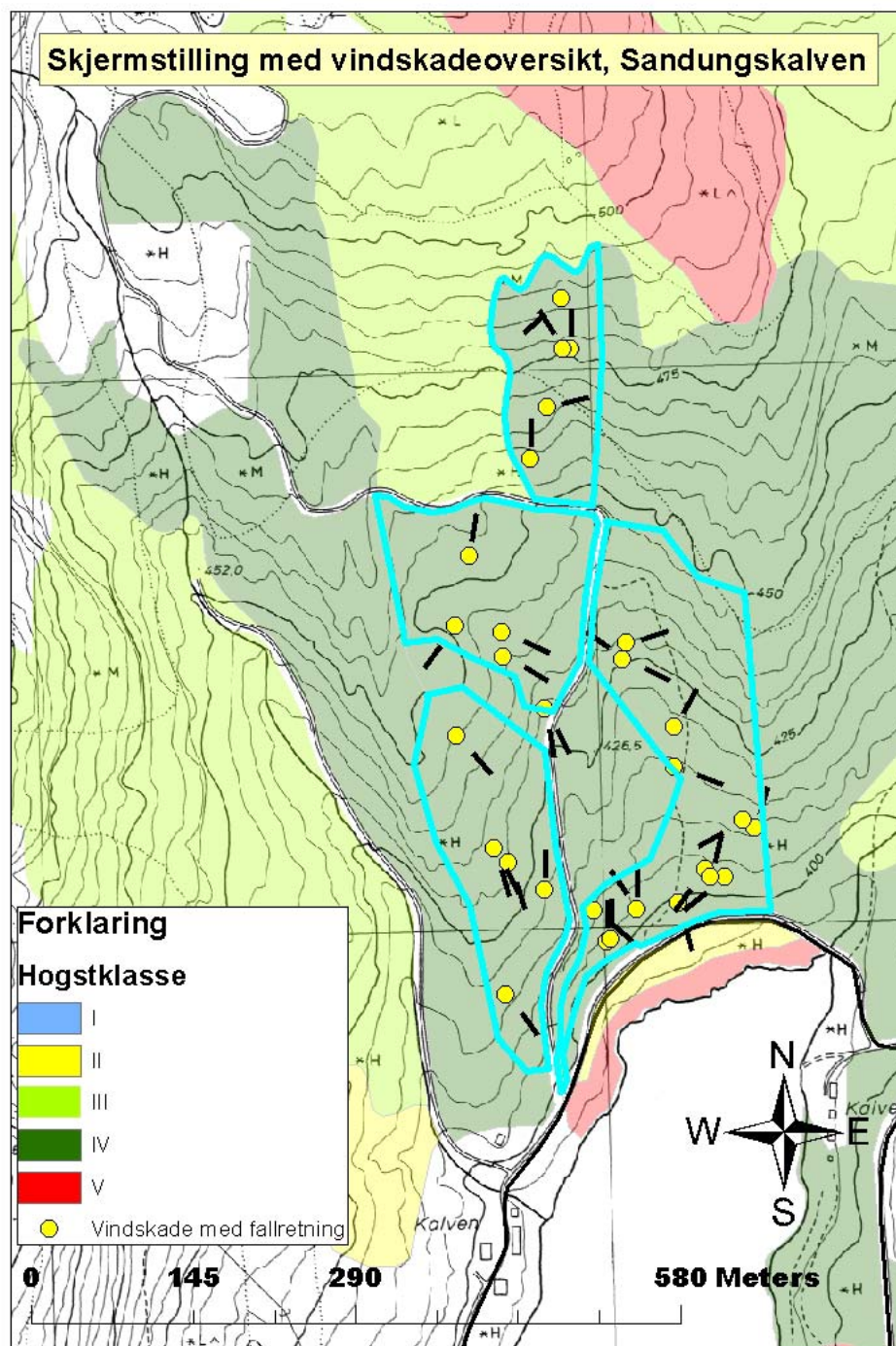
Kart 8. Vindskadene lå mot nord i den delen som ikke var vindfallhogd (øvre adskilte del i øst, med uklar fallretning er hogd). Dette kan komme sterke vinder over Bjørnsjøen fra sør, som slo hardt inn mot dette bestandet. I den delen som er vindfallhogd er det ingen klar tendens, men turbulens og andre faktorer kan ha hatt innvirkning på bestandet. Den delen av bestandet som er vindfallshogd ligger også noe mer utsatt til enn resten av bestandet.



Kart 9. I dette bestandet kan det være en antydning til turbulensproblematikken. En bekk med buffersone og nylig hogde nabobestand ligger i nær tilknytning. Det er også en bratt lise mot vest, noe som også kan ha en innvirkning på vindfallfordelingen. Nordvest i bestandet er det en åpning på ca 50 meter pga. et hyttetun som kan ha hatt innvirkning på ansamling av vindfall der.



Kart 10. Denne skjermstillingen ligger i en liten lisse ned mot Sandungen og det var uregelmessig tetthet i øvre og nedre del av bestandet. Her er det ingen klar indikasjon på fallretning og tilfeldige variable kan spille en større rolle.



Kart 11. Sørvendt li med to bestand på hver sin side av veien, og med en høydeforskjell på 200 meter. Ingen klar indikasjon på fallretning.

4.2 Vindskadefordeling generelt

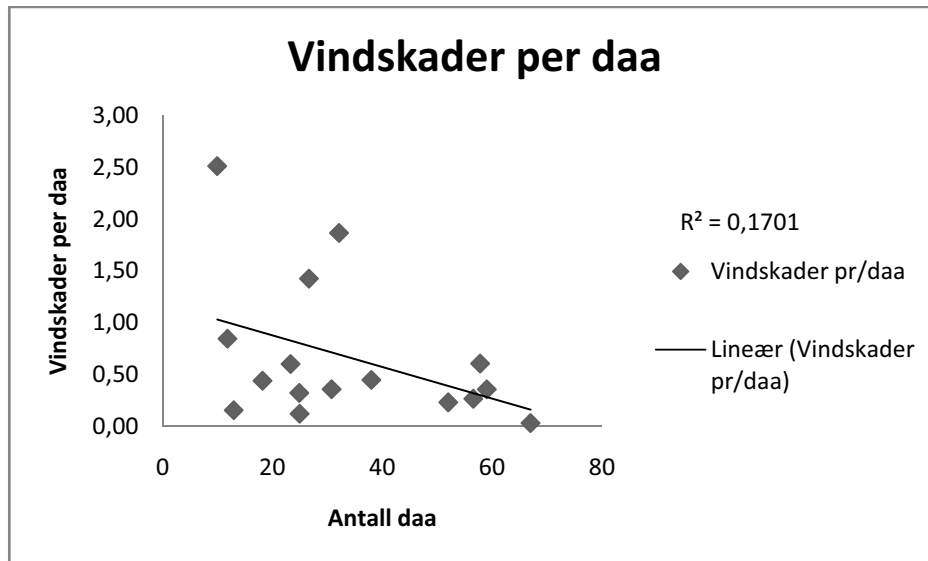
Felles for de fleste bestand var at vindfallene fordelte seg tettere inne i bestandet enn langs bestandskanten. Det var stor variasjon i fordelingen og retningen på de enkelte vindfallene mellom og innad i bestand. Vindskadene så ut til å fordele seg tettere oppe i lia enn helt nede ved libunn eller vannkant. Tilfeldige variabler har mest sannsynlig stor innvirkning på vindfordelingen og retningen.

På kart 2 vises to bestand i nær tilknytting, men vindfallsfordelingen var totalt forskjellig. Andre bestand i nær tilknytting hadde også store forskjeller i antall vindfall og nabobestandet kunne ha langt flere vindfall, se kart 5. Resultatet viste ingen storskala vindskader som for eksempel der hele bestand er blåst ned, men det har vært tilfeller av dette fenomenet i andre bestand i nær tilknytting til registreringsbestandene i samme periode. Derimot har det forekommet en del småskalavindskader som for eksempel turbulens inne i enkelte bestand. Rotvelt og/eller stammebrekk var tilstede i alle bestand. Enkelte bestand med bestandskant mot store vann, ser ikke ut til å ha en større frekvens av vindskader enn andre bestand som lå mer i le for vinden. Stort sett var det en ubehandlet buffersone mot vann og bekker.

4.3 Bestandsvariabler

På bestandsnivå var det i gjennomsnitt for de 16 bestandene 0,66 vindskader per daa. I en skjermstilling med 200 trær per ha. vil da vindskadene utgjøre 3 %. Grunnflatesummen på gjenstående trær var i gjennomsnitt 22 m²/ha.

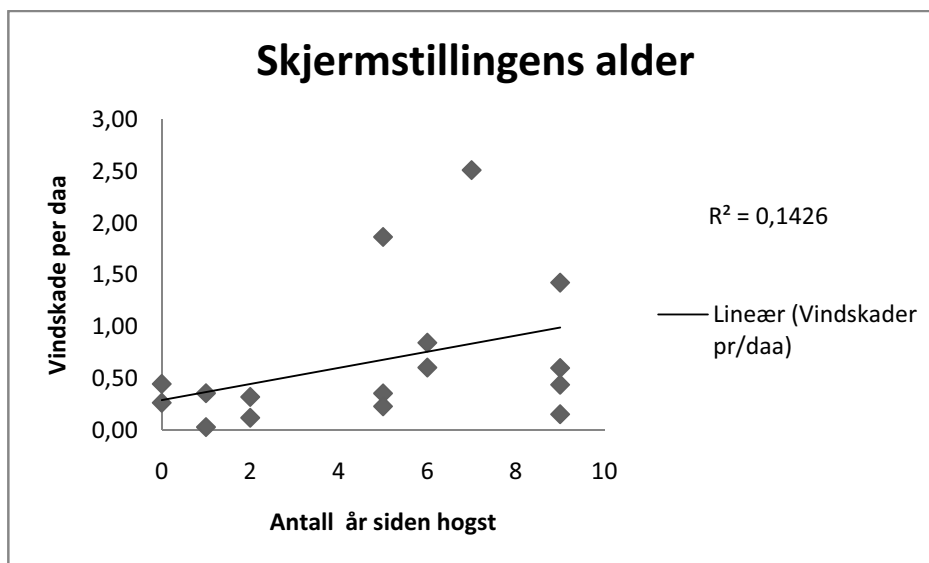
Vindskader per daa. i forhold til bestandets størrelse vises i figur 6.



Figur 6 - Fordeling av vindskader per daa etter bestandets areal. Det er viktig å merke seg at resultatene bygger på 16 bestand med stor variasjon i størrelse og eksponering, slik at figuren må leses noe kritisk.

Antall vindskader per daa varierte mellom bestandene, men resultatet kan tyde på en svak nedadgående trend jo større bestandet var. Et lite bestand med høy eksponeringsgrad (for eksempel på en kolle) kan ha flere vindfall enn et stort bestand som ligger i le, slik at 16 bestand ikke gir et fullstendig bilde av hva som faktisk kan være tilfelle i skogen.

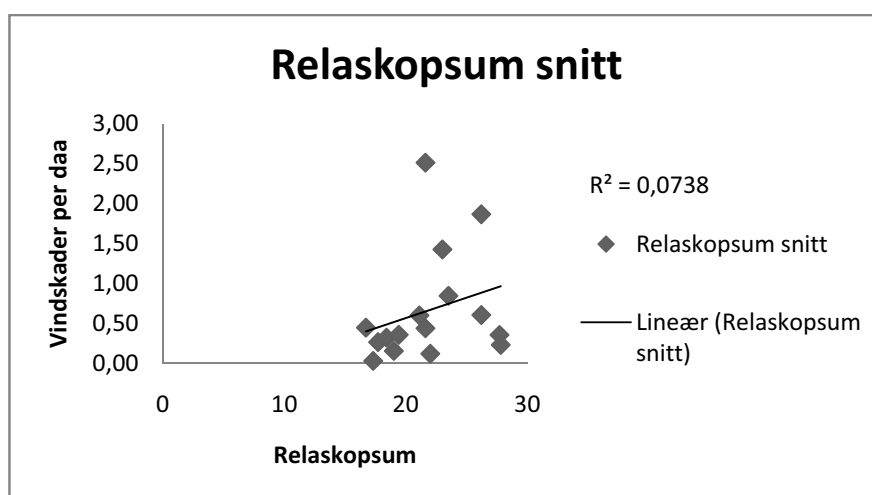
Antall år siden skjermstillingshogst så ut til å ha litt betydning for antall vindfall i bestandet, se figur 7.



Figur 7 – Vindfallsfordeling per daa, antall år etter skjermstillingshogst.

Resultatet fra figur 7 viste en svak tendens (ikke statistisk signifikant) mot at for hvert år skjermen blir eldre, økte antall vindfall med 8 %, se tabell 1. Det var færre vindfall i enkelte eldre skjermstillinger enn i de helt ferske, men grunnlaget for disse resultatene var fortsatt bare 16 bestand, noe som kan ha en innvirkning.

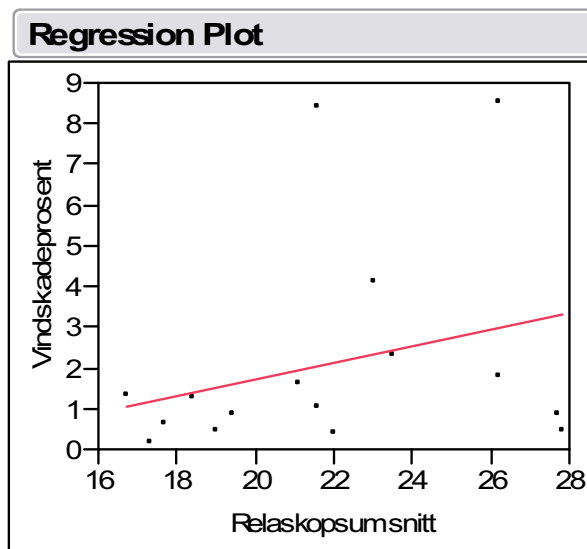
Relaskopsumsnitt for bestandene og vindfallsfrekvens i vindskader per daa vises i figur 8.



Figur 8 – Vindfallsfordeling etter relaskopsumtetthet i bestandet.

Ut ifra Figur 8 var det en svak trend til at høyere relaskopsum ga flest vindfall, men forklaringsvariabelen er såpass lav i denne variabelen at den trolig ikke har stor innvirkning på vindfallsfrekvensen. Spredningen i relaskopsummen strakk seg fra 17 til 28 og i tillegg var det enkelte bestand med mange vindfall per daa som kan påvirke denne linjen betraktelig.

Variabelen vindfall per daa var avhengig av opprinnelig tetthet før skjermstillingshogsten. Tette bestand kan være mindre tilpasset vind, samtidig som høy utgangstetthet i bestandet kan kreve en tettere skjermstilling. Dermed var det en mulighet for flere skjermtrær i de tettere bestandene, noe som også kan føre til at flere trær kan bli utsatt for vindskader. En mulighet for å korrigere dette, er å telle opp antall trær i bestandet, eller estimere antallet på bakgrunn av prøveflater. Siden denne oppgaven ikke har foretatt registreringer på stående trær, er antall trær på prøveflatetaksten fra NORSKOG brukt som grunnlag for å estimere antall trær i bestandet og dermed regne ut en vindskadeprosent, Se figur 9.



Summary of Fit

RSquare	0,078414
RSquare Adj	0,012586
Root Mean Square Error	2,637971
Mean of Response	2,09287
Observations (or Sum Wgts)	16

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	8,28940	8,28940	1,1912
Error	14	97,42450	6,95889	
C. Total	15	105,71390		
				Prob > F
				0,2935

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	-2,320797	4,097395	-0,57	0,5801
Relaskopsumsnitt	0,2022299	0,185291	1,09	0,2935

Figur 9. Estimert vindskadeprosent i bestandet er brukt istedenfor vindfall per daa og viser tilnærmet samme resultat. Dog er dette verken statistisk signifikant eller har en høy forklaringsverdi.

Tabell 1 viser en oversikt over ulike variable der hver enkelt bestandsvariabel er testet mot vindskader per daa med regresjonsanalyse for de kontinuerlige variabler og variansanalyse for klassevariabler.

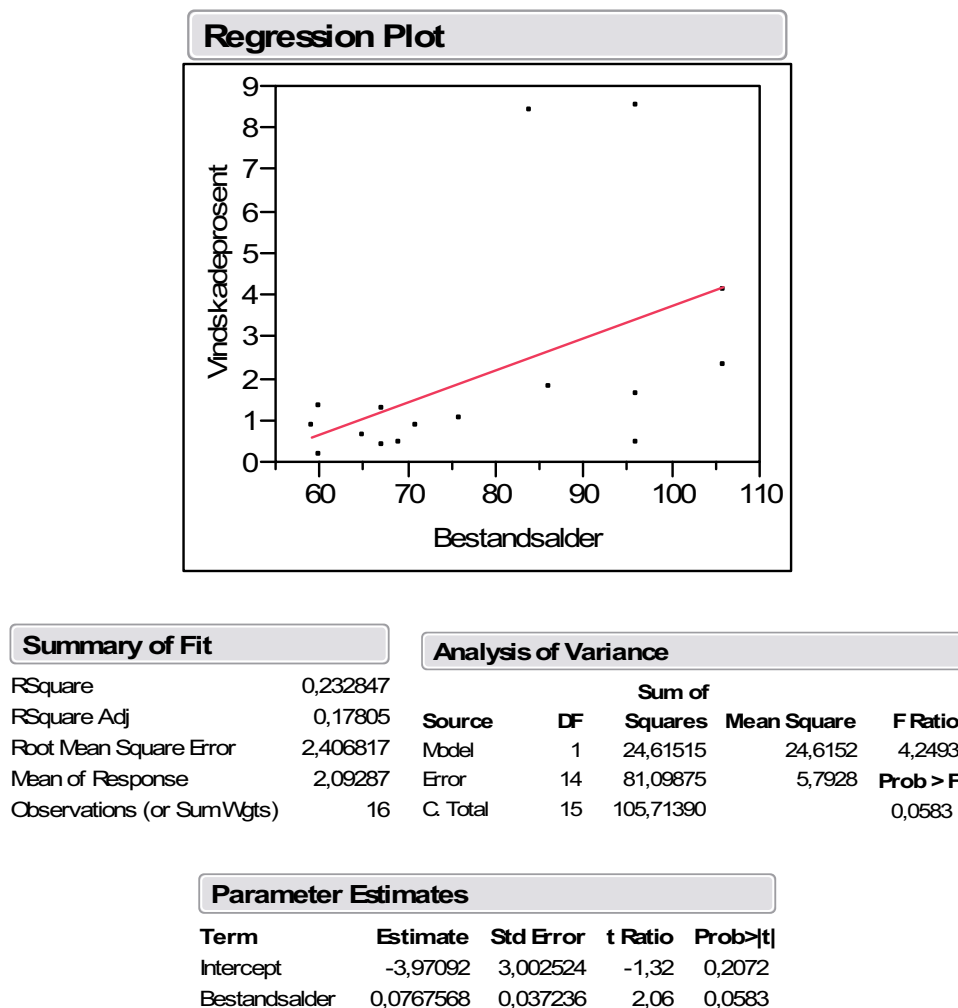
Tabell 1 – Oversikt over ulike bestandsparemetere testet mot vindskader per daa. Vindskader per daa er fast avhengig variabel (y).

KONTINUERLIG VARIABLE	R ²	p-verdi	F- ratio	Parameter estimat	Std error
Skjermalder	0,142	0,149	2,33	0,077	0,051
Antall inngrep	0,017	0,6254	0,25	-0,191	0,383
Bonitet	0,083	0,277	1,28	-0,107	0,095
Bestands alder	0,275	0,036	5,33	0,021	0,009
M.o.h	0,08	0,285	1,23	0,004	0,004
Terrenghelling	0,015	0,643	0,22	-0,015	0,032
Relaskopsum	0,073	0,308	1,12	0,051	0,048
KLASSEVARIABLE					
Vegetasjonstype	0,043	0,75	0,3		
Storbregne				0,609	0,19
Småbregne				0,161	0,25
Blåbær				-0,224	0,31
H.kl. Tetthet	0,107	0,22	1,68		
A				-0,227	0,174
B				0,604	0,174
H.kl.	0,06		0,9		
IV				-0,166	0,175
V				0,682	0,175
Terrengtype	0,08	0,58	0,56		
1 - lside				-0,16	0,27
6 - Platå				0,4	0,38
8 - Annet (ved vann)				0,76	0,25

Som det fremgår av tabell 1, ble det funnet svake sammenhenger mellom bestandene og det var kun bestandsalder som ga signifikant verdi (R² 0,28, p 0,04). Dette indikerer at eldre bestand er mer utsatt for vindskader, og at antall vindskader per daa øker med 2 % hvert år bestandet ble eldre.

Antall inngrep, bonitet, høyde over havet, terrenghelling og relaskopsum viste så lave forklaringsverdier i resultatet, slik at disse ikke kommenteres videre, se tabell 1. Det samme gjelder for klassevariablene på bestandsnivå.

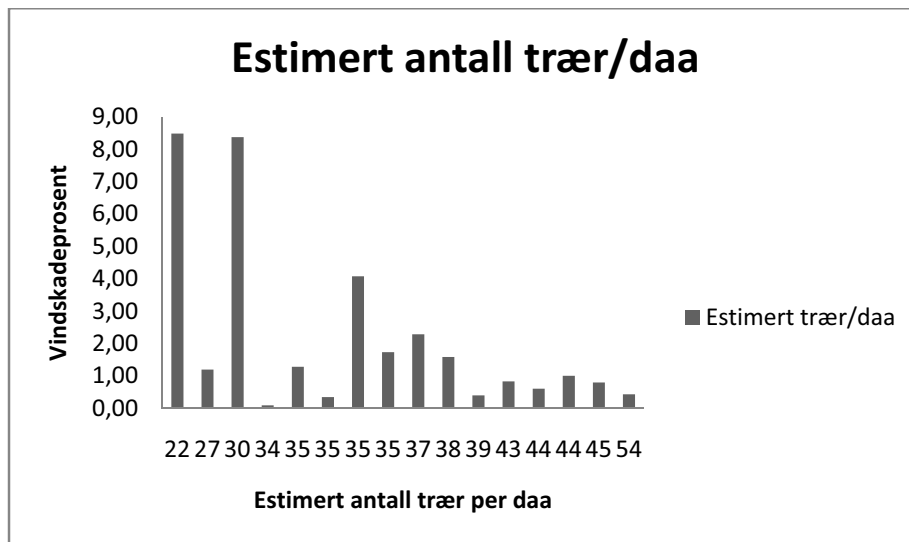
Det er også testet om estimert vindskadeprosent og bestandsalder ga samme resultat som vindskader per daa og bestandsalder, siden denne variabelen var den mest interessante av bestandsvariablene, se figur 10.



Figur 10. Fordeling av vindskadeprosent etter bestandsalder. To observasjoner drar regresjonslinjen opp, men disse er faktiske bestand med mange vindfall og skal være med.

Forklaringsvariabelen var tilnærmet det samme som for vindskade per daa, men vindskadeprosenten økte her med 7 % årlig, (ikke statistisk signifikant).

Estimert antall trær per daa og vindskadeprosenten kan sees i figur 11.

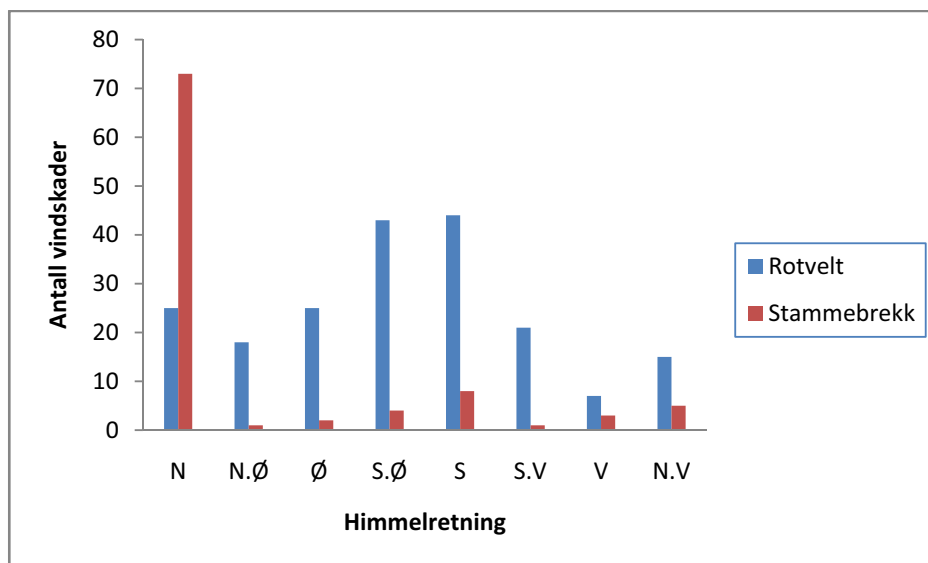


Figur 11. Tettere skjermstillinger ser ut til å ha færre vindskader

Figur 11 kan tyde på at tettere skjermmer har mindre vindfall, men beregningene er på bakgrunn av estimerte verdier, noe som også kan forklare tettheter over 40 trær per daa. Resultatet er statistisk signifikant (R^2 0,39, p-verdi 0,01). Dette var motsatt av resultatet fra relaskopmålingene, der høy relaskopsum ga flest vindfall, dog er sistnevnte ikke statistisk signifikante, noe som kan forklare denne forskjellen.

4.4 Vindretning

Vindskader fordelt etter himmelretning fra alle bestandene samlet, vises i figur 12.



Figur 12 – Vindskadefordeling etter himmelretning, i antall observerte skader (n=295).

Ut ifra figur 12 lå de fleste rotveltene mot sørlig/sørøstlig retning, noe som kan indikere en farlig vindretning fra nord/nordvest.

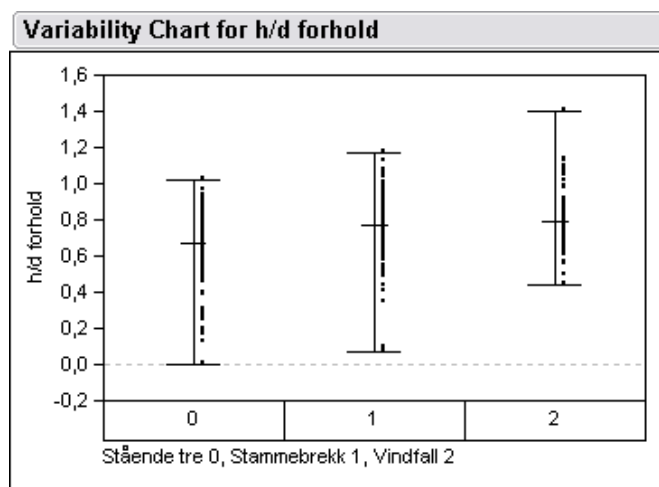
For stammebrekkene er situasjonen en annen. De fleste stammebrekkene lå mot nord, noe som kan indikerer en farlig vindretning fra sør. Variabelen toppbrekk lå også innunder variabelen stammebrekk og utgjør en viss andel totalt i denne gruppen.

En oversikt over vindretninger i perioden 1997 – 2005 er vist i vedlegg 3. Det fremkom av denne oversikten at dominerende vindretning er fra nordøst og det var også fra denne retningen hovedtyngden av de sterke vindene kom. Dette samsvarte ikke med resultatet fra fallretninger registeret i denne oppgaven. Vedlegg 3 viste også at det har vært en del vind fra sør/sørvestlig retning.

Et interessant funn er vindoversikten for 2006, vedlegg 4. Dominerende vindretning har skiftet fra nordøst til nordvest, noe som samsvarte med fallretning på hovedtyngden av vindfallene i denne oppgaven.

4.5 Enkelttreresultater

På enkelttrenivå er det testet ut om høyde – diameterforholdet (h/d) på vindskader er forskjellig fra stående trær (prøvetrærne til NORSKOG). Det er naturlig å sammenlikne vindskader mot stående trær siden dette er de trærne i bestandet som fortsatt står etter ulike vindepisoder og dermed er bevist mer stormstabile. En oversikt over h/d -forholdet er vist i figur 13.



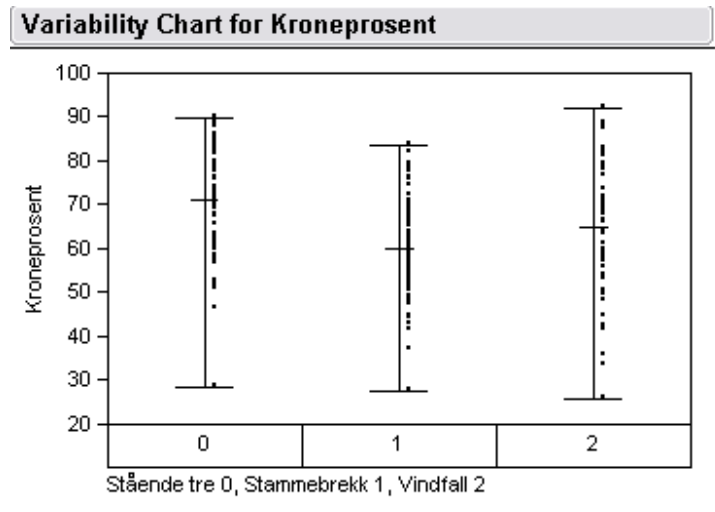
H/d - forhold	Stående tre	Stammebrekk	Vindfall
R^2	0,118		
F- ratio	30,91		
Parameter estimat	0,666	0,743	0,763
Standard error	0,009	0,007	0,011
P- verdi	0,0001	0,0001	0,0127

Figur 13. Oversikt over høyde – diameter forholdet for henholdsvis stående trær, vindfall og stammebrekk. Øverste del av figuren viser spredningen på observasjonene med maks, minimum og gjennomsnittsverdier, mens nederste del viser standardavviket. Resultatet er statistisk signifikant og forklarer 12 % av sammenhengen i modellen.

Stående trær viste et lavere h/d forhold enn vindfall og stammebrekk, som nærmer seg grensen for hva som er ansett som stormsterkt på generelt nivå. I gjennomsnitt har trær med vindskade et

h/d forhold under 0,8, men det kan selvfølgelig være andre faktorer en h/d forholdet som er avgjørende for om treet har falt som for eksempel råte.

Kroneprosenten var også en interessant variable på enkeltnivå og vises i figur 14.



Kroneprosent	Stående tre	Stammebrekk	Vindfall
R^2	0,14		
F- ratio	17,026		
Parameter estimat	71,211	65,331	59,811
Standard error	1,213	0,8577	1,128
P- verdi	0,0001	0,0001	0,0001

Figur 14. Kroneprosenten er 11 % høyere for stående trær enn for vindfall. Kroneprosenten er en viktig variabel for å vurdere stormstabiliteten til enkelttrærne.

Resultatet viser at en høyere kroneprosent, gjør treet bedre rustet mot vindskader. Stammebrekk har noe større spredning enn stående trær og vindfall, noe som kan ha sammenheng med at det ikke alltid var mulig å registrere topp på stammebrekk. Vindfall hadde i gjennomsnitt 11 % kortere krone, mens stammebrekk hadde 6 % kortere krone enn stående trær.

Av de resterende variabler på enkeltnivå var det få resultater av større interesse, grunnet lave forklaringsverdier, se tabell 2. Høyde i meter gir høyest forklaringsverdi i tabell 2, men

kroneprosenten er en mer dekkende variabel siden denne tar hensyn til at toppen kan være borte. Kroneprosenten hadde også en høyere forklaringsverdi enn høyde i meter.

Tabell 2. Sammenlikning av ulike variable for stående trær, stammebrekk og vindfall.

	Stående tre	Stammebrekk	Vindfall
DBH			
R²	0,06		
F- ratio	25,253		
Parameter estimat	31,987	28,57	26,425
Standard error	0,438	0,438	0,637
P- verdi	0,0001	0,0001	0,0008
Høyde meter			
R²	0,107		
F- ratio	31,937		
Parameter estimat	22,78	21,694	20,281
Standard error	0,359	0,28	0,373
P- verdi	0,0001	0,0001	0,0001
Vegetasjonstype			
R²	0,028		
F- ratio	16,85		
Parameter estimat	16,122	15,515	15,2373
Standard error	0,108	0,0986	0,1364
P- verdi	0,0001	0	0,042

5 Diskusjon

Vindskadefordeling i bestandet

Resultatene fra vindskadefordelingen tyder på at det er en større tetthet av vindskader inne i bestandet enn langs bestandskanten. Trærne i kanten av bestandet kan være bedre tilpasset vindbelastning opp igjennom årene, og kan derfor være mer vindresistente. Dette kan være en grunn til at det ikke var like mange vindskader i bestandskant. En undersøkelse Cucchi *et al.* (2004) på strandfuru fant at på aurhelle var kanttrærne 20 % mer resistente mot å bli dratt overende, og understøtter dermed kanttre argumentet.

Det var også en stor variasjon i antall vindskader og fordelingen av retningen på vindskadene. Mulige årsaker til dette kan være variabler som turbulens, terrengutforming, vindeksponering, råteangrep i bestandet, grunnvannstand og utforming av skjermstillingen. I litteraturen er det ikke skrevet om vindskadefordeling i skjermstillinger av gran og det er derfor ikke mulig å se om dette er en generell tendens i skjermstillinger.

I gjennomsnitt for de 16 bestandene var det 0,66 vindskader per daa. I en skjermstilling med 200 trær per ha. vil da vindskadene utgjøre 3 % per daa. Det er viktig å huske på at dette er i snitt og enkelte utsatte bestand kan selvfølgelig ha langt større skadeandel. En kritisk vurdering av eksponering og terrengutforming vil derfor være til hjelp med å senke vindskadeandelen i skjermstilte bestand. Totalt sett utgjør ikke vindskader store andelen i bestandet og er noe skogeier absolutt må kunne leve med ved en slik hogstform.

Turbulens er en faktor som er vanskelig, om ikke umulig å kvantifisere i felt. Terreng og hogstutforming i tilknytting til bestandet kan være viktige faktorer for å unngå horisontal turbulens. En tett bestandskant eller en ubehandlet buffersone kan føre til vertikal turbulens slik at det oppstår vindfall inne i skjermen. Et slikt hull i kronetaket kan føre til at påfølgende vinder får mer tak og gjør at større områder kan blåse ned inne i bestandet. En løsning for å unngå turbulens kan være å tenke på omkringliggende bestand og terrengutforming ved valg av skjermstilling som hogstform, noe også Holgén & Hånell (2006) anbefaler i sin studie. I bestandskanten kan det være hensiktsmessig å tynne slik at man unngår en tett bestandskant og fare for vertikal turbulens. Siden denne oppgaven og andre undersøkelser har registreringer fra relativt homogene terrengutforminger, bør eventuelle senere undersøkelser vurdere et bredere

spekter av skjermstillingslokaliteter i terrenget. Det kan være hensiktsmessig at skjermstilte bestand i ulike gradienter av høydedrag i lisen blir fanget opp i registreringen. Denne undersøkelsen har i større grad sett på skjermstillinger i nær tilknytting til store vann, og selv i et såpass homogent område er det store variasjoner mellom bestandene.

Råteangrep er en faktor som ikke er registrert i oppgaven og denne faktoren kan ha stor innvirkning siden trær angrepet av råte, er mindre resistente ovenfor vindskader. Et vindfall kan være inngangsport for råtesopper og dermed kan råtespredningen i bestandet være i gang. Dette kan føre til at et år faller angrepene trær for eksempel mot nord, mens neste år er andre trær angrepet og faller kanskje dette året mot sør. Dette gjør at vindfallsbildet blir ytterligere komplisert å tolke.

Bestand med nær tilknytting til hverandre har vist å ha store forskjeller i vindskadefrekvens. Dette kan skyldes flere årsaker som ikke feltregistreringene i denne oppgaven har klart å fange opp, men mest sannsynlig skyldes det i stor grad tilfeldigheter. Skjermstillinger i nær tilknytting, men med ulikt skjermstillingsår viste også forskjell i antall vindskader. I et av disse tilfellene hadde den skjermstillingen med to inngrep færrest vindskader, men nabobestandet som var skjermstilt en gang hadde også lite vindfall. Det også var en del vindskader også i helt ferske skjermstillinger, og det er mulig at de fleste vindskadene oppstår raskt etter skjermstillingshogsten.

Holgén & Hånell (2006) skriver i sin artikkel at vindfallsfrekvensen varierte fra 0-70 % med et gjennomsnitt på 40 % i sine felter. Flest vindfall inntraff de tre første årene etter hogst. Noe som kanskje også var tilfelle i Nordmarka. Resultatene fra undersøkelsen er gjort i skjermstillinger på torvmark, noe som kan forklare den høye vindfallsfrekvensen. Trehøyden lå rundt 20 meter og det var ingen forberedelseshogster før skjermstillingen. Ifølge resultatene deres var det ingen store forskjeller i vindfallsfrekvens mellom de ulike tetthetene i skjermstillingen, men trehøyden hadde en påvirkning på antallet gjenværende skjermtrær.

En annen og litt eldre svensk undersøkelse også på torvmark av Hånell & Ottosson-Lofvenius (1994) har også funnet høye vindfallsfrekvenser i skjermstillingene. Ved slutten av 6 års perioden var 43 % av trærne i de glisne skjermstillingene, og 38 % av trærne i de tettere skjermene blåst ned. De fant ut at 50 % av trærne blåste ned i løpet av de første to årene etter hogst. Dette

resultatet er noe påvirket av at skjermstillingen egentlig er en sterk tynning og ligger i nær tilknytning til store hogstflater.

Siden også denne oppgaven har funnet en stor andel vindfall også i ferske skjermstillinger, er det høyst sannsynlig at det er de første årene etter skjermstillingshogsten som er de mest kritiske også på andre vegetasjonstyper enn torvmark.

Det kunne vært interessant å dele opp vindskadene etter vindskade og nedbrytningsgrad for å se om dette ga en bedre oversikt over når de ulike vindskadene har inntruffet. En av hovedhensiktene med denne oppgaven var å se på fordelingen av vindfall i bestandet og en slik oppdeling av disse variablene ville ført til at kartene ville blitt overlastet med detaljinformasjon. Dette kunne ført til at fokuset falt bort fra selve fordelingen i bestandet. Nedbrytningsgraden er også for grovt inndelt for en hensiktsmessig gjennomføring av dette punktet, spesielt på nylig hogde skjærmer.

På kart 12 lå vindskadene mot nord i den delen som ikke var vindfallhogd. Hva som er årsaken til dette er fortsatt uklart. Turbulens kan være en årsak, at denne delen lå noe høyere enn resten av bestandet, kan også være en forklaring. Mest sannsynlig skyldes dette tilfeldigheter, som ikke er mulig å kvantifisere.

Utslagsgivende variabler for vindskade på bestandsnivå

Innen et granbestand er det gjerne ikke mer enn hogstklasse og bonitet som trenger å være ensartet. Dermed er det rom for stor variasjon i faktorer med hensyn til stabilitet innen hvert enkelt bestand.

Antall år siden skjermstillingshogst ser ut til å ha en liten betydning for antall vindfall i bestandet, noe som også er logisk. Jo flere år skjermen kan være utsatt for sterke vinder, jo flere vindfall kan det ventes å være. Trenden i resultatet var svak, noe som kan skyldes stor variasjon mellom bestandene og fordi resultatet stammer fra 16 bestand.

Det er naturlig å tenke at en glissen skjerm (lav relaskopsum), ville gitt flere vindfall siden trærnes enkeltrestabilitet da spiller en større rolle. Dette korresponderer ikke med resultatet fra denne undersøkelsen, da det var en svak trend til at høyere relaskopsum ga flest vindfall.

Spredningen i relaskopsummen strekker seg fra 17 til 28, noe som muligens er noe snevert for å trekke slike konklusjoner, i tillegg til at datagrunnlaget er kun 16 bestand.

Kun bestandsalder ga signifikant verdi på bestandsnivå, noe som indikerer at eldre bestand er mer utsatt for vindskader. Holgén & Hånell (2006) refererer Möeller (1957) og Persson (1975) som peker ut viktigheten av bestandsalder og høyde som avgjørende vindskadefaktorer. Det kan derfor tyde på at bestandsalder er en meget viktig faktor ved vurdering av om et bestand er egnet for skjermstilling. I følge Helles (1983) er en av grunnene til at trær blir mindre stabile med alderen, at røttene slutter relativt tidlig å utvikle røtter i dybden, mens høydetilveksten ikke avtar.

På bestandsnivå var det kun 16 bestand noe som kan være årsaken til at kun få resultater fikk gode forklaringsverdier. I et større datamateriale med flere bestand, kan enkelte av disse variablene muligens være av større betydning. Dog har andre studier også vist at bestandsalder var en av de viktigste variablene for vindstabiliteten.

Ved å estimere antall trær i bestandet og sammenlikne med vindskadeprosenten, viste det seg å være en svak nedadgående trend i vindskadeprosenten. Dette kan tyde på at tettere skjærmer har mindre vindfall, noe som virker logisk, men stemmer ikke overens med resultatet fra relaskopmålingene. Grunnen kan være at relaskopsummen ikke registrerer liggende trær, mens estimert treantall kan gi et mer konkret bilde av faktiske forhold i det enkelte bestand. Estimert antall trær per daa viste også at tettere skjærmer hadde færre vindfall og en tetthet på rundt 35 trær per daa kan være fornuftig. Dette er basert på estimerte verdier og bør derfor ikke tillegges for stor vekt. Dette stemmer overens med andre resultater som fant færre vindskader i tette skjærmer (Hånell & Ottosson-Lofvenius 1994; Scott & Mitchell 2005). Grunnen til at en tettere skjerm gir færre vindskader, kan være at bestandsstabiliteten spiller en større rolle og at vinden ikke kommer like lett gjennom et tett kronetak.

Vindskaderetning

Hovedtyngden av rotveltene lå mot sørlig/sørøstlig retning, noe som indikerer at den farlige vindretningen kan være nord/nordvest. Den dominerende vindretningen på Østlandet i høstperioden når de sterkeste vindene inntreffer, er fra sør og vest. Det er naturlig å anta at trærne har tilvendt seg dominerende vindretning og er dermed mer vindstabile overfor denne retningen.

Dette kan være en årsak til at man ikke finner like mange vindfall relatert til dominerende vindretning. Det er viktig å merke seg at en dominerende vindretning på Østlandet ikke nødvendigvis er valid i forsøksområdet, og forklarer ikke alt av variasjonene. En mer nøyaktig måling for perioden er hentet fra Blindern og viser en dominerende vindretning fra nordøst. Dette gir heller ingen forklaring på hvorfor vindfallene ligger mot sør/sørøst, men igjen er terrenget ganske annerledes i Nordmarka enn på Blindern, slik at bestandets beliggenhet kan ha stor innvirkning på vindfallene. En mulig og logisk forklaring på hvorfor det var en så stor variasjon i vindskaderetningen, er at vindskadene stammer fra forskjellige vindepisoder. En sterk vind kan ofte ha litt forskjellige retninger også i løpet av en dag og derfor føre til vindskader i litt forskjellig retning samme dagen.

For stammebrekkene er situasjonen en annen. De fleste stammebrekkene ligger mot nord, noe som indikerer en farlig vindretning fra sør. Det må legges til at toppbrekk også ligger i variabelen stammebrekk, og utgjør en relativ stor andel av stammebrekkskadene totalt. Siden toppbrekk er med i datasettet og påvirker resultatet, kan resultatet være noe misvisende, siden mindre toppbrekk kan endre retning ved en kollisjon med greiner etc. i fallet. Vinterstid når trærne er dekket av til tider våt og tung snø, er faren for stammebrekk betraktelig større. Ved frost er røttene godt forankret og det er stammebruddstyrken som er avgjørende for om treet overlever stormen. Dette fenomenet, kombinert med en dominerende vindretning fra sør, sørvest kan være en årsak til en stor andel stammebrekk mot nord.

Utslagsgivende variabler for vindskade på enkelttreenivå

Resultatet viste at h/d- forholdet var 0,10 lavere for stående trær selv om både stammebrekk og vindfall også viste et h/d forhold under 0,8. Dette betyr at et lavt h/d forhold er gunstig for å at treet skal være vindstabil. Det kan selvfølgelig være andre variabler enn h/d forholdet som er avgjørende for om treet har falt som for eksempel råte. Resultatet viste også at en høyere kroneprosent, gjør treet bedre rustet mot vindskader.

Scott & Mitchell (2005) har funnet ut at andelen av vindskader økte når høyde- diameter forholdet økte og ettersom andelen levende krone avtok. Høyde- diameter forhold var den variabelen som betydde mest og en tett krone økte faren for vindfall nesten tre ganger så mye som en glissen krone. De diskuterer også faren for at trær med lang frisk krone er mer utsatt for

vindfall rent intuitivt, men de fant ingen trend mot dette, og argumenterer for at disse trærne har som oftest best h/d- forhold og har tilpasset seg vindpåkjenning på en bedre måte. Det er naturlig å anta at trær med lavt h/d forhold og lang glissen krone er de best egnet i en skjerm.

Ulike momenter i tilknytting til feltarbeidet og databehandling

I beregningene er det brukt prøvetredata fra NORSKOGS datamateriale og sammenliknet med vindfallsregistreringer fra denne oppgaven. Selv om registreringene fra de ulike datasettene er i samme bestand, kan likevel prøvetrærne (stående trær) stå et helt annet sted enn der de fleste vindfallene lå. Dermed kan sammenlikningsgrunnlaget være forbundet med noe feil, men siden denne oppgaven ikke har egne målinger på stående trær, er dette den beste løsningen.

En variabel for registrering av fuktigheten ved vindskaden burde vært med på registreringsskjemaet, slik at det hadde vært mulig å teste virkningen av denne faktoren på vindskadene. Variabelen vegetasjonstype, ble for usikkert når det gjelder å beskrive fuktighetsinnholdet i marka og den var heller ikke statistisk signifikant. Tørkeperioder nedsetter faren for vindfall, mens det er motsatt ved snøsmelting og andre nedbørsrike perioder. Under feltarbeidet var det meget fuktig i bakken, grunnet ekstremt mye nedbør i juli 2007. En variabel for fuktighetsregistrering ville derfor kanskje ikke gitt utslag siden marka var uansett meget fuktig under registreringene.

Under feltarbeidet kan en aldri være sikker på å få med seg alle vindskader og enkelte vindskader kan selvfølgelig ha blitt oversett. Et GPS/Pda system som er brukt i denne oppgaven har vært til stor hjelp, men man kan ikke være sikker på å få med seg alle skader. Dette gjelder spesielt der undervegetasjonen nærmer seg en meter og lett kan skjule vindfall. En GPS fungerer best uten forstyrrelser og inne i et skjermstilt bestand med til tider tett kronetak, kan derfor nøyaktigheten bli redusert. En GPS har alltid en viss feilmargin selv i åpent lende, avhengig av antall satellitter, været og hvor god mottager man har. Siden sporloggen er brukt til orientering, kan derfor enkelte mindre områder av bestandet ha blitt oversett. Lokaliseringen av vindfallspunktene kan selvfølgelig også ha blitt påvirket av feilmarginen i GPS, men en GPS er stort mer nøyaktig enn inntegning manuelt på kart. En sporlogg er et meget godt hjelpemiddel for i ettertid å se at hele bestandet er registrert, og denne metoden fungerer langt bedre enn å for eksempel orientere etter kart.

Ved utvelgelse av om bestandet var tilfredsstillende for denne oppgaven, var det tilslutt skjønnet som avgjorde om bestandet var egnet. En skjønnsmessig vurdering er alltid forbundet med tilfeldige feil, slik at registreringsskjemaet burde hatt en variabel som kunne hjulpet til med denne utvelgelsen.

I nylig hogde skjermstillinger er sannsynligvis nøyaktigheten på datagrunnlaget bedre enn i eldre skjermstilte bestand. Grunnen til dette er at i nylig hogde bestand har vindfallet fortsatt grønt bar og er dermed enkelt å skille fra eldre vindfall, noe som ikke alltid er tilfelle i eldre skjermstillinger.

Været og temperaturen kan også ha en innvirkning på målingene gjort med elektronisk utstyr (Vertex og GPS), siden varierende temperatur en dag, mest sannsynlig fører til større feil enn en dag med stabilt klima. Motivasjonen blir også påvirket av været og nøyaktigheten på målinger kan bli dårligere i styrtregn enn i strålende sol.

Brysthøydiameter er registrert fra en tilfeldig retning på treet, men hvor tilfeldig denne er registrert, kan diskuteres. Siden diameter ofte ble registrert direkte på treet i registreringslinjen, kan mange trær ha blitt registrert på siden med minst/størst diameter. Dette kan ha stor påvirkning på variable som h/d forhold, hvis man utelukkende har registrert den minste/største diameteren på treet. Trærne bar preg av lite ovalitet, slik at en tilfeldig klaving er mest sannsynlig god tok i et slikt datasett. En kryssvis diameterklaving øker nøyaktigheten på målingen, men tar også lenger tid.

Dbh ble registrert ved to klavelengder over punktet Dr. Enkelte ganger var uregelmessigheter som kvist, stein, andre trær i veien slik at brysthødepunktet ble estimert til 1,3 meter. Det er selvfølgelig en viss unøyaktighet å estimere og bruke klavelengde for å finne brysthøyden, men med et større datamateriale, som i denne oppgaven, kan man anta at den tilfeldige feilen blir utjevnet. Punktet Dr er også skjønnsmessig vurdert og det er ikke alltid like enkelt å finne brysthøydiameter på liggende trær. Diameter er målt utenpå bark, men i enkelte tilfeller var barken borte, uten at det har blitt kompensert for dette. Dette innebærer at eldre vindfall har generelt fått en mindre diameter om barken manglet, noe som kan påvirke resultatet. "For hogstmoden kulturskog av gran var midlere dobbel barktykkelse ved rotavskjær 13.6 mm" (Vadla 2006). Barktykkelsen utgjør ca 4,5 % av diameteren på et tre med diameter brysthøyde 30 cm, og

kan derfor ha noe utslag på resultatet. En eldre skjermstilling kan for eksempel vise lavere diameter enn en fersk skjermstillingshogst, men diameter viste seg uansett å ikke være en spesielt utslagsgivende variabel alene.

Når det gjelder utvelgelse av skjermstillingsbestand, tror jeg nok at andre faktorer enn stabilitetshensyn har spilt en større rolle i Nordmarka enn om området hadde vært i et mindre besøkt område. De fleste skjermstillingene ligger i nær tilknytting til vei, noe som er hensiktsmessig for overvåkning av bestandene og av økonomiske hensyn i forhold til terrengtransport. Men også for at besøkende (friluftinteresserte, mosjonister etc.) skal kunne oppleve et variert skogbilde. Dette er et interessant tema, da veilinjen nødvendigvis ikke er plassert med tanke på le for vind. Siden skjermstillinger ofte settes i nærheten av vei, har en til en viss grad begrenset valgmulighetene i forhold til le for vind, og enkelte bestand nær vei hadde muligens fungert bedre med andre hogstformer. Det er flere eksempler på skjermstillinger som har blåst helt ned like ved bestandene, registrert i denne oppgaven. En av disse lå i overkant av Sandungskalven, og det kan hende at vinden får en sterkere innvirkning lenger opp i lia enn helt nede ved vannkanten der mine registreringsbestand lå. Det at mange av skjermstillingene lå ved vann eller i nær tilknytting til vannkant, kan ha spilt en stor rolle for resultatet. Det er ikke like sikkert at man hadde fått samme resultat i et mer homogent skogområde, uten store vann eller andre store åpne flater i nærheten. I tillegg er det stort sett bevart en liten buffersone mot større vann, men ikke alltid mot andre åpne flater. Hogstklassefordelingen rundt skjermstillingen er også av stor betydning for hvor eksponert bestandet blir. Mange av bestandene er fra området rundt Sandungen, som er et relativt stort vann (ca 2 km bredt). Over vann av slike størrelser kan vinden bygge seg opp til store hastigheter og derfor slå hardt inn mot skog på motsatt side. Av den grunn kan datamaterialet i denne oppgaven være preget av slike store åpne flater i nær tilknytning til registreringsbestandene. Dette er viktig å vite dersom man skal sammenlikne resultater fra denne oppgaven med andre forsøk i fremtiden.

Enkelte trær mangler høydemåling, diameter rot eller diameter i brysthøyde. For å få et komplett datasett har jeg ved hjelp av regresjonslinje, bestandsvis estimert disse manglende data på bakgrunn av trær med komplette målinger. I bestand med få totalmålinger på trærne vil regresjonslinjen bli noe diffus, slik at verdiene kan være noe feilestimerte.

6 Konklusjon

- Vindskadefordelingen i bestandene varierte i stor grad mellom og innad i hvert enkelt bestand. Hovedtyngden av vindskadene lå inne i bestandet og ikke ut mot bestandsgrensen. Turbulensproblematikken kan være en av årsakene til dette og forvalteren bør derfor vurdere å legge opp til å skape gode bestandskanter. En annen årsak kan være at kanttrærne er bedre tilpasset vindpåkjenning.
- Vindfallene hadde stor grad av variasjon i fallretning, og ulike tilfeldigheter kan ha stor innvirkning. Ulike vindepisoder og eventuelt råteproblematikk kan være en forklaring på dette fenomenet.
- Faktorer av betydning for vindskadefrekvensen i skjermstilte bestand er høy bestandsalder, lav kroneprosent og høyt høyde- diameterforhold. Dette er også variabler som er relativt enkle å måle i felt. Bestand med slike karakteristikk bør ikke settes i skjerm, da disse faktorene har vist seg å være utslagsgivende for en stor andel vindskader. Bestand med råtefare er trolig heller ikke egnet for skjermstilling.
- I lærebøkene er fremgangsmåten for en optimal skjermstilling relativt omfattende med mange tynninger og forberedelseshogst. Dette er ikke alltid gjennomførbart i praktisk skogbruk slik at variabler som h/d forhold, bestandsalder, kroneprosent og terrengutforming bør vurderes nøyere enn ved et lærebokeksempel.
- De første årene etter skjermstilling bør forvalteren være ytterst forsiktig med inngrep i omkringliggende bestand som kan føre til turbulensproblemer. Forberedelseshogster og vurdering av vindeksponeringen i terrenget er forhold som også bør være med i en avgjørelse om bestandet er egnet som skjermstilling.
- I skjermstillingene var det i gjennomsnitt 0,66 vindskader per daa, noe som gjør at argumentet mot å bruke skjermstillinger på grunn av høy vindskadeandel svekkes.

7 Litteratur

- Andreassen, K. (1994). Bledning og bledningsskog - en litteraturstudie. *NISK: Rapport VIII fra forskningsprogrammet "skogøkologi og flersidig skogbruk"*.
- Bachofen, H. & Zingg, A. (2001). Effectiveness of structure improvement thinning on stand structure in subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. *Forest Ecology and Management*, 145 (1-2): 137-149.
- Bergquist, J., Kullberg, Y. & Orlander, G. (2001). Effects of shelterwood and soil scarification on deer browsing on planted Norway spruce *Picea abies* L. (Karst) seedlings. *Forestry*, 74 (4): 359-367.
- Brække, F. H. & Rudi, P. (2004). Granskjermer og tilvekstreaksjon. *INA fagrapport 3*.
- Børset, O. (1985). *Skogskjøtsel -skogøkologi*, Landbruksforlaget.
- Cucchi, V., Meredieu, C., Stokes, A., Berthier, S., Bert, D., Najar, M., Denis, A. & Lastennet, R. (2004). Root anchorage of inner and edge trees in stands of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) growing in different podzolic soil conditions. *Trees-Structure and Function*, 18 (4): 460-466.
- Drouineau, S. (2000). *Joint evaluation of storms, forest vulnerability and their restoration*. Joensuu, EFI. 38. s.
- Frivold, L. H. (2006). *Tendenser i skogbehandlingen, forelesningsnotat til kurset Skog302*, INA-UMB.
- Gardiner, B., Marshall, B., Achim, A., Belcher, R. & Wood, C. (2005). The stability of different silvicultural systems: a wind-tunnel investigation. *Forestry*, 78 (5): 471-484.
- Glöde, D. & Sikstrom, U. (2001). Two felling methods in final cutting of shelterwood, single-grip harvester productivity and damage to the regeneration. *Silva Fennica*, 35 (1): 71-83.
- Gule sider. Tilgjengelig fra: <http://www.gulesider.no/kart/> (lest 16.04.2008).
- Helles, F. (1983). Stormskade på skov. En litteraturgennemgang. *Dansk skovforenings tidsskrift*, 68: 247-278.
- Holgen, P. & Hånell, B. (2000). Performance of planted and naturally regenerated seedlings in *Picea abies*-dominated shelterwood stands and clearcuts in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 127 (1-3): 129-138.
- Holgén, P. & Hånell, B. (2006). *Effects of stand density on windthrow in Picea-abies-dominated shelterwood in Sweden*. Hydrology and Management of Forested Wetlands, Proceedings of the International Conference 8-12 April 2006, American Association of Agricultural and Biological

Engineers Publication 701P0406, side 41-49. Tilgjengelig fra: <http://asae.frymulti.com/>. (lest 21. januar 2008).

Hänell, B. & Ottosson-Lofvenius, M. (1994). Windthrow after Shelterwood Cutting in Picea-Abies Peatland Forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9 (3): 261-269.

IPCC. (2007). *Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*, Climate Change 2007: Synthesis Report.

Langvall, O. & Ottosson Lofvenius, M. (2002). Effect of shelterwood density on nocturnal near-ground temperature, frost injury risk and budburst date of Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, 168 (1-3): 149-161.

Levende Skog. (u.å.). *Standard for et bærekraftig norsk skogbruk*. 40 s.

Meteorologisk institutt. (2007). *Klimaet på Østlandet*. Tilgjengelig fra: http://retro.met.no/met/klima_norge/Ostlandet.html (lest 27.04.2008).

Nicoll, B. C., Gardiner, B. A., Rayner, B. & Peace, A. J. (2006). Anchorage of coniferous trees in relation to species, soil type, and rooting depth. *Canadian Journal of Forest Research*, 36 (7): 1871-1883.

Nielsen, C. (1990). Bevoksningsstruktur og stormstabilitet. *Dansk skovforenings tidsskrift*, 75 (2): 72-80.

Nilsson, U. & Örlander, G. (1999). Vegetation management on grass-dominated clearcuts planted with Norway spruce in southern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 29 (7): 1015-1026.

NORSKOG u.å. *Feltbeskrivelse, prøveflatetakst*.

NORSKOG u.å. *Vindfellingsfrekvens og trestabilitet ved lukkede hogster*. Tilgjengelig fra: <http://www.skoginfo.no> (lest 14.04.2008).

Petersson, M. & Örlander, G. (2003). Effectiveness of combinations of shelterwood, scarification, and feeding barriers to reduce pine weevil damage. *Canadian Journal of Forest Research*, 33 (1): 64-73.

Rich, R. L., Frelich, L. E. & Reich, P. B. (2007). Wind-throw mortality in the southern boreal forest: effects of species, diameter and stand age. *Journal of Ecology*, 95 (6): 1261-1273.

Scott, R. E. & Mitchell, S. J. (2005). Empirical modelling of windthrow risk in partially harvested stands using tree, neighbourhood, and stand attributes. *Forest Ecology and Management*, 218 (1-3): 193-209.

Solberg, S., Harstveit, K., Blennow, K., Olofsson, E., Heggem, E. S. & Timmermann, T. (2008). Storm og skogskader: Risiko for stormskader i skog, og betydningen av skogbehandlingen. *Forskning fra Skog og landskap*, 1/08.

Solbraa, K. (2001). *Skogskjøtsel*, b. 1. Oslo, Landbruksforlaget. 206 s.

Storaunet, K. & Rolstad, J. (2002). Time since death and fall of Norway spruce logs in old-growth and selectively cut boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 32 (10): 1801-1812.

Ulanova, N. G. (2000). The effects of windthrow on forests at different spatial scales: a review. *Forest Ecology and Management*, 135 (1-3): 155-167.

Vadla, K. (2006). *Virkesegenskaper hos gran og furu fra forskjellige lokaliteter i Sør-Norge*. Forskning fra Skog og landskap 01/2006. Tilgjengelig fra:
http://www.skogoglandskap.no/publikasjon/SF_3946_3479 (lest 29.04.2008).

Økland, B., Krokene, P. & Lange, H. (2007). Klimaeffekter på granbarkbillen. *KLIMA*, 1.

Örlander, G. & Karlsson, C. (2000). Influence of shelterwood density on survival and height increment of picea abies advance growth. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15: 20-29.

Vedlegg 1. Feltskjema, enkelttreregistrering

Vindfall nummer	GPS-posisjon N, E	MoH	Fall retning 400g	Stammebrekk dm/ eller R	Dr	DBH	dm.til første levende grein	Høyde topp, dm.	Merknad, annet treslag enn Gran noterers
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
0									
Stammebrekk måles til margen, rotvelt merkes R Dr = diameter rot									

Vedlegg 2. Feltskjema, bestandsregistreringer

Vindfall nummer	Terreng helling/type	Vegetasjons type	Vindfall alder. Kl. 1 - 4	Relaskop sum	Eksponeringsgrad, Retning	Merknad
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						

Terreng: 1. Lyside, 2. Libunn, 3. Tverrdal, 4. Li-egg, 5. Astopp, 6. Platå, 7. Forsenkning, 8. Annet
Vindfall alder. 1 er Nylig falt med nåler og bark. 2. Nåler borte, men grener og bark intakt. 3 Bark i ferd med å falle av, bare store grener igjen, 4. eldre
Eksponeringsgrad 1 åpent [tilnærmet snaumark], 2 glisnere enn middels, 3 middels [for det skjermstilte bestandet], 4 tettere enn middels, 5 full tetthet [som i utynnet bestand]

Vedlegg 3. Vindfordeling og frekvens på Blindern i perioden 1997- 2005 (Meteorologisk institutt).

Wind rose, frequency distribution of wind

Wind direction divided in sectors of 30°

Frequency distribution of wind speed in percent %

Wind speed

- >30 m/s
- 22.5–30 m/s
- 15–22.5 m/s
- 7.5–15 m/s
- 0–7.5 m/s

Calm (%)

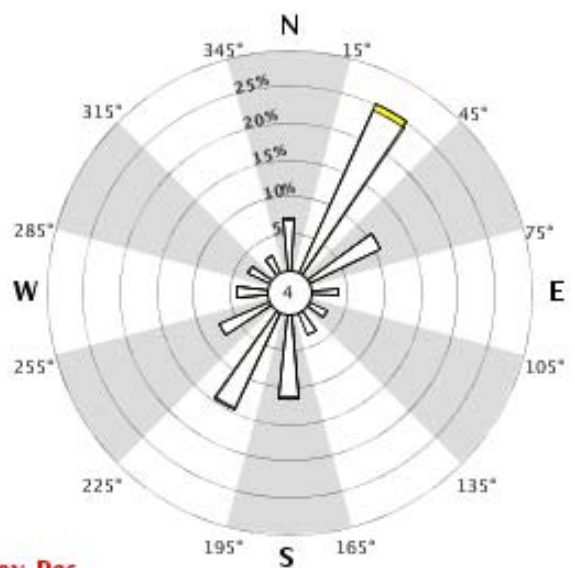


Year: 1997 - 2005

Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec

Hour: 1, 7, 13, 19 (NMT)

18700 OSLO - BLINDERN



Vedlegg 4 Vindfordeling og frekvens på Blindern i 2006 (Meteorologisk institutt)

Wind rose, frequency distribution of wind

Wind direction divided in sectors of 30°

Frequency distribution of wind speed in percent %

Wind speed

- >30 m/s
- 22.5-30 m/s
- 15-22.5 m/s
- 7.5-15 m/s
- 0-7.5 m/s

Calm (%)



Year: 2006 - 2006

Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec

Hour: 1, 7, 13, 19 (NMT)

18700 OSLO - BLINDERN

