



Forord

Denne oppgaven er skrevet ved Institutt for Naturforvaltning (INA) og representerer avslutningen på min femårige utdanning ved Norges Miljø og Biovitenskapelige Universitet (NMBU).

Skogbrand Forsikringsselskap Gjensidige spurte om det ikke kunne være interessant å skrive en oppgave for dem. Jeg ble raskt interessert siden dette var en flott mulighet til å skrive en oppgave som kunne være nyttig for Skogbrand, skognæringen og forskningen.

Jeg vil først og fremst takke Skogbrand Forsikringsselskap Gjensidige og spesielt markedsdirektør Kjetil Løge som tok initiativ til oppgaven. Det har vært veldig inspirerende å kunne arbeide med en næringsrettet oppgave.

En stor takk rettes til mine to veiledere, professor Olav Høibø (INA) og seniorforsker Svein Solberg (Skog og Landskap). Deres innstilling til oppgaven og interesse for deres respektive fagfelt har vært god motivasjon i seg selv. Dette samarbeidet har vært uvurderlig.

Videre har jeg lyst til å takke skogforvalter Øystein Løvli og skogsjef Tron Erik Hovin (Mathiesen Eidsvoll Værk) som har stilt skogeiendommen til rådighet. Det har vært motiverende å kunne samarbeide med en erfaren og tradisjonsrik bedrift som tar skogbehandlingen på alvor. Det var avgjørende å kunne samarbeide med større skogeiendom som både har opplevd stormskader, hadde et bevisst forhold til egen skogbehandling og i tillegg kunne stille til rådighet gode takstdata som kunne benyttes i analysearbeidet. Takk til forsker Nikolas von Lüpke overingeniør Tor Peder Lohne som var svært behjelpelige med databearbeidingen som utgjorde grunnlaget for oppgaven.

Til slutt vil jeg takke for mange gode år her i Ås og spesielt gode venner med ‘‘ livet og humøret’’ samt Skogbrukerforeningen som har bidratt til et godt faglig og ikke minst ‘‘ begeistrende skogmiljø’’. Masteroppgaven dedikeres til min far Peder Lønnum som gjennom en årrekke har vært en forkjemper for god skoghygiene.

Norges Miljø og Biovitenskapelige Universitet

Ås, 15. mai 2014

Erik Lønnum

Sammendrag

Storm utgjør en stor økonomisk og biologisk risiko for skogbruket. Skogskader i Europa som følge av storm har økt kraftig de siste 60 år. Bare de siste 15 år har det blåst ned over 400 mill. m³ i Europa. I Norge har vi opplevd flere kraftige stormer de siste årene. Gudrun (2005), Dagmar (2011), Hilde og Ivar (2013) stod for over nærmere 90 mill. m³ nedblåst skog hovedsakelig i Skandinavia.

Trær med stammebrekk medfører et stort virkesverditap for selger og vindfallhogst medfører økte driftskostnader. Skogforsikringsdekningen ligger under 50 % for nesten alle land i Europa. Utvikling av produkter med tømmer som råstoff blir stadig mer aktuelt og det samme gjelder bruken av tre i byggindustrien. Det er derfor viktig å kartlegge risikoområder for å kunne minimere den tekniske risikoen slik at investeringer i skogkultur med hensyn på stormrisiko tas i betraktning i risikoutsatte områder.

Hovedmålsettingen med denne studien var å kartlegge risikofaktorer knyttet til produksjonsskog med fokus på stormskader. Det ble etablert et 16 Km² stort studieområde i Eidsvoll og Nannestad kommune i Akershus fylke. Området var grandominert med varierende bonitetsforhold. Studieområdet bestod av 443 bestand. Studieområde opplevde stormskader som følge av stormen Dagmar i 2011. Lasertakstdata fra høsten 2007 sammen med skogbruksplandata over området ble benyttet for å beregne skogvariable og terrengvariable. Norsk terrengmodell DTED 10 ble benyttet. Jordbunnsvariable fra Norges geologiske undersøkelse ble benyttet. Takstdata over stormskadene i studieområdet ble benyttet. Variablene ble testet i en Likelihood-ratio Chi-square test en og en, og i en multipl logistisk regresjonsanalyse for å finne signifikans på 5% nivå og forklaringsstyrke for ulike variable og risiko for stormskade.

Ordinal logistisk regresjon viste at både topografiske variable og skogvariable var viktige faktorer i forbindelse med stormskade (Tabell 8). Risikoen økte betraktelig med økende trehøyde. Trehøyde var den viktigste variabelen i denne studien. Resultatene indikerer også at det er stor risiko knyttet til topografisk eksponerte områder og i særdeleshet mot himmelretningen sørvest. Det er også knyttet stor risiko til bestand som har stått tett i oppveksten og som stod tett sent i omløpet i forkant av stormen Dagmar. Aktivt skjøttet skog i form av avstandsreguleringer og tidlig tynning var mer stormsterke og det var en signifikant betydning av S-prosent og D/H-forholdet på bedre enn 5% nivå som bekreftet dette.

Abstract

Storm poses a major economic and biological risk for forestry. Forest Damage in Europe has increased dramatically in the past 60 years because of different storms. The last 15 years it has blown down over 400 million-m³ timber in Europe. In Norway, we have experienced several severe storms in recent years. Gudrun (2005), Dagmar (2011), Hilde and Ivar (2013) accounted for the nearly 90 million m³ blown down timber, mainly in Scandinavia.

Trees with stem breakage results in a large value loss for the seller and windfall logging resulting in increased operating costs. Forest Insurance coverage is below 50 % for almost all countries in Europe. Development of products from wood raw material is becoming more relevant as is the use of wood in construction industry. It is therefore important to identify risk areas in order to minimize the technical risk so that investments in silviculture with respect to storm risk is taken into account in risk-prone areas.

It was established a 16 Km² study area in Eidsvoll and Nannestad municipality in Akershus county. The area was spruce dominated with varying site quality. The study area consisted of 443 forest stands. Laser Data from autumn 2007 together with forestry plan data of the area were used to estimate forest and terrain variables. Norwegian terrain model DTED 10 were used. Soils variables from the Norwegian Geological Survey were used. The Study Area experienced storm damage from the storm Dagmar in 2011 and damage data related to storm damage was used. Variables were tested one by one in a likelihood - ratio chi -square test and in a multiple regression logistic analysis to find significant relationships for the different variables and storm damaged areas.

Ordinal logistic regression showed that both topographical and forest variables were important factors for storm damage. The risk increased greatly with increasing tree height. Tree height was the most important variable in this study. The results also indicate that there is a considerable risk associated with topographic exposed areas and in particular against the cardinal point southwest. Dense stands at early age and stands that have been dense for a long period are related to high risk. Actively managed stands at an early age with giving lower spacing and early thinning has a stabilizing effect on stands over time, and thereby low storm risk when stand height increases. There was a significant result for Hart-Beckings index and for the D/H-ratio on 5% level.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag	II
Abstract.....	III
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Klimatiske faktorer - ekstremvær	2
1.2.1 Storm i Europa og Norge	4
1.2.2 Vindstyrke	5
1.3 Biologiske faktorer	6
1.4 Økonomiske faktorer	7
1.5 Politisk vilje.....	9
1.5.1 Bruk av trevirke.....	10
1.5.2 Ferdsel i vindfallområder	11
1.6 Risiko knyttet til skog og voksested	11
1.6.1 Lokalitet – sosial stabilitet.....	11
1.6.2 Jordbunnsforhold.....	12
1.6.3 Skogens stabilitet.....	13
1.6.4 Terreng	14
1.7 Problemstilling.....	15
2 Material og Metode	16
2.1 Studieområde	16
2.2 Datainnsamling	19
2.3 Topografiske data	19
2.3.1 TOPEX	20
2.4 Jordbunnsforhold	23
2.5 Skogdata	25
2.5.1 Skogbruksplandata	25
2.5.2 Skadetakstdata	26
2.5.3 Lasertakstdata.....	28
2.6 Bearbeiding av data	29
2.6.1 ArcGis	29
2.6.2 Statistisk Analyse	30
3 Resultater	31
3.1 Utvalgte variable.....	32

3.1.1	Topografiske forhold	34
3.1.2	Skogvariable	36
3.1.3	Multiple logistiske regresjonsanalyser	37
4	Diskusjon	40
4.1	Topografiske forhold	40
4.2	Jordbunnsforhold	42
4.3	Effekt av kanter	44
4.4	Skogvariable	45
5	Konklusjon	48
6	Referanser	49

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Økt hyppighet av ekstremvær og storm i Norge kan føre til skogskader og ustabilitet i skogen noe som medfører en økonomisk risiko for skogeieren. Vindfallvirke som blir liggende igjen i skogen gir også grobunn for barkbilleoppblomstring (*Ips Typographus L.*) og skaper utfordringer for maskinentreprenøren. Dette kan bidra til lavere rotnetto til skogeier siden virkeskvaliteten synker og avvirkningskostnadene øker.

Det gjelder da å legge skogbehandlingen til rette slik at en senker den tekniske usikkerheten knyttet til investeringer i skog for å oppnå den tekniske produksjonen som er lagt til grunn for framtidige betalingsrekker (Solberg & Svendsrud 2006). Det er da viktig å ha god informasjon om de tekniske sammenhengene mellom innsatselementet i produksjonen (produksjonsfaktorer) og det ferdige produkt(tømmerstokken) (Solberg & Svendsrud 2006). Det er også viktig å kunne kartlegge og tilrettelegge skogskjøtselen i risikoutsatte områder.

I vårt naboland Sverige, ser skogeiere i sør-Sverige på stormskader i skog som en av de mest problematiske risikoene fra et økonomisk perspektiv (Olofsson 2006). Ved en klimaendring som heller mot det mer ekstreme, kan man spørre seg hvilken effekt en slik klimaendring vil ha når det gjelder risiko og investeringer i skog (Olofsson 2006).

Spekteret av sluttprodukter med tømmer som råstoff er svært mangfoldig og nye produkter innen biokjemikalier, biomaterialer, og bioenergiprodukter er i fremmarsj (Lang 2014). Her er trepolymerkompositter¹ spesielt interessant. Slike produkter vil bidra til å skape en spennende fremtid for Norsk skogbruk. Man opplever også en endring i byggesektoren der man ser tendenser til en økt bruk av tre som byggemateriale noe det også fokuseres på politisk sett. Tre som byggemateriale står i en særstilling som det eneste fornybare byggemateriale vi har (Treteknisk Institutt 2012).

Det er derfor interessant å kunne tilby markedet en råvare med så mange bruksområder også i fremtiden.

¹Trepolymerkompositter (Wood Polymer Composites) er en blanding av trepulver og en polymer (som regel et plastprodukt) der målet er å erstatte rene plast- og aluminiumsprodukter (Larnøy 2013).

Denne oppgaven skal ta for seg stormskader i skog. Skogbrand Forsikringsselskap Gjensidige (heretter forkortet Skogbrand) kom med ideen til oppgaven. Skogbrand er et skogskadeforsikringsselskap og er stadig på jakt etter å identifisere risikofaktorer knyttet til skogbehandling og storm, slik at de på best måte kan gi skogfaglige anbefalinger til sine medlemmer for å senke stormrisikoen generelt, og spesielt i utsatte områder. Denne studien inngår i prosjektet ‘ Stormskader, skogbehandling og beredskapsplaner’. Målet med denne oppgaven er å kartlegge risikofaktorer i produksjonsskog med fokus på å begrense stormskader.

I denne studien har Mathiesen Eidsvold Værk stilt deres eiendommen til rådighet. Etter et møte med MEV på deres hovedkontor i Hurdal stilte de seg svært positive til oppgaven siden de også er ute etter å identifisere risiko knyttet til skogbruk og storm. MEV er en bedrift som gjennom mange år med aktivt skogbruk har god dokumentasjon på skogkulturtiltak som er blitt gjort på deres eiendom. Det er dokumentasjon i form av hva slags skjøtsel man har utført på bestandsnivå samt en rekke takstdata (blant annet lasertakst) knyttet til skogbruksplanen for eiendommen.

1.2 Klimatiske faktorer - ekstremvær

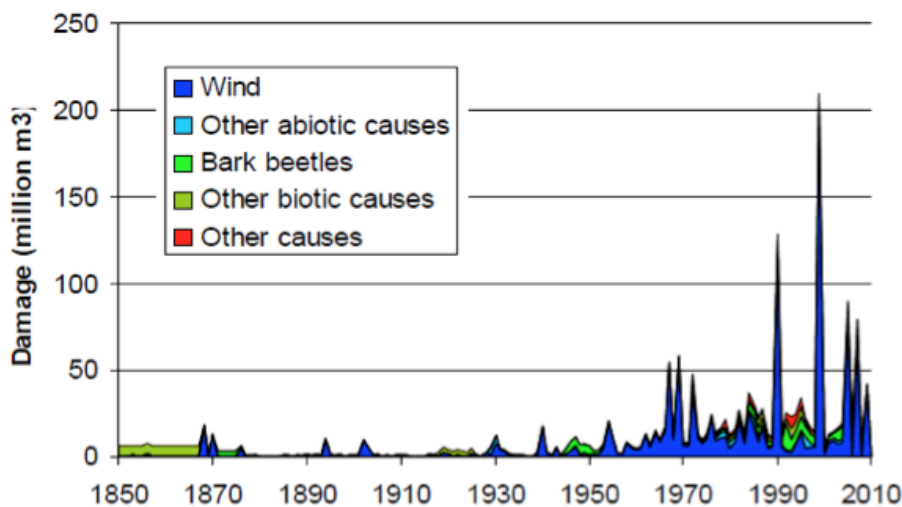
Ekstremværet i Europa har de siste 30 år kostet samfunnet over 400 milliarder euro hvorav 35% eller ca. 145 milliarder euro er knyttet til stormskader (Hov et al. 2013). Stormskader utgjør over 40% av alle større naturkatastrofer i denne perioden.

I Europa i perioden 1950 til 2000 var det årlige skogskader i en størrelsesorden på 35 mill. m³ der stormskader utgjorde over halvparten av skogskadene (Schelhaas et al. 2003). Videre har ekstremværet i Europa økt med 60 % de siste 30 år. Dette er imidlertid lavt sammenliknet med andre kontinenter (Heap 2013).

I Europa utvikles det nå ulike strategier for å kunne takle ekstremværet i forskjellige samfunnssektorer (Hov et al. 2013).

‘ I sin anbefaling om bedre skogforsikringsordninger i Europa viser EFI (European Forest Institute) til undersøkelser som anslår at samfunnets samlede verdi av ett hektar skog er flere ganger høyere enn skogeiers virkesverdi. Dette perspektivet tilsier at skogforsikring er vel så mye et samfunnsansvar som bare et ansvar for den enkelte skogeier(...)’ (Løge 2010).

Mange av de publiserte tilpasningsstrategiene gir råd om hvordan man kan tilpasse seg ekstremværet som ser ut til å komme både med hyppigere mellomrom og større kraftighet, basert på innrapporterte skader (Figur 1). Det er også slik at denne trenden har hatt en større innvirkning i Sentral-Europa enn i Nord-Europa. Dette kan imidlertid ha en sammenheng med økningen av skog, kubikkmasse og alder, samt innrapporterte skader i samme periode (Schelhaas et al. 2003). Tilpasningsstrategiene er ofte generelle. Man har utviklet Decision Support Systems (DSS) men per dags dato er det få slike systemer i bruk selv om bruken av dem kan redusere stormrisikoen betraktelig (Varma et al. 2000). I framtiden vil man sannsynligvis være avhengig av mere spesifikke tilpasningsstrategier for å kunne opprettholde en stabil og sikker produksjon av tømmer (Hov et al. 2013). Trær er dårlig tilpasset en rask klimaendring grunnet trærnes lange livssyklus noe som medfører at skogbruket er en samfunnssektor som kan være spesielt utsatt ved en rask klimaendring (Lindner et al. 2010).



Figur 1: Totale skogskader i Europa fra 1850 til 2010 i millioner m³ ((Hov et al. 2013).

1.2.1 Storm i Europa og Norge

I løpet av de siste 15 årene har både Europa og Norge opplevd flere kraftige stormer (Tabell 1). De verste stormene i denne perioden har totalt blåst ned opp mot 400 mill. m³ skog. Få land i Europa har stormskadeforsikring over 50% noe som tilsier at i halvparten av tilfellene (ofte over halvparten) må skogeieren selv dekke de ekstra kostnadene ved å avvirke vindfallhogst (Løge 2010).

'' Årsaken til manglende forsikringsordninger og lav dekning i Europa er flere. Lav bevissthet om skogverdier og skaderisiko opplyses som viktige årsaker. I tillegg har store stormer de siste årene økt prisene på skogforsikring vesentlig mange steder(...) For flere av landene finnes det også offentlige ordninger som trer inn etter stormskader. Disse er i hovedsak rettet inn mot opprydning, transport og gjenplantning. Utfordringen er at tiltakene er uforutsigbare, først organiseres i etterkant katastrofene og ikke dekker skogeiers reelle tap(...)'' (Løge 2010).

Tabell 1: Oversikt over stormskader i Europa de siste 15 år (Løge 2010; Løge 2014).

Stormnavn	År	Berørte områder	Skadeomfang
Lothar og Martin	1999	Sentral-Europa	197 mill. m ³
Gudrun	2005	Skandinavia	77,5 mill. m ³
Per og Kyrill	2007	Sentral og Øst-Europa	64,5 mill. m ³
Klaus	2009	Vest-Europa	44,6 mill. m ³
Dagmar	2011	Skandinavia og Russland	6,5 mill. m ³
Sindre	2013	Sverige	1,5-2 mill. m ³
Hilde	2013	Norge og Sverige	3,7 mill. m ³
Sven	2013	Sverige	0,8 mill. m ³
Ivar	2013	Norge og Sverige	6,2 mill. m ³

1.2.2 Vindstyrke

I en sveitsisk undersøkelse har Usbeck et al. (2010) funnet at vindstyrke over 35m/s utgjør en stor skade på skogen. Selv om andelen skog og tilvekst har økt i Sveits over det siste århundre har hyppigheten av stormer også økt i omfang. Gjennomsnittlig vintertemperatur har sunket nærmere 2 grader °C og det kommer stadig mer nedbør om vinteren. Dette i sammenheng med økt hyppighet av storm og stormstyrke har bidratt til vesentlige større skader på skog i Sveits de siste tiår.

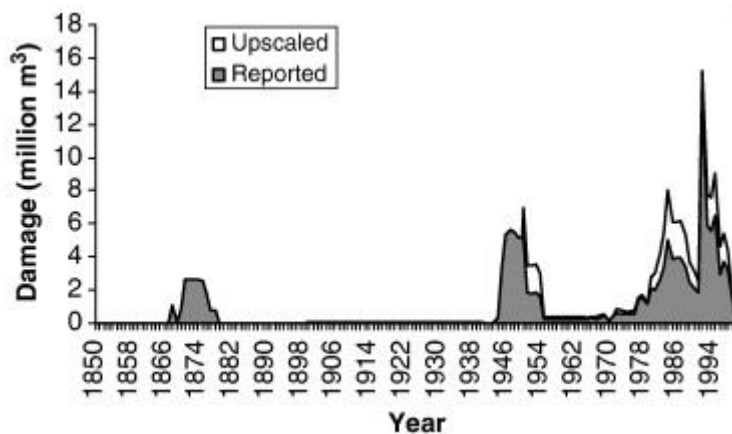
Stormen Dagmar hadde en vindstyrke opp imot 46m/s og vindkast opp mot 55m/s noe som styrkemessig tilsvarer en kategori 2 orkan². Skadene av Dagmar var også svært utbredt i Norge og skadeomfanget omfattet 15 fylker og 120 kommuner i Norge (*Skogbrand www... 2012*).

De største stormskadene (i mill. m³) i Europa opptrer oftest i desember og januar måned (Hov et al. 2013). På denne tiden av året er marken normalt frosset i Norge (Hole et al. 2013) og når marken er frosset vil man oftere få stammebrekk enn rotvelt (Peltola et al. 2000). Gregow et al. (2011) viser imidlertid til at telen ikke vil gå så dypt i framtiden grunnet en endring i klimaet. Dette betyr at man heller vil få rotvelt enn stammebrekk da trærne mister en del av forankringspotensiale til røttene i jorda. Venalainen et al. (2001) har funnet at man vil få redusert snømengde i Finland hvis klimaet blir varmere noe som medfører at telen vil kunne gå dypere. Snømengden vil derimot øke i sentral og nord-Finland, noe som hindrer telen i gå dypt i disse områdene.

² (*Skogbrand www... 2012*)

1.3 Biologiske faktorer

Som en konsekvens av stormskader er ofte vindfall og oppblomstringen av barkbiller (*Ips typographus* L.) og barkebilleangrep svært korrelert (Figur 2). Hvis en stormfull vinter i tillegg etterfølges av en tørr og varm sommer vil dette bidra til en økt oppblomstring av barkbiller (Pfeffer & Skuhravy 1995).



Figur 2: Skader på skog (millioner m³) på grunn av barkebilleangrep fra 1850 til 1994 (Schelhaas et al. 2003).

Langström et al. (2009) fant at barkbilleangrep i Sverige følger et gjenkjennelig mønster etter stormene i Sverige i 2005 og 2007. De registrerte en oppblomstring av barkbiller sommeren etter stormen, hovedsakelig på vindfelte trær men også angrep på stående trær i noen få påfølgende år før populasjonen av barkbiller igjen ebbet ut. Kun i tilfeller der man har uvanlig tørre og varme perioder om sommeren flere påfølgende år, vil man oppleve barkbilleangrep som kan strekke seg over mange år.

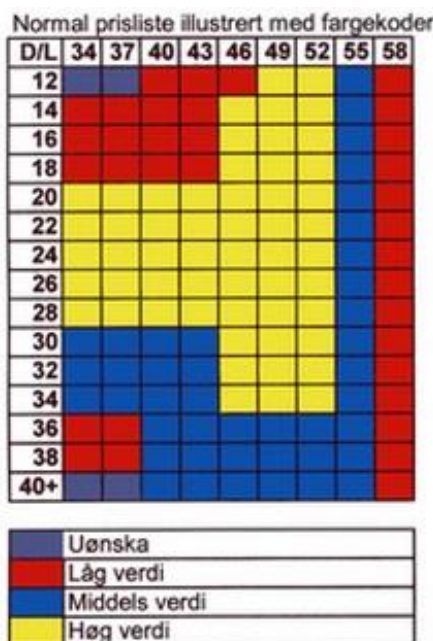
“ Vi vet at dette betyr en potensiell fare for at barkbillebestanden kan oppformeres og gi ytterligere skader på den skogen som i dag er frisk (...)”³

³ Severin Woxholtt (seniorrådgiver ved skog og landskap) om vindfall i skog (Woxholtt 2012).

1.4 Økonomiske faktorer

Stammebrekk og andre skader kan redusere verdien på tømmerstokken dramatisk. Etter en kraftig storm i Irland (1998) sank virkesverdien⁴ på tømmerstokker med stammebrekk fra stormrammede områder med 29 %. Tømmerstokker som kunne inngått i sagtømmersortimentet med stokkelengden 4,9 meter hadde en verdireduksjon på hele 47 % av opprinnelig verdi grunnet stammebrekk (Nieuwenhus & P.J.Fitzpatrick 2002).

Resultatene fra Nieuwenhuis og O'Connor (2001)'s studie kan man dra paralleller til i Norge når man ser på prislister og kvalitetskrav til sagtømmer. I Norge er verdiaptering⁵ enerådende. Sien 1990 tallet da sentrale prisforhandlinger opphørte, har vi fått mere spesialtilpassede kvalitetskrav og prislister i Norge. I Figur 3 ser vi at et sagtømmersortiment på 4,9 meter har en høy verdi. Dette sortimentet er også et sortiment med høy etterspørsel hos sagbrukene (merket gult) (Birkeland et al. 2002; *Skog og Landskap www...* 2007) . Det er derfor lett og se at man også i Norge vil kunne få et stort virkesverditap når man må aptere tømmerstokken vekk fra klasser med høy verdi på grunn av stammebrekk.



Figur 3: Prioriterte toppmål og lengder i prislister for et sagtømmersortiment ved verdiaptering⁶.

⁴ Med virkesverdi menes nettoppris per kubikkmeter.

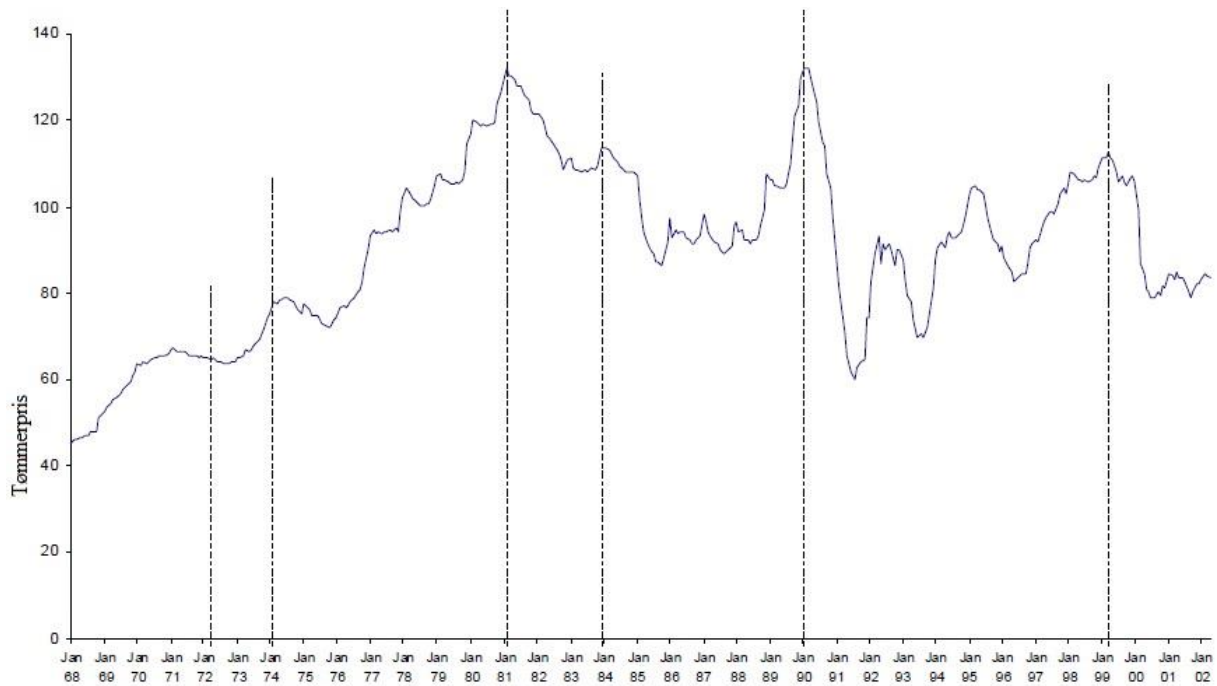
⁵ Med verdiaptering menes verdioptimering av stammen, beskrevet ut fra prisklasser.

⁶ (*Skog og Landskap www...* 2007).

Nieuwenhuis og O'Connor (2001) fant i en studie at kubikkmeterprisen for vindfallvirke⁷ i stormrammede områder lå 10 % lavere enn for virke fra andre områder etter en storm i Irland (1997). Dette skyldes i hovedsak økte driftskostnader, færre stokker til sagtømmersortiment og større usikkerhet hos tømmerkjøperen.

Over halvparten av norske skogeiere mangler stormforsikring, og slike virkesverditap sammen med økte driftskostnader må uforsikrede skogeiere koste selv siden naturskadefondet (etter 2005) ikke lengre dekker stormskader i skog (Løge 2010). Tømmerprisene vil også generelt sett bli påvirket når store mengder tømmer må avvirkes som en konsekvens av stormskader i skog som ellers ikke var hogstmoden. For både selger og kjøper medfører dette dårligere økonomisk utbytte og kan i verste fall føre til at selger ikke får solgt tømmer i det hele tatt siden lagrene på kjøpersiden og markedet blir mettet. Etter orkanen Lothar (1999), falt tømmerprisene i Sveits med 35 % (Solberg et al. 2008). I Sverige lå grantømmerprisen 63 % lavere året etter stormen Gudrun (2005) enn året før (Gardiner et al. 2010).

⁷ Med vindfallvirke menes trevirke fra tømmerhogst i stormskadet skog.



Figur 4: Figuren viser grantømmerprisen i Tyskland fra 1968 til 2002 og illustrerer nedgangen i pris etter stormene i 1972, 1974, 1981, 1984, 1990 og 1999 (Gardiner et al. 2010).

Figur 4 illustrerer godt sammenhengen mellom storm og nedgang tømmerprisen i Tyskland for perioden 1968 – 2002. Skogbruket er tjent med større stabilitet siden slike svingninger medfører uforutsigbarhet og usikkerhet knyttet til investeringer. Dette gjelder ikke bare skogeieren men forgreiner seg også ut i næringen i flere ledd.

1.5 Politisk vilje

I stortingsmeldingen (nr. 9, 2011-2012) skriver regjeringen at de vil legge til rette for å bidra til at skogens og skogbrukets verdiskapning skal styrkes i hele landet. Videre er et av hovedmålene å øke bruken av trevirke til ulike formål for tre- og energibruk samt å utnytte skogen i klima og næringssammenheng (St. meld. nr 9 (2011.2012)). Regjeringen vil også legge til rette for økt bruk av skogråstoff samt bedre adkomsten til skogressursene. Skal man nå dette målet trengs det konkurransedyktige verdikjeder og bedre tilgjengelighet til skogressursene (St. meld. nr 9 (2011.2012)).

“ Skogressursene er fornybare og skogbruk er en viktig distriktsnæring med stor økonomisk betydning både nasjonalt, regionalt og lokalt(...)”(St. meld. nr 9 (2011.2012)).

1.5.1 Bruk av trevirke

I følge (Treteknisk Institutt 2012) har bruken av tre som byggemateriale ekspandert mot nye segmenter og bruksområder. Man kan per dags dato bygge næringsbygg og boligblokker opp mot 15-20 etasjer basert på tre og spennvidder opp mot 100 meter med limtre som materiale er nå mulig ved hjelp av nye løsninger (Treteknisk Institutt 2012). Dette stiller imidlertid utfordringer knyttet til mer kompetanse på entreprenørsiden, som mangler erfaring ved bruken av tre i større bygg (Treteknisk Institutt 2012).

En annen fersk rapport viser til at økt bruk av tømmer som byggemateriale og drivstoff vil kunne senke de globale CO₂ utslippene med over 14 %. I tillegg vil økt bruk av tømmer som råvare redusere bruken av fossilt brensel med over 12 %. Disse målene kan nåes ved å hogge over 35 % av tilveksten globalt (Oliver et al. 2014). Avstand til eksisterende skogsbilvei eller mangel på sådan er en viktig kostnadsdriver. Det kan resultere i at tømmer eller vindfall som normalt ville blitt avvirket blir liggende igjen i skogen. En annen bidragsyter til økte transportkostnader er flaskehalsen på riksveinettet, fylkesveier, og kommunale veier (Skjølaas 2014).

Skogsbilveidekningen i Norge er per dags dato beskjeden. Selv om det gis gunstige skattefordeler og tilskudd til både nybygging og oppgradering av skogsbilvei, har dette generelt sett gitt moderate resultater, selv om det er en klar forskjell mellom innlandet og kyststrøkene. I kystskogbruket kommer nok effekten av slike fordeler og tilskudd på sikt, siden kystskogbruket ikke har generert store mengder fondsmidler foreløpig grunnet lav avvirkning (*Skog og Landskap www...* 2008). I 2013 opplevde Norge den største årlige avvirkningen på 20 år (*SSB statestikk www...* 2014).

'' Våre analyser viser at svak og manglende infrastruktur i skogen er en betydelig kostnadsdriver. I 10 – 15 år fremover vil det hogges kulturskog i områder med lav veidekning, og det er nå investeringen må gjøres for framtidens skogbruk (...)''
(Nøkleholm 2014).

1.5.2 Ferdsl i vindfallområder

Når man ser bort fra de biologiske ettervirkningene og de rent tekniske utfordringene knyttet til vindfall og vindfallhogst er det også en annen faktor som bør nevnes. Dette er allmennhetens oppfatning og følelser rundt vindfall i skogen. Det ferdes folk i utmark, og når stier og sikt blir blokkert vil dette gi inntrykk og danne følelser hos allmennheten (Frivold & Gundersen 2009).

En spørreundersøkelse fra barskogdominerte områder viser at folk i alminnelighet liker ryddige skogbilder fremfor uryddige (innslag av liggende død ved og vindfall) (Gundersen et al. 2011). Når vindfall blir liggende igjen i skogen reduserer dette bruksverdien for mange skogbesøkende sammenliknet med ferdsel i et renere skogbilde (Gundersen et al. 2011).

1.6 Risiko knyttet til skog og voksested

1.6.1 Lokalitet – sosial stabilitet

Skogens stabilitet med tanke på storm og stormskader påvirkes av forskjellige faktorer knyttet til lokalitet eksempelvis topografiske forhold og jordbunnsforhold (bonitet og forankringspotensiale i jordsmonnet) samt hvor eksponert lokaliteten er for vind (Olofsson 2006; Solberg et al. 2008; Zeng et al. 2010).

I tillegg til lokalitet og faktorer knyttet til denne, vil bestandets egne egenskaper også påvirke stabiliteten. Egenskaper knyttet til skogens romlige fordeling i landskapet, bestandets sosiale stabilitet og enkelttre-stabiliteten er alle faktorer som bidrar til skogens totale stabilitet (Solberg et al. 2008; Solberg et al. 2014). I forbindelse med en simulasjon av skogens alder og romlige fordeling i landskapet sett i sammenheng med stormrisiko konkluderer Zeng et al. (2010) at man bør unngå store åpninger i skogen, spesielt langs kanter og særlig jo eldre skogen blir.

1.6.2 Jordbunnsforhold

Grunnlaget for trærnes forankring av røttene i jordsmonnet er svært viktig (Panferov et al. 2009). Jordbunnsforholdet styrer næringsopptak og vekst og er viktig for trærnes evne til å forankre røttene. Ved en lav PH i jordsmonnet kan trær påvirkes av kjemiske faktorer i jordsmonnet slik at rotsystemet ikke klarer å utnytte jordsmonnet godt nok, det vil si dårligere forankring, noe som igjen fører til en økt risiko for rotvelt. For mye Nitrogen i jorda fører til en økt vekst, men kan redusere densiteten. Dette kan gjøre treet mer utsatt for stammebrekk (Mayer et al. 2005).

Etter stormene Lothar og Martin (1999) foretok Mayer et al. (2005) en studie som omfattet flere Europeiske land og viste at PH i jorda var sterkt korrelert med stormskade. Slike sure jordtyper kan redusere røttenes evne til forankring, spesielt for finrøttene der vekst og styrke blir svekket. Dette kan skyldes forekomster av aluminium i sur jord samt mangel på kalsium og magnesium. Områder med høy PH og lite stormskade, var assosiert med grunn leirjord med et høyt steininnhold. Leirjord kan bidra til økt forankringspotensiale for røttene. Det kan også være fordelaktig å øke andelen lauvtrær for å øke PH-nivået i jordsmonnet (Delhaiza & Ryan 1995).

Økt innslag med lauv kan derimot bidra til økt risiko for stormskader i bartreskog, mens for lauvtrærne er stormrisikoen mindre fordi de har felt bladene i de mest stormutsatte periodene (Mayer et al. 2005). Panferov et al. (2009) viser til at grunt jordsmonn av typen cambisol gir økt risiko for stormskader. Cambisol er en selvdrenerende, tørkesterk jordtype (*Cambisol* 2007). På slike jordtyper avhenger forankringen ofte av tykkelsen til de vertikale røttene på losiden av treet samt hvor dypt røttene går.

En mulig forklaring på slike motstridende funn i ulike andre studier kan indikere at det er andre faktorer som påvirker området stormrisiko. Det kan være slik at man finner grunn jord på topografisk utsatte områder det vil si på høydedrag og topper i terrenget. En annen forklaring er at det kan være større vannmetning i områder som ikke er like topografisk utsatt, eksempelvis områder i bunnen av en dal, noe som kan bidra til dårligere forankringsevne.

Økende andel vann i jorda bidrar også til økt risiko for stormskade spesielt for gran (*Picea abies*). Dette skyldes at røttene som regel ikke penetrerer særlig langt ned i mineraljorda under slike forhold. Noen ganger kan vertikale røtter være totalt fraværende eller at de sporadisk ikke går særlig dypt (Hutte 1968). I Sverige har de erfaring med at forankringsevnen er bedre på morenejord enn leire og torvmark (Valinger & Fridman 1999).

1.6.3 Skogens stabilitet

Stabilitet i skog er ofte avhengig av tre hovedfaktorer. Det er skogskjøtsel, terreng og jordbunnsforhold (Solberg et al. 2008) (Solberg et al. 2014). Tettheten er en faktor som påvirker stabiliteten, både for enkelttrær og bestandet som helhet. Det er også en stor forskjell mellom tynnede og uttynnede bestand, da stormrisikoen er påvirket av både tynningsstyrke og tynningstidspunkt. Det er størst risiko for stormfelling i bestand som nylig er tynnet (Dobbertin 2002). Det kan ta flere år før kronetaket er tettet igjen og trærne kan dra nytte av den sosiale stabiliteten noe som gjør bestandet sårbart i denne perioden. Bestand med høy tetthet vil være utsatt for stormskade, særlig jo høyere trærne blir. Risikoen er størst ved en sen høytynning (Valinger & Pettersson 1996) fordi man da fjerner de trærne som i utgangspunktet har størst konkurransefortrinn.

Det kan nok tenkes at det tynnes seint i Norske skoger selv om det anbefales at tynningen bør skje når høyden er mellom 12 -14m (for gran (*Picea abies*)) og det skal helst ikke tynnes etter 20 meters overhøyde (*Skogkurs - Tynning* 2013). Sein tynning kan forekomme i tilfeller der skogeier vurderer økonomisk gevinst i dag sammenliknet med stabilitet (lite selvtynning), diameterutvikling hos framtidstrærne og fremtidig gevinst. Her må også de driftsøkonomiske faktorene vurderes i hvert tilfelle.

Tidlige sterke avstandsreguleringer og tynninger vil kunne gi trærne økt rotutvikling samt bidra til et mer gunstig D/H forhold noe som gir bedre enkelttrestabilitet. Det vil si trær med lengre krone og en større brysthøydiameter i forhold til høyden. Dette gjelder også for krone/høydeforholdet der trær med vide kroner i forhold til høyde har fått stå mere glissent. Det er imidlertid også slik at vinden lettere får tak i trær med større krone. Slike tidlige, sterke avstandsreguleringer gir også uønskede effekter i forhold til kvalitet (mye kvist og gulrotform på stammen). Det kan derfor være viktig for skogeieren og regulere tetthet med hensyn på stormrisiko kun ved utsatte kanter og andre topografisk utsatte deler av skogen. Det er spesielt risikofylt å tynne seint i risikoutsatte deler av skogen.

Med en slik sein tynning taper man bestandets sosiale stabilitet, spesielt ved høytynning. (Albrecht et al. 2012). Ved økende alder og trehøyde, øker risikoen for stormskade. Sterke tynninger og skjermstillingshogst bør inngås i stormutsatte områder (Valinger & Fridman 1999).

1.6.4 Terreng

Skog som står i le av terrenget kan være bedre skjermet mot stormskade enn mer eksponerte områder (Solberg et al. 2014). Topografien til et område blir ofte målt som topex, noe som gir en indikasjon på hvordan terrenget rundt målepunktet er. Vinkelen fra målepunktet og ut mot horisonten blir målt i 8 himmelretninger. Hvis man totalt får en positiv verdi av vinklene i åtte himmelretninger (som regel 1 km ut fra målepunktet) så står man i en søkk i terrenget. Hvis man derimot får en negativ verdi er man på en høyde, og er mer utsatt for vind (Quine & White 1994).

I Storbritannia brukes det en enkel målemetode som forteller noe om hvor utsatt et område er for vind. Det gjøres ved å sette ut pinner med små tøylapper av bomull. Disse flaggene skal stå ute en periode og blir deretter sanket inn. Deretter måler man hvor mye av bomullsstoffet som er slitt bort, noe som gir en indikasjon på hvor utsatt området er for vind (Quine & White 1994).

Terreng vil kunne si noe om hvor risikoutsatt skogen er for stormskader. Terrengets helning beskrives ofte i grader^o og måles mot et punkt i horisonten med lik avstand til bakken som måleinstrumentets høyde. Er det helt flatt vil man måle verdien 0. Flatere terreng kan i noen tilfeller gi større stormrisiko enn bratt terreng hvis området er stort. Spesielt gjelder dette hvis det flate terrenget ikke er omringet av eller ligger i le av mere kupert terreng. Dette kan i noen tilfeller forklares med at noen jordtyper holder lengre på vannet etter nedbørsperioder i slike områder slik at rotforankringen til trærne da blir svekket (Mayer et al. 2005).

Himmelretningen til en skogkledd lise er også avgjørende med tanke på vindretning og stormskader. Hvis den dominerende himmelretningen er mot vest, da har man ei vestvendt li, og man må da se denne faktoren i sammenheng med den dominerende vindretningen i området. Den totale effekten av slike faktorer har stor betydning når stormen først treffer.

Når man ser på disse faktorene som danner grunnlaget for stabilitet i skog ser vi at helheten er sammensatt av flere komplekse sammenhenger mellom trær, treslag, jordbunnsforhold og terreng samt interaksjoner mellom disse.

1.7 Problemstilling

Hovedmålsettingen med denne studien var å kartlegge risikofaktorer i produksjonsskog med fokus på å begrense stormskader. Det var da naturlig å ta utgangspunkt i en storm som hadde skapt store skader og som hadde opptrådt nylig. Stormen ‘‘ Dagmar’’ (2011) var da ideell. Studien begrenser seg til stormskader i Norge, herunder et skogsområde i Eidsvoll og Nannestad kommune. Området ble valgt på grunn av størrelsen på skogseiendommen, god tilgang på data, og fordi det var fordelaktig å forholde seg til et forsikringsselskap og en grunneier.

Et skogsområde tilhørende Mathiesen Eidsvoll Værk (heretter forkortet MEV) ble studert. Området hadde opplevd store stormskader etter stormen Dagmar (2011) og MEV hadde en godt oppdatert skogbruksplan for området samt skadetakstdata knyttet til stormen Dagmar. Skogbruksplandata, skjøtselsdata, og stormskadetakst for området ble benyttet. Jordbunnsforholdene i området ved hjelp av Norges geologiske undersøkelse ble benyttet i studien. Lasertakstdata fra 2007 over området ble brukt i denne studien til å beregne terreng og skogdata. Sammenhenger mellom stormskader og ulike faktorer som skogtilstand (skogkulturtiltak med mer), jordbunnsforhold og terreng er studert.

Det er grunnlag for å tro at skogkulturtiltak, jordbunnsforhold og topografi påvirker skogens stabilitet. Det forventes at det er en fordel for trær og bestand med tanke på storm å være mindre topografisk eksponert, ha et dypt jordsmonn, samt at bestand ikke er tynnet i forkant av stormen Dagmar.

På bakgrunn av hovedmålet med denne oppgaven blir den overordnede problemstillingen følgende:

Hvilke risikofaktorer er knyttet til skogbehandling, jordbunnsforhold og terreng, sett i sammenheng med stormskadene etter stormen Dagmar (2011), og hva er mest utslagsgivende?

2 Material og Metode

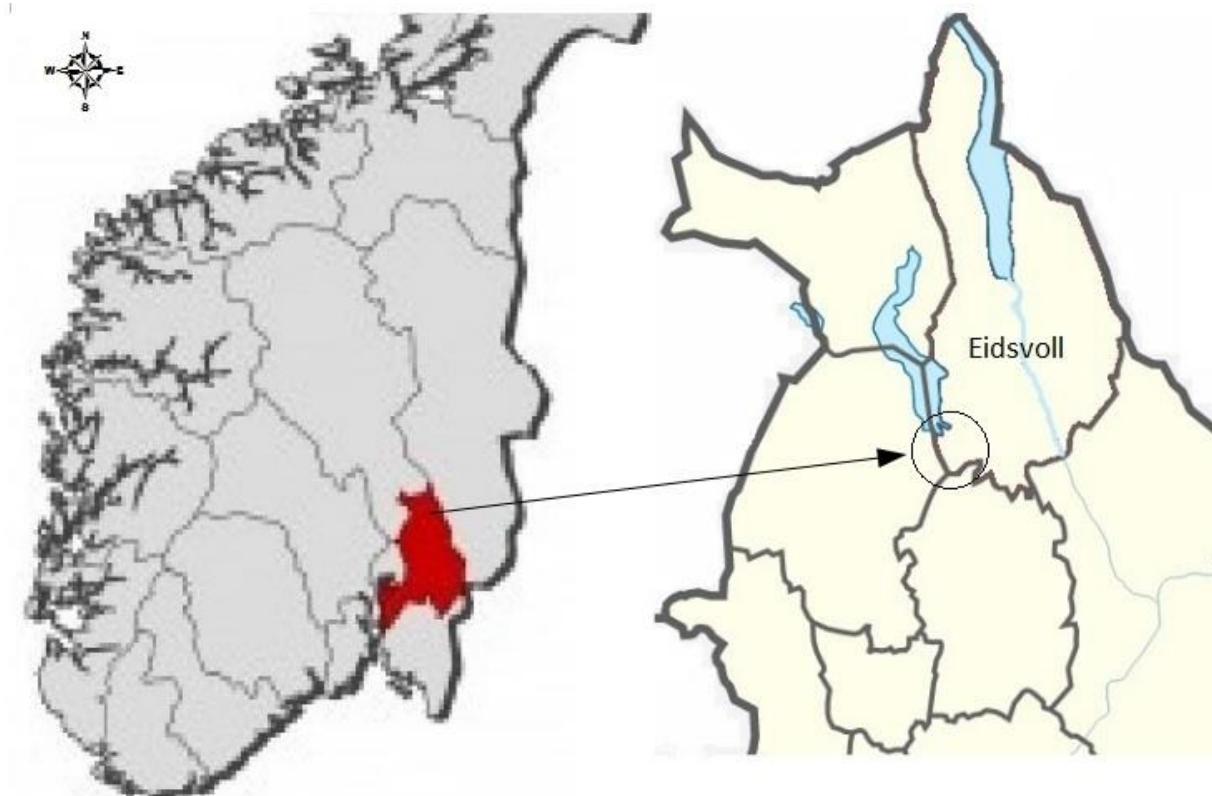
2.1 Studieområde

I samarbeid med veilederne og samarbeidspartner MEV og Skogbrand ble et egnet studieområde plukket ut på skogseiendommen. Grunnlaget for valget av studieområde var at området var innenfor håndterlig størrelse og samtidig hadde opplevd stormskader fra stormen Dagmar (2011). I denne oppgaven ble det hentet data fra et 16 Km² stort skogsområde.

Området kalles Bergermoen og er en del av MEV`s skogseiendom. Studieområde ligger sør for Hurdalssjøen og fordeler seg over Eidsvold og Nannestad kommune med hovedvekt i Eidsvoll, Akershus fylke (N 60° 15', E 11° 8', 210 m.o.h.) Studieområdet grenser til Nannestad i vest og Ullensaker i sør (Figur 5).

Skogen i Studieområdet består av gran (*Picea abies*), furu (*Pinus Sylvestris*), og lauvtrær i hovedsak bjørk (*Betula spp*). Det klart dominerende treslaget er gran. Studieområdet består av 443 produktive bestand (Figur 6). I starten av januar 2014 var forfatteren ute i felt. Der ble det foretatt diverse egne målinger og studieområdet ble studert i flere omganger ved å oppsøke de ulike delene av området for å kunne få et inntrykk av studieområdet og vurdere studieområdet som helhet. Målingene som ble foretatt var diverse stikkprøver av jorddybde (for å undersøke om det fantes Aurhelle⁸) samt ulike tremålinger. Disse egne målingene gikk ikke inn som noe tallgrunnlag i denne studien siden det var tilgang på gode lasertakstdata og en godt oppdatert skogbruksplan.

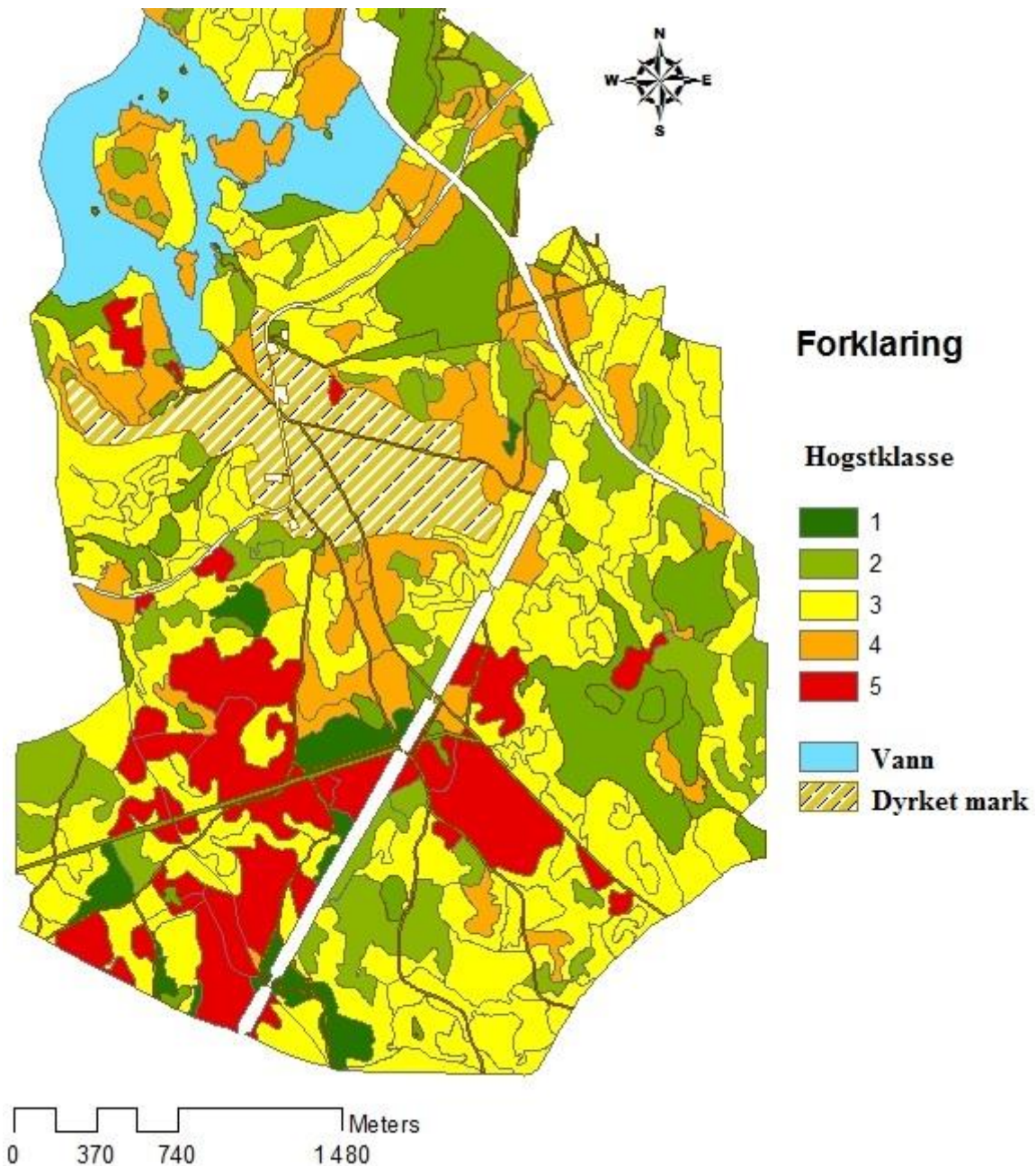
⁸ Aurhelle er et hardt jordlag et stykke under overflaten (SNL [www...](http://www.snl.no) 2014).



Figur 5: Til venstre, et kartutsnitt av Norge med Akershus fylke markert i rødt⁹. Til høyre, Eidsvoll kommune med studieområdet markert¹⁰.

⁹ http://www.123rf.com/photo_11451115_political-map-of-norway-with-the-several-counties.html.

¹⁰ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5f/Norway_Akershus_-_Eidsvoll.svg.



Figur 6: Studieområdet med de 443 aktuelle bestand i 2007. Bestandene er markert med fargene grønn, lysegrønn, gul, oransje og rød som representerer hogstklassefordelingen(1-5) Blå og brun farge, er henholdsvis vann og dyrket mark mens hvit farge er vei og jernbane.

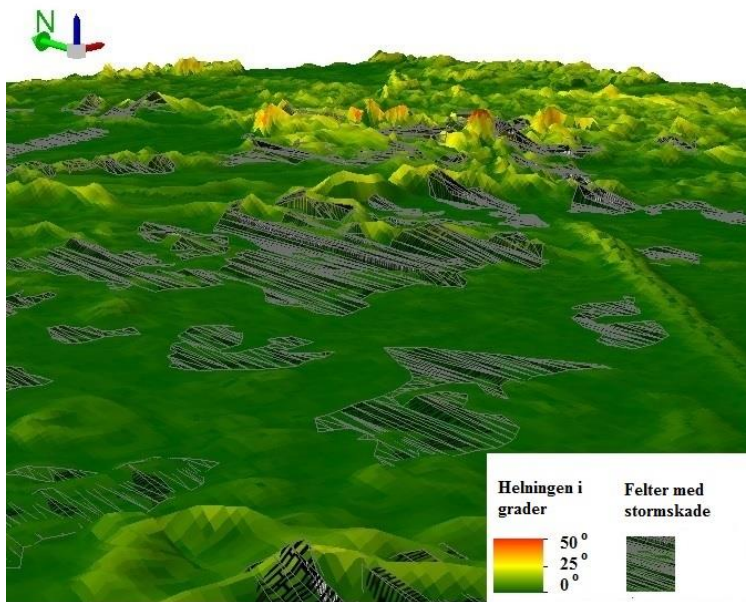
2.2 Datainnsamling

Datasettet som ble brukt i denne oppgaven ble generert av en rekke faktorer knyttet til stormrisiko i skog. Dataene knyttet til hvert bestand ble samlet inn fra:

- Terrengvariable basert på den Norske terrengmodellen DTED10
- Jordbunnsforhold fra Norges Geologiske Undersøkelse(NGU) i form av løsmassekart
- Skogbruksplandata fra MEV basert på deres digitale skogbruksplan samt Lasertakstdata over MEV's skogseiendom
- Skaderegistreringer fra stormen ‘‘ Dagmar’’ fra MEV's egne registreringer basert på hogstmaskinens ‘‘ tracklog’’

2.3 Topografiske data

Den nasjonale terrengmodellen DTED 10 ble brukt som grunnlag for å generere terrengvariable. DTED 10 er et raster med 10 m oppløsning som gir høyde over havet i meter. Terrengmodellen konstruert i denne studien stammer fra lasertaksten i 2007. Slope og Aspect ble beregnet. For Slope ble den gjennomsnittlige helningsvinkelen i grader for hvert bestand beregnet ($0,2^{\circ}$ - $17,4^{\circ}$). Figur 7 viser studieområdet terreng sett fra det sør-vestlige hjørnet med stormskadefelt markert i sort/grått. For Aspect ble den dominerende himmelretningen for hvert bestand beregnet (N, NV ..., NØ). Terrengvariablene ble beregnet fra hvert punkt (10*10m), se Tabell 2.



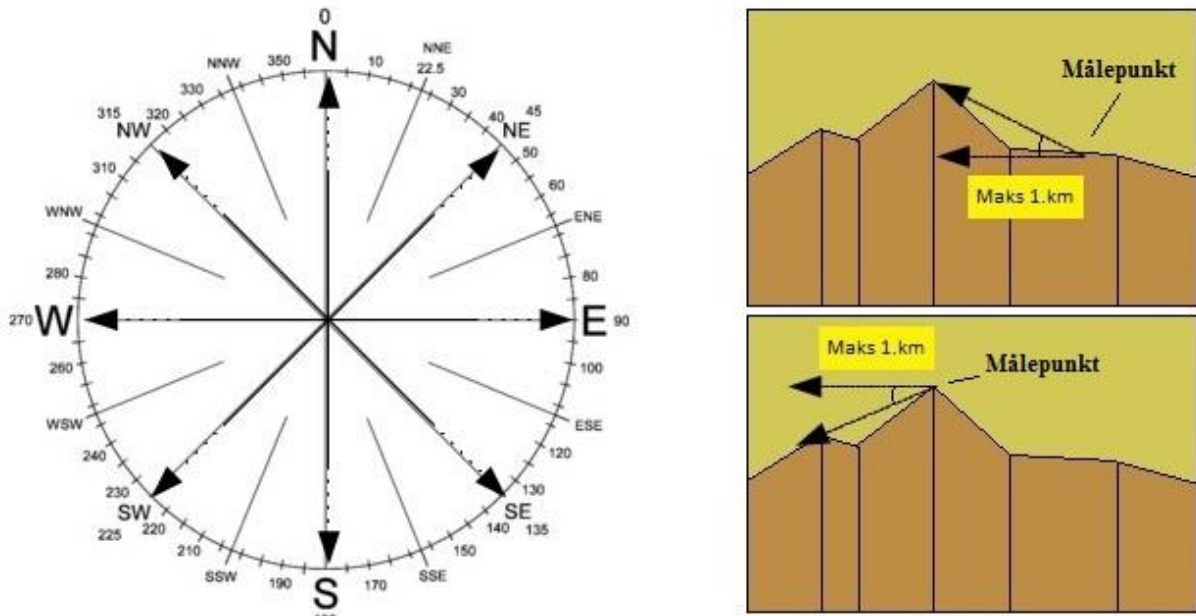
Figur 7: Studieområdet sett fra sør-vestlige hjørne. Figuren viser helningen i grader. Stormskader er skravert i sorte og grå striper.

2.3.1 TOPEX

Den nasjonale terrengmodellen DTED 10 var grunnlaget for å generere terrengvariable. Deretter ble topografisk eksposisjon (Topex) beregnet (TOPEXscript). For å gjøre topografiske data leselig for Topex-programvare og andre funksjoner i ArcMap ble terrengmodellen gjort om til TIFF-format. Dette ble gjort i samarbeid med Tor Peder Lohne, overingeniør ved Skog og Landskap.

Beregningen av Topex ble gjort i samarbeid med Nikolas von Lüpke, forsker ved skog og landskap. Dette fordi programvaren for gjennomkjøringen kun fungerer sammen med en eldre versjon av dataprogrammet ArcMap som Nikolas von Lüpke stilte til rådighet gjennom egen pc for akkurat denne operasjonen.

Topex gir vinkelen fra punktet mot terrengets horisont, i denne oppgaven var dette 1 km ut fra punktet. Det kan forklares enkelt ved at hvis terrengets horisont er lavere enn punktet man står på vil man måle en negativ vinkel og står dermed på en høyde (Figur 8). Det ble beregnet to Topex-variable. En som et gjennomsnitt for alle 8 himmelretninger (N, NV, ..., NØ) og en for himmelretningen sørvest. Dette ble gjort for hele studieområdet (10*10 meter). Deretter ble disse Topex-verdiene gjennomsnittsberegnet for hvert bestand i studieområdet ved hjelp av slike funksjoner i programmet Arcmap. Se Tabell 2 og Figur 9.

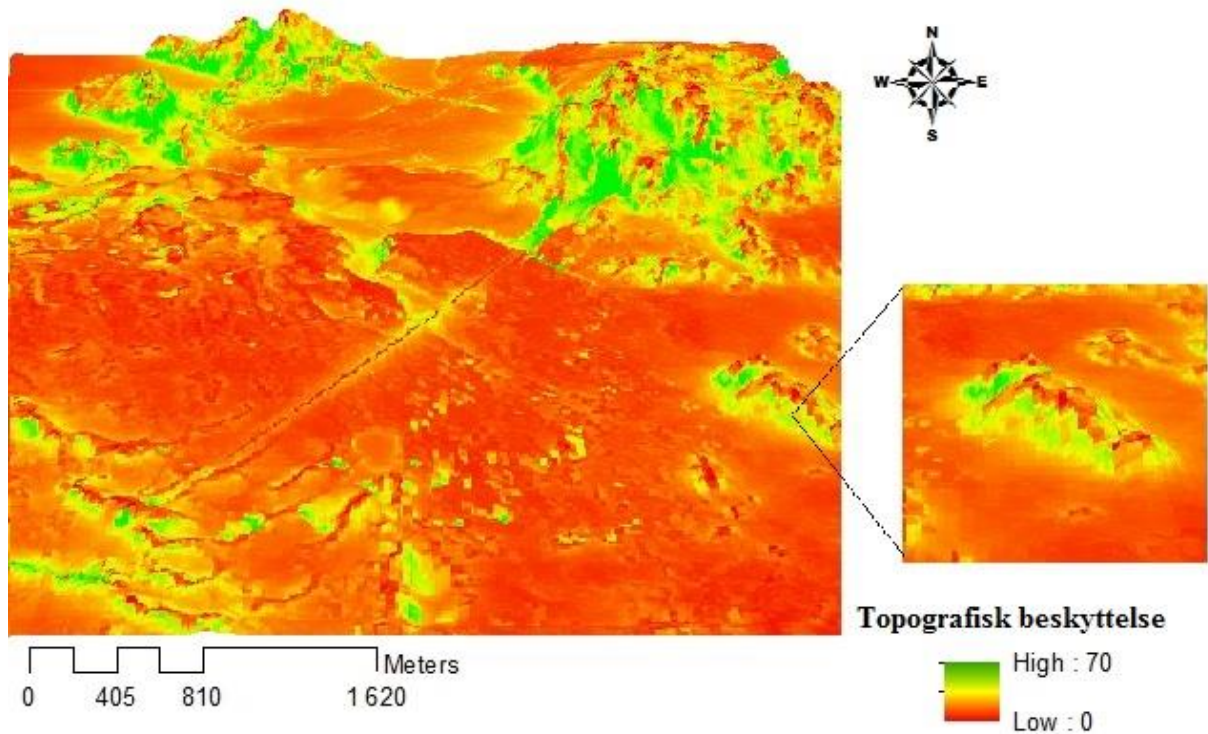


Figur 8: TOPEX (topografisk eksposisjon) ble beregnet som vinkel i grader fra et gitt punkt til horisonten (maks 1.km)¹¹.

Tabell 2: Variabelliste med forklaringer av topografiske variabler.

Nr.	Navn	Enhet	Type variabel	Forklaring og gjennomsnitt (min-maks)
2	Aspect	Himmelretning	Kategorisk variabel	Den dominerende himmelretningen på terrenget (N, NØ, ..., NV, flatt)
3	Slope	Grader ^o	Kontinuerlig variabel	Gjennomsnittlig helningsvinkel på terrenget 4,2 (0,2-17,4)
4	TOPEX_SV	Grader ^o	Kontinuerlig variabel	TOPEX, gjennomsnittlig topexverdi mot sørvest 2,3 (-2,2-16,5)
5	TOPEX	Grader ^o	Kontinuerlig variabel	TOPEX, gjennomsnittlig topexverdi for 8 himmelretninger 20,9 (3,6-61,8)

¹¹ <http://www.ke4nyv.com/navigation.htm>



Figur 9: Figuren viser et kartutsnitt av Topex for studieområdet samt kartutsnittets topografiske beskyttelse.

Figur 9 viser et kartutsnitt av Topex fra studieområdet. Hensikten med figuren er å illustrere områdets topografiske beskyttelse. Ordvalget topografisk beskyttelse brukes for at leseren lettere skal kunne lese kartet. Av figuren ser vi at høyledrag (uthevet firkant i figur 9) og større flate områder i større grad er eksponert, det vil si i mindre grad topografisk beskyttet. Sammenliknet med områder som ligger inntil en topp eller lise (gul-grønne områder) er disse mindre eksponert og derfor bedre topografisk beskyttet.

2.4 Jordbunnsforhold

Fra Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) ble det samlet inn data i form av kvartærgeologiske kart som beskriver løsmassene over berggrunnen i studieområdet. Disse datatypene var nedlastbare som shapefiler og løsmassetypene er representert som polygoner med tilhørende variabler som beskriver infiltrasjonsevne, grunnvannspotensiale og opphavsmateriale.

Infiltrasjonsevnen beskrives gjennom løsmassene`s kornfordeling og permeabilitet, samt jorddybde og terrengforhold. Infiltrasjonsevnen og grunnvannspotensiale sier begge noe om forankringsmuligheter for trærne som påvirker stabiliteten (Mayer et al. 2005; Panferov et al. 2009).

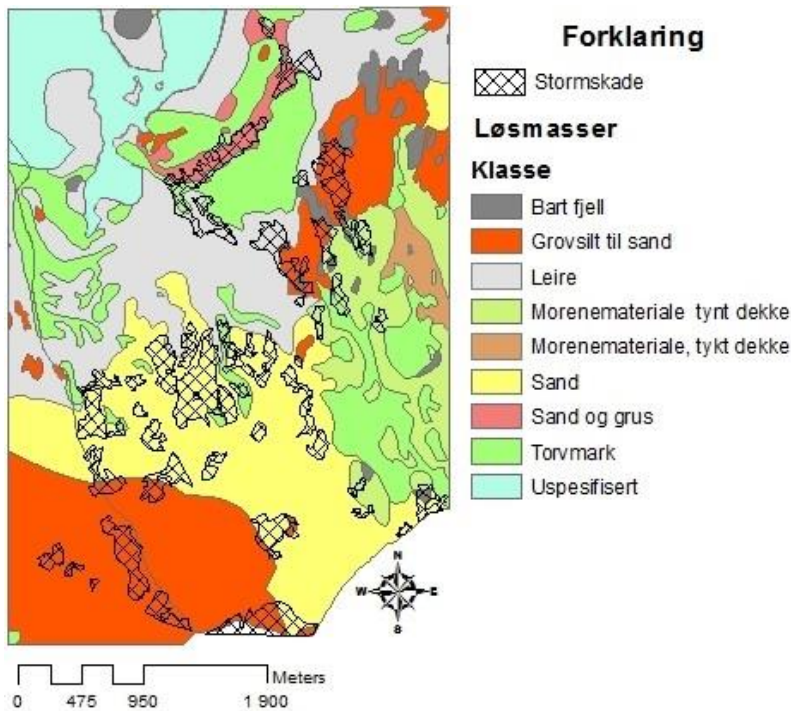
Det ble så beregnet en variabel (Tabell 3) med utgangspunkt i opphavsmateriale med klassene sand, sand og grus, silt og sand, torvmark, morenemateriale (tykt og tynt), bart fjell og leire. Klassene sand og sand og grus inngår under elveavsetning, mens klassen silt og sand inngår under vindavsetning.

Tabell 3: Jordbunnsvariabel.

Nr.	Navn	Enhet	Type variabel	Forklaring
6	Losmas	Type løsmasse	Kategorisk variabel	Hvilken type løsmasstype det var majoritet av i bestandet

Det ble først forsøkt og inndele variabelen med færre klasser som beskrevet over (elve- og vindavsetning med flere) men dette svekket modellen så denne ble forkastet. Den endelige variabelen gjenstod da med 8 klasser.

Oversikt over hva som inngår i variabelen jordbunnsvariable finnes i Tabell 4. For hvert bestand er løsmassetypen med størst utbredelse gjeldene for bestandet som helhet. Figur 10 viser et oversiktskart over fordelingen av løsmasser i studieområdet. Skraverte felt i sort viser fordelingen av stormskade i studieområdet.



Figur 10: Studieområdets løsmasser med forklaring. Skraverte felter i sort viser fordelingen av stormskade.

Tabell 4: Oversikt over typer jordbunnsvariable med forklaring og definisjon.

Nr.	Kategori	Navn	Type	Forklaring	Jordart	Definisjon
6	Jordbunnsvariable	Losmas	Mor_usa	Morenemateriale, usammenhengende tynt dekke	12	Dårlig sortert materiale med alt fra leire til stein og blokker. Tykkelse under 0.5m
			Mor_sam	Morenemateriale, sammenhengende tykt dekke	11	Samme definisjon som over, med unntak av at tykkelsen er over 0.5m
			B_fjell	Bart fjell	130	Bart fjell
			Torvm	Torvmark	90	Torv og myr
			Sand	Sand	20	Breelavsetning
			Sandog_G	Sand og grus	50	Elveavsetning
			Leire	Leire	41	Hav og fjordavsetning
			Silt_sand	Grov silt til sand	60	Vindavsetning

2.5 Skogdata

2.5.1 Skogbruksplandata

Fra MEV ble det samlet inn skogbruksplandata fra hele studieområdet samt data der det forelå tidspunkter og beskrivelse for ulike skogbehandlinger på bestandsnivå som var relevant for oppgaven. Skogbehandlingene er beskrevet i (Tabell 5) og strekker seg fra året 2011 og bakover i tid. Skogbruksplanen inneholdt relevante data som bestandsareal, bonitet, hogstklasse med mer. Studieområdet bestod i utgangspunktet av totalt 612 bestand (uproduktive og produktive). De ‘‘ uproduktive bestandene’’ bestod av områder som ikke var relevante for videre bearbeiding. Disse områdene var blant annet uproduktiv skog og dyrket mark og vil ikke bli nevnt videre. Det gjestod 443 stk. produktive skogbestand som ble med for videre bearbeidelse. Samtlige skogvariable knyttet til hvert og ett av bestandene finnes i Tabell 6 og beskriver skogtilstanden høsten 2007. Bestand som er avvirket mellom høsten 2007 og 2011 er valgt ut av datasettet.

Tabell 5: Forklaringstabell av skogvariablene som inngår under direkte skogbehandling. Årstall og type uttak.

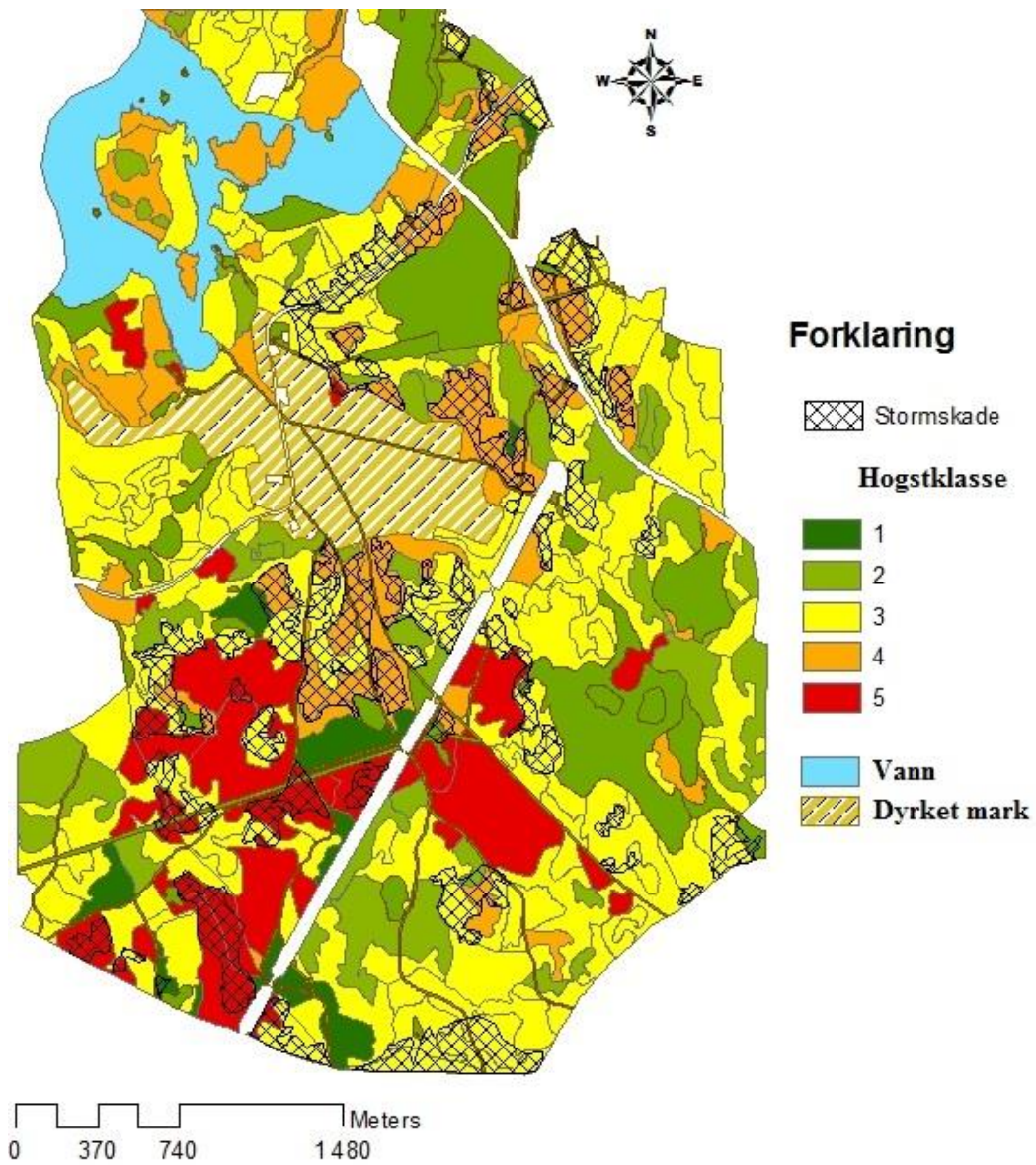
Nr.	Kategori	Navn	Type uttak og år	Forklaring
12	Skogvariable	Uttak_4	Tyn08	Tynning utført i 2008
			Tyn11	Tynning utført i 2011
			Skj08	Skjerstillingshogst utført i 2008
			Nei	Ingen uttak de siste fire år
13	Skogvariable	Uttak_10	Ja	Det har vært uttak de siste 10 år
			Nei	Ingen uttak de siste ti år
			Kont06	Kontushogst i 2006
			Skj03	Skjerstillingshogst utført i 2003
			Skj05	Skjerstillingshogst utført i 2005
			Tyn01	Tynning utført i 2001
			Tyn03	Tynning utført i 2003

Tabell 6: Variabelliste med forklaringer av skogvariable.

Nr.	Navn	Enhet	Type variabel	Forklaring og Gjennomsnitt (min-maks)
7	M ² /tre	M ²	Kontinuerlig variabel	Kvadratmeter (m ²) per tre 2,9 (0-9)
8	Mean_H	M	Kontinuerlig variabel	Gjennomsnittlig høyde alle treslag 11,7 (1,5-22,5)
9	Spros	%	Kontinuerlig variabel	Bestandets mildere treavstand i prosent av bestandets gjennomsnittshøyde (justert) 28,8 (0-187,7)
10	Treantdaa	Antall/daa ⁻¹	Kontinuerlig variabel	Treantall/daa ⁻¹ alle treslag 107,4 (0-415)
11	Renhet	%	Kontinuerlig variabel	Prosentandel hovedtreslag 78,1 (0-100)
12	Uttak_4_2	Ja/nei	Kategorisk variabel	Uttak de siste fire år (Ja eller nei)
13	Uttak_10_2	Ja/nei	Kategorisk variabel	Uttak de siste ti år (Ja eller nei)
15	KH_HTS	%	Kontinuerlig variabel	Krone/høydeforholdet for hovedtreslaget 26,1 (16,9-82,4)
16	DH_HTS	Cm/m	Kontinuerlig variabel	Diameter/høydeforholdet for hovedtreslaget 1,2 (1-2,8)
17	Hkl	1-5	Kontinuerlig variabel	Hogstklasse 3,8 (1-5)
18	Alder	0-116	Kontinuerlig variabel	Bestandsalder i 2011 61,2 (8-116)
19	Bon	11-23	Kontinuerlig variabel	Bonitet H40 16,6 (11-23)

2.5.2 Skadetakstdata

Skadetaksten etter stormen ‘‘ Dagmar’’ stammer fra MEV og er basert på hogstmaskinens tracklog og maskinmålt virke å fordelte seg over studieområdet som vist i Figur 11. Denne skadetaksten ble utført av MEV`s egne ansatte etter instruks og opplæring fra Skogbrand. Skadetaksten ble koblet sammen med bestandene i ArcMap slik at hvert bestand fikk en skadegrad fra 0 og 100 % basert på avvirket andel av bestandets opprinnelige størrelse. Stormskade er modellenes avhengige variabel (Tabell 7). På Figur 12 ser vi et eksempel på hvordan skadeområdet fordeler seg over noen av bestandene i studieområdet. Bestand A vil i dette eksempelet ha nærmere 100 % skade, mens bestand B og C vil ha en skadegrad på henholdsvis 15 og 35 % i forhold til bestandsstørrelse.



Figur 11: Studieområdet representert med hogstklassene og stormskade markert med skraverte felt.



Figur 12: Eksempel på skadeområder etter stormen Dagmar fordelt over ulike bestand (A, B, og C). Registrert skade er skravert i rødt og ble avvirket etter stormen.

Tabell 7: Avhengig variabel: Stormskade i prosent av opprinnelig bestandsstørrelse.

Nr	Navn	Enhet	Type variabel	Forklaring og verdier. Gjennomsnitt (min-maks)
1	Skadpro	%	Ordinal variabel	Stormskadeprosent i klassene 1 og 0 der 1 \geq 25% og 0 < 25 %. 23,3 (0-100)

2.5.3 Lasertakstdata

Lasertaksten over studieområde ble foretatt i september 2007 av Foran AS som et samarbeidsprosjekt mellom MEV og Fylkesammen i Akershus. Lasertakstdataene ble gjort tilgjengelig for meg gjennom Skog og Landskap med tillatelse fra MEV. Denne taksten inneholder informasjon på enkelttre nivå som høyde, kronevidde, og diameter med mer, for alle trær på hele skogseiendommen. I første omgang ble derfor alle enkelttredata som ikke var knyttet til studieområdet valgt bort. Deretter knyttet jeg trærne i enkelttretaksten sammen med bestandene i studieområdet og kategoriserte dem i treslagene gran, furu, og lauv. Totalt 660 000 trær for hele studieområdet. Disse lasertakstdataene er knyttet sammen med data fra skogbruksplanen og flere skogvariablene er basert på lasertakst (høyde, treantall, treslag, kronediameter, og diameter).

2.6 Bearbeiding av data

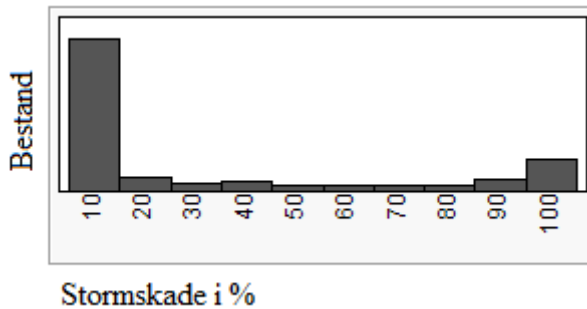
2.6.1 ArcGis

Som hjelpemiddel for å kunne bearbeide de ulike typene data, var dataprogrammet ArcGis og herunder ArcMap godt egnet. (ESRI 2013) Dette programmet støttet filformatene til mine data (shapefiler). Programmet fungerte godt til håndtering av de ulike data.

Skogbruksplandata, løsmassedata, enkelttredata fra lasertaksten og skadetakstdata ble lagt inn i ArcMap i form av kartlag og ble deretter knyttet til et og samme kartlag med utgangspunkt i bestand fra skogbruksplanen. Designet på det endelige datasettet fungerte slik at hvert bestand utgjør en observasjon (en linje) i datasettetets tabell med tilhørende verdi for hver variabel samt en skadegrad (0-100%). Totalt 443 bestand. I tillegg ble dataprogrammet Microsoft Office Excel og Access brukt for enkle gjennomsnittsberegninger og tabellsammenføringer (Office Excel ; Office Access 2014).

2.6.2 Statistisk Analyse

Statistikkprogrammet JMP ble brukt i alle de statistiske analysene (SAS Institute Inc. 2002). Logistisk regresjonsanalyse ble brukt til å analysere dataene siden responsvariabelen ikke var normalfordelt, men hadde svært tunge haler (totoppet fordeling, se Figur 13). Det ble valgt å dele responsen i to klasser.



Figur 13: Søylen viser fordelingen av bestand knyttet til prosentvis skade. Y-akse: Antall bestand. X-akse: Skadeprosent.

Skadeprosent under 25 % ble satt til 0 og skadeprosent større eller lik 25 % ble satt til 1. Dette passet godt med fordelingen til dataene og den modellen forsikringsvilkårene til Skogbrand bygger på. Vilråene i forsikringen sier at minst 25% av bestadet må være skadet (stammebrekk, bøyde trær eller rotvelt) i et sammenhengende område på minst 2 daa for at bestadet skal regnes som delvis skadet. Dette er minimumskravet som danner grunnlaget for utbetaling av forsikringspremie.

Modellen som ble brukt i oppgaven var en logistisk regresjonsmodell (Funksjon 1). P-verdiene ble kalkulert fra en Likelihood-ratio Chi-square test (SAS Institute Inc. 2002). For å gjøre et første utvalg ble forklaringsvariablene testet mot den avhengige variabelen en og en. Deretter ble det utviklet multiple modeller som baserte seg på de første analysene.

$$P(0) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}} \quad (\text{Funksjon 1})$$

3 Resultater

I Tabell 8 er variablene listet opp med tilhørende R^2 , parameterestimatenes retning og p-verdier. Så å si alle variablene gav statistisk sikre utslag på 5 % nivå (en og en), mens kun en variabel (Slope) ikke gav signifikant utslag på hverken 10 eller 5 % nivå. Vi ser av Tabell 8 at flere av variablene ga resultater i samsvar med forventningene mens enkelte variabler ga utslag i motsatt retning enn det som var forventet. Variablene er i Tabell 8 testet mot skadeprosent en og en. Som nevnt tidligere er det viktig å merke seg at parameterestimaterne får motsatt fortegn ved bruk av ordinal logistisk regresjon. Som et eksempel har Mean_H, altså gjennomsnittlig trehøyde i Tabell 8 en negativ retning. Det vil si at risikoen øker med økende høyde.

Tabell 8: Resultattabell beregnet separat for en og en variabel med R^2 , parameterestimatenes retning og p-verdier på 5 % nivå.

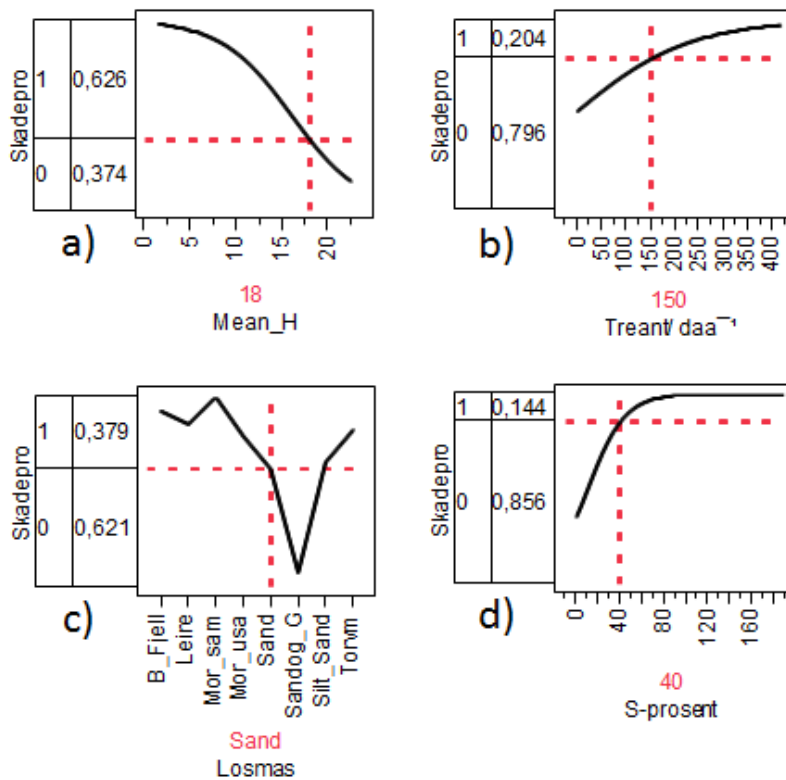
Nr.	Variabel	R^2	P-verdi	Retning	Risiko høyere ...
2	Mean_H	14,85	<0,0001*	-	Jo høyere trær
3	Hkl	11,13	<0,0001*	-	Med økende hogstklasse
4	Losmas	10,08	<0,0001*	For Elveavsetning
5	S-prosent	5,58	<0,0001*	+	Jo høyere tetthet (dagens situasjon)
6	KH_HTS	5,34	<0,0001*	+	Jo mindre kronediameter i forhold til høyden (tette bestand over lengre tid)
7	Treantdaa	4,92	<0,0001*	+	Jo lavere treantall/daa ⁻¹
8	Alder	3,97	<0,0001*	-	Ved økende alder
9	Aspect	3,54	0,0162*	Vestvendte bestand, men ingen klar effekt
10	DH_HTS	2,5	0,0003*	+	Ved svakere avsmalning (som nr. 6)
11	Bon	2,19	0,0007*	-	Ved høyere bonitet
12	TOPEX_SV	1,92	0,0014*	+	I sør-vestvendte lisider og i eksponerte områder
13	TOPEX	1,59	0,0037*	+	I eksponerte områder
14	Uttak_10	1,46	0,0054*	+	Uten inngrep de siste 10 år
15	Uttak_4	1,39	0,0068*	+	Uten inngrep de siste 4 år
16	Renhet	1,09	0,0161*	-	Jo høyere renhet i bestandet
17	M ² /tre	0,84	0,0347*	-	For glisne bestand
18	Slope	0,21	0,2973	+	I flattere terreng, ikke signifikant

3.1 Utvalgte variable

Figur 14 og Figur 15 viser henholdsvis 4 og 2 utvalgte variabler fremstilt grafisk som gav signifikant utslag på 5 % nivå, dvs. med en p-verdi $<0,05$.

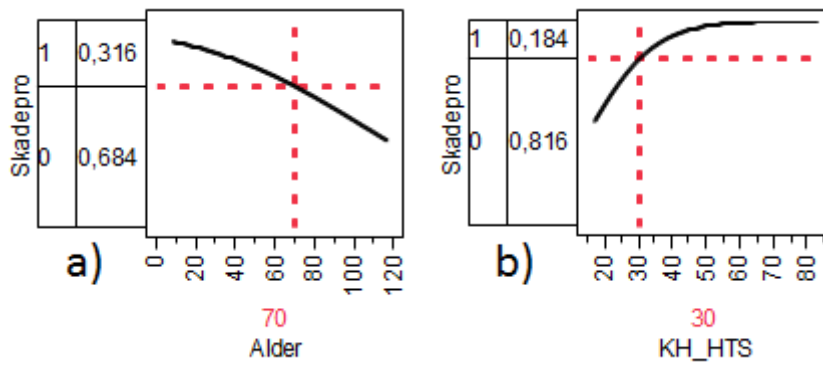
Skadeprosenten (Skadepro) er en kategorisk variabel der "1" er bestand med stormskade lik eller høyere enn 25% ($\geq 25 \leq 100$) og "0" er bestand med skade under 25% (< 25). Tallene tilhørende henholdsvis "1" og "0" i hver rute på Y-aksen forteller oss sannsynligheten for "1" eller "0" for en gitt verdi på X-aksen

Av Figur 14, graf a) gjennomsnittshøyde, ser vi at regresjonslinjen strekker seg fra 0 til over 20 meter på x-aksen. Ved en høyde på 18 meter ser vi at det er over litt over 60 % sannsynlighet for at bestand med denne gjennomsnittlige høyden vil kunne få skader på over 25 %. Høyde er den sterkeste forklaringsvariabelen.



Figur 14: Sammenhengen mellom Skadepro og henholdsvis Mean_H, Treant/ daa⁻¹, losmas, og S-prosent.

Figur 14: a) Gjennomsnittlig høyde. Vi ser av grafen at sannsynligheten for skade øker ved økende trehøyde. b) Treantall/ daa⁻¹. Vi ser av grafen at når treantall per daa⁻¹ øker, avtar sannsynligheten for å få større skade. c) Løsmassetype. Vi ser av figuren at det er størst sannsynlighet for å få skader på sand og grus (elve- og vindavsetninger). d) S-prosent. Vi ser av grafen at ved en synkende S-prosent, dvs. økende tetthet, vil sannsynligheten for skade også øke.



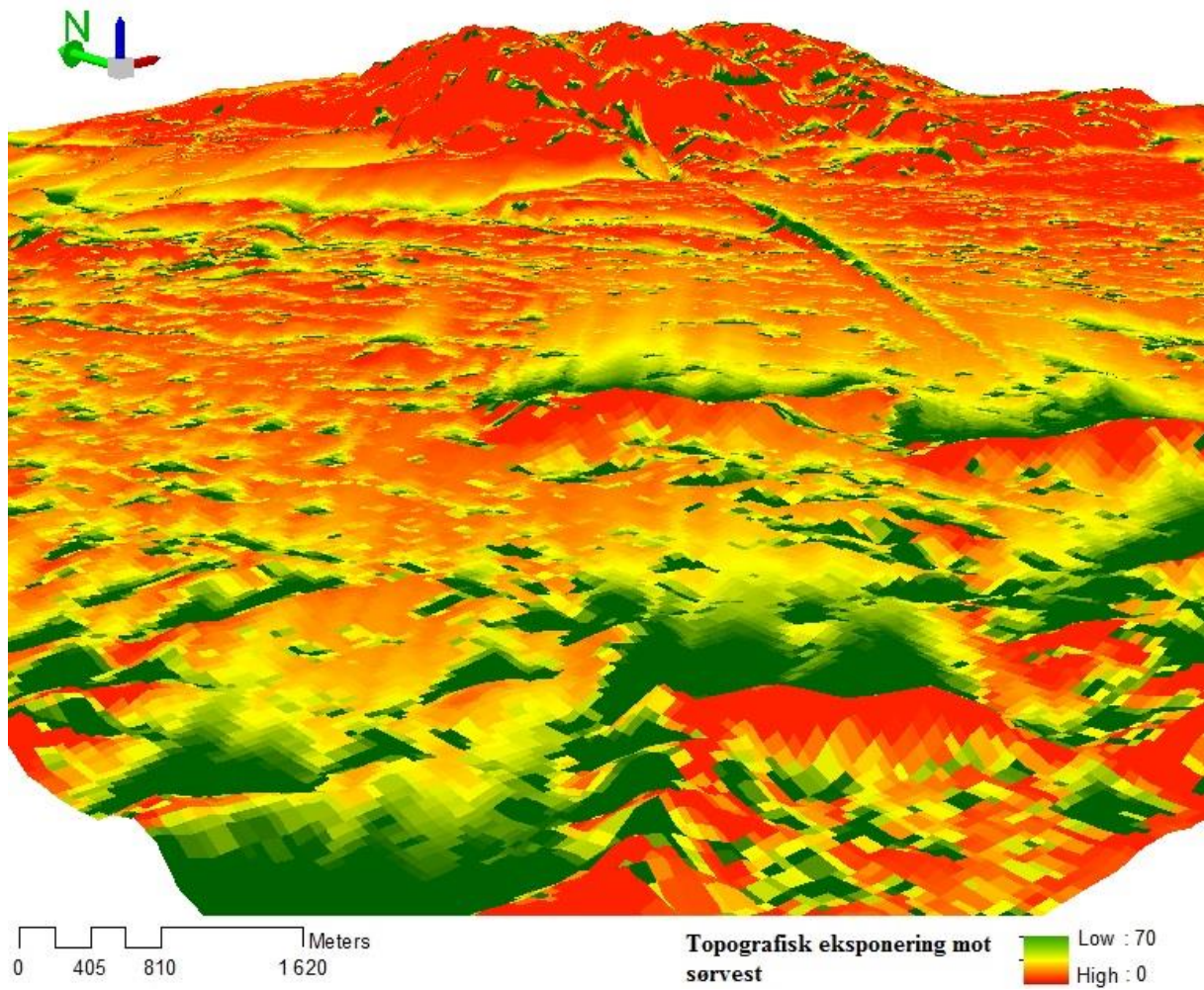
Figur 15: Sammenhengen mellom Skadepro og henholdsvis Alder og KH_HTS

Figur 15 a) Alder. Vi ser av grafen at ved stigende alder, øker sannsynligheten for skade. b) Kronediameter/trehøyde i prosent. Vi ser av grafen at høye trær med mindre kronevidde vil være utsatt for stormskade (tette bestand).

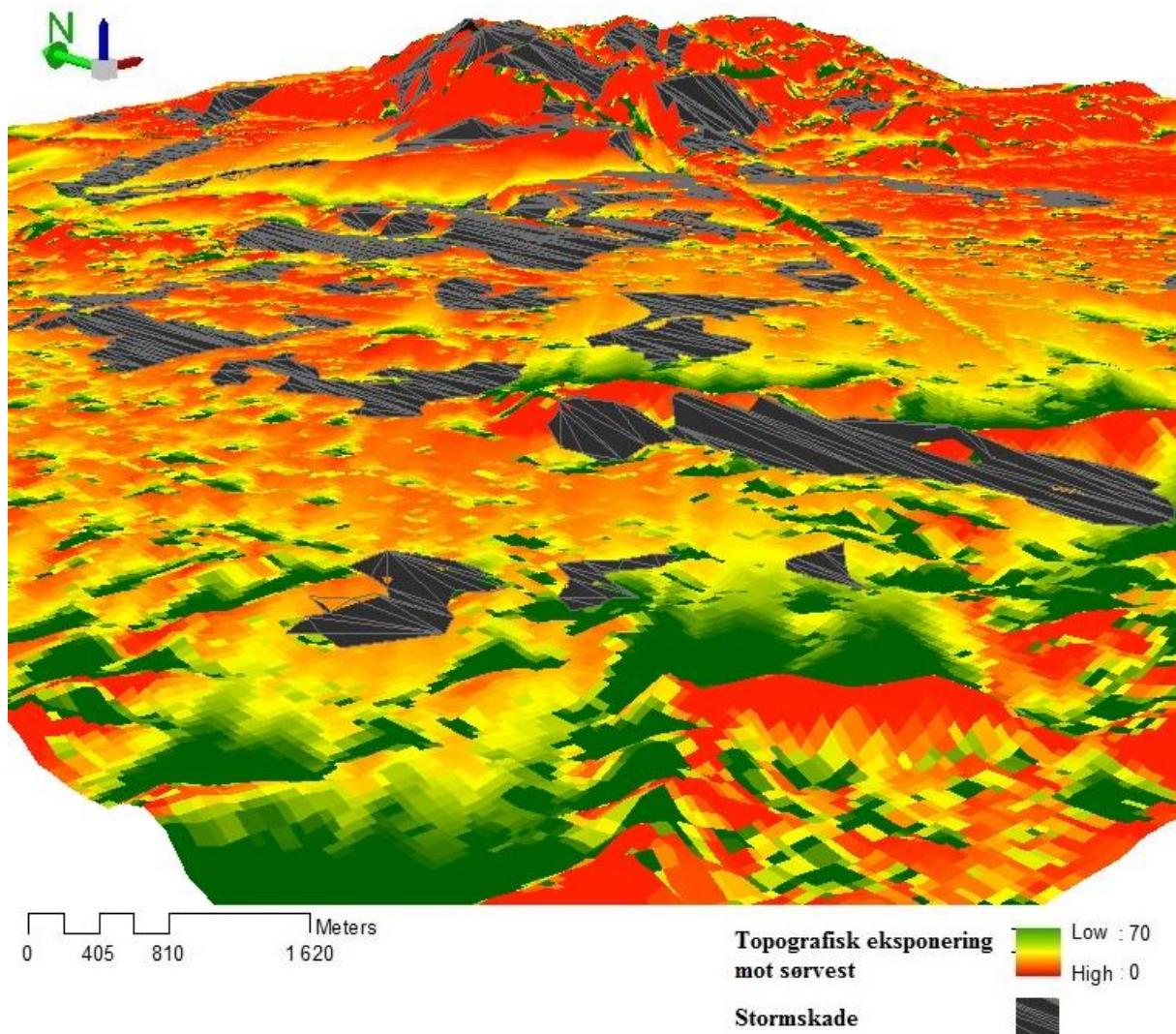
3.1.1 Topografiske forhold

Resultatene viser høyere risiko for vestvendte bestand (Aspect), eksponerte lokaliteter og høydedrag (Topex) og for topex sørvest (Topex_sv). Vi ser av Figur 16 og Figur 17 at studieområdet er topografisk eksponert mot sørvest, noe som illustreres best ved å se figuren fra det sørvestlige hjørnet mot nord-øst. Helningen av terrenget (Slope) ga ingen signifikant effekt og kan derfor ikke forklare risiko for skade alene. Vestvendte bestand ga høyere risiko (Aspect) men her er det ingen klar effekt. Bestand på høydedrag ga høyere risiko (TOPEX).

Jordbunnsforholdene viser en klar effekt for vind- og elveavsetninger (herunder breelavsetninger) som gir høyere risiko for skade. Dette er avsetninger som inneholder i hovedsak sand med innslag av silt og grus.



Figur 16: Topografisk eksponering mot sørvest. Figuren viser studieområdet sett fra det sørvestlige hjørnet mot nord-øst.



Figur 17: Topografisk eksponering mot sørvest. Figuren viser studieområdet sett fra det sør-vestlige hjørnet mot nord-øst. Stormskader er markert med skraverte felter

3.1.2 Skogvariable

Her viser resultatene at risikoen for stormskade synker når trær daa^{-1} og m^2/tre øker. Trær daa^{-1} har størst effekt av de to variablene. Videre viser resultatene for S-prosenten, også kalt Hart-Beckings avstandsindeks at risikoen for skade øker ved økende tetthet. Figur 14 viser S-prosent. Når denne er på 10% (selvtynning kan forekomme ved slike tettheter) er sannsynligheten for å få over 25 % stormskade lik 50 %. Ved S-prosent på 30 % (tilveksttap kan forekomme ved slike tettheter) er tilsvarende sannsynlighet redusert til under halvparten.

Risiko for skade øker med økende alder, bonitet, høyde og hogstklasse. Risikoen øker også jo renere bestandet er (mindre innslag av lauv). Dette stemmer ikke mot at risikoen normalt sett er høyere i blandingsskog (Solberg et al. 2014). Tynnede områder de siste 4 og 10 år forklarer

isolert sett ikke stormskade alene og som man ser av Tabell 8 er retningen positiv. Dette indikerer imidlertid at tynning har en positiv effekt. Begge tynningsvariablene er signifikante på 5 % nivå.

Det er også større risiko for skade på høye og slanke trær, det vil si trær med et høyt D/H-forhold. Noe som betyr økende skade for trær med større høyde i forhold til brysthøydediameter. K/H forholdet forteller oss at jo mindre kronediameteren er i forhold til høyden jo større risiko er det for stormskade, det vil si når trær har stått tett i oppvekst og gjennom omløpet. Resultatene viser at risikoen er stor for høye slanke trær med liten krone som har stått tett i lengre tid. Både D/H- og K/H-forholdet er signifikante på 5 % nivå.

3.1.3 Multiple logistiske regresjonsanalyser

Resultatene fra multiple regresjonsanalyser er vist i Tabell 9. Analysen er bygd opp på en slik måte der den sterkeste variabelen med størst R^2 -verdi testes med den nest beste. Deretter følger variablene i rekkefølgen høyest til lavest R^2 -verdi og p-verdi. Variabler som er blitt prøvd en etter en i Tabell 9 og ikke bidrar til å styrke modellen vil ikke være med videre i modellene selv om de har en sterk R^2 -verdi og p-verdi alene. Vi ser av Tabell 9 at høyde er en sterk variabel. Deretter følger topex og topex sørvest der topex ikke styrker modellen i like stor grad som topex sørvest. Videre er Hogstklasse en sterk variabel. Vi ser også at tynning bidrar til å øke modellens forklaringsstyrke, men i motsatt retning av det en kan forvente. Vi kan også lese av Tabell 9 at hogstklasse og løsmasser har en sterk forklaringsstyrke og hever R^2 i b) fra henholdsvis 16,48 til c) 20,12 og videre til d) 26,57.

Videre forklaring for Tabell 9 multiple logistiske regresjonsanalyser og modellene tilhørende nevnte analyse er beskrevet på side 40 der hver og en modell er forklart nærmere.

Tabell 9: Multiple logistiske regresjonsanalyser

Variabel	R ²	P-verdi	Parameterestimatenes retning	ChiSquare (ELRT) ¹²
Modell a)	15,58			
Høyde		<0,0001*	-0,2563	73,9858
Topex		0,0503	+0,0173	3,8306
Modell b)	16,48			
Høyde		<0,0001*	-0,2630	75,6478
Topex		0,9061	+0,0013	0,0139
Topex sørvest		0,0289*	+0,1557	4,7763
Modell c)	20,12			
Høyde		<0,0001*	-0,0364	37,0853
Topex_sv		0,0032*	+0,1596	8,6894
Hogstklasse		<0,0001*	-0,9007	19,2766
Modell d)	26,57			
Høyde		<0,0001*	-0,2001	28,6350
Topex_sv		0,2969	+0,0632	1,0878
Hogstklasse		<0,0001*	-1,0255	22,7011
Løsmasse		<0,0001*		34,1184
Bart fjell			+0,0579	
Leire			-0,3272	
Mor_sam			+10,2053	
Mor_usa			-1,8343	
Sand			-1,5358	
Sand og grus			-4,6512	
Siltig sand			-1,3542	
Modell e)	29,62			
Høyde		<0,0001*	-0,1940	26,3210
Topex_sv		0,2061	+0,0773	1,5982
Hogstklasse		<0,0001*	-1,1795	26,0807
Løsmasse		<0,0001*		37,5307
Bart fjell			+0,1972	
Leire			-0,2595	
Mor_sam			+10,2422	
Mor_usa			-1,7534	
Sand			-1,6100	
Sand og grus			-5,1031	
Siltig sand			-1,3093	
Uttak_10		<0,0001*	+1,0512	16,1271

¹² Effect Likelihood Ratio Tests

Variabler som er signifikante på 5% nivå men som ikke bidrar til å styrke modellen i den multiple logistiske regresjonsanalysen i stor grad er ikke tatt med for videre analyse i den multiple logistiske regresjonsanalysen siden det her er andre variabler som er sterkere statistisk sett.

Av Tabell 9 ser vi i modell a) at topex for alle himmelretninger bidrar til å heve modellens styrke, men ikke i like stor grad som i modell b). Vi ser også i modell b) at topex alle himmelretninger mister sin forklaringsstyrke og faller helt ut signifikant sett (p-verdi) siden topex sør-vest styrker modellen i langt større grad. Det var da fordelaktig å beholde topex sør-vest videre. I modell c) ser vi at hogstklasse bidrar kraftig sammenliknet med forklaringsstyrken av R^2 i a) og b).

I modell d) er en annen sterk variabel tatt inn i analysen. Variabelen for løsmasser bidrar sterkt og vi ser her en økning i R^2 . En annen ting å merke seg er at topex sør-vest faller ut signifikant sett. Dette kan tenkes å skyldes at løsmasser rent statistisk sett forklarer sammenhengen i sterkere grad. Siden det er liten tvil om at topex sør-vest er en sterk variabel i denne analysen beholdes den selv om forklaringsstyrken svekkes av løsmassevariabelen.

Videre så ser vi i modell e) at tynningsuttak de siste 10 år er tatt med. Denne variabelen styrker modellen og vi observerer også at topex sør-vest styrkes. Andre tetthetsavhengige variabler som S-prosent, D/H-forhold og K/H-forhold er svakere statistisk sett i en multippel logistisk regresjonsanalyse. Dette skyldes at disse variablene bidrar i mindre grad til å styrke modellen sammenliknet med andre klart sterke variabler som for eksempel trehøyde selv om de er signifikante på 5% nivå alene, noe som vises i Tabell 8.

4 Diskusjon

4.1 Topografiske forhold

Topex har vist seg i flere studier og være en bra indikator for hvor utsatt terrenget er for vind (Mitchell 2012; Ruel et al. 2002; Wakes et al. 2010).

Topexvariabelen i denne studien viser at risikoen er størst i eksponerte områder og på høydedrag. Det kan tenkes at variabelen Topex overestimerer fordelene av "å stå i le" av terrenget siden Topex ikke kan skille like godt mellom en bakketopp og et høyereliggende platå hvis slike bakketopper og høyereliggende platåer ligger i et ellers flatt område. Studieområdet og området rundt for øvrig er preget av flatt terreng, spesielt i sørlig retning men det finnes også diverse høydedrag og mindre lisider i nord og nord-øst som gir topografisk beskyttelse mot fremherskende sterk vind.

Mayer et al. (2005) fant ingen signifikant sammenheng mellom topografi og stormskade, noe som kan skyldes metoden brukt i nevnte studie der topografien for studieområdet var en variabel med fem klasser (flatt, topp, dal, osv.) istedenfor en TOPEX-variabel i 8 himmelretninger som i denne studien. Siden Topex er signifikant alene og i Tabell 9 kan man si at denne variabelen bidrar til å forklare stormskade selv om variabelen er noe svak i denne analysen. Dette kan også skyldes studieområdets flate terreng og lavere variasjon i topex.

For Topex sør-vest (Topex_sv) viser resultatet i denne studien at variabelen ga signifikante utslag både alene og sammen med andre variabler. Stormen Dagmar som var årsaken til stormskadene i denne studien hadde sin vindretning fra sørvest. Resultatene stemmer derfor med forventningene. Det har også blitt påvist liknende sammenhenger i andre studier (Scott & Mitchell 2005). Det kan også være en fordel at et tre står i le av andre trær i forhold til vindretning. Ingen slike målinger ble gjort i denne studien. Hale et al. (2012) studerte dette på Sitkagran (*Picea sitchensis*) og fant at bøyemomentet for trær var dobbelt så stort for trær som hadde en åpning i kronetaket mot vindretningen sammenliknet med trær som ikke hadde en slik åpning i kronetaket mot vindretningen. I samme studie fant de en sammenheng mellom trestørrelse og bøyemoment der større trær hadde større bøyemoment enn små. Det ble også funnet at trær i bestand der kronetaket er lukket gir hverandre mekanisk støtte slik at trærne blir utsatt for mindre bøyemoment.

Når det gjelder topografiske forhold viste resultatene i denne studien at vestvendte bestand ga høy risiko siden variabelen Aspect var signifikant på 5% nivå. Helningen (Slope) på terrenget ga derimot ikke signifikant resultat alene selv om trenden var at risikoen var større i flatere terreng. Denne trenden samsvarer også med andre studier. Mayer et al. (2005) fant en signifikant sammenheng på 5% nivå for stormskader og terreng der risikoen var høyere for flatere og mindre skjermet terreng. En mulig grunn til at helningen ikke var signifikant alene kan forklares med studieområdet art. Det kunne da vært interessant å utvidet studieområdet slik at områder med mer varierende terreng inngikk i denne studien.

I samme studie (Mayer et al. 2005) fant man også en signifikant sammenheng på 5% nivå for stormrisiko og vestvendte bestand noe som samsvarer med funnene i denne studien.

Dobbartin (2002) fant at risikoen for stormskade var størst for vestvendte bestand (for stormen Vivian) og for helning mellom 4 og 19 grader (Vivian og Lothar) mens i denne studien er trenden at risikoen øker jo flatere terrenget er. Det kan muligens forklares ved at studieområdet i denne oppgaven var relativt flatt (middelverdien for helning var på 4 grader). Slik sett kan det tenkes at risikoen ikke øker med helning, men snarere at for studieområdet er det større risiko i de store flate partiene og at disse er topografisk utsatt. Når andre studier har funnet signifikans på 5% nivå for himmelretningen vest, i likhet med denne studien forklares det ikke med at himmelretningen vest nødvendigvis er spesielt usatt men snarere terrengets himmelretning mot vindretningen for sterke stormer. Slik sett kunne godt himmelretningen vært signifikant i en annen himmelretning da stormen Dagmar som et eksempel, kunne "blåst" fra en annen himmelretning.

Studieområdet ble valgt ut fordi det hadde hatt store stormskader. Studieområdet er forholdsvis flatt men området rundt har også kupert terreng. Områdene rundt studieområdet lengre nord ligger i le av Romerikesåsen i sørvest. Studieområdet i sør av eiendommen ligger i enden av Romerikessletta og det kan tenkes at denne lokaliteten er mer sårbar for vind nettopp fra sør og sørvest. Slik sett gjelder det for skogeieren å bruke hjelpemidlet Topex for egen skogeiendom sammen med erfaringer fra tidligere stormer for å kunne utnytte dette hjelpemiddelet maksimalt med fokus på å skape stormsikkerhet i risikoområder.

Forklaringsstyrken til variabelen topex sørvest svekkes imidlertid når løsmassevariabelen tas med i samme analyse, noe som bringer oss videre til jordbunnsforholdene i 4.2.

4.2 Jordbunnsforhold

Resultatet i denne oppgaven viser at det er en klar sammenheng mellom jordtype og risiko for stormskader. Det er spesielt mye stormskader på jordtypene elve- og vindavsetninger som inneholder mye sand og grus. Distribusjonen av elve- og vindavsetninger utgjør nesten halvparten av observerte løsmasser for denne studien. Mayer et al. (2005) gjorde en studie over et 19 000 km² stort område fordelt over flere land etter stormen Lothar der de fant at lav PH i jorda var korrelert med stormrisiko. De fant derimot ingen signifikant sammenheng mellom jordtype og stormrisiko, selv om jordtyper med lav PH var forbundet med dypt jordsmonn. Dette kan ha noe å gjøre med at PH i jorda er lavere der det står barskog i forhold til lauvskog og at områdene i studien som hadde opplevd mest stormskader også inneholdt mest bartrær.

Mekanismer i jordsmonnet kan bidra til å svekke rotutvikling og styrke. Det kan være ulike kjemiske sammensetninger som er til fordel eller ulempe for røttenes vekst og styrke. En stor andel N (nitrogen) gir for eksempel økt vekst men lavere densitet. Kalsium og magnesium bidrar til vekst og styrke (Braun et al. 2003; Mayer et al. 2005).

(Panferov et al. 2009) gjorde en undersøkelse på et 1600 km² stort område i Tyskland for å se om det var en sammenheng mellom jordtype og røttenes forankringsevne for gran og furu i forhold til fremtidige klimasenarioer. De fant at for alle senarioer, treslag og aldere var den høyeste risikoen knyttet til grunn jord av typen cambisol.

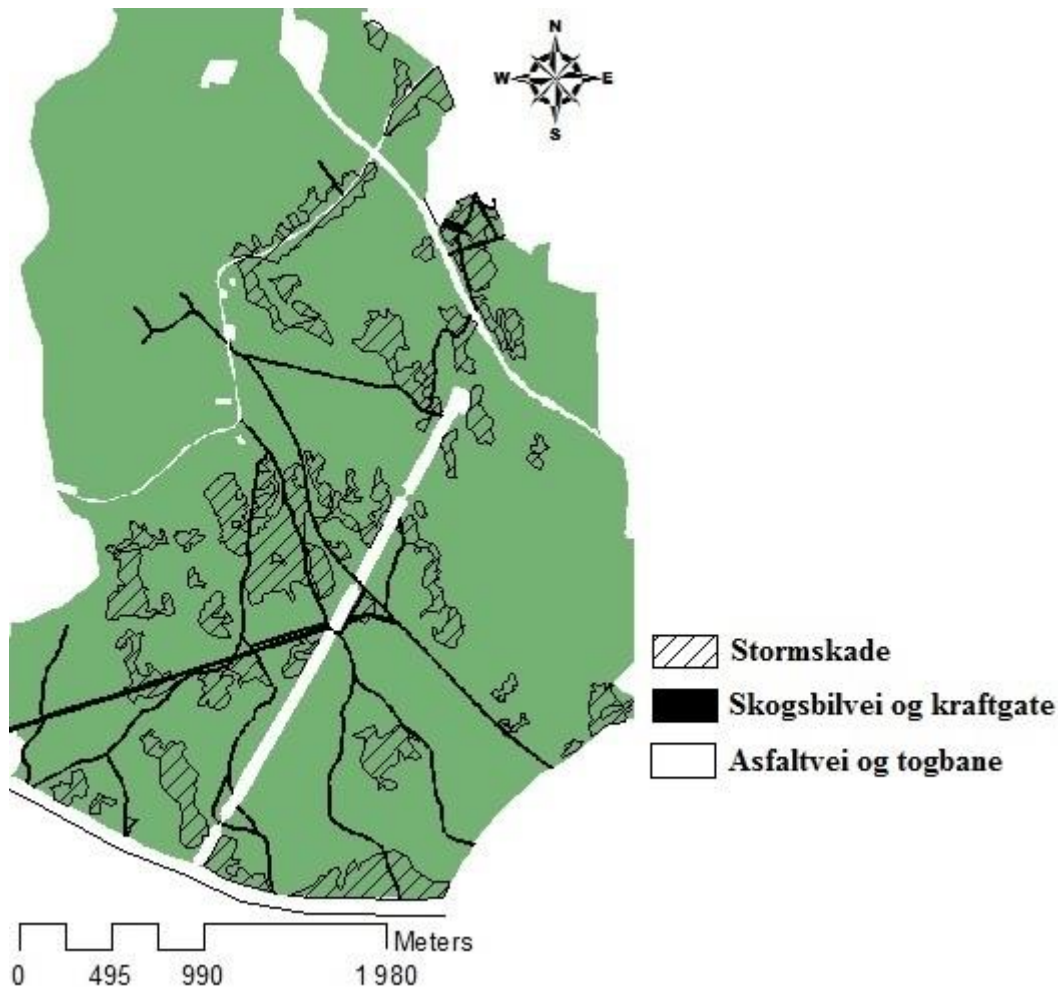
Dobbartin (2002) viste at jordtype var en viktig variabel for å forklare stormskade. For stormene Vivian og Lothar var lokaliteter med dypt jordsmonn, lite steininnhold og dårlig infiltrasjonsevne forbundet med stor stormrisiko. Siden infiltrasjonsevnen var dårlig kan det antas at dette var områder med høyt vanninnhold. Dyp jord er forbundet med god forankringsevne for trærne og vindfall blir derfor ofte observert på lokaliteter med grunn jorddybde eller med dårlig infiltrasjonsevne. En mulig forklaring på flere motstridende studier kan være jordsmonnets effekt på treets vekst og konkurranse. Det er også funnet i flere studier at risikoen øker med økende bonitet (Dobbartin 2002; Mitchell 2012) noe som også er funnet i denne studien.

Siden flere andre studier gir forskjellige og i noen tilfeller motstridende resultater er det grunn til å tro at det er flere faktorer som virker sammen og at det trengs mer forskning på dette feltet for å forstå sammenhengene bedre. I denne studien var risikoen størst på elve- og

vindavsetninger med god infiltrasjonsevne og grunnvannspotensiale noe som tilsier at dyp jorddybde og lav vannmetning. Dette er faktorer som det er naturlig å tro at bidrar til god forankringsevne og lite forsumpning for trærne. Løsmassevariabelen i denne studien var sterkt signifikant og forklarte stormskade i studieområdet. Dette kan imidlertid skyldes at disse avsetningene har stor utbredelse i de store flate vindeksponerte områdene i studieområdet og at det derfor er topografien som egentlig forklarer stormskade best.

Siden det statistisk sett er vanskelig å skille ut om det er løsmasstype eller topografiske variabler som den virkelige årsaken til stormskader er det naturlig å tro at det i denne studien er de topografisk eksponerte (vindutsatte) områdene som i størst grad forklarer stormskade. Dette kan begrunnes med at løsmassene i studieområdet tilsier at trærne skulle ha mulighet for god forankring i et godt drenert og dypt jordsmonn men at disse områdene var topografisk eksponert for vind, særlig for vindretningen sørvest.

4.3 Effekt av kanter



Figur 18: Studieområdet med transportårer av diverse slag. Stormskade er skravert.

I studieområdet finnes det en rekke skogsbilveger. E6 passerer studieområdet i nord-øst og en togstrekning passerer studieområdet diagonalt i nord-østlig retning (Figur 18). Slike transportårer skaper åpninger i skoglandskapet. I denne studien ble ikke effekten av slike åpninger i skoglandskapet studert men man kan ikke utelukke at slike faktorer kan ha hatt en effekt på omkringliggende skogbestand ved sterk vind og slike effekter virker svært sannsynlige. Dette er også påvist av (Fraser 1963). Åpninger i skogbildet bidrar ikke til å bremse vinden, noe som vil være utslagsgivende for skog bak slike åpninger. Det er imidlertid slik at kanter kan være stormsterke i seg selv fordi trærne langs kanten kan ha etablert et bedre rotsystem grunnet mindre konkurranse. Dermed kan vinden slå over disse trærne og ned i bakenforliggende trær. En slik informasjon om hvordan skadene artet seg foreligger imidlertid

ikke for stormskadefeltene i denne studien. For å gradvis redusere vindstyrken inn i bestandet kan det være fordelaktig å redusere tettheten tidlig gjennom ungskogpleie samt en gjentatt sein ungskogpleie eller lett tynning ved høyde oppunder 10 meter (Savill et al. 1997). Tynning ved en overhøyde på 15 meter frarådes. Denne stormsterke kanten bør være over 30 meter bred for å skape bedre enkeltrestabilitet i denne sonen (Savill et al. 1997). Dette er sammenhenger man også har funnet i andre studier (Scott & Mitchell 2005; Zeng et al. 2009; Zeng et al. 2010). Det vil i prinsippet si et mer gunstig D/H forhold noe denne studien har funnet som en viktig faktor for å senke stormrisikoen.

4.4 Skogvariable

Skogvariable som høyde, alder og hogstklasse er alle signifikante på 5% nivå og risikoen øker med en økning for de tre førstnevnte. Høyde var den viktigste variabelen (Tabell 8) med den sterkeste R^2 verdien selv om variablene hogstklasse og alder også var klart signifikante på 5% nivå (Tabell 8). I den multiple logistiske regresjonsanalysen (Tabell 9) var høyde den variabelen blant disse tre som ga den sterkeste sammenhengen selv om hogstklasse også så ut til å forklare stormskader på en sterkt måte, bare ikke like sterkt. Det faktum at risikoen øker betydelig med økende trehøyde var en forventet sammenheng og risikoen for å få over 25 % stormskader i bestand tredobles når bestandshøyden går fra 12 til 20 meter.

Treslagsrenheten ligger i snitt på 80 % for hele datasettet. Økt innslag av lauv i bestand dominert av bartrær er forbundet med økt ustabilitet (Solberg et al. 2014). Resultatene viser at mindre innslag av lauv øker stormrisikoen. Det kan tenkes at dette imidlertid skyldes at gran er veldig dominerende i studieområdet og man har for få observasjoner av blandingsbestand, eller innslag av lauv overhodet.

Videre så viser resultatene at risikoen for stormskader øker i glisne bestand. Tettheten for studieområdet er i snitt 107 trær daa^{-1} . Det er her viktig å være klar over at samme treantall nødvendigvis ikke gir samme tetthet i et gammelt og ungt bestand. Snittet på 107 Trær daa^{-1} er noe tett for gammel skog, mens for ungskog kan det være ganske glissent (Fitje 1998). Det er derfor nødvendig å se på trær/daa i sammenheng med høyde, alder og bonitet (Fitje 1998).

Det kan være at variabelen trær daa^{-1} ikke bidrar til å forklare tettheten på en slik måte at den bidrar til å forklare stormskade alene. Det kan være naturlig å tro at denne variabelen heller

sier at det er større risiko i eldre bestand med lavere tetthet sammenliknet med yngre bestand som uansett er utenfor risikogruppen.

Resultatene viser at det var mindre stormrisiko for tynningsbestand de siste 4 og 10 år (uttak_4 og uttak_10) før stormen Dagmar. Dette er et resultat som ikke er i tråd med forventningene. Det kan skyldes antall observasjoner i datasettet. For uttak de siste 4 og 10 år var det bare henholdsvis 26 og 43 observasjoner der tynninger gjort de siste 4 år naturlig nok også ligger innunder observasjonene til tynninger de siste 10 år. Dette er et interessant funn siden det helt klart at tynninger fører til dårligere stabilitet i en periode på flere år etter tynningsinngrepet, noe blant andre (Dobbertin 2002) også har funnet. Her må man imidlertid ta hensyn til tynningsstyrke og kronehøyde før tynning for å forstå trærnes og bestandets respons på tynningen.

Det kan også være at bestandet taper den sosiale stabiliteten ved en fristilling, før kronetaket eventuelt lukker seg. I denne perioden vil bestandet være spesielt utsatt for stormskader fordi trærne ikke kan støtte seg til hverandre. Lengden på denne perioden avhenger av bonitet og tynningsstyrke. Hvis man regulerer tettheten på et tidspunkt der kronetaket er lukket og den friske kronen er godt under 50% av treets høyde kan trærne reagere dårlig på fristillingen i forhold til produksjon, vekst og stabilitet.

Andre studier viser at det er en sammenheng mellom tynning og stormskade (Albrecht et al. 2012). Spesielt høytynninger reduserer den sosiale stabiliteten da mer robuste trær blir avvirket i tynningen, mens tidlige tynninger øker enkeltrestabiliteten (Bodin & Wiman 2007). Tidlige tynninger blir praktisert av MEV i studieområdet ved en gjennomsnittshøyde på 12-14 meter. Dette er en viktig faktor som kan bidra til bedre forståelse av resultatet for tynningsbestand i studieområdet for denne studien. Dette fenomenet blir også beskrevet av (Bodin & Wiman 2007).

S-prosenten viser ett tetthetsforhold og er en indeks som baserer seg på avstand til nabotrær og bestandets overhøyde. I denne studien ble ikke overhøyden benyttet, men gjennomsnittshøyden (S-prosent justert) grunnet mangel på denne opplysningen i skogbruksplan. Ved en gjennomkjøring av S-prosenten med estimert overhøyde (gjennomsnittshøyden pluss 2 meter) viste resultatet samme trend som S-prosent justert med gjennomsnittshøyden. Dette resultatet blir ikke vist, men forklart her. Denne modifikasjonen

svekker allikevel ikke variabelens forklaringsstyrke. I Tabell 8 kan en se S-prosenten er signifikant på 5% nivå og at stormrisikoen øker med økende tetthet.

Tetthetsvariabler som S-prosent og trær daa^{-1} forteller begge noe om hvordan tettheten er i dag. Slike bestand som har høy tetthet i dag kan tenkes å dra nytte av den sosiale stabiliteten men imidlertid ha svekket enkeltrestabilitet (D/H-forholdet og K/H-forholdet). Resultatene i denne studien viser at høye slanke trær med liten krone er sterkt utsatt for stormskade. Hvis man skal tolke disse resultatene kan det tenkes at dette K/H forholdet gjelder bestand som har fått stå tett lenge.

Diameter/høyde-forholdet og kronevidde/høyde forholdet forteller begge noe om hvor tett trærne har stått og er begge variabler i denne studien som. Begge ga signifikant utslag alene på 5% nivå. Trær som har stått tett over lengre tid har gjerne stor høyde i forhold til diameter og har ofte mindre krone i forhold til høyde. I denne studien viste resultatene at risikoen øker med et økende høyde i forhold til diameter og kronevidde. Når trærne blir slankere og kronen er plassert høyere opp i treet blir enkelttrærne mer ustabile (Mitchell 2012). Dette gir en indikasjon på at trær som har stått tett i mange år har et mindre gunstig diameter/høydeforhold og er da høyere utsatt for risiko og i særdeleshet med økende bestandshøyde.

Det kan da være grunn til å tro ut fra studien at bestand som i sin tid ble aktivt skjøttet i ungskogpleiefasen og har hatt tidlige tynninger har skapt en god enkeltrestabilitet samt en god krone og rotutvikling for slike bestand der skogkulturen har vært aktivt tilstede. Dette kan bidra til å forklare trendene til resultatene i denne studien for stormrisikoen knyttet til unge tynnede bestand med lav høyde sammenliknet med tette, høyere og eldre bestand med et mindre gunstig D/H forhold.

Studieområdets tidligere historie, dets art og MEV's egne erfaringer indikerer at studieområdet er et aktivt skjøttet område med god veidekning. Etter stormen Dagmar (2011) har MEV i likhet med resultatene i denne studien erfart at tynnede bestand ikke ble like sterkt rammet som de resterende skogsområdene. Et annet faktum er at for studieområdets kuperte områder i det nord-østlige hjørnet er det i mindre grad drevet tynning slik at de skadede områdene i denne delen av studieområdet kan tenkes å være preget av høyere bestandstetthet. (Løvli 2014). Dette faktum sammen med denne studies resultater, indikerer at topografisk eksponerte, eldre, høye og tette bestand er særlig utsatt for stormskade.

5 Konklusjon

Resultatene fra denne studien indikerer at trehøyde er viktigste og mest dominerende faktoren knyttet til stormskade. Kombinasjonen av et topografisk eksponert terreng med store flate områder uten beskyttelse av terrenget rundt og spesielt slike områder med orientering mot himmelretningen sør-vest var særlig utsatt for stormskade fra stormen Dagmar. I denne studien var det mest skader i høye bestand som var preget av en bestandshistorikk med mangeårig tetthet. Eldre bestand i hogstklasse 4 og 5 var sterkest rammet.

Det er med andre ord viktig for skogeieren å kartlegge utsatte områder på egen skogeiendom som kan tenkes å være sårbare for storm. Disse områdene bør skjøttes med hensyn på å redusere stormrisikoen.

6 Referanser

- Albrecht, A., Hanewinkel, M., Bauhus, J. & Kohnle, U. (2012). How does silviculture affect storm damage in forests of south-western Germany? Results from empirical modeling based on long-term observations. *European Journal of Forest Research*, 131 (1): 229-247.
- Birkeland, T., Houen, P. J., Haartveit, Y. E., Kilde, V., Lind, P., Sandland, M. K., Vadla, K. & Øvrum, A. (2002). Norsk trevirke som råstoff - Verdiskapningspotensial og industrielle muligheter: Skogbrukets og skogindustriens forskningsforening (SSFF) 130 s.
- Bodin, P. & Wiman, B. L. B. (2007). The usefulness of stability concepts in forest management when coping with increasing climate uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 242 (2-3): 541-552.
- Braun, S., Schindler, C., Volz, R. & Fluckiger, W. (2003). Forest damages by the storm 'Lothar' in permanent observation plots in Switzerland: The significance of soil acidification and nitrogen deposition. *Water Air and Soil Pollution*, 142 (1-4): 327-340.
- Cambisol. (2007). Skog og Landskap. Tilgjengelig fra: <http://www.skogoglandskap.no/artikler/2007/Cambisol/newsitem> (lest 03.04.2014).
- Delhaiza, E. & Ryan, R. P. (1995). Aluminum Toxicity and Tolerance in Plants *Plant Physiol*, 107: 315-321.
- Dobbertin, M. (2002). Influence of stand structure and site factors on wind damage comparing the storms Vivian and Lothar. *Swiss Federal Research Institute*, 77: 187-205.
- ESRI. (2013). *Arcmap for desktop*: ESRI. Tilgjengelig fra: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop> (lest og lastet ned 18.01.2014).
- Fitje, A. (1998). *Tremåling*. 2 utg. 190 s.
- Fraser, A. I. (1963). Wind tunnel and other related studies on coniferous trees and tree crops. 85-92.
- Frivold, H. L. & Gundersen, V. (2009). Skog for folk flest - En gjennomgang av kvantitative spørreundersøkelser fra Norge, Sverige og Finland. *Fagrappport 13*. INA: Institutt for naturforvaltning.
- Gardiner, B., Blennow, K., Carnus, J.-M., Fleischer, P., Ingemarson, F., Landmann, G., Lindner, M., Marzano, M., Nicoll, B. C., Orazio, C., et al. (2010). Destructive Storms in European Forests - Past and Forthcoming Impacts. *Final report to European Commission - DG Environment*: European Forest Institute. 138 s.
- Gregow, H., Peltola, H., Laapas, M., Saku, S. & Venalainen, A. (2011). Combined Occurrence of Wind, Snow Loading and Soil Frost with Implications for Risks to Forestry in Finland under the Current and Changing Climatic Conditions. *Silva Fennica*, 45 (1): 35-54.
- Gundersen, V., Stange, E., Björck, M., Elsrud, O. E. & Frivold, L. H. (2011). Opplevelsesverdier i skog - Effekter av økologisk og økonomisk informasjon *NINA*, 739: 52.
- Hale, S. E., Gardiner, B. A., Wellpott, A., Nicoll, B. C. & Achim, A. (2012). Wind loading of trees: influence of tree size and competition. *European Journal of Forest Research*, 131 (1): 203-217.
- Heap, B., Ser. (2013). Trends in extreme weather events in Europe: implications for national and European Union adaptation strategies: European Academies Science Advisory Council. 9 chapters s.
- Hole, H., Eikemo, H. & Nordskog, B. (2013). Landbruksmeteorologisk tjeneste. *Været i vekstsesongen 2013*: Bioforsk. 4 s.
- Hov, Ø., Cubasch, U., Fischer, E. & Höpfe, P. (2013). Extreme Weather Events in Europe: preparing for climate change adaptation: Norwegian Meteorological Institute. 4- 115 s.
- Hutte, P. (1968). Experiments on windflow and wind damage in germany. Site and susceptibility of spruce forests to storm damage. *Forestry*, S: 20.

- Lang, Å. (2014). *Nytt laboratorium for konvertering a biomasse*. Bruk av tre. Tilgjengelig fra: http://www.skog.no/artikkel.cfm?ID_art=430 (lest 09.05.2014).
- Langström, B., Lindelöw, Å. & Schroeder, M. (2009). The spruce bark beetle outbreak in Sweden following the january storms in 2005 and 2007. *Department of Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences*: 8.
- Larnøy, E. (2013). Nye treprodukter kan erstatte plast og aluminium. *Skog*, 8: 18-19.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolstrom, M., et al. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259 (4): 698-709.
- Løge, K. (2010). Årsrapport. *Årsrapport Skogbrand Forsikringsselskap Gjensidige*. Skogbrand: Skogbrand Forsikringsselskap Gjensidige.
- Løge, K. (2014). *Notater - Økende skogskader etter vind i Europa* (18.03.2014).
- Løvli, Ø. (2014). *Intervju med skogforvalter Øystein Løvli ved Mathisen Eidsvoll Værk* (07.05.2014).
- Mayer, P., Brang, P., Dobbertin, M., Hallenbarter, D., Renaud, J. P., Walthert, L. & Zimmermann, S. (2005). Forest storm damage is more frequent on acidic soils. *Annals of Forest Science*, 62 (4): 303-311.
- Microsoft Office Excel. Microsoft. Tilgjengelig fra: <http://office.microsoft.com/nb-no/excel/> (lest 01.01.2014).
- Mitchell, S. J. (2012). Wind as a natural disturbance agent in forests: a synthesis. *Forestry*, 86: 147-157.
- NGU. NGU: Norges Geologiske Undersøkelse. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/no/hm/Kart-og-data/Losmasser/> (lest 10.01.2011).
- Nieuwenhuis, M. & O'Connor, E. (2001). Financial impact evaluation of catastrophic storm damage in Irish forestry: a case study. I. Stumpage losses. *Forestry*, 74 (4): 369-381.
- Nieuwenhuis, M. & P.J.Fitzpatrick. (2002). *An assessment of stem breakage and the reduction in timber volume and value recovery resulting from a catastrophic storm: an Irish case study*: Institute of Chartered Foresters.
- Nøkleholm, G., . (2014). *Tar oppgjør med miljøsidan - behovet for skogsbilveger*. Norskog - Skoginfo: Norskog. Tilgjengelig fra: <http://skoginfo.no/artikkel.cfm?id=2105> (lest 30.03).
- Office Access. (2014). Microsoft. Tilgjengelig fra: <http://office.microsoft.com/nb-no/access/> (lest 01.01.2014).
- Oliver, D. O., Nassar, T. N., Lippke, R. B. & Mccarter, B. J. (2014). Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation With Wood and Forests. *Journal of Sustainable Forestry*, 33: 248-275.
- Olofsson, E. (2006). *Supporting Management of the Risk of Wind Damage in South Swedish Forestry*. Doctoral. Alnarp: Swedish University of Agricultural Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences. Five papers (1-5) s.
- Optimal oppdeling av stammen - aptering*. (2007). Skog og Landskap. Tilgjengelig fra: <http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2007/aptering/newsitem> (lest 27.03.2014).
- Panferov, O., Doering, C., Rauch, E., Sogachev, A. & Ahrends, B. (2009). Feedbacks of windthrow for Norway spruce and Scots pine stands under changing climate. *Environmental Research Letters*, 4 (4).
- Peltola, H., Kellomaki, S., Hassinen, A. & Granander, M. (2000). Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135 (1-3): 143-153.
- Pfeffer, A. & Skuhravy, V. (1995). Der Buchdrucker Ips typographus L. (Col., Scolytidae) und seine Problematik in der Tschechischen Republik. 68 (7): 151-152.
- Quine, C. P. & White, I. M. S. (1994). Using the relationship between rate of tatter and topographic variables to predict site windiness in upland Britan. *Forestry*, 67 (3): 245-256.
- Ruel, J. C., Mitchell, S. J. & Dornier, M. (2002). A GIS based approach to map wind exposure for windthrow hazard rating. *NORTHERN JOURNAL OF APPLIED FORESTRY* 19: 183-187.
- SAS Institute Inc. (2002). *Statistics and Graphics Guide*, b. 5: SAS Institute Inc. 707 s.

- Savill, P., Evans, J., Auclair, D. & Falck, J. (1997). Plantation Silviculture in Europe. 176-189.
- Schelhaas, M. J., Nabuurs, G. J. & Schuck, A. (2003). Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9 (11): 1620-1633.
- Scott, E. R. & Mitchell, S. J. (2005). Empirical modelling of windthrow risk in partially harvested stands using tree, neighbourhood, and stand attributes. *Forest Ecology and Management*, 218: 193-209.
- Skjølaas, D. (2014). *Vil ha tilskudd til fjerning av flaskehalsar*. Norges Skogeierforbund: Norges Skogeierforbund. Tilgjengelig fra: http://www.skogeier.no/artikkel.cfm?id_art=1016 (lest 28.03).
- Skogkurs www tynning*. (2013). Tilgjengelig fra: <http://www.skogkurs.no/Resyme/tynning.pdf> (lest 12.05.2014).
- Skogsveier i Norge - historisk utvikling og dagens situasjon*. (2008). Skog og Landskap. Tilgjengelig fra: http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2008/skogsveier_i_norge_historisk_og_na/newsitem (lest 30.03.2014).
- Solberg, B. & Svendsrud, A. (2006). Forelesninger i skogøkonomi SMI 230. Institutt for Naturforvaltning: UMB. 172 s.
- Solberg, S., Harsttveit, K., Blennow, K., Olofsson, E., Heggem, F. S. E. & Timmerman, V. (2008). Storm og skogskader: Risiko for stormskader i skog, og betydningen av skogbehandlingen. 1/08: 22.
- Solberg, S., Lohne, T. P., Lüpke, N. V. & Tarp, P. (2014). Risikofaktorer for stormskader - Analyse basert på skader etter Dagmar: Skog og Landskap. 12 s.
- SSB statistikk www...* (2014). Statistisk sentralbyrå Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogav/aar-forelopige> (lest 09.05).
- St. meld. nr 9 (2011.2012). (28.03). *Konkurransedyktige og bærekraftige verdikjeder for skog og tre*: Landburks- og Matdepartementet
- Store norske leksikon*. (2014). Tilgjengelig fra: <http://snl.no/aurhelle> (lest 02.05.2014).
- Stormen Dagmar*. (2012). Skogbrand Forsikringsselskap Gjensidige. Tilgjengelig fra: <http://skogbrand.no/stormen-dagmar-traff-norge-2-juledag-2011/> (lest 12.03.2014).
- TOPEXscript. Tilgjengelig fra: <http://faculty.forestry.ubc.ca/mitchell/downloads.htm> (lest 21.01.2014).
- Treteknisk Institutt. (2012). *Treteknisk informasjon*, 3: Norges tretekniske Institutt. 44 s.
- Usbeck, T., Wohlgemuth, T., Dobbertin, M., Pfister, C., Burgi, A. & Rebetz, M. (2010). Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150 (1): 47-55.
- Valinger, E. & Pettersson, N. (1996). Wind and snow damage in a thinning and fertilization experiment in *Picea abies* in southern Sweden. *Forestry*, 69 (1): 25-33.
- Valinger, E. & Fridman, J. (1999). Models to assess the risk of snow and wind damage in pine, spruce, and birch forests in Sweden. *Environmental Management*, 24 (2): 209-217.
- Varma, K. V., Ferguson, I. & Wild, I. (2000). Decision support system for the sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 128: 49-55.
- Venalainen, A., Toumenvirta, H., Heikinheimo, M., Kellomaki, S., Peltola, H., Strandman, H. & Vaisanen, H. (2001). Impact of climate change on soil frost under snow cover in a forested landscape. *Climate Research*, 17: 63-72.
- Wakes, S. J., Maegli, T., Dickinson, K. J. & Hilton, M. J. (2010). Numerical modelling of wind flow over a complex topography. *Environmental Modelling & Software*, 25 (2): 237-247.
- Woxholt, S. (2012). Storm kan gi Barkbilleangrep. *Skog og Landskap*, 17. januar: 2.
- Zeng, H., Peltola, H., Vaisanen, H. & Kellomaki, S. (2009). The effects of fragmentation on the susceptibility of a boreal forest ecosystem to wind damage. *Forest Ecology and Management*, 257 (3): 1165-1173.
- Zeng, H., Garcia-Gonzalo, J., Peltola, H. & Kellomaki, S. (2010). The effects of forest structure on the risk of wind damage at a landscape level in a boreal forest ecosystem. *Annals of Forest Science*, 67 (1).



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no