





---

## Forord

Masteroppgaven er skrevet ved Institutt for Naturforvaltning (INA) på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven markerer slutten på et 2-årig masterstudie i Skogfag, og oppgaven har vært svært spennende og lærerik

I studietiden har jeg blitt gradvis overbevist om at den kunnskapen man sitter igjen med etter 5 år er unik, og svært ettertraktet i andre bransjer enn skogindustrien. Til slutt falt valget på vegetasjonsrydding langs kraftgater, da dette er et svært aktuelt tema som trenger mer kompetanse. Man begynner å få kontroll på undervegetasjonen som vokser opp i linjetrasèen, men kunnskapen om trær langs trasèene bærer preg av svært ulik praksis hos de ulike nettselskapene. I dag er vanlig praksis å studere ortofoto, befaringer langs linjenettet, eller å la linjerydderfirmaer ta hånd om utvelgelsen, og velge ut hvilke trær som potensielt kan falle over linjenettet. Dette er dyre løsninger, som ikke nødvendigvis gir de beste resultatene.

Registrering ved hjelp av laserdata er et svært aktuelt tema, også innen vegetasjonskontroll langs kraftlinjer. Hvis utvelgelse av risikotrær kan gjøres ved hjelp av slike data, er min mening at kostnadene til registrering kan reduseres, i tillegg til at kvaliteten på utvelgelsen øker, slik at de «riktige» trærne kan taes ut.

En stor takk går til min hovedveileder Dr. Ole Martin Bollandsås, for konstruktiv kritikk og gode tilbakemeldinger underveis til oppgaven. Jeg vil også takke min hjelpeveileder Dr. Hans Ole Ørka for uvurderlig hjelp i forbindelse med datahåndtering. En stor takk går også til Hafslund Nett AS v/ Jon Anders Krokann som har stilt alt tilgjengelig utstyr og datamateriale til disposisjon, vært svært samarbeidsvillige, og gitt et godt bilde av dagens praksis, og utfordringer framover.

Til slutt vil jeg takke medstudenter for et svært godt faglig miljø, gode samtaler, mye fine opplevelser og minner for livet!

Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet

Ås, 14. mai 2014

Robert Østreng

---

## Sammendrag

Forsyningssikkerheten i Norge blir stadig viktigere, og forbrukerne baserer seg stadig mer på et samfunn dominert av en høy forsyningsgrad. Å basere oppvarmingen av hus kun ved hjelp av elektrisitet er mer dominerende enn tidligere. Næringsbygg med ventilasjon, sprinkleranlegg, kortlesere i dører, multimedautstyr, datamaskiner osv stiller høye krav til forsyningssikkerheten. I dag overføres en stor andel elektrisitet over luftledninger, og denne oppgaven tar for seg å øke forsyningssikkerheten med tanke på vegetasjon.

En rapport fra NVE, utgitt etter orkanen Dagmar i 2011 slår fast at den viktigste enkeltfeilen til ikke levert energi i Norge skyldes trefall over linjene. Det er et stort behov for mer kunnskap rundt temaet, og selv små forbedringer i antallet avbrudd kan gi store besparinger for nettselskapene. En avbruddsstatistikk Statnett utarbeider hvert år, viser at trefall over linjene er størst i distribusjonsnettet, mindre i regionalnettet, og omtrent fraværende i sentralnettet.

Dagens praksis for uttak av potensielle risikotrær er preget av store forskjeller mellom nettselskapene. Felles for alle er at det sannsynligvis er mye å hente på en bedre registrering av kantskogen i linjenettet, og uttak av de riktige trærne. I dag foregår utvelgelsen av risikotrær ved hjelp av ortofoto, befaringer langs linja eller at nettselskapene overlater utvelgelsen til linjeryddfirmaene som har kontrakt på linjerydding

Bruk av laserdata innen vegetasjonsrydding av kraftlinjer er i full utvikling, og vil spille en viktig rolle i tiden framover. Oppgaven viser at det er fullt mulig å identifisere risikotrær ved hjelp av laserdata. Resultatene i forbindelse med identifikasjon av kant gir gode resultater, og fanger opp trær man ville valgt ut ved en feltbefaring. Metoden registrerer også en del trær som ikke utgjør noe risiko for linjenettet, og disse må sorteres vekk manuelt.

Oppgaven må sees på som en begynnelse for å identifisere risikotrær ved hjelp av laserdata. Skal metoden erstatte eksisterende praksis med feltbefaringer, må flere kategorier risikotrær innlemmes. Den er allikevel full brukbar som et supplement til dagens forvaltning, kan implementeres i systemene til nettselskapene, og vil kunne gi store kostnadsbesparelser i forbindelse med registrering.

---

## Abstract

The security of energysupply in Norway is becoming more important, and consumers are increasingly relying on a society dominated by a high supply level. Basing housewarming on using only electricity is more dominant than before. Commercial buildings with ventilation, sprinklers, card readers in doors, multimedia equipment, computers etc set high standards for the security of supply. Today a large proportion of electricity is transferred in overhead lines, and the point of this thesis is to increase the security of the supply in terms of vegetation.

A report from NVE, published after the orcan «Dagmar» 2011, concludes that the most common single failure to not delivered energy in Norway is trees falling over the lines. There is a huge need for more knowledge around the topic, and even small improvements could mean big savings for the energy-companies. An interruption-statistic that «Statnett» submit every year, shows that trees falling over the lines is most common in the distribution-net, less in the region-net and almost non existing in the sentral-net.

Todays practice for removing trees with potential risk for the lines is characterized with different practices for each energy-company. The companies will all probably save money, and have fewer interruptions with a better registration of trees nearby the line network, and then remove the right trees. The registration and selection of which trees should be removed is currently identified with ortophotos, field surveys, or the energy-company leaves the selection of trees to the line clearing company.

Use of laser data to clear the power lines for vegetation is in full development, and will play an important role in the future. The thesis shows that it is possible to identify risk trees using laser data. The findings regarding the identification of edge gives good results, and captures trees that would be selected out on a field inspection. But the laser data method is not perfect yet. The results show trees that are not causing a risk for the lines as a risk, and they have to be sorted out manually.

This paper must be seen as a beginning of identifying risk trees using laser data. If this method shall replace the existing practice with field surveys, several categories of risk trees needs to be incorporated. Laser data is still usable as a supplement to current management, it can be implemented in systems for utility companies and will provide significant cost savings within registration.

---

# Innholdsfortegnelse

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Innledning</b> .....   | <b>1</b>  |
| <i>1.1 Forsyningssikkerhet og samfunnsmessige utfordringer</i> .....                 | <i>1</i>  |
| <i>1.2 Lover og forskrifter</i> .....  | <i>2</i>  |
| <i>1.3 Vegetasjonskartlegging av kraftlinjer</i> .....                               | <i>3</i>  |
| <i>1.4 Utfordringer knyttet til vegetasjon i de ulike linjene</i> .....              | <i>7</i>  |
| <i>1.5 Flybåren laserscanning (FLS),</i> .....                                       | <i>9</i>  |
| <i>1.6 Praktisk bruk av FLS til skogregistrering og vegetasjonskartlegging</i> ..... | <i>10</i> |
| <i>1.7 Praktisk bruk av FLS til forvaltning av kraftlinjer</i> .....                 | <i>11</i> |
| <i>1.8 Identifisering ved ortofoto</i> .....   | <i>12</i> |
| <i>1.9 Tidligere forskning</i> .....   | <i>12</i> |
| <i>1.10 Problemstilling</i> .....  | <i>13</i> |
| <b>2. Materiale og metode</b> .....  | <b>14</b> |
| <i>2.1 Studieområde</i> .....  | <i>14</i> |
| <i>2.2 FLS-data</i> .....  | <i>15</i> |
| <i>2.3 Identifisering av smale kanter og kanttrær</i> .....                          | <i>16</i> |
| <i>2.4 Identifisering av alle trær over en gitt terskelverdi</i> .....               | <i>20</i> |
| <i>2.5 Identifisering av trær ved befarings</i> .....                                | <i>21</i> |
| <b>3. Resultater</b> .....   | <b>22</b> |
| <i>3.1 Identifisering av smale kanter og kanttrær</i> .....                          | <i>22</i> |
| <i>3.2 Identifisering av alle trær over en terskelverdi</i> .....                    | <i>27</i> |

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4. Diskusjon .....</b>  | <b>28</b> |
| <i>4.1 Innsamling av FLS-data.....</i>                                 | <i>28</i> |
| <i>4.2 Identifisering av smale kanter og kanttrær.....</i>             | <i>29</i> |
| <i>4.3 Identifisering av alle trær over en gitt terskelverdi .....</i> | <i>32</i> |
| <i>4.4 Økonomiske betraktninger .....</i>                              | <i>32</i> |
| <i>4.5 Videre forskning.....</i>                                       | <i>33</i> |
| <b>5. Konklusjon .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>6. Litteraturliste .....</b>  | <b>35</b> |

---

# 1. Innledning

## 1.1 Forsyningssikkerhet og samfunnsmessige utfordringer

Norge anno 2014 er et samfunn helt avhengig av elektrisitet, og forsyningssikkerheten spiller en avgjørende rolle i samfunnet. I Norge har vi sjelden avbrudd og svikt i strømforsyningen over lengre tid, noe som gjør det mulig å bygge et samfunn der elektrisitet spiller en så avgjørende rolle. I store deler av landet, er det lange kuldeperioder, og den gode forsyningssikkerheten gjør at mange velger å ha elektrisitet som eneste oppvarmingskilde. Et argument for bruk av el til oppvarming er å hindre lokal forurensing, som man får fra alternative varmekilder, som ved og fossilt brensel. Dette gjør at el-oppvarming er svært vanlig i byer og tettbebygde strøk. Videre er el svært billig i Norge, med lave avgifter, som gjør at alternativ oppvarming i mange tilfeller er dyrere.

I Norge har antallet strømprudd og lengden på avbruddene per kunde per år vært synkende de siste 15 årene, med en gjennomsnittlig avbruddstid på i underkant av 100 minutter per kunde. Dette er likt som Storbritannia, og noe høyere enn Frankrike, Tyskland og Nederland. Andre land i Europa ligger høyere, og Polen har hele 400 minutter i gjennomsnittlig avbruddstid (NOU 2012: 9).

Selv om forsyningssikkerheten i Norge må sies å være svært god, blir allikevel konsekvensene av orkaner og andre naturkatastrofer svært store både i form av økonomiske tap, og i antallet personer som blir direkte eller indirekte berørt av strømavbrudd. Hvis for eksempel et sykehus blir rammet av strømavbrudd, kan liv stå i fare. Forsyningssikkerhet spiller altså en viktig rolle i sikkerheten til innbyggerne. I tilfeller med sykehus, aluminiumsverk og annen industri hvor strømmen er nødt til å være tilgjengelig absolutt hele tiden, finnes det ofte en alternativ løsning. Om strømmen faller ut, starter automatisk en nødprosedyre som sørger for videre strøm på plassen

En rekke hendelser og avisoppslag de senere årene viser viktigheten av vegetasjonsrydding.

Orkanen Dagmar rammet store deler av Norge 1. juledag 2011. Så mange som 570 000 husstander opplevde i den forbindelse kortere eller lengre strømavbrudd som en følge av orkanen. Kostnadene for nettselskapene var på over 700 millioner kroner og en stor del av tapene skyltes trefall over linjene (Kyte & Kjølle 2012). Senest 28. november 2013 rammet kraftig vind Oslo-området, og medførte at 4000 husstander hos Hafslund mistet strømmen i en kortere periode (Abdli & Zoric 2013, 28. november).

---

## 1.2 Lover og forskrifter

I Norge finnes det lover og forskrifter som regulerer forsyningssikkerheten, og netteierne plikter seg til å drifte nettet på en best mulig måte, utfra et samfunnsøkonomisk perspektiv

Olje- og energidepartementet har understreket viktigheten av et stabilt strømnett på nasjonalt nivå: (Meld. St nr 14 (2011-2012))

*I dagens samfunn er elektrisitet en nødvendighet. Nesten alle viktige samfunnsoppgaver og -funksjoner er kritisk avhengige av et velfungerende kraftsystem med pålitelig strømforsyning. Svikt i strømforsyningen som gir omfattende og langvarige strømavbrudd skjer sjelden i det norske kraftsystemet. Imidlertid vil konsekvensene av slike avbrudd være store. Nettet ivaretar en av de grunnleggende funksjonene i kraftforsyningen, og er en helt sentral infrastruktur i ethvert moderne samfunn.*

Regelverket rundt rydding av kraftlinjer er regulert i Forskrift om Elektriske Forsyningsanlegg (2005) fastsatt av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Forskriften trådte i kraft 1. januar 2006 med hjemmel i lov 24. mai 1929 om Tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr.

### § 1-1. Formål

*Elektriske anlegg skal prosjekteres, utføres, driftes og vedlikeholdes slik at de sikkert ivaretar den funksjon de er tiltenkt uten å fremby fare for liv, helse og materielle verdier.*

Utfra denne loven er det tydelig at det er netteier som plikter seg til å holde nettet i tilfredsstillende stand, blant annet med vegetasjonsrydding.

Nettselskapene har monopol på overføring av kraft innenfor sine forsyningsområder, og i dette monopolet ligger det at nettselskapene skal drifte nettet og anleggene sine, slik at regnskapet går i null. (Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering 1999). Denne forskriften regulerer også Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi (forkortes heretter til KILE). Dette er et kvalitetsintensiv for å motivere nettselskapene til å bygge og drifte nettet etter hva som vil være mest samfunnsøkonomisk. Uten KILE kan man risikere at selskapene investerer og vedlikeholder mindre i nettet, med den følgen at forsyningssikkerheten blir dårligere. KILE gjelder for høyspentnettet, fra 1000 V (1 kv) og oppover og er hjemlet i Energiloven av (1990). KILE-kostnader slår ut ved at det beregnes en kostnad som et fratrekk i selskapets inntektsramme, og selskapets

---

tillatte inntekt fra nettleie vil dermed reduseres. Størrelsen på KILE-kostnaden beregnes i hvert enkelt tilfelle etter en fastsatt mal, med ulike kundegrupper, tid på døgnet og lengden på avbruddet

Etter Lov om oreigning av fast eiendom (1959), slås det fast at kraftselskapene har rett til å ekspropriere grunn til bygging av kraftgater. Grunneieren har krav på kompensasjon for dette, og satser og utbetalinger gjøres opp mellom netteier og grunneierne, ofte representert ved Norges Bondelag og Skogeierforbundet. Som regel ligger det til grunn at nettselskapet disponerer den klausulerte trasèbredden fritt, og utfører vegetasjonsrydding etter behov, uten varsling til grunneier. I forbindelse med hogst av kantskog beveger man seg utenfor klausulert bredde, og grunneieren har som regel rett på kompensasjon for tapte tømmerinntekter. Det finnes mange ulike måter å gjøre opp dette på, men det kan løses ved at netteieren sørger for hogst og utkjøring til vei, samtidig som grunneier får en viss kompensasjon for venteverdi. Dette medfører en omfattende varslingsprosess der det er mange grunneiere, og nettselskapene gjør ofte lurt i å være litt raus i kompensasjonen, for å hindre unødige “skjær i sjøen” og at arbeidet må stoppes opp på grunn av enkeltgrunneiere.

### **1.3 Vegetasjonskartlegging av kraftlinjer**

Linjenettet deles vanligvis inn i 3 ulike kategorier avhengig av spenningsnivået. Sentralnettet er i hovedsak de store overføringslinjene mellom regionene. Det er Statnett som eier og drifter sentralnettet, som har et spenningsnivå fra 132-420 kV. Sentralnettet er i all hovedsak bygd opp som et masket nett, som vil si at linjene er knyttet til hverandre på minimum to forskjellige punkter. Dette vil si at hvis det oppstår avbrudd i en linje, vil det vanligvis ikke føre til brudd i leveringen, fordi Statnett har anledning til å sende strømmen over et annet linjestrekk. Dette er et tiltak som styrker forsyningssikkerheten betraktelig, siden enkeltfeil på en linje kan stort sett håndteres greit. Ved å ha et masket nett vil man derfor unngå at hele landsdeler eller regioner får avbrudd som følge av enkeltfeil på sentralnettet.

Regionalnettet spenner fra 22-132 kV, og distribuerer strøm på regionalt nivå. Dette administreres ofte via lokale nettselskaper, som Hafslund og Eidsiva. På dette nivået er det ikke alltid masket nett, og strømavbrudd på enkelte linjer kan gi store utslag i antall kunder som blir rammet.

Distribusjonsnettet er eid av lokale nettselskap, går fra 1-22 kV, og distribuerer strøm helt ut til kundene. I disse linjene er strømmen fordelt på mange luftledninger og jordkabler, siden det skal



---

distribueres til hver enkelt husstand. Det er stadig avbrudd på disse linjene, men et avbrudd på en linje rammer sjelden like mange kunder som et avbrudd i regionalnettet.

I distribusjonsnettet var vegetasjon den utløsende årsaken til 25 % av kostnader for ikke levert energi i perioden 2006-2011. Trefall på linjene regnes også som den viktigste enkeltårsaken til ikke levert energi i Norge. (NVE 2012) I samme rapport estimeres det at de direkte kostnadene til skogrydding i nettbransjen i Norge er på rundt 400 millioner kroner årlig. Det legges ned betydelige summer i vegetasjonsrydding i Norge, og god kontroll og kartlegging er en svært viktig nøkkel for å forvalte disse pengene på en god måte.

I mange tilfeller er det ettervirkningene av et strømbrudd som påfører det største tapet, og de største materielle skadene kommer som følgefeil. I 2011 ble det gravd over en høyspentledning inne på Oslo Lufthavn. Følgene av dette avbruddet rammet 16 transformatorstasjoner, 3 kraftverk, Jernbaneverket, Oslo Lufthavn og 30.000 kunder mistet strømmen i 1 og 1/2 time (NVE 2013)

Vegetasjonskartlegging langs linjenettet i Norge har flere formål. Fra forbrukernes side handler det om å styrke forsyningssikkerheten ved å redusere antallet strømbrudd som skyldes vegetasjon. I tillegg er el-sikkerheten en viktig faktor, ved at det ikke skal være fysisk mulig å klatre på trær hvor man kan berøre linjene. For nettselskapene vil en bedre kontroll på vegetasjonen gi mindre feilretting og utbedringer som følge av trefall, og lavere KILE-kostnader

Landsskogtakseringen er en nasjonal ordning som har overvåket skogen i Norge siden 1920-tallet. I dag administreres den av Skog og Landskap, men det har vært ulike etater som har administrert denne gjennom historien. Landsskogtakseringen kan brukes som en svært god indikator på hvordan skogen i Norge vokser. På landsbasis har det vist seg at skogen i Norge vokser raskere enn tidligere, og at lauvoppslag står for en stor del av den økte tilveksten (Granhus et al. 2012). Det er i stor grad lauvoppslaget som styrer hyppigheten på vegetasjonsryddingen i bunnsjiktet, da disse ofte er pionerarter, og har stor vekst de første årene. Den økte tilveksten kan ikke forklares med en enkelt faktor, men man antar at færre beitedyr, økt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i atmosfæren og varmere klima er med og påvirker dette. (Granhus & Hysten Uten år)

Samme artikkel viser at fra 1945 og utover ble det satt i gang en storstilt planting av gran i Norges skoger, og i toppåret 1964 ble det plantet omlag 100 millioner planter årlig. Dette skiftet i norsk skogbruk, fra plukkhogster til bestandsskogbruk gir også utslag i forvaltningen av trærne langs

---

kraftlinjer. Bestandsskogbruket fører med seg ensartede bestand, med like treslag og alder, som i mange tilfeller gir mer ustabile bestand. Særlig blir problemet stort der entreprenørene velger å sette igjen en liten kant av trær langs kraftgatene, for å unngå konflikter med strømførende ledninger under avvirking.

En del nettselskap har valgt å bruke vegetasjonen aktivt for å skjule kraftgatene og mastepunkter. En god vegetasjonskartlegging er viktig i denne prosessen, fordi man har et bedre grunnlag for å sette igjen trær som ikke utgjør noe risiko. Dette fører til lavere kostnader til vegetasjonsrydding, samtidig som man demper konfliktnivået, fordi trasèen blir mindre dominerende i terrenget.



Foto 1: Aktiv bruk av vegetasjon for å skjule kraftlinja til venstre. Tradisjonell forvaltning til høyre Foto: Statnett

Dette er mest aktuelt på større anlegg med høy bakkefas (høyden mellom bakke og laveste ledning). Statnett har forsøkt en del ulike metoder for å bruke vegetasjon til å skjule trasèer, og et eksempel er 420 kV-linja Viklandet-Fræna på foto 1. Her er vegetasjonskartleggingen tatt med allerede i planleggingen av linja, og det har medført at man har valgt et langt spenn oppover lisidene, som gjør at man kan beholde mye av vegetasjonen under. Man ser tydelig forskjell på de to parallelle linjene, der linja til venstre nærmest forsvinner i terrenget, mens trasèen til høyre er godt synlig på lang avstand.

Mange selskaper har god kontroll på undervegetasjonen som kommer opp i trasèen. Dette kan skyldes at det kreves mindre skogfaglig kompetanse for å vurdere og utføre tiltak i undervegetasjonen. I mange tilfeller ryddes det med faste intervaller, og da unngår man helt problemer med vegetasjon som vokser opp i ledningsnett. Men i mange tilfeller fører dette til en dyrere løsning, og her er det store summer å spare på å effektivisere ryddingen ved å rydde oftere der det er nødvendig, og rydde sjeldnere på arealer med sentvoksende arter, eller på skrin jord.

Et risikotre kan defineres som et tre det er stor sannsynlighet for at vil falle over linjenettet. Det kan være en rekke ulike grunner til at et tre vil bli klassifisert som et risikotre. Høye lauvtrær langs linjene er ofte utsatt for snøbøy, hvor trærne bøyer seg over linjene. Døde trær utgjør en større risiko

---

enn et friskt tre. Trær som fristilles, enten ved en breddingshogst (forklart senere i oppgaven) eller at det settes igjen kanter etter tømmerhogst har i noen år etter inngrepet en overhengende fare for rotvelt eller stammebrekk. Skjeve trær og høye trær vil begge kunne betegnes som risikotrær

Selv om et tre bør klassifiseres som et risikotre, handler det til slutt om hvor mye vegetasjon netteieren ønsker å fjerne. I den ene enden av skalaen kan man velge å aldri ta ut noen trær, som fører til stadige avbrudd og feilrettinger, p.g.a trær som har lagt seg på linjenettet. Helt i andre enden vil være å gjøre alle linjene tresikre, ved å fjerne all vegetasjonen som potensielt kan falle over linjene. Dette er ytterpunktene, og begge gir ekstremt høye kostnader, slik at netteierne vil alltid prøve å finne en balanse et sted i mellom. Rent økonomisk kan man forsøke å finne et optimum der de totale kostnadene til vegetasjonsrydding, feilretting, fjerning av trær på linjenettet, KILE og administrasjon er lavest mulig. I praksis vil dette imidlertid være vanskelig, siden man må forholde seg til en del ytre faktorer. Man kan aldri garantere at et tre ikke faller over linjenettet, for eksempel som følge av råte eller insektskader. Videre er det vanskelig å forutsi sterke vinder, kraftig nedbør, snømengder og naturkatastrofer som i mange tilfeller vil gi ekstreme kostnader og lange avbrudd, som orkanen Dagmar gjorde i 2011.

Når det gjelder risikotrærne i kantsonene kreves det mer skogfaglig kompetanse for å avgjøre hvilke trær som bør felles, og hvilke trær som ikke utgjør noe risiko for anlegget.

En viktig faktor er trasébredde. En smal trasé gjør at flere trær blir potensielle risikotrær, i forhold til en bred trasé, siden trærne står nærmere ledningene i utgangspunktet. I tillegg har en bred trasé høyere bakkefas siden trasébredde som regel er styrt av spenningsnivået på linja, som dermed øker kravet til bakkefas.

I dag foregår utvelgelse av risikotrær ut fra befaringer, feltarbeid, lokal kunnskap og fotostudier. Linjene inspiseres manuelt, og eventuelle risikotrær registreres. Hvilke strekninger som prioriteres velges ut på bakgrunn av tilgjengelig informasjon og lokal kunnskap. Dette er en tidkrevende og dyr prosess, og et ønske om å effektivisere denne prosessen står sterkt. Bruk av laserdata kan være riktig vei å gå for å redusere kostnader knyttet til innhenting av risikotrær.

Ved befaring i felt vil en normal dagsprestasjon ligge på rundt 15 km linje inspisert. Ved studering av ortofoto er prestasjonen på en dag noe bedre, og man klarer å gå over 30-50 km om dagen, i følge Jon Anders Krokann, Hafslund Nett AS (Pers. med. 6. mai 2014)

## 1.4 utfordringer knyttet til vegetasjon i de ulike linjene

I sentralnettet er bakke-fas relativt stor, og langs linjene finnes en del områder med såkalt nullbelte. I nullbeltene er bakke-fas så stor at det ikke er behov for vegetasjonsrydding. Disse områdene har

| Line-type   | Drift-spenning $U_d$ (kV) | Anbefalt trasebredde (m) |
|-------------|---------------------------|--------------------------|
| Blank line  | $1 < U_d \leq 24$         | 15                       |
|             | $24 < U_d \leq 72,5$      | 22                       |
|             | $72,6 < U_d \leq 145$     | 25                       |
|             | $U_d > 145$               | Min. 30                  |
| Belagt line | $1 < U_d \leq 24$         | 11                       |
| Luftkabel   | $1 < U_d \leq 24$         | 7                        |

Figur 1: Anbefalt Trasèbredde i ulike spenningsnivåer, kilde: REN

kraftselskapene som regel dokumentert

under bygging, fordi dette sparer kraftselskapene for store summer årlig, i hele anleggets leveperiode. Det kan drives tradisjonell skogsdrift i 0-beltene, som er et godt samfunnsøkonomisk tiltak, siden nettleien kan reduseres, samtidig som mer tømmer kan gå til industrien.

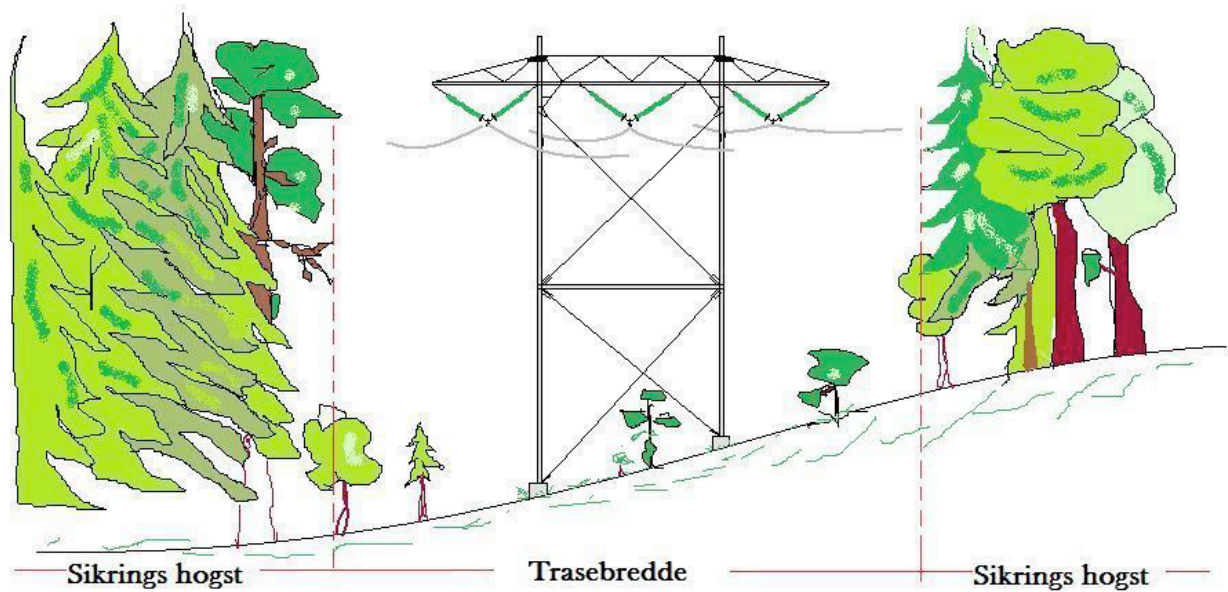
Kombinasjonen høy bakke-fas og brede trasèer gjør at kantvegetasjon er nærmest aldri et problem for avbrudd i linjene i sentralnettet. REN er en interesseorganisasjon eid av 126 nettselskaper.

Visjonen er å være et ledende kunnskapssenter i sin bransje, og formålet er å standardisere materiell og metoder i nettselskapene.

REN har utarbeidet en standard for vegetasjonsrydding (REN 2013). Her finnes en del veiledninger og definisjoner som utfyller direktoratets lovpålagte krav. I sentralnettet er det ønsket en minimums trasèbredde på 30 meter (figur 1), og i mange tilfeller enda bredere. Trasèbredde er illustrert i figur

2

Regionalnettet ligger midt mellom sentral- og distribusjonsnettet i høyde og trasèbredder. Litt avhengig av spenningsnivået ligger anbefalt trasèbredde på 20-25 meter. Regionalnettet har antageligvis en større andel avbrudd enn sentralnettet som følge av vegetasjonen, men det finnes ikke tall på dette. Statnett utarbeider årlig en avbruddsstatistikk (NVE 2013) på landsbasis, men i denne er regional- og sentralnettet definert sammen, slik at det er ikke mulig å definere i hvilket av linjenettene avbruddene oppstår. Uansett viser statistikken at feil som følge av vegetasjon på disse linjene er svært lave. Et gjennomsnitt fra 2002-2011 knyttet til KILE viser at "Omgivelser" står for 36 % av avbruddene. Vegetasjon utgjør kun 12 % av dette igjen, som gir et tall på 4,3 % avbrudd som følge av vegetasjon. 2011 skilte seg ut, i all hovedsak på grunn av Dagmar, og da sto vegetasjon for 11,2 % av KILE-kostnadene i nettene.



Figur 2: Forklaring på trasèbredde og kanter hvor det utføres sikringshogst. Kilde: REN

I distribusjonsnettene er vegetasjon en stor utfordring, og som nevnt tidligere står vegetasjon for 25 % av KILE. Forklaringene på dette skyldes smalere trasèer, lavere bakke-fas, og at det tas ut færre risikotrær i kantsonene. REN anbefaler en trasèbredde på 15 meter, men i mange tilfeller er trasèen enda smalere enn dette. Dette skyldes at anbefalingene har økt siden den gangen linja ble bygget, men det er ikke fulgt opp med breddingshogst for å møte de nye anbefalingene. En breddingshogst er forklart i neste avsnitt, men det er ikke utelukkende positivt å utføre breddingshogst kun for å møte de nye anbefalingene.

I en studie av risikotrær er det en fordel å ta utgangspunkt i distribusjonslinjer, hvor det er flest potensielle risikotrær, og behovet for kunnskap og kartlegging er størst.

I forbindelse med vegetasjonsrydding er det fire hovedmetoder som er dominerende: (REN 2013)

**Vedlikeholdshogst** er det de fleste anser som vanlig linjerydding, der vegetasjon i bunnsjiktet holdes nede. Det ryddes med jevnlig sykluser, enten totalrydding, hvor alt ryddes etter faste intervaller, eller punktrydding der trasèen deles i ulike kategorier og ryddeintervaller, etter bonitet, jordsmonn etc

**Breddingshogst** er aktuelt der man mener trasèbredden er for smal, og man ønsker å utvide denne for å styrke forsyningssikkerheten. Et stort faremoment etter breddingshogst, er at den nye kantskogen kan bli ustabil, og faren for vindfelling og snøbøy de første 5-10 årene øker dramatisk. Har man en grønn og stabil kant, bør man derfor vurdere dette nøye før man velger en breddingshogst

**Sikringshogst** gjøres i dag ved hjelp av befarings langs linja eller studering av ortofoto, hvor man plukker ut risikotrær som antas å svekke forsyningssikkerheten. Dette kan være tynne lauvtrær, døde trær, råtne trær og trær som heller mot linja. Metoden er arbeidskrevende fordi man ofte er nødt til å inspisere linja manuelt, og personen er nødt til å ha skogfaglig kompetanse for å vurdere om treet utgjør en risiko eller ei.

**Tresikker linje** vil si at man fjerner alle trærne som hvis de faller ved rota vil treffe linja. Metoden er svært kostbar, og krever en svært bred gate, opp mot 30 meter fra ytterste ledning, som tilsvarer en trasèbredde på 60-80 meter. Laserdata kan være et svært godt verktøy for å identifisere trærne som potensielt kan falle over linja. På enkelte kortere strekk kan det vurderes, hvis linja er høyt prioritert, og man vil eliminere avbrudd som følge av vegetasjon 100 %.

### 1.5 Flybåren laserscanning (FLS),

Laserscanning er en måleteknikk som benytter lys i form av infrarøde stråler. Prinsippet er at det sendes ut lys, som returneres

(ekko) når det treffer objekter

som trær, hus, ledninger og

bakke, og tiden fra lyset ble

sendt til det returneres blir

registrert. Et

laserscannearmument kan for

eksempel monteres under et fly

(kalles også laseraltimetri), som

flyr over et område som skal

scannes. Instrumentet har et

innebygd motorisert speil og

det vanligste er at den sveiper

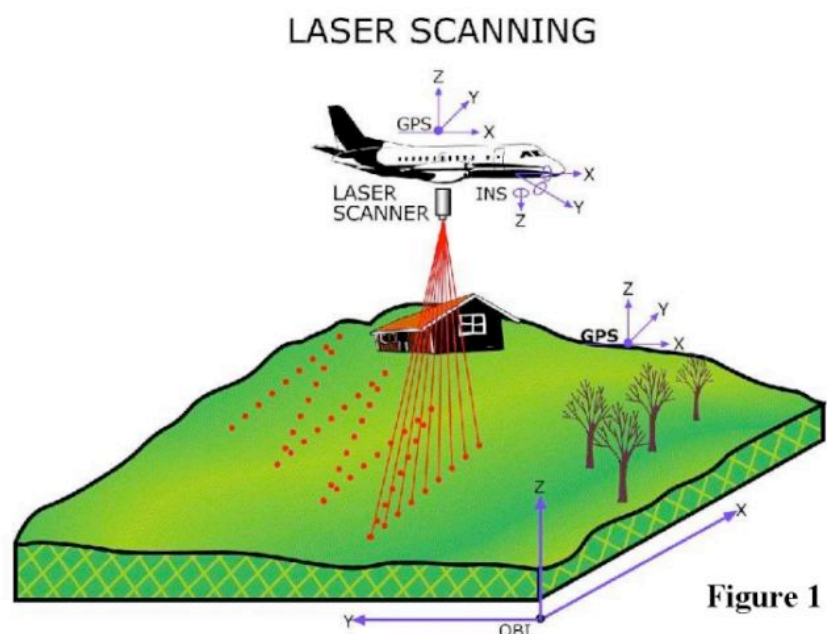


Figure 1

Figur 3, Kilde: ESRI

---

fram og tilbake, og sender lyspulser i en Z-formasjon, som figur 3 viser. Dette speilet definerer scannevinkelen til instrumentet, avhengig av hvor mye det sveiper til hver side. Datainnsamlingen blir mest nøyaktig rett under flyet, for deretter å bli gradvis dårligere utover i vinkelen.

Systemet kan deles inn i to kategorier, avhengig av hvordan lyset registreres i instrumentet.

Pulssystemet sender korte lyspulser som danner en eller flere retursignaler når det treffer objekter, eller at hele signalet digitaliseres (fullwaveformsystem). Sensoren måler tiden fra lyspulsen ble sendt, til den returneres. Ved å multiplisere den registrerte tiden med lysets hastighet og dividere med to regner sensoren ut avstanden mellom sensoren og treffpunktet for hver enkelt lyspuls.

Grunnen til at instrumentet kan registrere flere returer på samme lyspunkt særlig i vegetasjon er fordi noe av lyspulsen fortsetter gjennom greinene, og kan på den måten gi flere returer. Den andre metoden kalles Continuous waveformsystem, som fungerer ved at den sender et konstant lys, og registreringene skjer ved å se på faseendringene i lyspulsene som returneres. (Lim et al. 2003)

Arealet på lyspulsen som treffer bakken kalles fotavtrykk, I skogregistrering er små fotavtrykk i størrelsesorden 10-40 cm dominerende. Scannebredde er et annet begrep som forklarer hvor bredt laseren sender ut lyspulsene, og danner en kooridor under flyet. Scannebredden er en funksjon mellom flyhøyden og scannevinkelen, som kan være fra 50 til 1000 meter i skogregistrering.

De aller første forsøkene og den kommersielle bruken av FLS begynte på 1970-tallet for å overvåke forurensning i vann (Rayner & O'Neil 1979). I dag brukes laserscanning for eksempel innen terrengmodellering, kartlegging av is i polare strøk, masseberegninger i grustak, skogregistrering og vegetasjonskartlegging

### **1.6 Praktisk bruk av FLS til skogregistrering og vegetasjonskartlegging**

Sovjetunionen begynte studier med tanke på skogregistrering allerede på slutten av 1970-tallet for å måle trehøyder (Solodukhin et al. 1977). I Norge startet forskningen på FLS til skogregistrering i 1995 (Næsset 1997a; Næsset 1997b). En av de store utfordringene i starten var at man klarte ikke å koordinatfeste laserdataene så nøyaktig som man ønsket, særlig innen skogregistrering. Et stort gjennombrudd kom når man klarte å koordinatfeste flyet og laseren inntil 0,5 meter ved hjelp av Inertial Navigation System (INS) og Global Positioning System (GPS) (Næsset et al. 2004) INS bestemmer orienteringen til flyet i tre dimensjoner (x, y og z), mens GPS brukes for å bestemme flyets posisjon. Siden 2002 har FLS blitt brukt i det operative skogbruket til områdetaksering (Næsset et al. 2004) og det er denne metoden som i all hovedsak brukes i Norge i dag. En studie av



---

Eid et al. (2004) viste at nåverditapet på grunn av feil ressursbeskrivelser og avgjørelser på feilaktig grunnlag ble mindre ved bruk av laserdata enn ved fototakst. Totalkostnaden (takstkostnad + nåverditap) viste også en halvering i forhold til fototaksten.

Avhengig av formålet med datainnsamlingen, velger man kvalitet og datamengde ut fra dette. Ved skogregistrering er det ofte store arealer som skal registreres, og man kan tillate seg å gå noe ned på kvaliteten og datamaterialet ved å velge brede korridorer og færre punkter per m<sup>2</sup>. I andre tilfeller, som scanning av jernbanelinjer eller kraftgater, ønsker man svært detaljerte data, for å fange opp ledningene, og generelt ha mer nøyaktige data.

### **1.7 Praktisk bruk av FLS til forvaltning av kraftlinjer**

FLS har i løpet av kort tid blitt et viktig verktøy for nettselskaper, siden man kan hente svært nøyaktige data over et område på kort tid, og til en lav kostnad. På noen områder blir dataene fra FLS bedre enn ved en feltbefaring. Blant annet gir laserdataene et godt estimat på høyde for alle trær langs linja. Skal dette gjøres i felt langs hele linjenettet, er det en ekstremt tidkrevende prosess, og blir i praksis aldri gjort langs hele linjenettet. Det blir benyttet i områder der man ønsker å tresikre linjene, for å vite hvilke trær som må felles, som enten er for høye i dag, eller kommer til å bli det i løpet av en 10-20 års-periode.

Et av de viktigste bruksområdene for FLS i dag er oppfølging av ryddekontrakter ved periodens utløp. Mange nettselskap opererer med en rammeavtale, på alt fra 1-5 år, hvor entreprenøren pliktes til å holde vegetasjonen på en gitt avstand unna linjene gjennom perioden, og ved kontraktens utløp. Ved en FLS leverer flere selskaper egenutviklede program som gjør det svært enkelt for netteier å kontrollere at minsteavstandene er blitt overholdt. En feltbefaring av det samme nettet tar lang tid, og man må måle avstand manuelt for hvert enkelt tilfelle for å få like nøyaktige data som FLS gir. I praksis blir det tatt ut enkelte kontrollfelt som befares i felt. Dette gir ikke nødvendigvis et godt bilde av tilstanden på hele linjenettet.

Innføring av FLS fører til at entreprenørene er nødt til å levere som avtalt, men over tid vil dette gi en billigere linjerydding siden entreprenørene priser inn risikoen, men mer nøyaktige data i forkant av anbudsrunden gir grunnlag for å redusere risikoen, siden man vet mer om tilstanden til linjenettet.

Ved oppfølging av ryddekontrakter er man for eksempel interessert i å finne enkeltgreiner som stikker inn i trasèen, og er for nær ledningene. For å klare å identifisere disse, er man avhengig av en høy punkttetthet



---

Ved for stor scannebredde vil man ikke klare å fange opp slike objekter. Rent praktisk er man kun interessert i en korridor på 50-120 meter, for det er dette som er interessant i den operative bruken av laserdataene ved forvaltning av kraftgater. Utviklingen på området går svært fort, og man finner stadig nye bruksområder. Datagrunnlaget er der, så det er kunnskapen og kreativiteten som avgjør hvilke bruksområder dette kan få i tiden fremover.

Utvelgelse av risikotrær er i dag noe brukt av nettselskapene, og kommer til å få en større rolle i tiden framover. Av andre bruksområder utover vegetasjon kan det nevnes at det er svært enkelt å oppdage tilbygg, garasjer etc som er satt opp for nær linjene. I tillegg kan skeive mastepunkter lett oppdages og rettes opp ved behov.

### **1.8 Identifisering ved ortofoto**

I forbindelse med laserscanningene av linjenettet, blir det i mange tilfeller tatt høyoppløselige bilder langs linja. Disse bildene danner et godt bilde av virkeligheten, og er svært gode å ha i den praktiske forvaltningen og kontrollen av linjenettet. Et alternativ til FLS kan være å bruke disse bildene til å identifisere risikotrær. En del risikotrær vil være fullt mulig å plukke ut bare ved hjelp av bilder, som smale kanter mellom en hogstflate og linjetrasèen, døde trær, og en del lauvtrær. Prosessen er tidkrevende, siden en operatør må gå over hele linjenettet manuelt for å identifisere trærne. Som et supplement til laserdataene, og i tvilstilfeller før eventuell kontroll i felt er det allikevel svært verdifullt.

### **1.9 Tidligere forskning**

En rekke forsøk har i senere tid konkludert med at det er mulig å identifisere treslag utfra laserdata. Et forsøk av Holmgren et al (2008) ble gjort i Sverige ved å kombinere LiDAR, og multi-spektrale bilder. Punkttettheten på laserdataene var 50 punkt m<sup>-2</sup>, og nøyaktigheten på klassifiseringen på hele 96 % når man kombinerte begge datakildene.

Ørka et al (2009) tok utgangspunkt i et laserdatasett med 6,6 punkt m<sup>-2</sup> i et forsøk som forsøkte å skille bartrær og lauvtrær. Resultatene ga 88 % nøyaktighet på treslagsklassifiseringen.

Li et al. (2010) sammenfattet en rekke ulike aspekter ved flybåren registrering til forvaltning av kraftlinjer. Et av forsøkene så nærmere på bruk av fjernstyrte droner (UAS) som et supplement til tradisjonelle fly eller helikopter under registrering. Det konkluderes med at arealene rundt kraftlinjene stiller strenge krav til at stabilitet, kontroll og muligheter for nødlanding må være på plass før det kan brukes i områder med mye menneskelig aktivitet. Dette fagfeltet er i hurtig

---

utvikling, og mye tyder på at dette vil kunne erstatte en del registreringsoppdrag som man i dag trenger bemannede helikopter til innen få år.

Det er gjort diverse forsøk for å klare å vektorisere linjenettet og mastene utfra laserdata, for deretter å rekonstruere det i 3D (Xiang 2014). Punkttettheten var 5 punkt  $m^2$  og resultatet viste at det er fullt mulig å gjøre dette ved hjelp av laserdata. Når man har egenskapene til linja i 3 dimensjoner, er det mulig å beregne mer nøyaktig om trær vil falle over linjenettet.

Det er ikke funnet noen studier som ser nærmere på hvilke egenskaper som gjør at trær har større sannsynlighet for å falle over linjenettet enn andre trær. Dette ville ha vært til stor hjelp i oppgaven, da man kunne spesifisert risikotrærne opp mot et slikt studie. Oppgaven tar derfor utgangspunkt i forstlig skjønn for å vurdere hvilke trær som bør identifiseres. Sannsynligvis vil det ikke være store forskjeller, men det kan ha litt betydning i den praktiske forvaltningen, hvis man har begrensede midler til rådighet, og må prioritere hvilke grupper av trær som ryddes.

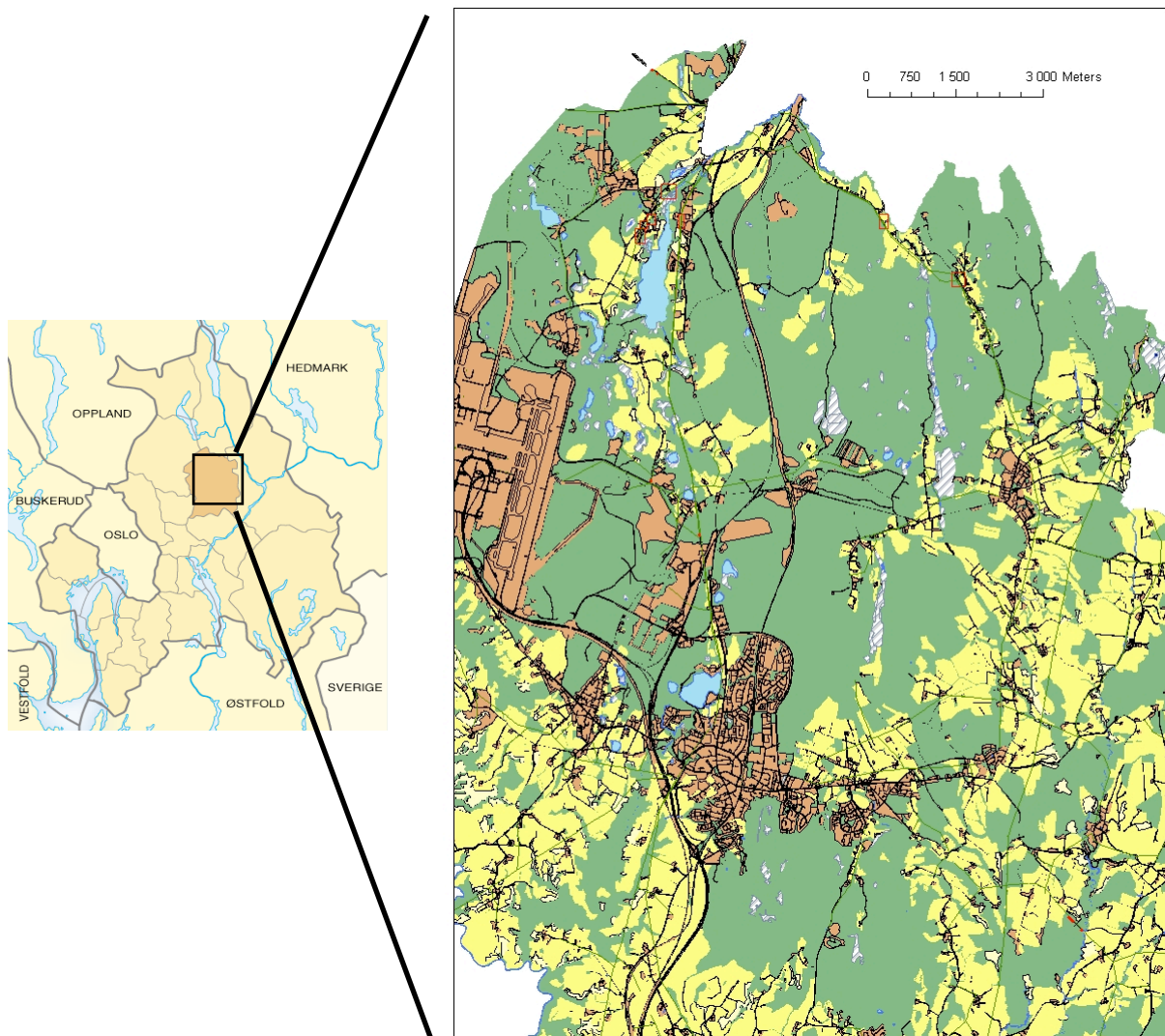
### **1.10 Problemstilling**

Hovedformålet med denne oppgaven er å identifisere risikotrær langs kraftlinjer, ved hjelp av FLS-data. Oppgaven har to ulike del-problemstillinger som skal besvares.

Problemstilling 1: Hvordan kan man benytte data fra flybåren laserscanner til identifikasjon av smale kanter av høye trær som er satt igjen mellom hogstflate og kraftgate?

Problemstilling 2: Kan man identifisere risikotrær kun ved å bruke laserekko over en gitt terskelverdi?

## 2. Materiale og metode



Figur 4: Ullensaker kommune, kilde: [snl.no/Ullensaker](http://snl.no/Ullensaker). Til høyre, utklipp av studieområde

### 2.1 Studieområde

Studieområdet er Ullensaker kommune som ligger på Øvre Romerike (figur 4), og omfatter sentrale deler av Romerikssletta mellom Mjøsa og Øyeren. I vest avgrenses det av Leira, og i øst er det stort sett Rømua som danner grensa, begge er bielever til Glomma. Studieområdet befinner seg i den nordlige delen av kommunen. Lenger sør finnes det en by og tettsteder hvor det er lite skog å identifisere.

Kommunen er preget av kulturlandskap med spennende raviner, grytehullsjøer og bølgende åser. Terrenget i kommunen er svært variert, med bylandskap, jordbruksarealer, kulturlandskap og rene skogarealer ([snl.no/Ullensaker](http://snl.no/Ullensaker)). De fleste elementer man kan forvente langs en distribusjonslinje i Norge er representert i denne kommunen, og studieområdet er godt egnet

---

## 2.2 FLS-data

Laserdataene til oppgaven ble levert i .las-format uten romlig referanse. Datasettene var klassifisert i bakketreff, vegetasjon, kraftlinjer, bygninger, vann eller uklassifisert. Før dataene kunne benyttes videre ble programmet Liblas benyttet for å koble filene opp mot et koordinatsystem. Dette er avgjørende for videre prosessering, siden dataene ble knyttet opp mot andre lag som hadde koordinatsystemet WGS 1984, UTM sone 32N. Alle .lasfilene ble derfor tillagt dette koordinatsystemet umiddelbart.

Laserdataene dekker 22 kV-distribusjonsnettet i Ullensaker kommune. Hafslund eier og drifter distribusjonsnettet, og dataene er samlet inn av Visimind AB for Hafslund Nett AS. Hafslund er landets største nettselskap, med om lag 570.000 kunder i Oslo, Akershus og Østfold. Driftsentralen hos Hafslund overvåker strømmettet til 1,4 millioner nordmenn. Totalt eier Hafslund 10.130 km luftledninger, og leverer årlig 15.850 Gwh strøm (Hafslund 2014)

Innsamlingen av data foregikk i mai 2013, og hele linjenettet i Ullensaker og Nes kommune ble scannet. Innsamlingen ble gjort med en helikopterbåren Riegl Q680i full waveform sensor.

Flyhøyden var ca 50 meter, med linjenettet i senter og scanningsvinkelen var ca 60 grader. Dette gir en kooridor på mellom 50 og 60 meter.

Med en trasèbredde på 15 meter, ender man med en observert kant på i overkant av 20 meter på begge sider, som danner grunnlaget for å identifisere risikotrær. Det ble registrert 100-120 punkter/m<sup>2</sup>, og scanningsfrekvensen var 400 kHz, med en pulsrate på 266 kHz

Filene ble importert til programmet ArcMap, som er et geografisk informasjonssystem til visning av kart, behandling av data, ulike analyser og tyngre prosessering og programmering. Alle tilleggsfunksjoner som benyttes i denne oppgaven er tilgjengelig i programmet under «advanced user», med tilleggspakkene spatial analyst og 3D-analyst

Siden .las-formatet er tungt å jobbe med, er det første steget å gjøre om datasettene til rasterdata. Rasterdata vil si at filene deles inn i celler, hvor hver celle har en fastsatt verdi. I dette tilfelle er verdien en gjennomsnittlig høyde på trærne innenfor cellen. Cellestørrelsen på rasterdataene settes til 2x2 meter. (1 piksel) Her trengs en del prøving og feiling for å finne riktig cellestørrelse, så denne er valgt på bakgrunn av hva som ga de beste resultatene. Ved å velge denne størrelsen har ingen trær blitt fjernet som følge av for stor cellestørrelse, siden hvis man velger en enda større

---

cellestørrelse, eksempelvis 4x4 meter vil man i flere tilfeller oppleve at trær ikke blir identifisert, som i utgangspunktet er risikotrær.

I utgangspunktet leveres .lasfilene hvor hvert enkelt punkt er registrert i høyde over havet, og ikke høyden til hvert enkelt tre, som er mer relevant. For å kunne måle trær opp mot hverandre og høyden på linja, innføres begrepet «Normalisert overflatehøyde» (nDSM). Dette vil si at man tar alle førsteplanetene fra datasettet, uavhengig om det er vegetasjon, linje eller bakke som registreres. Så tar man disse observasjonene, og trekker fra alle observasjoner som er klassifisert som bakketreff. Da sitter man igjen med nDSM, og man får høyder for hvert enkelt tre.

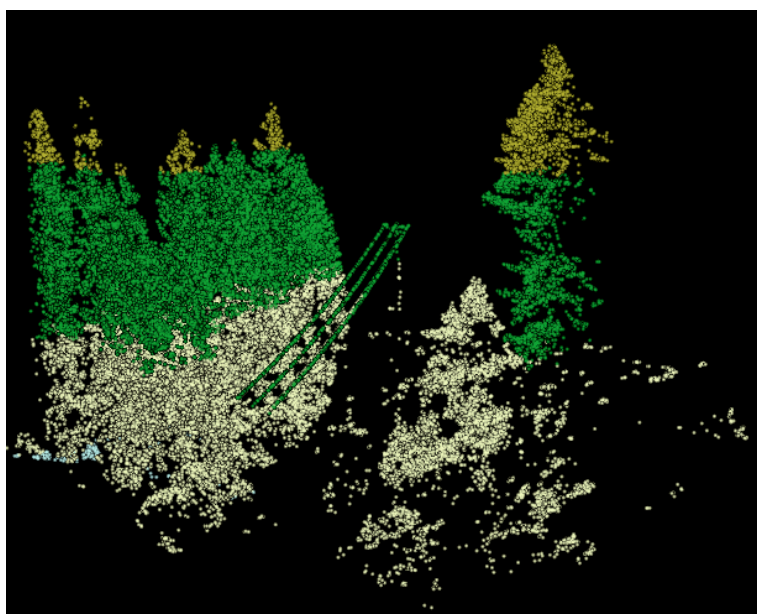
### **2.3 Identifisering av smale kanter og kanttrær**

Et stort problem for nettselskapene er smale kanter av trær som er satt igjen mellom hogstflate og kraftgate. Dette skjer som regel i forbindelse med tradisjonell skogsdrift, hvor skogsentreprenørene setter igjen en kant mot linjene. Bakgrunnen for dette er at hogst helt inntil linjetrasèen medfører at nettselskapet må stille med en egen sikkerhetsvakt under hogsten av disse trærne, som gir ekstra arbeid for entreprenøren. I mange tilfeller dreier det seg om tette plantede granbestand med et høyt treantall, som gir tynne og høye trær. Når det settes igjen en kant av et slikt bestand, er faren for at den gjenstående kanten blåser over svært stor, og nettselskapene ønsker å identifisere og fjerne disse før de blåser over kraftlinjene. Med kant menes både små grupper av trær og enkeltrær som settes igjen

Målsettingen er å identifisere disse kantene, slik at netteier så tidlig som mulig kan igangsette tiltak for å fjerne trærne før de eventuelt blåser over linjene.

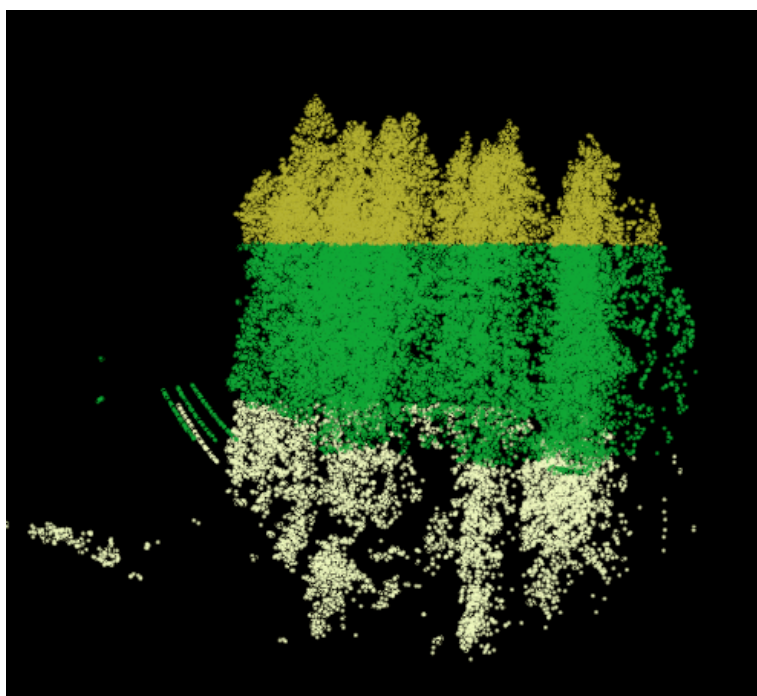
Det utarbeides en universell metode som skal ende opp i at alle potensielle risikotrær identifiseres, og som kan implementeres i andre GIS-baserte program som nettselskapene benytter i dag.

Bilde 1 viser et eksempel der det er satt igjen trær etter hogst. Dette er områder man ønsker å identifisere, siden slike gjenstående trær utgjør en fare for linjenettet. Trærne har ikke tidligere vært eksponert for vind i samme grad som de blir etter en hogst. I tillegg har trær som har stått ut mot linjenettet som regel en overvekt av greiner inn mot linjetraséen, da de strekker seg for å utnytte sollyset. Dermed vil vekten av treet i mange tilfeller ligge inn mot linjene, og faren for rotvelt inn mot linjenettet er svært stor



Bilde 1: Hogstflate til høyre med gjensatte trær, som har stor risiko for å falle over linja

Bilde 2 viser et eksempel der det er høy skog helt inntil linjenettet, men her står trærne i en tett skog, og de regnes ikke som risikotrær. Oppgaven handler i stor grad om å skille disse eksemplene fra hverandre, der begge består av høye trær inntil linjenettet, men kun den ene utgjør en større fare, og blir klassifisert som risikotre i oppgaven.



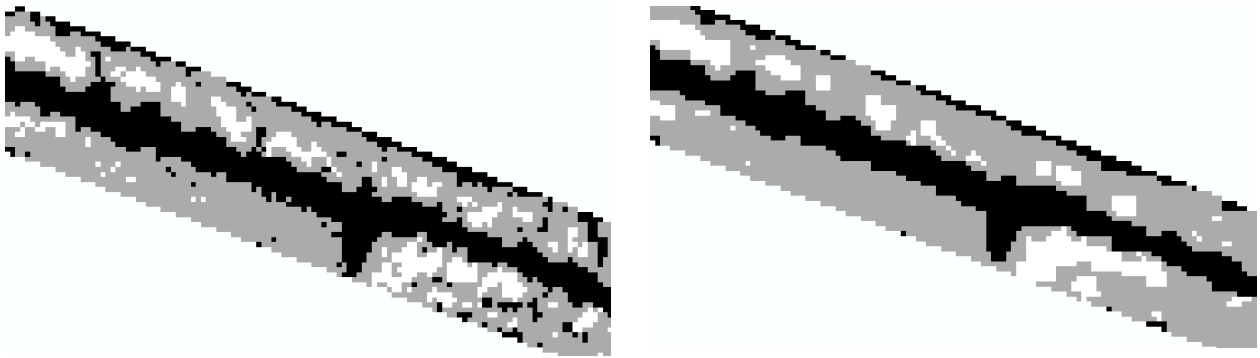
Bilde 2: Høye trær i tett skog, utgjør liten fare for å falle over linjenettet

---

Områdene ble valgt ut på bakgrunn av ortofoto, laserdata og beliggenhet, for å forsøke å anvende metoden på en rekke ulike skog- og areal typer med varierende høyder på vegetasjonen, og andre elementer som kan påvirke resultatene. Totalt ble det valgt ut 12 ulike områder som ble kontrollert i felt

Det er vanskelig å sette en eksakt grense for hvor høyt et tre skal være, før det blir klassifisert som risikotre. Treslag, hellingsvinkel, greinsetting og plassering i landskapet er faktorer som påvirker hvor stabilt eller ustabil et tre er. Ei slank gran i god vekst, vil i mange tilfeller bøye seg av linja etter en rotvelt, selv om det faller over linja med 2-3 meter. I motsatt tilfelle, kan en furu med litt feil grensetting risikere å hekte seg fast i linja, selv når det akkurat er høyt nok til å treffe linja. Etter samtaler med Hafslund Nett, defineres her trær som er høye nok til å gi laserekko på over 13 meter som risikotrær. Etter forskriftene kan ledningene henge så lavt som 7 meter over bakken, som betyr at slike trær vil treffe ledningen ved en rotvelt hvis de står nærmere enn ca 11 meter. Det blir ikke tatt hensyn til egenskapene til linja i denne oppgaven, heller ikke underestimeringen som laserdataene i de fleste tilfeller gjør på høydemålingen av trærne. Underestimeringen kommer som et resultat av at laserpulsene sjelden treffer det høyeste punktet på treet før det returnerer, og må dermed litt ned i krona før man får et retursignal.

Rasterfilene ble reklassifisert i tre ulike høydeklasser. Det er i utgangspunktet klasse 1, fra 0 til 3,5 meter og klasse 3, fra 13 meter og oppover som er interessant. Klasse 1 ble benyttet for å identifisere områder med snau skogsmark, og klasse 3 inneholdt risikotrærne man ønsket å identifisere. Øvre grense for klasse 1 ble satt så høyt som til 3,5 meter siden det ofte settes igjen enkelttrær og grupper av trær som er godt i gang med høydeveksten før hogsten utføres. For å være sikker på å fange opp alle arealene der det er snauhogd, ble denne løsningen valgt



Bilde 3: Til venstre: Rasterfil med cellestørrelse 2x2 m. Til høyre: Samme fil etter en bildefiltrering som eliminerer små og ubetydelige piksler, i tillegg til å glatte ut kantene mellom de ulike klassene

I en skog vil det i mange tilfeller være åpne partier mellom trærne, som blir registrert i klasse 1, snau skogsmark. Dette ønsker man å fjerne i metoden, da det ikke utgjør noe risiko for trærne i nærheten. En bildefiltrering illustrert i bilde 3 vil effektivt fjerne unødvendige og små piksler. I tillegg glatter den ut kantene mellom klassene, slik at datasettet fremstår renere.

Deretter gjøres rasterdatasettet om til polygoner, for å kunne bruke standard GIS funksjoner. For å unngå at veier og fulldyrka mark blir klassifisert som snau skogsmark, kobles fila opp mot et markslagskart over kommunen, slik at man kan skille skog fra andre areal typer og fjerne disse andre arealene fra videre analyse.

Bredden på kanten det ønskes å identifisere ble satt til maks 15 meter unna trasèen. REN anbefaler en trasèbredde på ca 15 meter i 22 kV distribusjonsnett, men i praksis er bredden ofte 10-12 meter. Kanten det forsøkes å identifisere ligger dermed i de fleste tilfeller mellom 7 og 10 meter, avhengig av trasèbredden. Scannebredden har et snitt på 60 meter totalt, og en bredere kant kan være vanskelig å observere med datamaterialet som er tilgjengelig. Observasjonene i ytterkant av kooridoren er mangelfulle, og ved å forsøke å identifisere en bredere kant ender man opp med mange feilobservasjoner.

For å identifisere kanter, benyttes en rekke operasjoner med ulike GIS-verktøy:

- Buffer vil si at man legger på en gitt avstand rundt ønsket polygon
- Intersect lager et nytt lag av to eller flere filer, der de arealene som er felles plukkes ut.



I første omgang er det interessant å finne snau skogsmark som ligger fra 15 meter unna linjesenter og ut for å identifisere hogstflater. I de tilfellene der det finnes snau skogsmark i dette området, legges det på en buffer på 10 meter.

Deretter kobles (intersect) denne bufferen sammen med de arealene som ligger nærmere enn 15 meter fra linja og alle observasjoner i klasse 3 (høyere enn 13 meter). Da blir resultatet en fil hvor alle kantrærne er registrert som polygoner, og som kan benyttes direkte i andre GIS-baserte program. Bilde 4 viser et steg midt i prosessen. De hvite områdene er trær over 13 meter, de røde feltene er buffere rundt snau mark, og den blå linja er en buffer på 15 meter rundt linja.

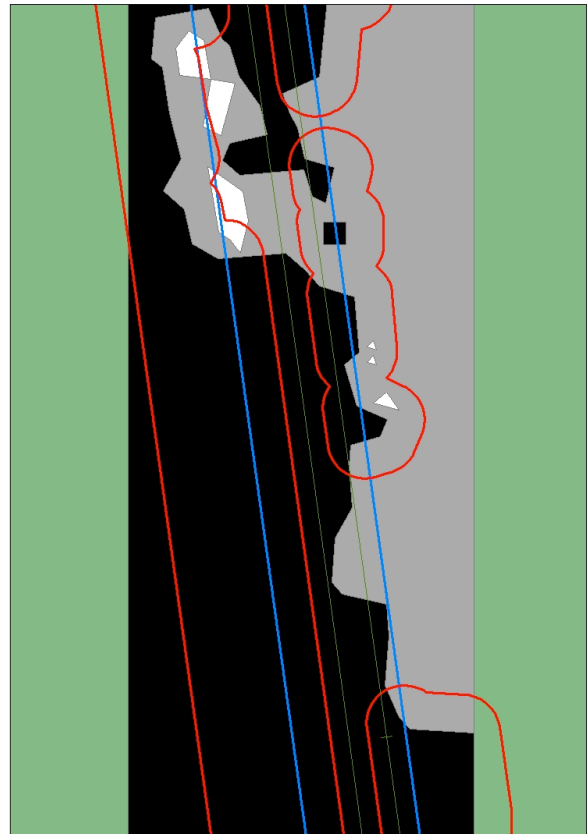
I de tilfellene det er snakk om store trær, vil polygonene være større enn 15 kvadratmeter. Ved å fjerne alle polygoner under en gitt størrelse, da for eksempel 15 kvadratmeter blir resultatene mer nøyaktig, og man eliminerer bort en del polygoner som sannsynligvis ikke utgjør noe risiko.

## 2.4 Identifisering av alle trær over en gitt terskelverdi

I rapporten “Trær til besvær” (NVE 2012) etter stormen Dagmar, er en av konklusjonene følgende: *Bedre informasjon og kommunikasjon mellom nettselskapene og skogsentreprenører/grunneiere kan redusere avbruddene fra vegetasjon på en kostnadseffektiv måte.*

I den forbindelse kan det være interessant å benytte laserdata som et verktøy for å bedre kommunikasjonen mellom nettselskap og grunneiere, ved å identifisere alle trær over en gitt terskelverdi.

En forutsetning for et godt samarbeid er at det er enkelt for alle parter, og at det er et system som lett kan implementeres i systemene som allerede benyttes hos de ulike aktørene. Videre må et slikt samarbeid gi positive effekter for alle parter.



Bilde 5: Midt i utvelgelsen av trær. En rekke ulike prosesser, som buffer rundt linja (blått), markslagskart (grønn bakgrunn) og buffer rundt snau skogsmark (rødt) kobles opp mot hverandre

---

I laserdatasettet er det svært lett å finne høyden til trærne ved å bruke en normalisert overhøyde. I dette tilfellet er målsettingen å finne alle trær langs linja over en gitt terskelverdi. I oppgaven settes



Foto 2: Stabil kant over 15 meter, Foto: Robert Østreng

grensa til over og under 15 meter målt med FLS, men denne kan justeres etter behov. Observasjonene over 15 meter gjøres om til polygoner i et eget lag, som lett kan implementeres i andre GIS-baserte program.

En slik oversikt gir netteier mer kunnskap om linjenettet, som kan være greit å ha i den operative forvaltningen. Hvis

grensa settes ved trær over 15 meter, kan man i de fleste tilfellene regne med at trær som faller over linjenettet vil være identifisert i dette kartlaget. Hvis det da kommer ønske om å styrke forsyningssikkerheten på et linjestrekk, vil man med et slikt lag, raskt ha oversikt over hvor det bør settes inn tiltak, og hvor omfattende det vil være å øke forsyningssikkerheten, på bakgrunn av registrerte polygoner langs linjene.

## 2.5 Identifisering av trær ved befaring

I felt ble de aktuelle områdene kontrollert opp mot polygonene som var observert i metoden. Jon Anders Krokann fra Hafslund Nett var med på befaringen, for å bistå i vurderingen av hvilke trær som er risikotrær, og hvilke som ikke kan regnes som det. I forbindelse med målsetting 1 ble det også vurdert om det var andre trær i området som metoden ikke registrerte. Feltbefaringen foregikk med en visuell kontroll av området, og bruk av en Vertex høydemåler for å måle avstander til linja, høyden på trærne, og om trærne potensielt faller over linjenettet ved en rotvelt. Vertexen har modellbetegnelsen VL 402 og er spesialdesignet for vegetasjonskartlegging langs kraftlinjer. En innebygd algoritme, kombinert med laser avstandsmåler gjør det mulig å måle direkte om et tre vil falle over linja, og eventuelt med hvor mange meter.

## 3. Resultater

### 3.1 Identifisering av smale kanter og kantrær

Tabell 1 viser antall polygoner som ble registrert for hvert område. Hvert polygon representerer et enkelttre, eller en gruppe av trær som klassifiseres som risikotrær. Som beskrevet i metoddelen regnes alle observerte polygoner under 15 m<sup>2</sup> som ubetydelige, og elimineres vekk. I felt ble resultatene fra metoden kontrollert opp mot virkeligheten, og trærne ble klassifisert i to ulike klasser, avhengig om det var et risikotre eller ikke. På hvert område ble det i tillegg undersøkt om det fantes andre risikotrær som metoden ikke fanget opp, disse ble registrert i kolonne 5 «Uidentifiserte risikotrær»

| Område     | Metode            | Felt       |                 |                           |
|------------|-------------------|------------|-----------------|---------------------------|
|            | Antall risikotrær | Risikotrær | Ikke risikotrær | Uidentifiserte risikotrær |
| 1          | 3                 | 2          | 1               | 1                         |
| 2          | 0                 | 0          | 0               | 0                         |
| 3          | 0                 | 0          | 0               | 0                         |
| 4          | 4                 | 3          | 1               | 0                         |
| 5          | 1                 | 1          | 0               | 0                         |
| 6          | 0                 | 0          | 0               | 0                         |
| 7          | 1                 | 1          | 0               | 0                         |
| 8          | 0                 | 0          | 0               | 0                         |
| 9          | 2                 | 0          | 2               | 0                         |
| 10         | 1                 | 1          | 0               | 0                         |
| 11         | 1                 | 1          | 0               | 0                         |
| 12         | 5                 | 1          | 4               | 0                         |
| <b>SUM</b> | <b>18</b>         | <b>10</b>  | <b>8</b>        | <b>1</b>                  |

Tabell 1: Antall polygoner registrert i de ulike områdene

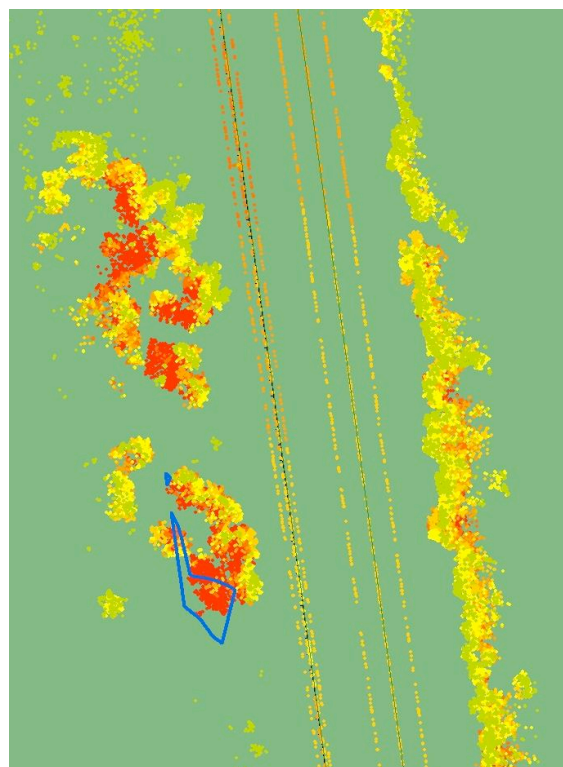
Områdene som ble sjekket i felt hadde ulike egenskaper. Under er hvert av områdene beskrevet:

- Område 1, 4, 7 og 10 er arealer som ble valgt ut på bakgrunn av ortofoto som tydelig viste smale kanter langs linja.
- Område 2 er på delet mellom Ullensaker og Eidsvoll, med en elv på tvers, høy skog langs linja og mye arealer på fulldyrka mark. Ingen polygoner registrert

- 
- Område 3 og 6 er områder med tett, høy skog over 15 meter på begge sider av kraftlinja, som det ikke var forventet å finne avvik i
  - Område 5 består av et snauhogd område, med gjensatte furuer som livsløpstrær.
  - Område 8 er svært variert, med skog over 20 meter, samferdsel, bebygd areal og fulldyrka mark. Forsøket viser ingen avvik, og metoden klarer fint å sortere ut skog fra annet areal.
  - Område 9 består av tett, høy skog, hvor ingen av registreringene i metoden stemmer i felt
  - Område 11 er en kant der det er utført hogst i nærheten, som gjør noen av de gjenstående trærne mer ustabile
  - Område 12 er en hogstflate i svært kupert terreng. Alle observasjonene står som enkelttrær eller puljer av trær i en kant mot linjetrasèen, men terrengformasjonen gjør at de fleste ikke klassifiseres som risikotrær i feltbefaringen



Bilde 5 viser en oversikt over område 7, og hvordan metoden fanger opp trær som står i kanten (markert med blått), men unnlater trærne som står mer beskyttet. Bakgrunnskartet er AR5, med laserdatasettet lagt oppå, for å vise høyden på vegetasjonen. Av en ukjent grunn havner i noen tilfeller de registrerte trærne noen meter unna der trærne faktisk står. Dette kan være en kombinasjon av bildefiltrering og i det man gjør om rasterdatasettet til polygoner.



Bilde 5: Laserdata som viser høyde på vegetasjon. Blå merking viser polygonet med risikotrærne i foto 3

Foto 3 er tatt av kanten som ble observert i område 7. Kanten ble målt i felt til å være 6 meter fra linja, og de høyeste trærne var 25 meter høye, målt med Vertex



Foto 3: Kantskog observert i område 7. Store trær som har stor sannsynlighet for å falle over linja ved kraftig vind

Tabell 2 viser resultatet av feltkontrollen i en matrise:

|                  |             | Metode        |             |             |
|------------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
|                  |             | Risiko        | Ikke risiko |             |
| F<br>e<br>l<br>t | Risiko      | 10            | 1           | <b>91 %</b> |
|                  | Ikke risiko | 8             | X           |             |
|                  |             | <b>55,5 %</b> |             |             |

Tabell 2. Matrise som viser resultatene i metoden og i felt

Matrisen viser at metoden har en nøyaktighet på 91 % mhp å identifisere risikotrær langs linja. I det ene tilfellet hvor metoden ikke fanger opp et risikotre, er det snakk om en gran i god vekst, på 16 meter. Som forklart tidligere har laserdataene problemer med å identifisere topper for å vite eksakt høyde. Dette gjør at det blir minimalt med punkter over 13 meter, og treet blir ikke oppdaget i metoden. Sannsynligheten for at risikotrærne langs linja blir identifisert som risikotrær i metoden er dermed stor.

Allikevel er metoden noe mer unøyaktig fordi kun 55 % av trærne identifisert som risikotrær virkelig er det, og at 45 % av observasjonene i metoden klassifiseres ikke som risikotrær etter feltbefaringen.

Utfra matrisen ser man at det er en offensiv metode, ved at den identifiserer flere trær enn nødvendig, men at så godt som alle risikotrærne blir identifisert. Det er mulig å gjøre metoden mer konservativ med å endre noen egenskaper, som feks høyden på risikotrærne. Da vil man ende opp i en metode med færre observasjoner, hvor trærne registrert som risikotrær i metode og felt har en høyere korrelasjon. Utfordringen vil bli at en del risikotrær ikke vil bli identifisert.



Foto 4 viser område 10, og en kant i kategorien «Risiko» for både metoden og feltkontrollen. Det er satt igjen en gruppe trær etter hogst, og treantallet er svært høyt. Metoden gir utslag på trærne nærmest kamera. Her er bredden 5-10 meter, og det er mulig å identifisere snau skogsmark på utsiden av



trærne. Lengst bak i bildet er kanten 15-20 meter, men med laserdataene tilgjengelig er det ikke mulig å identifisere snau skogsmark på utsiden av disse trærne, og den gir derfor ikke utslag. Feltbefaringen konkluderer med at store deler av kanten bør fjernes.

Foto 4: Smal kant av grantrær satt igjen etter hogst, klassifiseres som risikotre i metode og felt

Foto 5 viser et tre som havner i kategorien «Risiko» fra metoden, men «Ikke risiko» i feltkontrollen. Avstand fra linja er ca 10 meter, og det er en hogstflate bak trærne. Allikevel vil ikke denne gruppen av trær utgjøre noe stor risiko. Det er kun treet i midten som er over 13 meter målt med FLS.



Foto 5: Tre som registreres som risikotre i metoden, men ikke risiko under feltbefaringen

### 3.2 Identifisering av alle trær over en gitt terskelverdi

Identifisering av trær over en gitt terskelverdi er en enkel prosess, som ender opp i en fil med polygoner. Bilde 6 viser et utsnitt av kommunekartet, med trær over 15 meter markert som røde polygoner. I områder med høy skog, gir det utslag i mange små polygoner. Linja i utsnittet ble befart i felt, og kartlaget gir en viss føling på hvordan skogtilstanden er langs nettet. Et godt supplement vil være å bruke ortofoto som bakgrunnskart



Bilde 6: Alle trær over en terskelverdi registrert



---

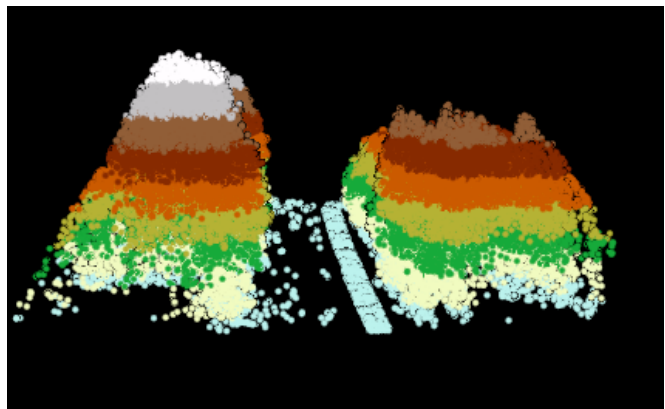
## 4. Diskusjon

### 4.1 Innsamling av FLS-data

Instrumentet som ble brukt til innsamlingen av laserdata har en maks scannevinkel på hele 60\*. Hafslund ønsket å identifisere linjene og mastepunktene under innsamlingen, og valgte en lav flyhøyde på ca 50 meter, kombinert med maks scannevinkel for å koordinatbestemme linjenettet så nøyaktig som mulig. Sannsynligvis vil Hafslund scanne hele linjenettet med samme innstillinger, men når de samme arealene skal scannes en gang til, kan det være hensiktsmessig å øke flyhøyden for å samle inn data som er bedre egnet til vegetasjonskartlegging.

Til registrering av kanttrær er man ikke avhengig av 100-120 punkter m<sup>2</sup> slik som i datasettet, men antageligvis vil det være minimalt å spare i kostnader på å redusere antall punkter under innsamlingen. Til andre operasjoner, som identifisering av greiner som stikker inn i trasèen er man avhengig av en stor punktetthet.

Den store scanningsvinkelen kan gi utfordringer i identifikasjon av kantskog i de tilfellene der trærne inntil linjetrasèen er 20-25 meter høye. Som bilde 7 viser, blir signalene "kuttet" som en følge av de høye trærne, som medfører at det registreres ingen eller få returer i ytterkant av korridoren. Dette gir utslag når området klassifiseres, siden noen områder havner på bakgrunn av dette i klasse 1, snau skogsmark selv om det sto høy skog i hele bredden, og alt burde vært klassifisert i klasse 3, høye trær. Begge registreringene i område 9 som feilaktig ble registrert som risikotrær i metoden kunne vært unngått på bakgrunn av dette ved en høyere flyhøyde og smalere scannevinkel.



Bilde 7: Utfordringer med scannevinkel, som ender opp i feil høydeklassifisering i ytterkant av korridoren

Korridorbredden er på cirka 60 meter. Resultatene viser at dette ofte er bredt nok, men i enkelte tilfeller, særlig i kombinasjon med høye trær inntil trasèen, kunne resultatene blitt mer nøyaktige hvis dataene hadde en bredere trasèbredde og smalere scannevinkel. Sannsynligvis ville 10 meter ekstra på hver side, og en total korridorbredde på 80 meter vært nok for å eliminert problemet. Et annet element for å øke korridorbredden, er for å kunne observere en noe bredere gjensatt kant enn 10 meter, som ble gjort i oppgaven. Metoden er avhengig av å finne snau skogsmark i ytterkant

---

av kooridoren, og skulle man forsøkt å funnet en kant på 15 meter, ville man endt opp med et område på 5-6 meter til å identifisere snau skogsmark. Sannsynligvis blir dette for lite, i kombinasjon med at dataene i ytterkant av kooridoren i mange tilfeller er mangelfulle p.ga scannevinkelen. For å identifisere en bredere kant, vil man være avhengig av laserdata med en bredere kooridor.

#### 4.2 Identifisering av smale kanter og kanttrær

Feltbefaringen viste at metoden som her ble brukt for å identifisere trær som utgjør en risiko med hensyn på å falle inn på kraftlinjer, fungerte godt, ved at så godt som alle risikotrær vil bli registrert i metoden.

I tillegg ga flere av trærne utslag i metoden, som etter en feltbefaring viste seg å være stabile, og dermed ikke ville vært klassifisert som risikotrær. Det er allikevel verdt å merke seg at så godt som alle trær som ble registrert står i umiddelbar nærhet til snau mark, og at metoden dermed fungerer bedre enn det virker som i resultatene, hvor 55 % av trærne som er registrert, stemte med feltbefaringen. Det er en rekke ulike faktorer som slår inn, som vil være svært vanskelig å implementere i en metode.

Foto 6 viser et grantre som i felt ble målt til 32 meter og sto 10,5 meter unna linja. Treet står relativt åpent på en hogstflate, og metoden identifiserer dette som et risikotre. Allikevel blir ikke treet klassifisert som et risikotre under feltbefaringen, av flere årsaker. Treet står nede i en dyp dal, og terrengformasjonen rundt gjør at treet er lite vindutsatt. I tillegg har treet grønne



Foto 6: Grantre på 32 meter svært nær linja, men som ikke utgjør stor risiko grunnet terrengformasjonen

---

greiner langt ned på stammen, og virker stabilt selv etter hogsten. Hvis man kun studerer laserdata, er det enkelt å konkludere med at et slikt tre utgjør en svært stor risiko for å falle over linja.

På samme hogstflate registrerte metoden to andre trær som risikotrær (Foto 7). Til venstre i bildet er det en gruppe med tre trær som står i overkant av linja 14,5 meter unna linja, på en flate. Trærne ble målt til 24,5 meter i felt. Her er vindpåvirkningen svært stor, og trærne registreres som risikotrær både i metode, og i felt. I bunnen av dalen, midt i bildet står det to grantrær på 24 og 25 meter, inntil hogstflata, og bare 5-6

meter unna linja, men disse blir ikke klassifisert som risikotrær under feltbefaringen, grunnet lite vindpåvirkning og nærhet til andre trær.

Sannsynligvis vil metoden alltid være avhengig av en

manuell vurdering av hver enkelt registrering.



Foto 7: Klynge av risikotrær til venstre, trærne midt i bildet klassifiseres ikke som risikotrær under feltbefaring p.ga terrengformasjon

I et tilfelle krysset en driftsvei

linjenettet, og i nærhet til denne var det hogd en gruppe på ca 10 trær. Dette åpne feltet registrerte metoden som snau mark, og identifiserte dermed en kant mot linjenettet. I praksis utgjorde ikke disse trærne noe stor risiko, og kunne strykes som potensielle risikotrær etter en rask vurdering i felt.

Allikevel er det gledelig at metoden identifiserer så godt som alle risikotrærne i området, selv om ikke alle registreringer er potensielle risikotrær. For nettselskapene vil det være bedre om metoden registrerer 40 risikotrær i en kommune, hvor bare 20 viser seg å være potensielle risikotrær, enn at metoden for eksempel bare registrerer 10 observasjoner, og alle er potensielle risikotrær.

Under feltbefaringen viste det seg at de identifiserte trærne var av ulike treslag. Trær som rotvelter over linjenettet er i hovedsak gran, i følge Jon Anders Krokann (Pers. med, 31. mai 2014) Det er mulig å klassifisere treslag utfra laserdata (Holmgren et al. 2008), så for å videreutvikle metoden er



---

det aktuelt å koble observasjonene opp mot treslag. På den måten er det mulig å klassifisere risikoen, der det er viktigere å fjerne en kant av gran, enn en tilsvarende kant av furu eller bjørk.

I den ene registreringen var risikotreet metoden hadde plukket ut omlag 15 meter. Rundt treet var det flere trær rett under 13 meter som ikke ble registrert i metoden. Dermed sto treet godt skjermet blant de andre trærne som var omtrent like høye. Denne utfordringen vil man møte på uansett hvor man setter grensa for hvilke trær som må regnes som risikotrær. Grensa på 13 meter, satt i oppgaven er ikke nødvendigvis helt optimal, og det kan tenkes at den kunne vært hevet til 15-16 meter, for å eliminere noen enkeltobservasjoner. Trær på 13 meter er ikke så utsatt for vindfall siden faren for vindfall er korrelert med trehøyden. (Albrecht et al. 2012) Man kan dermed tenke seg at ved en høyere grense på risikotrærne vil man fange opp færre risikotrær, men sannsynligheten for at disse faller over linjenettet er større, etterhvert som man øker grensen.

Ved den aller siste registreringen i felt, kom jeg over treet på foto 8, som har veltet i rota på grunn av råte, og hviler på et tre i kanten mot linjetraséen. Dette står som påminnelse om at man aldri kan garantere hvilke trær som faller over linjenettet, og hvilke som blir stående. Treet sto over 20 meter unna linja, men terrenget på oversiden av linja er svært hellende, og treet vil treffe linja hvis det blåser løs fra det andre treet. En kombinasjon av store nedbørsmengder og kraftig vind, kan fort føre

til at begge trærne blåser over. Treet sto midt inne i en tett skog, og eneste alternativet for å hindre at slike trær faller over linjene, vil være å tresikre linja, som er svært kostbart og helt uaktuelt på alle distribusjonslinjer



Foto 8: Tre som har veltet mot linjenettet. Står inne i en skog, og klassifiseres i utgangspunktet ikke som et risikotree

---

### 4.3 Identifisering av alle trær over en gitt terskelverdi

Som det er vist i oppgaven er det et problem at det settes igjen kanter av høye trær langs kraftlinjene. For nettselskapene utgjør disse en stor risiko for avbrudd på linjenettet, og ønskes identifisert og fjernet. Ideelt bør kommunikasjonen mellom netteier og skogeier være så god at kanter inn mot linjetrasèer aldri settes igjen, noe som vil være gunstig for alle parter. Netteiere får en billigere linjerydding, kombinert med høyere forsyningssikkerhet, skogsentreprenøren får flere kubikk å kjøre fram, og skogeieren får større lønnsomhet i drifta. En forutsetning for at dette skal fungere, må være at netteierne kommer på banen i forkant av drifta, ikke når hogstmaskinen har høgd alt untatt en stripe på 15 meter langs linja.

Hafslund forteller at det har vært mer fokus på dette i de senere årene, og skogsentreprenørene tar stadig oftere kontakt med nettselskapene, eller direkte med linjerydddefirmaene for assistanse. Dette er en god løsning for alle parter, og er et resultat av forbedret kommunikasjon mellom netteier og entreprenører. Det er fortsatt forbedringspotensial, og god kommunikasjon vil alltid være avgjørende i en slik prosess.

Et aktuelt tiltak for bedre samarbeid kan være å benytte laserdataene til å utarbeide filer som viser høye trær langs linjene som polygoner. Da vil det under planleggingen av en tømmerdrift i et GIS-program automatisk fortelle vedkommende om det er behov for assistanse fra nettselskapene. Det kan deretter gis beskjed til netteier om hvor drifta skal foregå, og når. Det blir så opp til netteier å avgjøre om det vil være hensiktsmessig å bistå med manuell felling i forkant av hogsten, om det er aktuelt å samarbeide med skogsmaskinentreprenøren for å felle trærne langs linja, eller om det ikke er behov for assistanse. Filene for hvert enkelt område må nettselskapene utarbeide, og oversende til de aktuelle partene, som for eksempel Viken skog og Nortømmer.

### 4.4 Økonomiske betraktninger

Bakgrunnen for å registrere og fjerne risikotrær, ligger først og fremst i å øke forsyningssikkerheten for kundene. Nettselskapene skal drive nettet så regnskapet går i null, og på grunn av KILE-ordningen mener jeg at det kan forsvares for nettselskapene å intensivere uttaket av risikotrær i kantsonen. Et trefall over en ordinær distribusjonslinje koster minimum 20.000,- i reperasjonsutgifter, i tillegg kommer KILE, så i mange tilfeller koster et trefall over linjenettet 50.000,- i rene utgifter for nettselskapene. I noen tilfeller kan et trefall nærme seg 100.000,- i direkte kostnader. (Pers. med Jon Anders Krokann, 6.mai 2014). I alle tilfeller svekkes forsyningssikkerheten til kundene.

---

Selv om man teoretisk sett bruker 50.000,- for å unngå ett trefall over linjenettet, vil dette være positivt for nettselskapene, siden det øker forsyningssikkerheten, til en lik kostnad. I den prosessen er god kartlegging og registrering av de rette trærne avgjørende, for å disponere midlene rett. Det er fullt mulig å bruke flere hundre tusen kroner i å fjerne trær langs linjenettet, som sannsynligvis aldri vil falle over linja.

#### **4.5 Videre forskning**

I oppgaven er det definert noen ulike grupper risikotrær som det er sett nærmere på. Neste steg videre, vil være å velge ut andre aktuelle grupper risikotrær på bakgrunn av de samme dataene. Identifisering av trær som heller mot linja, spesielt høye trær i forhold til omgivelsene og lauvtrær kan være aktuelt å lage ulike metoder for. Laserdataene som finnes er svært detaljerte, og vil sannsynligvis kunne brukes til å identifisere andre grupper risikotrær.

Laserdata som bestilles av nettselskapene vil i de fleste tilfeller operere med en svært høy punkttetthet, og datasettet i denne oppgaven hadde en punkttetthet på 100-120 punkt m<sup>-2</sup>. Det er kun en liten kooridor rundt linjenettet som er aktuelt å registrere, i tillegg til at man ønsker å identifisere linja og mastepunktene under innsamlingen. Utfra tidligere studier kan man konkludere med at identifikasjon av treslag skal være mulig å gjøre med bakgrunn i laserdataene.

Identifikasjon av lauvtrær ved hjelp av laserdata kan være et godt hjelpemiddel i den praktiske forvaltningen av linjenettet. Tynne, høye lauvtrær er ofte utsatt for snøbøy som bøyes over linjenettet, som fører til jordfeil på linja, og treet må i mange tilfeller fjernes før man kan koble inn elektrisiteten. En oversikt som viser hyppigheten av lauvtrær langs linjenettet kan brukes til å rangere hvor det er mest hensiktsmessig å sette i gang rydding av sideskogen.

---

## 5. Konklusjon

Den største enkeltfeilen som fører til avbrudd på linjenettet er trær som faller over linjene (NVE 2012). Spådommer om et varmere, villere og våtere klima vil føre til at enda flere trær vil falle over linjenettet. Om dette blir en realitet, vil det tvinge fram et enda større fokus på uttak av risikotrær, da det forventes at forsyningssikkerheten bør holdes på dagens standard, eller forbedres. I den forbindelse vil identifikasjon av de rette trærne være avgjørende i forvaltningen

Oppgaven har vist at det er mulig å identifisere gjensatte kanter og enkeltrær etter hogst som utgjør en stor risiko for å falle over nettet. Resultatene viser at metoden er svært treffsikker, og identifiserer så godt som alle risikotrærne langs linjenettet. Utfordringen er at det registreres også en del trær som ikke utgjør noe risiko for å falle over linjenettet. Sannsynligvis vil metoden alltid være avhengig av en manuell kontroll for hver enkelt registrering, men dette vil uansett gi store besparelser i registreringen. De høyoppløselige bildene som blir tatt samtidig med laserscanningen vil i mange tilfeller kunne gi svar på om treet er et risikotre eller ikke.

Neste steg for å videreutvikle metoden, vil være å koble observasjonene opp mot treslag. I de fleste tilfeller vil det være grantrær som utgjør den store risikoen. Gjensatte trær av furu og bjørk utgjør en mindre risiko, og ved å vekte opp mot treslag, kan man vurdere risikoen opp mot denne faktoren. I tillegg kan man vurdere å måle høyden på trærne opp mot høyden på linja for å fange opp noen ekstra trær, og eliminere andre som ikke vil utgjøre en risiko.

Oppgaven er en begynnelse i identifikasjonen av risikotrær ved hjelp av laserdata. Det må utvikles metoder for andre grupper risikotrær, som hellende trær, døde trær og løvtrær før identifiseringen av risikotrær eventuelt kan erstatte dagens praksis med feltbefaringer og ortofoto. Metoden som er utviklet er mulig å implementere rett i eksisterende GIS-systemer som nettselskapene benytter i dag, og kan gi store besparelser for nettselskapene til registrering.

---

## 6. Litteraturliste

- Abdli, M. A. & Zoric, D. (2013, 28. november). *Vinden tok både trær og strøm: Yr.no*. Tilgjengelig fra: <http://www.yr.no/nyheter/1.11383585> (lest 02.05.2014).
- 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.
- Eid, T., Gobakken, T. & Næsset, E. (2004). Comparing stand inventories for large areas based on photo-interpretation and laser scanning by means of cost-plus-loss analyses. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19 (6): 512-523).
- Energilova. (1990). *Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m.* energidepartementet, O.-o.
- FOR-1999-03-11-302. (1999). *Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffen*. energidepartementet, O.-o.
- FOR-2005-12-20-1626. (2005). *Forskrift om elektriske forsyningsanlegg*. beredskapsdepartementet., J.-o.
- Granhus, A., Hysten, G. & Ørnelund, N., J-E. (2012). Skogen i Norge, Statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge registrert i perioden 2005-2009. *Ressursoversikt fra Skog og Landskap* (03/2012): 85 s.
- Granhus, A. & Hysten, G. (Uten år). *Total tilvekst og tilvekst for gran, furu og lauv*: Skog og Landskap. Tilgjengelig fra: [http://www.skogoglandskap.no/Artsbeskrivelser/total\\_tilvekst\\_og\\_tilvekst\\_for\\_gran\\_furu\\_og\\_lauv/default\\_view](http://www.skogoglandskap.no/Artsbeskrivelser/total_tilvekst_og_tilvekst_for_gran_furu_og_lauv/default_view) (lest 02.05.2014).
- Hafslund. (2014). *Tilgjengelig fra* [http://hafslundnett.no/omoss/artikler/les\\_artikkel.asp?artikkelid=330](http://hafslundnett.no/omoss/artikler/les_artikkel.asp?artikkelid=330) (lest 6. mai 2014).
- Holmgren, J., Persson, Å. & Söderman, U. (2008). Species identification of individual trees by combining high resolution LiDAR data with multi-spectral images. *International Journal of Remote Sensing - 3D Remote Sensing in Forestry*, 29 (5): 1537-1552.
- Kyte, R. H. & Kjølle, G. (2012). Når ekstremvær rammer kraftnettet. *Energiteknikk*, 3: 48-49.
- Li, Z., Walker, R., Hayward, R. & Mejias, L. (2010). *Advances in Vegetation Management for Power Line Corridor Monitoring Using Aerial Remote Sensing Techniques*. Conference on Applied Robotics for the Power Industry, Montréal, Canada, 5-7. Oktober, s. 6 s.
- Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B. & Flood, M. (2003). LIDAR remote sensing of forest structure. *Progress in Physical Geography* 2003: 27; 88-106.
- Meld. St nr 14 (2011-2012). *Vi bygger Norge - om utbygging av strømmettet*. Oslo: Det kongelige olje- og energidepartement.
- NOU 2012: 9. *Energiutredningen - verdiskaping, forsyningsikkerhet og miljø*. Oslo: Universitetsforlaget.
- NVE. (2012). *Trær til besvær. Lærdommer om skogrydding i etterkant av ekstremværet Dagmar*. energidirektorat, N. v.-o.
- NVE. (2013). *Avbrottsstatistikk 2012*. energidirektorat, N. v.-o.
- Næsset, E. (1997a). Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52 (2): 49-56.
- Næsset, E. (1997b). Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 61(2): 246-253.
- Næsset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyypä, H., Hyypä, J., Maltama, M., Nilsson, M., Olsson, H., Persson, Å. & Söderman, U. (2004). Laser scanning of forest resources: the Nordic experience. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19 (6): 482-499.
- Oreigningslova. (1959). *Lov om oreigning av fast eiendom*.



- 
- Rayner, D. & O'Neil, R. (1979). Laser fluorosensors for remote environmental monitoring. *Optics News*, 5(3): 13-17.
- REN. (2013). *REN-blad 2024, Sentral, Regional- og Distribusjonsnett luft - Vedlikehold - Linjerydding*.
- Solodukhin, V., Zukov, A. & Mazugin, I. (1977). Possibilities of laser aerial photography for forest profiling. *Lesnoe Khozyaisto (Forest Management)*, 10: 53-58.
- Xiang, Q. (2014). *3D Reconstruction of 138 KV Power-lines from Airborne LiDAR Data*. Ontario: University of Waterloo. 127 s.
- Ørka, H. O., Næsset, E. & Bollandsås, O. M. (2009). Classifying species of individual trees by intensity and structure features derived from airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 113 (6): 1163-1174.



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)