



## **Forord**

Denne masteroppgaven er avslutningen på min mastergrad i skogfag ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Den er utarbeidet og gjort i samarbeid med Norsk institutt for skog og landskap. I løpet av min tid som skogfagsstudent er det skogbrukets driftsteknikk jeg har ansett som aller mest spennende og ikke minst viktig med tanke på framtidige utfordringer. Det er da naturlig nok det denne oppgaven omhandler.

Først vil jeg takke min hovedveileder, førsteamanuensis ved INA og forsker ved Skog og landskap Jan Bjerketvedt for gode innspill, råd, hjelp under prosessen og ikke minst alle kaffekoppene på kontoret på Skog og landskap. Jeg vil og takke Bruce Talbot, forsker ved Skog og landskap og biveileder.

Jeg vil rette en stor takk til entreprenørene som muliggjorde feltarbeidet mitt. De viste en veldig samarbeidsvilje og ikke minst interesse for det jeg gjorde. Noe som førte fram til mange interessante diskusjoner i matpausene.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 14. Mai, 2015

Sverre Husby

## Sammendrag

Et meget stort og stadig økende volum hogstmoden skog står i terreng som er så bratt at det ikke kan avvirkes på tradisjonelt vis med hjulgående maskiner. Tidligere var taubane den vanligste metoden brukt i slikt terreng, men den siste tiden har det blitt avviket mer og mer med såkalte gravedrifter hvor det blir gravd midlertidige driftsveier med gravemaskin som hogstmaskin og lassbærer kjører på. Den skogen som eventuelt er utenfor rekkevidden til hogstmaskinen blir felt motormanuelt.

Formålet med denne undersøkelsen var å finne kostnadene for de ulike deloperasjonene ved en gravedrift for deretter å simulere andre løsninger, da først og fremst med lavere tetthet av driftsveier for å se hvordan driftskostnaden ble påvirket av dette. Et annet aspekt av studiet var å se på ulike terrenganalyser som kan benyttes i planleggingsfasen av en gravedrift, og i så fall hvordan de kan brukes.

Under de graveforholdene og skogforholdene som var på den studerte drifta, var den laveste beregnede driftskostnaden, 164 kroner pr  $m^3$  ved 20 meters avstand mellom driftsveiene. Driftskostnaden økte med økende avstand mellom driftsveiene og var høyest ved 60 meters avstand mellom driftsveiene, som her var satt som maksimal avstand. Driftskostnaden ble da 177 kroner pr.  $m^3$ . Det ble og simulert driftskostnad ved ulike forutsetninger av terrengforhold og skogtetthet. Driftskostnaden varierte mye, fra 126 kroner pr.  $m^3$  under svært gunstige forhold til 228 kroner pr.  $m^3$  under svært dårlige forhold. Den optimale veiavstanden ble lengre desto dårligere forholdene var.

Terrenganalysene så ut til å stemme godt overens med hva som ble observert i felt, men med varierende detaljnivå. For å få et godt utbytte av analysene er man avhengig av god vurderingsevne og kjennskap til grunnforhold og klimatiske forhold på det aktuelle stedet.

## **Abstract**

There is a large and continuous increasing volume of harvestable timber in terrain so steep it is not possible to harvest with a conventional harvester and forwarder system. The most common method for harvesting steep slopes used to be a cable yarder, but in the recent times excavator-assisted ground based CTL (cut to length) systems has been more commonly used. The system uses a conventional harvester and forwarder, and an excavator builds temporary strip roads so the harvester and forwarder gains access to the slopes. If there are any trees left between the strip roads that the harvester can't reach, the trees are felled with a chainsaw down towards the nearest strip road.

In this study we aimed to investigate the cost regarding the different operations in using the excavator-assisted ground based CTL system. In addition, other solutions are considered, i.e. first and foremost with lower density of strip roads to investigate the effects on costs. Another important aspect regarding this study was to investigate various analysis of the terrain using several different GIS-tools, and see if the analyzes could be a helpful tool in the planning phase of a logging operation.

The lowest estimated harvesting cost, 164 kroners per  $m^3$ , for the operation in the study was when the distance between the strip roads were 20 meters. The harvesting cost increased with increased distance between the strip roads. Maximum distance between the strip roads used in the computations was 60 meters, and at that distance the harvesting cost were 177 kroners per  $m^3$ . It was also computed harvesting costs with various assumptions of terrain conditions and forest density. The harvesting cost varied from 126 kroners per  $m^3$  under very good conditions to 228 kroners per  $m^3$  under very poor conditions. The optimum strip road distance increased when the conditions got poorer. The terrain analyzes seemed to provide a useful prediction of the terrain and water occurrence compared with the observations made at the logging site. To make good and useful predictions of the terrain conditions with these analyzes knowledge of soil conditions and climatic conditions at the location are needed.

# Innhold

Forord.....	1
Sammendrag .....	2
Abstract .....	3
1.1 Innledning.....	6
1.2 Målsetting.....	11
2 Material og Metode .....	12
2.1 Studieområdene .....	12
2.1.1 Melhus .....	12
2.1.2 Østre Toten.....	13
2.2 Tidsstudier .....	14
2.2.1 Hogstmaskin Melhus .....	14
2.2.2 Hogstmaskin Østre Toten/Skreia.....	15
2.2.3 Lassbærer Melhus .....	16
2.2.4 Gravemaskin.....	17
2.2.6 Motormanuell felling.....	17
2.3 Beregninger .....	18
2.3.1 Beregning av gravekostnader .....	18
2.3.2 Beregning av kostnader ved motormanuell felling .....	18
2.3.4 Beregning av ekstrakostnader ved opparbeiding av forhåndsfelt virke .....	20
2.3.5 Beregning av lassbærerens kostnad.....	21
2.3.6 Følsomhetsanalyser .....	21
2.4 Andre feltmålinger .....	21
2.5 Terrenganalyser.....	22
2.5.1 Vann, erosjonsfare og bratthet .....	22
2.5.2 Visualisering, utlegging og sammenligning av ulike driftsveinett .....	23
2.6 Feltutstyr .....	23
3. Resultater .....	24
3.1 Tidsstudier .....	24
3.1.1 Hogstmaskin .....	24
3.1.3 Motormanuell felling.....	26
3.2 Forutsetninger for kostnadsberegninger .....	27

3.2 Simulering av ulik veiavstand .....	29
3.3 Følsomhetsanalyse .....	30
3.3.1 Følsomhetsanalyser med data fra Melhus-drifta .....	30
3.3.2 Følsomhetsanalyse med 20 meters avstand mellom driftsveiene .....	32
3.4 Endringer i driftskostnader ved ulike forutsetninger .....	34
3.5 Terrenganalyser .....	36
3.6 Ulike driftsveitettheter .....	39
4.Diskusjon .....	42
5. Konklusjon .....	52
6. Referanser .....	54
7. Vedlegg .....	56

## 1.1 Innledning

I 2014 var den totale avvirkningen i Norge for salg til industrien 9,8 millioner m<sup>3</sup>, hvorav drøyt 2/3 av volumet kom fra skogene på Østlandet (SSB). Dette er områdene med lavest andel skog i bratt terreng (Granhus et al. 2012), så mye som 80 % av terrenget har mindre enn 20 % helling i Hedmark, Akershus/Oslo og Østfold. I motsetning til Vestlandsfylkene hvor 37 % av den hogstmodne skogen står i terreng med over 50 % helling. Dette har sammenheng med at i de første tiåra etter krigen ble det plantet enorme areal skog langs hele kysten fra og med Sørlandet til Troms. Dette førte til at det produktive skogarealet langs kysten har økt med 9 000 km<sup>2</sup> (Woxholtt 2013). Eller tilsvarende størrelsen på Rogaland fylke. De arealene som ble plantet var de som var ledige. Det ville ofte si bratte og utilgjengelige steder. Noe som har skapt store utfordringer i forhold til å få høstet disse ressursene. Til tross for hvor utilgjengelig og bratt de står har det produksjonsmessig vært en kjempesuksess, spesielt på Vestlandet. Den største årlige tilveksten finner man på Vestlandet med 24,2 m<sup>3</sup> pr. ha., og den største årlige tilveksten i prosent av stående volum finner man i Trøndelag med 10,4 % tilvekst (Larson & Hylene 2007). Denne veldige produksjonsevnen har ført til at det står enorme mengder tømmer langs kysten. Men siden terrenget som ble plantet var det bratte og vanskelige, befinner det seg et stort volum hogstmoden skog i terreng som er så bratt at det ikke kan avvirkes helmekanisert på tradisjonelt vis. I følge Granhus et al. (2012) står det 120 millioner m<sup>3</sup> hogstmodent tømmer i terreng som er så bratt at det ikke kan avvirkes helmekanisert. Dette gjelder da hele landet og ikke bare Vestlandet.

En av utfordringene med avvirkning i bratt terreng er at det er vanskelig å få driftsprisen lav nok til at økonomien blir god. På grunn av dette blir det ofte kompensert med tilskudd fra staten når det drives sluttavvirkning med taubane.

Normale prestasjoner for et



**Bilde 1 T. Frivik taubanedrift avvirker svært bratt terreng med en Mouty 4000 kran, i Meldal, Sør-Trøndelag. Foto: Sverre Husby**

taubanelag ligger på ca. 50 m<sup>3</sup> om dagen (Nitteberg & Lileng 2004), mens et helmekanisert hogstlag har dagsprestasjon på rundt 150m<sup>3</sup> (Vennesland et. al. 2013), og under gunstige forhold kan prestasjonen være vesentlig høyere. Det er også svært få profesjonelle taubanelag i Norge for tiden, ca. 15 (Woxholtt 2013), noe som gjør at kapasiteten på bratt terreng er veldig liten. Det anslås at man kan avvirke ca. 3 millioner m<sup>3</sup> tømmer årlig langs kysten, og store deler av terrenget er bratt og vanskelig.

Tidligere var taubane den vanligste driftsmetoden i denne type terreng. Det har vært gjort forsøk med andre driftssystemer for sluttavvirkning i bratt terreng, men uten stort hell. Da først og fremst hjulgående hogstmaskiner som har opparbeidet virke for å bli kjørt ut med taubane. Menzi Muck, en spesialkonstruert gravemaskin utstyrt med hogstaggregat ble undersøkt av Nitteberg og Lileng (2004), uten veldig lovende resultater. Det ble antatt at grunnen til det var at Menzi Muck er en svært komplisert og vanskelig maskin å lære seg, man trenger rundt 1000 maskintimer for å bli en dyktig sjåfør (Nitteberg & Lileng 2004). Det ble antatt at potensialet for et sånt system er bedre enn det som kom fram av undersøkelsen. Selve taubanekjøringa ble mer effektiv etter maskinhogsten, ca. 10-15 % reduksjon i tidsforbruk på stropping. Stropping utgjorde ca. halvparten av tiden banekjøringen tok, og derfor var den reduserte stropptiden et godt stykke på vei for å øke effektiviteten til taubanen. I følge produsenten kan en Menzi Muck takle stigning på opp til 100 % (Menzimuck.com). Noe som tilsier at denne maskinen kan brukes i store deler av det terrenget taubanene opererer i dag.



**Bilde 2 Menzi Muck i arbeid. Foto: Nitteberg og Lileng 2004**



Et lignende system med en Highlander ble også brukt en stund, men etter en del problemer med maskinen ble det ikke noe mer av. Det er en eldre 4-hjuls modell som operer i Hedmark. Highlander er en kombinert hogst- og transportmaskin fra Østerrike som er laget for å operere i bratt terreng. I tillegg til å være utstyrt med hogstaggregat er den også utstyrt med en klembanke. Maskinen er godt beskrevet av Kyllø (2011). Klembanken brukes til å holde fast tømmerstokker så maskinen kan transportere opparbeidet virke (helstammer) eller heltre. Det

gjør at maskinen kan opparbeide store mengder tømmer samlet på en plass, som igjen gjør taubanekjøringen mer effektiv. En annen stor fordel med en slik maskin er at flatere partier av lia kan avvirkes med denne og kjøres fram til banen. Det kan være for eksempel plataer ovenfor lia som man ellers ikke hadde fått tak i.



**Bilde 3 Highlander 6WD opparbeider og transporterer virke.  
Foto: Forsttechnik.at**

En annen og meget lite brukt metode for tømmerhogst i bratt terreng er helikoptertransport. Men det har ikke vært brukt i noen særlig grad, og så godt som helt fraværende de siste tiårene. Det er først og fremst at det er en meget kostbar transportmetode som gjør at det ikke egner seg for bruk i tømmerhogst med dagens prisnivå på tømmer.

Det har en tid blitt avvirket store mengder tømmer med såkalte gravedrifter. Først og fremst på Vestlandet, men metoden er mye brukt generelt langs kysten og i dalstrøka innenlands. Dette innebærer at man graver enkle midlertidige driftsveier med stedege løsmasser og hogstavfall, for og så avvirke med hogstmaskin og lassbærer. Det blir og i noe grad brukt beltegående gravemaskin med hogstaggregat i sluttavvirkning. Et slikt oppsett kan ha både høy produktivitet og nyttige egenskaper for drift i bratt terreng kontra hjulgående hogstmaskiner (Wenski, T.O.

2014). Da spesielt med tanke på gravedrifter, siden gravemaskinen også kan være utstyrt med graveskuffe i tillegg til hogstaggregat.

For å benytte seg av denne gravedriftmetoden er man avhengig av noen forutsetninger. Det må være tilstrekkelig mengde løsmasser og helningen kan ikke være for stor. Lileng (2009) anslo opp til 75 % helling i terrenget hvor veiene legges. Ved brattere terreng og/eller mye fjell i dagen vil taubane være eneste løsning for å få ut tømmeret. Men ved gunstige forhold vil en gravedrift kunne være betydelig mer effektiv og lønnsom for skogeier.

I Lilengs (2009) undersøkelse var den beregnede driftskostnaden  $167 \text{ kr/m}^3$ , som er betydelig lavere enn den vanligvis er ved taubanedrifter (Ca.  $250 \text{ kr/m}^3$  Vennesland et. al. 2013). Den største forskjellen for hogstmaskinen og lassbæreren i en gravedrift kontra en vanlig drift er at de kjører på veier som er gravd i terrenget. Det som kommer i tillegg på driftskostnaden for en ordinær helmekanisert drift er gravinga og eventuell manuell felling. Hogstmaskinen må opparbeide en del forhåndsfelt virke, noe som kan være mer tidkrevende siden den må dra treet i ønsket posisjon før kvisting/aptering kan begynne. Det er på grunn av at aptringen starter alltid fra rotenden av treet, og det virket som er forhåndsfelt ned til veien ligger med toppenden mot hogstmaskina.

Det er flere måter å løse det på rent praktisk når det kommer til gravedrifter. En metode som er beskrevet godt av Lileng (2009) i undersøkelsen hans på Vines i Hordaland, er at hogstmaskinen og gravemaskinen bytter plass etter hvert. Det vil si at når hogstmaskinen har hogd så langt den kan før det må graves mer, eller at gravemaskinen har gravd så langt den kan før det må hogges mer bytter de til en annen vei. Denne måten å gjøre det på førte til at det ble mye flytting av maskiner og mye venting (heretter kalt Vines-metoden). I undersøkelsen til Lileng (2009) måtte hogstmaskinen vente i hele 43 % av den effektive tiden. Med en gitt kranlengde på 10 meter vil det si at gravemaskinen kan grave seg 10 meter videre etter at hogstmaskinen har vært der, før den må flytte til en annen vei som hogstmaskinen har vært på.

En annen måte å løse det på er at alle veitraseene som skal graves blir felt motormanuelt før gravemaskinen starter (heretter kalt Melhus-metoden). Trærne må felles på skrått fram og nedover slik at gravemaskinen kan puffe dem unna når den kommer for å grave. Det fører til at

både gravemaskinen og hogstmaskinen kan jobbe mer effektivt, siden flyttingen mellom veiene og ventingen blir minimal. Men det kreves mer planlegging av driftsveiene på forhånd. Uavhengig av metode blir det en avveining om hvor stor avstanden mellom driftsveiene skal være. Større avstand mellom veiene fører til mer motormanuell felling, men mindre graving og motsatt.

Fra tidligere studier på optimal veitetthet (Ghaffariyan et. al 2009, Holmli 2014) med tanke på taubanedrifter har det blitt funnet at den optimale veitettheten øker ved økende volum hogd pr. dekar. Det kommer av at det blir flere m<sup>3</sup> å fordele kostnadene ved byggingen på ved høyere tetthet.

Den gravingen som muliggjør helmekaniserte drifter i bratt terreng er også den største utfordringen med gravedrifter. For det første er det et enormt fysisk inngrep som vises veldig godt etter endt hogst, kontra taubanedrifter hvor man ikke ser så mye som et hjulspor i terrenget. Det visuelle inntrykket en sånn hogstflate har er betydelig. Det er verst de første årene etter hogsten, men siden de fleste veiene er midlertidige vil de gro igjen og delvis forsvinne i terrenget. Den kanskje største utfordringen med gravingen er erosjonsfaren under og etter hogst. Siden driftene foregår i bratt terreng og ofte nedbørsrike områder er alle fysiske inngrep noe man bør utøve med forsiktighet.

Det blir brukt hogstavfall som forsterking av veiene og øking av bæreevne, og det ser ut til å være svært fordelaktig også med tanke på erosjon. I en amerikansk undersøkelse (Wade et. al. 2012) viser det seg at bruk av hogstavfall fra både løv og bartrær reduserer erosjonen betydelig. Dette var veier lagd med bulldoser i ikke fullt så bratt terreng som gravedriftene vanligvis blir benyttet i. Ved en gravedrift blir så godt som alt virke opparbeidet på og ved veiene, noe som fører til at store mengder hogstavfall er lett tilgjengelig for å bruke i forsterkning av veien. En annen heldig bivirkning av all barleggingen er redusert jordpakking (McDonald & Seixas 1997).

Et slikt nettverk av veier som blir gravd ved en gravedrift har som formål å samle tømmeret ned en eller få hovedveier som enklest får tømmeret til velteplassen. Veinettverket kan ha samme samlende effekt på vannet som skal renne ned lia. Dette kan få svært uheldige konsekvenser i form av ras og erosjon. Skogbruket fikk mye kritikk etter flommen i Gudbrandsdalen i 2013. I

rapporten til DSB (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap) etter flommen, blir avskoging, dårlig vedlikeholdte skogsbilveier og kjørespor nevnt flere ganger som mulige utløsende faktorer til ras og unødvendig erosjon (DSB). Dette skapte debatt rundt regjeringens satsing på skogsbilveier (NRK 2014), og satte skogbruket i et dårlig lys.

Talbot (2013) fant lite tegn på erosjon og generell god tilstand under sine undersøkelser av gjennomførte gravedrifter. Men høye skjæringer og veikryss hadde mer erosjon, og kan være potensielle fareområder. Under arbeid med gravedrifter har de ved Skog og Landskap utarbeidet et forslag til retningslinjer for gravedrifter (Vedlegg 1). På grunn av de store utfordringene med gravedrifter er det ønskelig å redusere gravingen i større grad, og gjøre den tryggere så man reduserer faren for ras og erosjon. For å gjøre det må man finne økonomiske konsekvenser for ulike måter å gjennomføre en gravedrift på, og eventuelt finne bedre metoder som ikke går på bekostning av skogeierens økonomi. I tillegg må man få identifisert potensielle fareområder slik at en bedre planlegging blir enklere.

## **1.2 Målsetting**

Det ene formålet er å undersøke kostnadene for ulike deloperasjoner i en gravedrift, og da spesielt på de deloperasjonene som er typiske for gravedrifter. Det vil si motormanuell felling, opparbeiding av forhåndsfelt virke og graving av midlertidige driftsveier. Deretter beregne ulike scenarioer med ulike forutsetninger for å finne hvordan faktorene påvirker driftskostnaden, og da spesielt fokus på hvordan avstanden mellom driftsveiene påvirker driftskostnaden. Den andre delen av undersøkelsen er å prøve ut ulike metoder for å kartlegge problemområder knyttet til vann og ras-problematikk ved hjelp av GIS-verktøy og bruke feltregistreringen som hjelpemiddel til å vurdere disse verktøyene.

## 2 Material og Metode

### 2.1 Studieområdene

#### 2.1.1 Melhus

En del av feltarbeidet foregikk i Melhus kommune i Sør-Trøndelag. I Melhus var det 2 drifter som lå helt inntil hverandre som ble studert. Vanligvis ville disse to driftene bli behandlet som en av entreprenøren. Grunnet at den ene grunneieren ikke hadde bestemt seg for å hogge før den første drifta var i gang, ble de hogd hver for seg, med et par ukers mellomrom. Skogforholdene var forholdsvis like på de to feltene. Terrenghellingen på lia var i gjennomsnitt 45 %, men med svært varierende terrengforhold på begge feltene. Terrenget kan beskrives som bratt til ekstremt bratt med små ravedaler i flere retninger. Det var også små platåer oppe i lia som ble hogd tradisjonelt uten graving. Grunnen besto stort sett av et mektig lag leire med noe finkornet grus enkelte steder. Det var forholdsvis tørre forhold under gravinga som gjorde gravingen i de mektige massene svært enkel. Det kan også nevnes at på motsatt side av den ryggen som denne lia lå i, så er det registrert et stort fareområde for kvikkleireskred. Skogen var hogstklasse 5, hovedsakelig gran (*Picea Abies*) med noe lauvinnslag. Høy bonitet G17-20. alder ukjent, men anslått ca. 75 år.



Kart 1 Studieområdets plassering i Melhus



Kart 2 Oversikt over studieområdets plassering



**Tabell 1 Deskriptiv terrengklassifisering, Melhus. Klasseinndeling fra Tabell 4**

Faktor	Klasse	Beskrivelse
Bratthet/Helling	3	40-55 %
Li lengde	4	Over 300 m
Terrengjevnhet	1	Jevn
Bæreevne	3	Liten
Jorddybde	4	Over 100 cm

### 2.1.2 Østre Toten

I Østre Toten kommune, Oppland fylke, ble det studert tidsforbruk av opparbeiding av forhåndsfelt virke. Det var to drifter der som ble studert. Den ene var i Totenvika, og den andre et lite stykke sør-vest for Skreia. I Totenvika ble det tidsstudert opparbeiding av forhåndsfelt virke. Terrenget var tidvis svært bratt med noen flatere partier. Fra før av var det et tett nettverk av hesteveier i denne lia, og før drifta ble satt i gang ble alle disse veiene breddeutvidet og utbedret for å kunne kjøre hogstmaskiner på. Dette gjorde at det var ikke nødvendig å grave noen driftsveier under drifta. Det var generelt skrint jordsmonn og dels berg i dagen. I Skreia var det mer normale driftsforhold hvor stort sett hele feltet var godt kjørbart med både hogstmaskin og lassbærer. Her ble det studert opparbeiding av stående skog. Selve skogen var forholdsvis lik på begge feltene.



**Kart 3 Studieområdenes plassering i Østre-Toten**



**Kart 4 Oversikt over studieområdenes plassering**

**Tabell 2 Deskriptiv Terrenklassifisering Totenvika. Klasseinndeling fra Tabell 4**

<b>Faktor</b>	<b>Klasse</b>	<b>Informasjon</b>
Bratthet/Helling	3	40-55 %
Lilengde	3	150-300 m
Terrengevnhet	2	Ujevnt
Bæreevne	1	God
Jorddybde	2	25-50 cm

**Tabell 3 Deskriptiv terrenklassifisering Skreia. Klasseinndeling fra Tabell 4**

<b>Faktor</b>	<b>Klasse</b>	<b>Informasjon</b>
Bratthet/Helling	1	Under 20 %
Lilengde	3	150-300 m
Terrengevnhet	2	Ujevnt
Bæreevne	2	Vekslende
Jorddybde	2	25-50 cm

## **2.2 Tidsstudier**

### **2.2.1 Hogstmaskin Melhus**

Hogstmaskinen var en John Deere 1270. Den var utstyrt med programvare i den interne datamaskinen som gjorde det mulig å logge alle operasjoner den utøvde under hogsten. Det ble parallelt logget GPS-posisjon med hogstmaskinens egen GPS. Det ble ikke studert noe utover hva hogstmaskinen logget selv.



**Bilde 4 John Deere 1270 opparbeider forhåndsfelt virke i Melhus. Foto: Sverre Husby**



Hogstmaskinen var utstyrt med et John Deere H480 hogstaggregat med Timbermatic dataprogram.

### **2.2.2 Hogstmaskin Østre Toten/Skreia**

Her ble det benyttet en Komatsu 9.31 hogstmaskin. Den ble studert i to omganger. Først på forhåndsfelt virke. Da ble det tatt tid med stoppeklokke på tidsforbruk fra hogstmaskinen tar tak i stokken, til den begynner å kviste/aptere. Og en tid fra kvistingen/apteringen har starta til den har tatt tak i et nytt tre igjen. Det vil si at det ble to tider per tre, før og etter start av kvisting/aptering. For å skaffe data å sammenligne disse tidene med ble maskinen studert på samme måte når den jobbet under vanlige forhold. Det vil si at hogstmaskinen både felte og kvista/apterte trærne selv. Alle trær som var med i undersøkelsen ble klassifisert som lite, middels eller stort. Hvor mange liter disse klassene var ble bestemt ut i fra gjennomsnittstall fra hele driftene, hentet fra produksjonsfilene man får ut av hogstmaskinen.





Hogstmaskinen var utstyrt med et Komatsu s132 hogstaggregat og MaxiXplorer dataprogram.

### **2.2.3 Lassbærer Melhus**

Lassbæreren var en John Deere 1510E med gjennomsnittlig lass størrelse på 17,5 m<sup>3</sup>. Den ble utstyrt med en håndholdt Garmin GPS for å undersøke produktivitet. Det ble ikke lagt mye vekt på å studere lassbæreren da det antas at produktiviteten dens er uavhengig om det er en gravedrift eller ikke.



**Bilde 6 John Deere 1510E på tur over elva med fullt lass i Melhus. Foto: Sverre Husby**

### **2.2.4 Gravemaskin**

Gravemaskinen var en Caterpillar 314 C på ca. 15 tonn. Den ble utstyrt med en håndholdt Garmin GPS for å undersøke produktivitet.



**Bilde 7 Caterpillar 314C graver forhåndsfelte driftsveier i bratta i Melhus. Foto: Sverre Husby**

### **2.2.6 Motormanuell felling**

Den motormanuelle felling ble studert på 2 forskjellige vis. Den ene metoden var å registrere alle trær som ble felt i løpet av et tidsrom, for så å måle diameter og høyde etterpå. Den andre metoden var å registrere alle trær som ble felt i løpet av et tidsrom, men da ble trærne kun registrert som stort, middels eller lite. Hvor store disse trærne var i liter ble bestemt på grunnlag av gjennomsnittstall fra hele drifta hentet fra loggen vi fikk ut av hogstmaskinen.

## **2.3 Beregninger**

### **2.3.1 Beregning av gravekostnader**

Ved hjelp av GPS-sporing, ble 3 forskjellige veier studert. Dette var graving utført av en svært erfaren sjåfør under forholdsvis enkle forhold, som resulterte i en svært høy produktivitet. For å få mer representative tall ble disse tallene kombinert fra resultatene fra Lilengs (2009) undersøkelse. Siden det her ble brukt Vines-metoden var tidsforbruket her egentlig høyere enn det som ble tatt inn i beregningen, men i den undersøkelsen drev hogstmaskinen og gravemaskinen og byttet plass som tidligere nevnt. Noe som førte til at gravemaskinen gravde i bare 60 % av tiden. Derfor ble tidsforbruket her redusert til 60 % av det opprinnelige for å gjøre tallene sammenlignbare med tallene fra mine studier. Det ble så regnet ut et vektet gjennomsnitt fra alle disse tallene (vektet på antall meter gravd), og forutsatt en timespris på 750 kr/time. Med dette kom man fram til en pris i kroner pr. meter vei gravd. Det ble også tatt utgangspunkt i Vines-metoden for å sammenligne kostnader med graving ved bruk av Melhus-metoden. Da ble det tatt utgangspunkt i den ventetiden gravemaskinen hadde hos Lilengs studier for og så lage et nytt vektet gjennomsnitt.

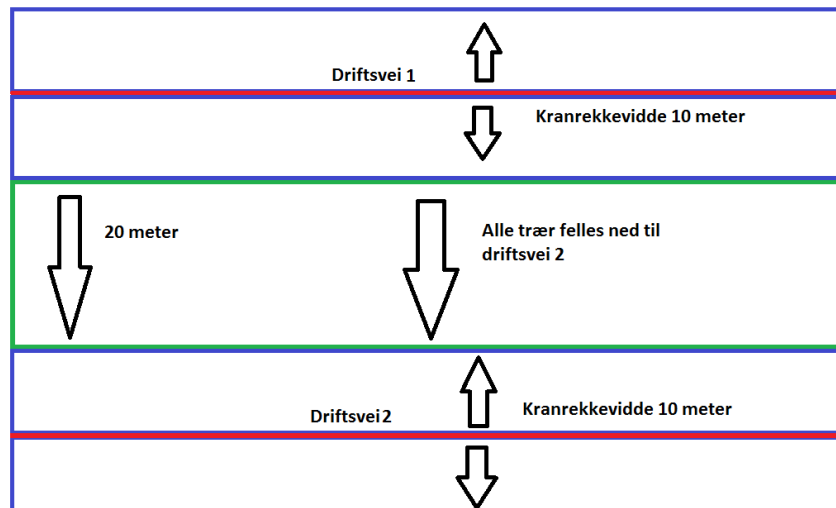
Graveforholdene hvor studiene mine ble utført var svært gode. Det vil si at det ikke var ekstremt bratt, og det var tørre, svært mektige masser som gjorde gravingen enkel og effektiv. Ved brattere helning vil det bli større skjæringer og fyllinger, og derfor bli mer jobb pr. meter vei gravd. Også ved skrinne masser kan det være utfordrende å finne nok masse til å lage veien tilfredsstillende bred. For å få representert disse forskjellene ble det lagt inn en terrengfaktor i utregningen av prisen på gravinga. Faktoren er delt i 3 hvor 1 er enkelt, 1,5 er middels og 2 er vanskelig. Dette er da et forholdstall prisen pr. meter blir multiplisert med. Forholdstallene her er ikke hentet fra tidsstudier, men ble anslått etter diskusjon med gravemaskinfører om redusert gravehastighet ved vanskelige terrengforhold.

### **2.3.2 Beregning av kostnader ved motormanuell felling**

Motormanuell felling ble studert ved 2 anledninger. Også disse tallene ble sammenlignet med tall fra Lilengs (2009) studie, hvor det ble felt 12,5 m<sup>3</sup> på 75 minutter. Skogforholdene var

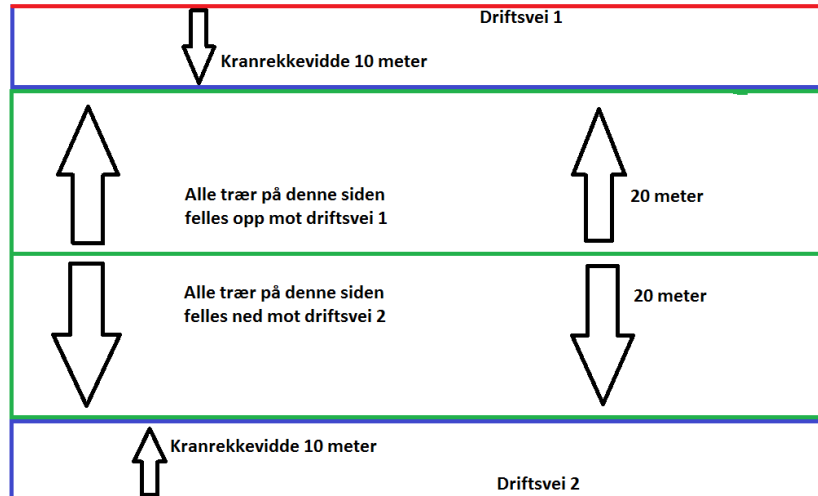
forskjellige her kontra forholdene på Melhus. Skogen i Lilengs (2009) undersøkelse var hogstklasse 4, mens skogen på Melhus var hogstklasse 5. Og til dels grov skog som kan øke produktiviteten hos felleren betraktelig. Timesprisen ble her satt til 300 kroner pr. time. Ved å regne ut et vektet gjennomsnitt (vektet på antall m<sup>3</sup>) ble det funnet en pris i kroner pr. m<sup>3</sup>.

Når avstanden mellom driftsveiene blir svært stor, må en stor del av trærne felles manuelt for at hogstmaskinen skal nå de med krana. Her ble det forutsatt en kranrekkevidde på 10 meter og gjennomsnittlig trehøyde på 20 meter. Ved en driftsveiavstand på 40 meter skal det da være nok å felle alle trærne utenfor rekkevidden til krana en vei. Det er det enkleste siden trærne i ei li oftest har mest bar på nedsiden og er dermed lettest å felle nedover. Dette gjør felleprosessen enklere og mer effektiv. Men ved driftsveiavstander på over 40 meter, eller ved kortere kranlengder/trelengder, vil man være nødt til å felle trærne både nedover og oppover lia. Dette vanskeliggjør felleprosessen og reduserer effektiviteten.



**Bilde 8 Illustrasjon av 40 meters driftsveiavstand**





**Bilde 9 Illustrasjon av 60 meters driftsveiavstand**

For å få denne faktoren med i prissettinga av den motormanuelle fellinga ble det lagt til en vanskelighetsfaktor. 1 er vanlig felling bare nedover, 1,2 er noe felling oppover og 1,4 er mye felling oppover. Dette er da forholdstall som prisen pr. m<sup>3</sup> blir multiplisert med. Størrelsene på disse faktorene er vanskelig å anslå da det ikke er gjort studier som viser produktivitetsforskjeller med felling nedover kontra oppover. Disse tallene er derfor anslått etter samtaler med tømmerhoggere som anslo en synkende produktivitet med økende mengde felling oppover.

### **2.3.4 Beregning av ekstrakostnader ved opparbeiding av forhåndsfelt virke**

Med to dataserier fra hogstmaskinen hvor den ene var fra vanlig hogst hvor hogstmaskinen gjør alle deloppgaver av opparbeidingen, og den andre hvor trærne var felt motormanuelt fra før, ble tidsdifferansen regnet ut. Med tidsdifferanse og timespris ble den faktiske kostnaden av å opparbeide forhåndsfelte trær kontra stående utregnet. Her ble det ikke skilt noe på hvordan trærne var felt. Det vil si om hogstmaskinen måtte dra de opp eller ned til veien.

Det ble ikke differensiert noe på hogstmaskinens effektivitet med tanke på skogtetthet eller terrengforhold. Denne ekstrakostnaden ble lagt til ved eventuell opparbeiding av forhåndsfelt virke.

### **2.3.5 Beregning av lassbærerens kostnad**

Driftsprisen for utkjøringa av tømmeret ble hentet fra Vennesland et.al (2013), da GPS-registreringene gjort i felt ikke ble tilfredsstillende (sviktende GPS). Her ble det tatt utgangspunkt i de gjeldene tallene fra den studerte drifta og i normale forhold. Kostnaden på utkjøringa ble differensiert på tettheten på skogen. 0,8 var ekstremt tetthet ( $80 \text{ m}^3/\text{daa}$ ), 0,9 var høy tetthet ( $50 \text{ m}^3/\text{daa}$ ), 1 var normal tetthet ( $30 \text{ m}^3/\text{daa}$ ) og 1,1 var lav tetthet ( $20 \text{ m}^3/\text{daa}$ ). Dette ble brukt som forholdstall for å multiplisere med driftsprisen. For å komme fram til disse forholdstallene ble lassbærerkostnaden simulert med de aktuelle tetthetene i Skog og landskaps kalkulator (skogoglandskap.no).

### **2.3.6 Følsomhetsanalyser**

For å undersøke i hvilken grad de ulike faktorene påvirker driftsprisen ble det gjennomført en følsomhetsanalyse. Det ble beregnet driftspris med 20 % økning og reduksjon for hver enkelt faktor som er inkludert i kostnadsberegningen (Tabell 9), unntatt utkjøringa av tømmeret da lassbærerens produktivitet antas å være uavhengig av om den opererer i en gravedrift eller tradisjonell helmekanisert drift.

## **2.4 Andre feltmålinger**

Begge feltene i Melhus ble avvirket høsten 2014. På våren 2015 etter snøsmeltningen ble alle de gravde veiene gått opp og målt inn med en GNSS mottager som mottar sanntidskorreksjon av GPS-målingene for å bli brukt i GIS-analyser. Det ble tatt en vurdering av terrenget og fylt ut skjema for deskriptiv terrengklassifisering (Tabell 4). I tillegg ble det tatt mye bilder under, etter drift og etter vinteren for å vurdere feltets tilstandsutvikling.

**Tabell 4 Skjema for deskriptiv terrengklassifisering (Johnsrud 2007)**

<b>Bratthet/helling</b> Klasse: 1. < 20 % 2. < 20–40 % 3. < 40–55 % 4. > 55 %	<b>Bæreevne</b> Klasse: 1. God           Fast mark < 20 % finstoff  2. Vekslende    Finstoff 20–40 % Dårlig i regnperioder ellers god.  3. Liten           Liten teknisk bæreevne Finstoffrik masse > 40 % Våtlendt mark og grunn myr.  4. Svært liten   Bæresvak mark, torvmark (Ingen)       og myr Krever tele – snø. Vinterdrift
<b>Lilengde</b> Klasse: 1. < 75 m 2. 75–150 m 3. 150–300 m 4. > 300 m	<b>Jorddybde</b> Klasse: 1. Jorddybde    < 25 cm 2.               "       25–50 cm 3.               "       50–100 cm 4.               "       > 100 cm
<b>Terrengjevnhet</b> Klasse: 1. Helt jevnt     Kan kjøre overalt. < 100 terr.ujevnheter/daa Ujevnhet = 35 cm Jordbr.traktor  2. Ujevnt        Kjøring mellom hinder Jordbr.tr./skogsmaskin  3. Storsteinet   > 100 terr.ujevnheter/daa og hauget     Skogsmaskin Bakkeklaring 40–80 cm  4. Blokkmark   Ikke kjørbart med hjulkjøretøy. ur, småstup og kløfter	

## 2.5 Terrenganalyser

### 2.5.1 Vann, erosjonsfare og bratthet

For å analysere driftsområdets bratthet, og eventuelt finne løsninger for å gjøre planlegging av gravedrifter enklere og bedre, ble det brukt programmet ArcGis 10.2. For driftsområde på Melhus ble det brukt LIDAR (1 punkt pr. m<sup>2</sup>) data som grunnlag for å lage en digital terrengmodell. Det ble også gjort flere terrenganalyser for å identifisere utsatte områder i terrenget med tanke på vann og erosjonsrisiko. Verktøyene som ble brukt for dette var plan curvature, flow accumulation og WetMap. Plan Curvature er et verktøy som finner ut som terrenget er konkavt eller konvekst på tvers av hellingen. Det vil si langs med høydekurvene. Det man finner da er dalbunner eller rygger. Dalbunnene er da det interessante her siden det er der vannet samler seg. Flow Accumulation finner hvor, og hvor mye vann som samler seg nedover lia. Det vil si at siden en terrengmodell er bygd opp av celler (her på 2x2meter), regnes det ut

hvor mange celler som har slik helling at vannet renner ned i hver celle. Det vil si at jo høyere verdi en celle får, jo mer vann samles i den. Den siste analysen som ble brukt er WetMap. Den viser dybden til grunnvann som en indikasjon på hvor det er våtere områder. Hvordan denne analysen er gjort og hvilke parametere som er brukt er godt beskrevet av Ågren et. al (2014). Det som er felles for alle disse analysene er at de beregner vann og vanntransport basert kun på høydedata. Grunnforholdene og nedbørsmengder er ikke tatt med og må derfor vurderes av den som gjør analysene.

### **2.5.2 Visualisering, utlegging og sammenligning av ulike driftsveinett**

For både visualiseringen og den skjematisk utleggingen av driftsveiene ble ArcGis 10.2 brukt som verktøy. Det ble lagd to driftsveinett som alternativer til hvordan det faktisk ble gjort på Melhus. Et med høyest veitetthet med 15 meters veiavstand, og et med lav tetthet med 60 meters veiavstand. For å lage de nye driftsveiene ble det først tegnet opp en hovedvei som skal ta unna stigningen i lia. Deretter ble det tegnet inn stikkveier ut fra denne som skal gå langs med høydekurvene. Samme hovedvei ble brukt for både 15 og 60 meters veiavstand. Denne hovedveien ble også brukt som en konstant da det ble beregnet veitetthet ved ulike veiavstander i kostnadsberegningene.. For å gjøre hovedveien realistisk ble den tegnet inn slik at den ikke ble brattere enn 30 % i gjennomsnitt, men korte strekk med større helling ble tolerert. Når de ble tegnet inn ble de tegnet inn med den faktiske avstanden i terrenget, og ikke horisontalavstanden. Det gjør at man måtte tegne inn en litt kortere avstand på kartet for at den skulle bli korrekt ute i terrenget. Det ble og beregnet stigning på driftsveiene for de registrerte på den ene drifta på Melhus, og for de utlagte veiene med 15 og 60 meters veiavstand. For de registrerte veiene ble det beregnet ved Pytagoras, da man hadde høydedata og posisjon for de registrerte punktene på veinettet. For de utlagte veiene ble det gjort i ArcGis ved at veinettets høyder og høydeforskjeller ble beregnet ut i fra laserdatasettet som var utgangspunkt for terrengmodellen.

## **2.6 Feltutstyr**

Håndholdt GPS av type Garmin 62



Topcon GR-5 gnss mottager

Stoppeklokke

Notatsaker

Målebånd

Klave

Fotoapparat

### 3. Resultater

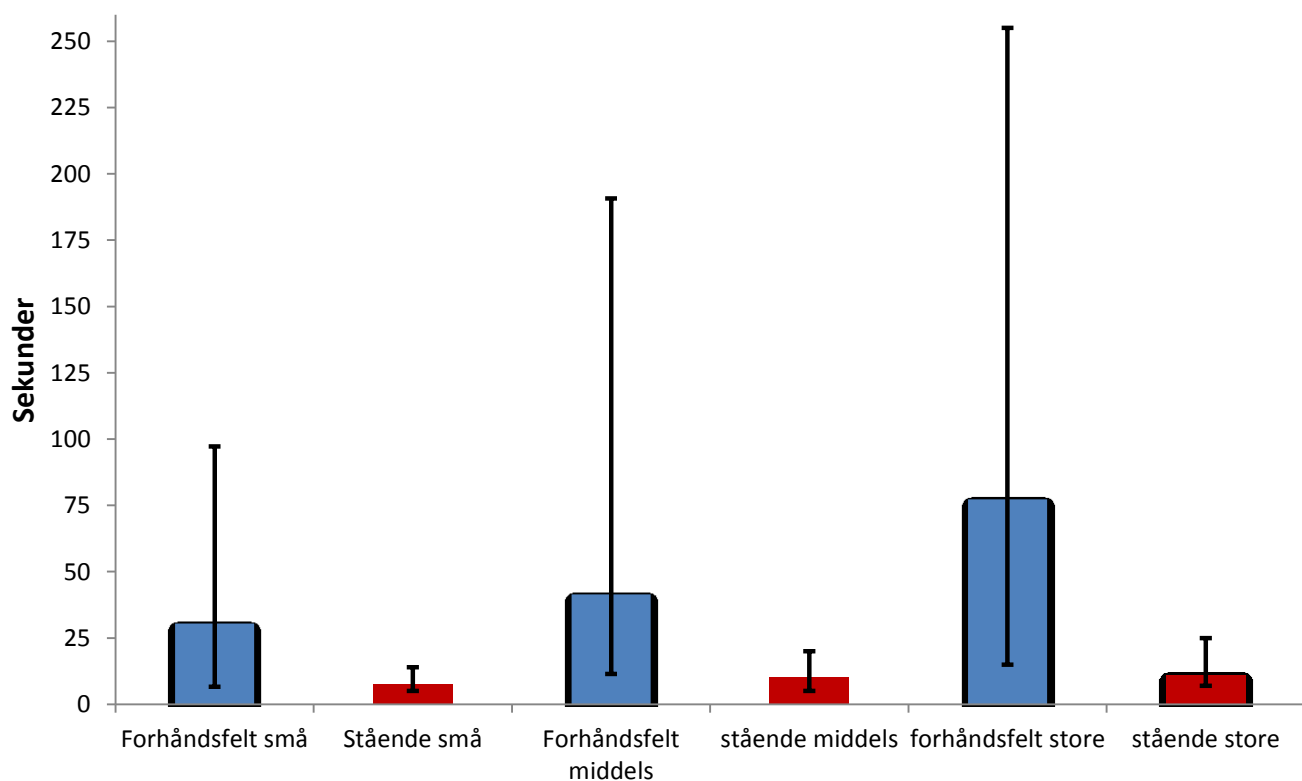
#### 3.1 Tidsstudier

##### 3.1.1 Hogstmaskin

Tabell 5 Opparbeiding av forhåndsfelt og stående virke

	Totalt volum opparbeidet m <sup>3</sup>	Tot. Tid før aptering minutter	Tid brukt pr. m <sup>3</sup> sekunder
Forhåndsfelt virke	33,4	56,6	102,0
Stående virke	26,3	9,0	20,5
Differanse pr. m <sup>3</sup>	81 sekunder		81,0
Timepris kroner	1100		
Kroner pr. m <sup>3</sup>	25		

Viktig å merke seg at de totale tidene her er for å felle eller «dra på plass» operasjonene, og ikke total tid for hele opparbeidingsprosessen. Ekstrakostnaden med forhåndsfelt virke var her 25 kroner pr. m<sup>3</sup>. Veldig stor variasjon i tidsbruk for hvert enkelt tre som man ser i Figur 1.



**Figur 1 Gjennomsnittlig tidsforbruk ved operasjonen før aptering. Minimum og maksimumsverdi er lagt inn som feilfelt**

Meget stor spredning i tidsbruken for forhåndsfelt virke kontra det stående. Og langt høyere gjennomsnittsverdier. Tidsforbruket ser ut til å stige med økende størrelse på trærne.

### 3.1.2 Gravemaskin

Tabell 6 Tidsforbruk og kostnad ved graving med Melhus-metoden

	Lengde, meter	Tidsforbruk, minutter	min/m	Kostnad kr/m
Vei 1 (Melhus)	90	45	0,5	6,3
Vei 2 (Melhus)	180	68	0,4	5,0
Vei 3 (Melhus)	68	42	0,6	7,5
Vei 4 (Lileng) justert	85	119	1,4	17,5
Vei 5 (Lileng) justert	95	133	1,4	17,5
Timepris kroner	750			
Vektet gjennomsnitt			0,8	9,8

Det var stor forskjell på tidsforbruket mellom veiene på Melhus og de fra Lilengs (2009) undersøkelse selv etter redusering av tidsforbruk for ventetiden.

Tabell 7 Tidsforbruk og kostnad ved graving med Vines-metoden

	Lengde, meter	Tidsforbruk, minutter	min/m	Kostnad kr/m
Vei 1 (Melhus) justert	90	75	0,8	10,0
Vei 2 (Melhus) justert	180	133	0,6	7,5
Vei 3 (Melhus) justert	68	68	1,0	12,5
Vei 4 (Lileng)	85	198	2,3	28,8
Vei 5 (Lileng)	95	222	2,3	28,8
Timepris kroner	750			
Vektet gjennomsnitt			1,3	16,4

Betydelig økning av gravekostnad med 40 % ventetid fra 9,8 kroner pr. meter til 16,4 kroner pr. meter.

### 3.1.3 Motormanuell felling

Tabell 8 Produktivitet og kostnad ved motormanuell felling

	Volum felt m <sup>3</sup>	Tidsforbruk, minutter	min/ m <sup>3</sup>	Kostnad kr/m <sup>3</sup>
Studie 1 (Melhus)	23,3	62	2,7	13,5
Studie 2 (Melhus)	15,8	28	1,8	8,5
Studie 3 (Lileng)	12,5	75	6,0	30,0
Timepris kroner	300			
Vektet gjennomsnitt			3,2	16,0

### 3.2 Forutsetninger for kostnadsberegninger

Tabell 9 Tabell for beregning av driftskostnader. Inkludert de ulike faktorene for de ulike variablene

<b>Areal</b>		35	daa
<b>Tetthet</b>			
Registrert på Melhus		30	m <sup>3</sup> /daa
Lav		20	m <sup>3</sup> /daa
Høy		50	m <sup>3</sup> /daa
Ekstremt høy		80	m <sup>3</sup> /daa
<b>Graving</b>		9,8	kr/m
Terrengfaktor	Enkel	1	
	Middels	1,5	
	Vanskelig	2	
<b>Alt. avstand mellom driftsveiene i terrenget</b>		15	meter
		20	meter
		30	meter
		40	meter
		50	meter
		60	meter
<b>Driftsveitetthet</b>		69	m/daa
		56	m/daa
		47	m/daa
		34	m/daa
		31	m/daa
		27	m/daa
<b>Prosentandel avvirket maskinelt</b>		100	%
		90	%
		66	%
		50	%
		40	%
		33	%
<b>Felling</b>		16	kr/m <sup>3</sup>
Vanskelighetsfaktor	Kun nedover	1	
	Noe oppover	1,2	
	Mye oppover	1,4	
<b>Hogstmaskin</b>		48	kr/m <sup>3</sup>
	Ekstra kostnad	25	kr/m <sup>3</sup>
<b>Lassbærer</b>		60	kr/m <sup>3</sup>
Tetthetsfaktor	Ekstremt tetthet	0,8	
	Høy tetthet	0,9	
	Middels tetthet	1	
	Lav tetthet	1,1	
<b>Flyttekostnad alle maskiner</b>		7500	kr

Alle faktorene som tas inn i beregningen for total driftskostnad, med kostnader og forholdstall for hver enkelt faktor.

**Tabell 10 Utfylt tabell med tall fra Melhus-drifta**

Areal	35	daa
Skogtetthet	30	m <sup>3</sup>
Kostnad graving	9,8	kr/m
Kostnad felling	16	kr/m <sup>3</sup>
Kostnad lassbærer	60	kr/m <sup>3</sup>
Andel avvirket maskinelt	66	%
M/daa gravd	32	m/daa
Kostnad hogstmaskin	48	kr/m <sup>3</sup>

Her er tallene som ble registrerte ved den ene drifta på Melhus fylt inn. Tallene er da hentet fra Tabell 9.

**Tabell 11 Kostnadsberegning med total driftspris utfylt med tall fra Melhus-drifta**

Graving av driftsveier		
Totalt meter gravd	1120	m
Total kostnad		18 kr/m <sup>3</sup>
Manuell felling		
M <sup>3</sup> felt	508	m <sup>3</sup>
Total kostnad		8 kr/m <sup>3</sup>
Hogstmaskin		
M <sup>3</sup> avvirket stående	522	m <sup>3</sup>
M <sup>3</sup> opparbeidet forhåndsfelt	508	m <sup>3</sup>
Total kostnad		68 kr/m <sup>3</sup>
Lassbærer		
Total kostnad		67 kr/m <sup>3</sup>
<b>Total driftskostnad</b>		<b>161 kr/m<sup>3</sup></b>

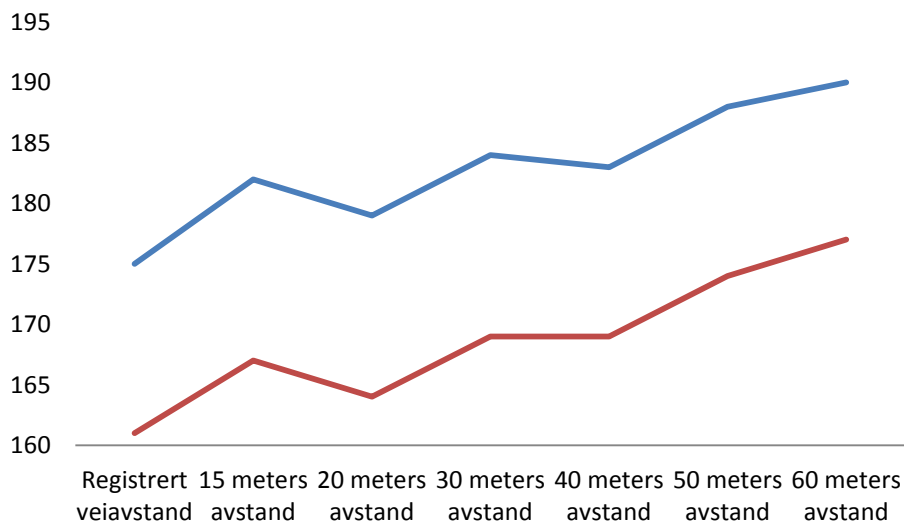
Her er resultatene fra beregningen. Det vil si kostnad for hver enkelt operasjon og total driftskostnad. Tallene er hentet fra Tabell 10.

## 3.2 Simulering av ulik veiavstand

Tabell 12 Ulike driftspriser basert på ulike veiavstander.

	Vines-metoden	Melhus-metoden
Veiavstand Melhus	175 Kr/M3	161 Kr/M3
15 meters avstand	182 Kr/M3	167 Kr/M3
<b>20 meters avstand</b>	<b>179 Kr/M3</b>	<b>164 Kr/M3</b>
30 meters avstand	184 Kr/M3	169 Kr/M3
40 meters avstand	183 Kr/M3	169 Kr/M3
50 meters avstand	188 Kr/M3	174 Kr/M3
60 meters avstand	190 Kr/M3	177 Kr/M3

Store forskjeller mellom det billigste alternativet for Vines og Melhus-metoden. Det var 11 kroner fra høyeste til laveste kostnad med Vines-metoden, og 13 kroner fra høyeste til laveste kostnad med Melhus-metoden. 20 meters veiavstand hadde lavest kostnad og 60 meters veiavstand hadde høyest kostnad med begge metodene.



Figur 2 Sammenligning av Vines og Melhus-metoden. Rød er Melhus-metoden, og blå Vines-metoden. Registrert veiavstand var ca. 40 meter regnet ut i fra veitettheten.

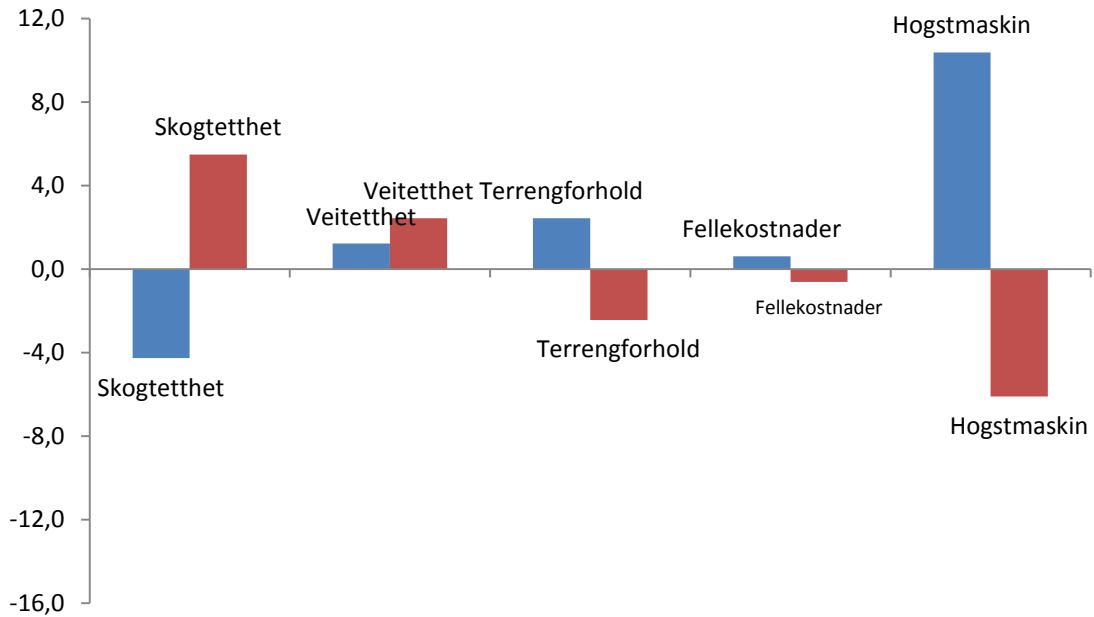
### 3.3 Følsomhetsanalyse

#### 3.3.1 Følsomhetsanalyser med data fra Melhus-drifta

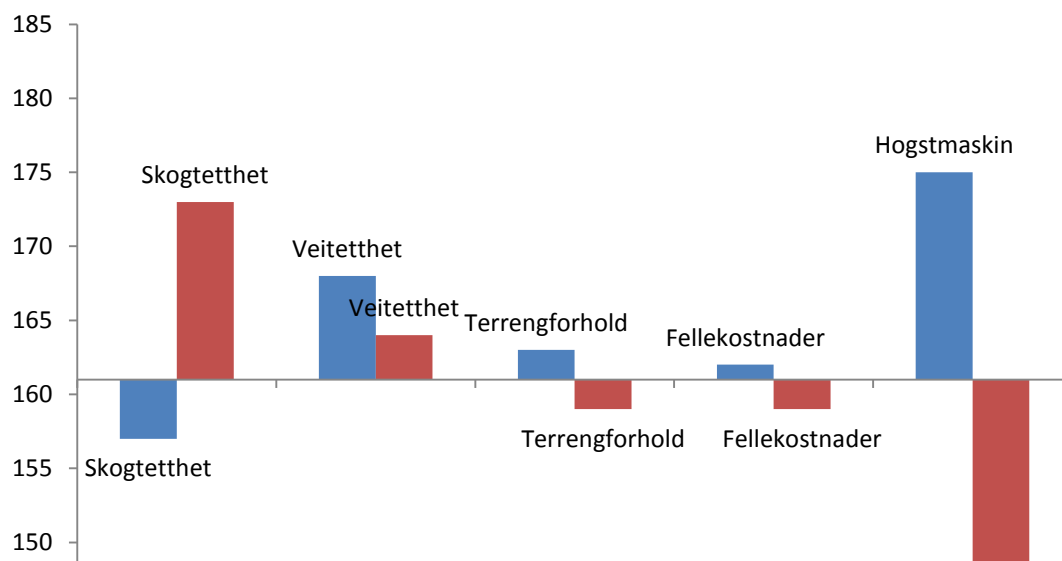
Tabell 13 Kostnad og prosentvis endringer for de ulike variablene. 20 % endring positivt og negativt. Tallene er basert på Melhus-drifta

<b>Skogtetthet</b>	<b>m<sup>3</sup>/daa</b>	<b>Kostnad (kr/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Prosentvis endring (%)</b>
Opprinnelig	30	161	0
20 % ↑	36	157	-2,5
20 % ↓	24	173	7,5
<b>Veitetthet</b>	<b>m/daa</b>	<b>Kostnad (kr/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Prosentvis endring (%)</b>
Opprinnelig	32	161	0
20 % ↑	38,4	157	4,3
20 % ↓	25,6	173	1,9
<b>Terrengforhold</b>	<b>kr/m</b>	<b>Kostnad (kr/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Prosentvis endring (%)</b>
Opprinnelig	9,8	161	0
20 % ↑	11,76	163	1,2
20 % ↓	7,84	159	-1,2
<b>Fellekostnader</b>	<b>kr/m<sup>3</sup></b>	<b>Kostnad (kr/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Prosentvis endring (%)</b>
Opprinnelig	16	161	0
20 % ↑	19,2	162	0,6
20 % ↓	12,8	159	-1,2
<b>Hogstmaskin</b>	<b>kr/m<sup>3</sup></b>	<b>Kostnad (kr/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Prosentvis endring (%)</b>
Opprinnelig	68	161	0
20 % ↑	81,6	175	8,7
20 % ↓	54,4	148	-15,4

Hogstmaskinkostnad var den variabelen som ga størst utslag, og da størst utslag ved å senke hogstmaskinkostnaden med 20 %.



**Figur 3** Prosentvis endringer for de ulike variablene. 20 % økning og reduksjon. Tallene er basert på Melhus-drifta



**Figur 4** Kostnadsendringer for de ulike variablene. 20 % økning og reduksjon. Tallene er basert på Melhus-drifta. X-aksen krysser ved opprinnelig kostnad på 161

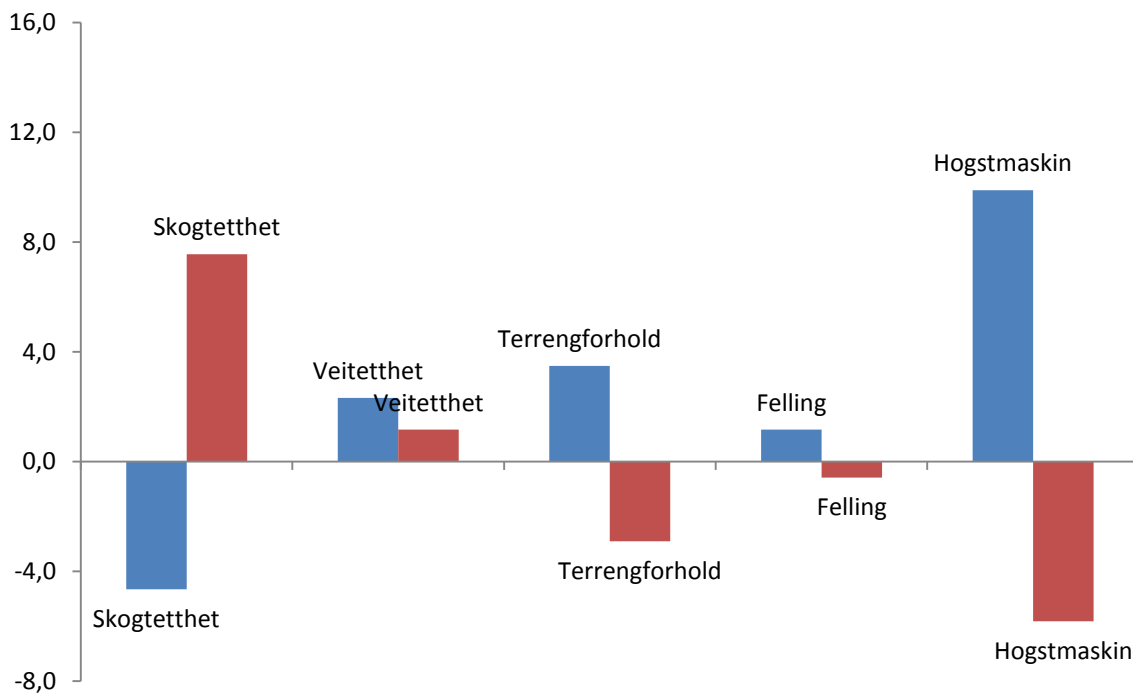


### 3.3.2 Følsomhetsanalyse med 20 meters avstand mellom driftsveiene

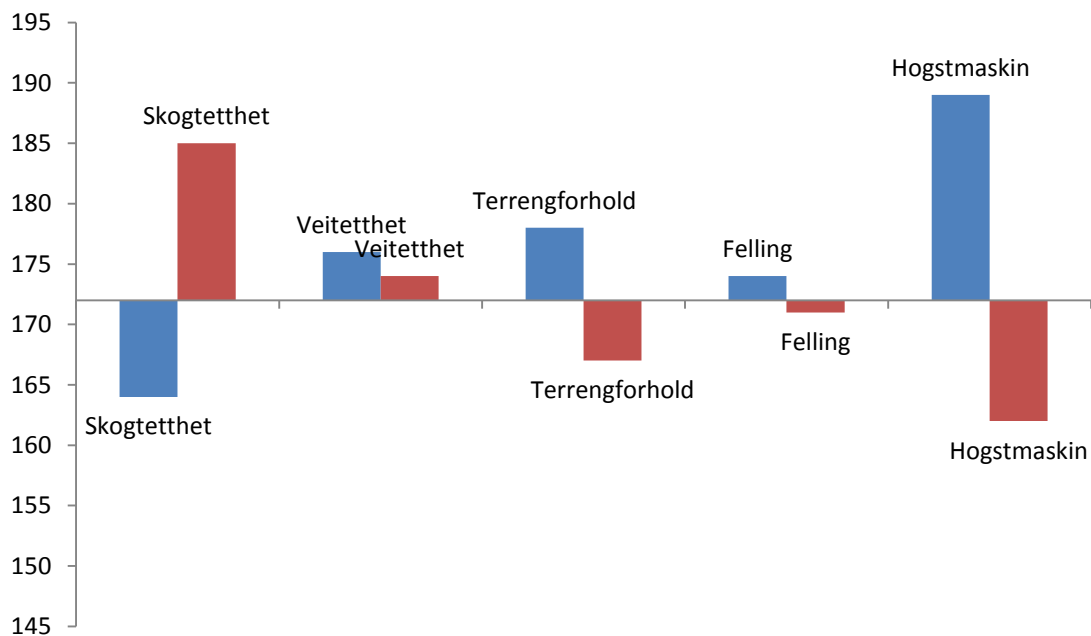
**Tabell 14** Kostnad og prosentvis endringer for de ulike variablene. 20 % endring positivt og negativt. Tallene er basert på 20 meters veiavstand og litt vanskeligere terrengforhold

<b>Skogtetthet</b>	<b>M<sup>3</sup>/daa</b>	<b>Kostnad (kr/M<sup>3</sup>)</b>	<b>Prosentvis endring (%)</b>
Opprinnelig	30	172	0
20 % ↑	36	164	-4,7
20 % ↓	24	185	7,6
<b>Veitetthet</b>	<b>M/daa</b>	<b>Kostnad (kr/M<sup>3</sup>)</b>	<b>Prosentvis endring (%)</b>
Opprinnelig	56	172	0
20 % ↑	67,2	176	2,3
20 % ↓	44,8	174	1,2
<b>Terrengforhold</b>	<b>kr/m</b>	<b>Kostnad (kr/M<sup>3</sup>)</b>	<b>Prosentvis endring (%)</b>
Opprinnelig	14,7	172	0
20 % ↑	17,6	178	3,5
20 % ↓	11,8	167	-2,9
<b>Fellekostnader</b>	<b>kr/M<sup>3</sup></b>	<b>Kostnad (kr/M<sup>3</sup>)</b>	<b>Prosentvis endring (%)</b>
Opprinnelig	16	172	0
20 % ↑	19,2	174	1,2
20 % ↓	12,8	171	-0,6
<b>Hogstmaskin</b>	<b>kr/M<sup>3</sup></b>	<b>Kostnad (kr/M<sup>3</sup>)</b>	<b>Prosentvis endring (%)</b>
Opprinnelig	68	172	0
20 % ↑	81,6	189	9,9
20 % ↓	54,4	162	-5,8

Hogstmaskinkostnaden var her som i Tabell 13 den variabelen som ga størst utslag, men her ved 20 % økning.

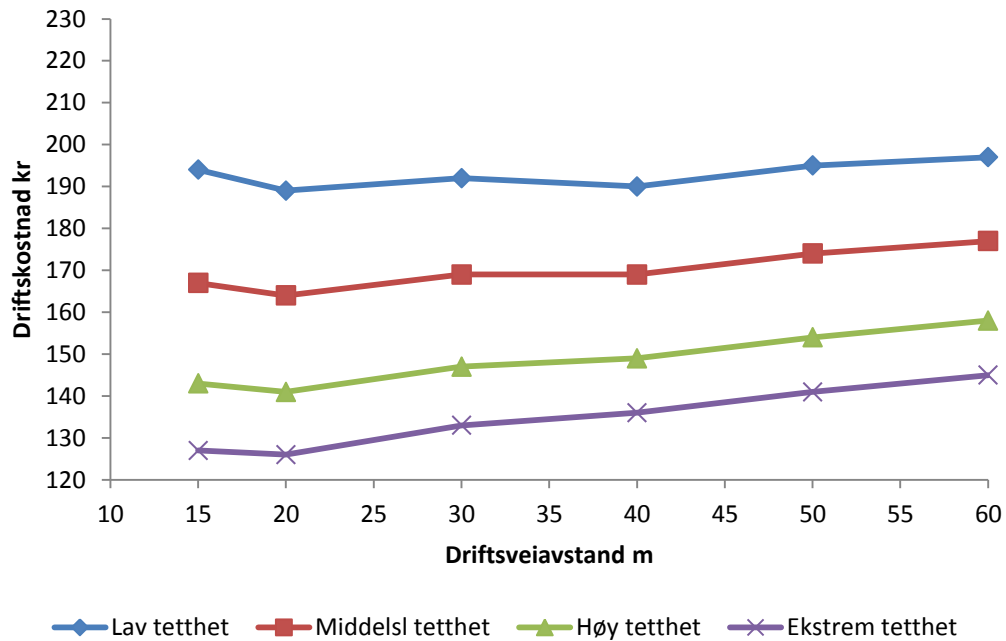


**Figur 5** Prosentvis endringer for de ulike variablene. 20 % økning og reduksjon. Tallene er basert på Tabell 14

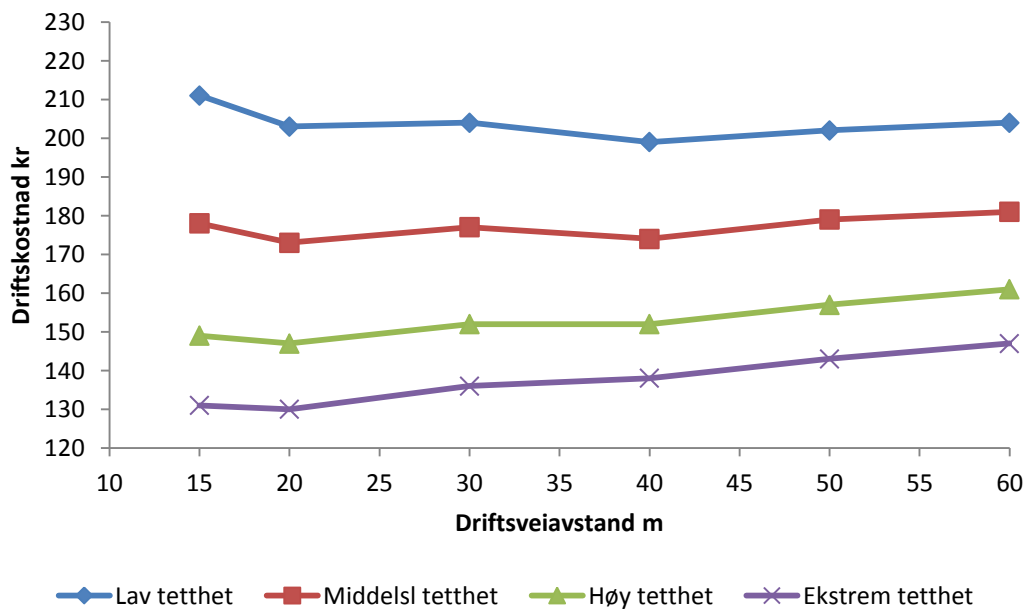


**Figur 6** Kostnadsendringer for de ulike variablene. 20 % økning og reduksjon. Tallene er basert på Tabell 14. X-aksen krysser ved opprinnelig kostnad 172 kr.

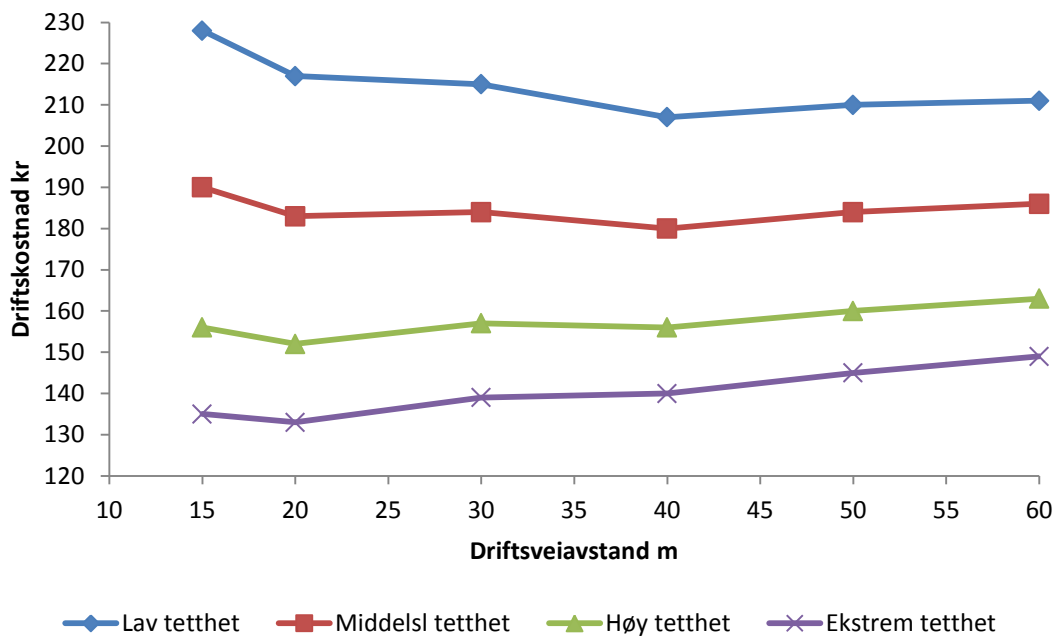
### 3.4 Endringer i driftskostnader ved ulike forutsetninger



Figur 7 Ulike driftskostnader ved bra graveforhold. Ulike veivavstander og skogtettheter



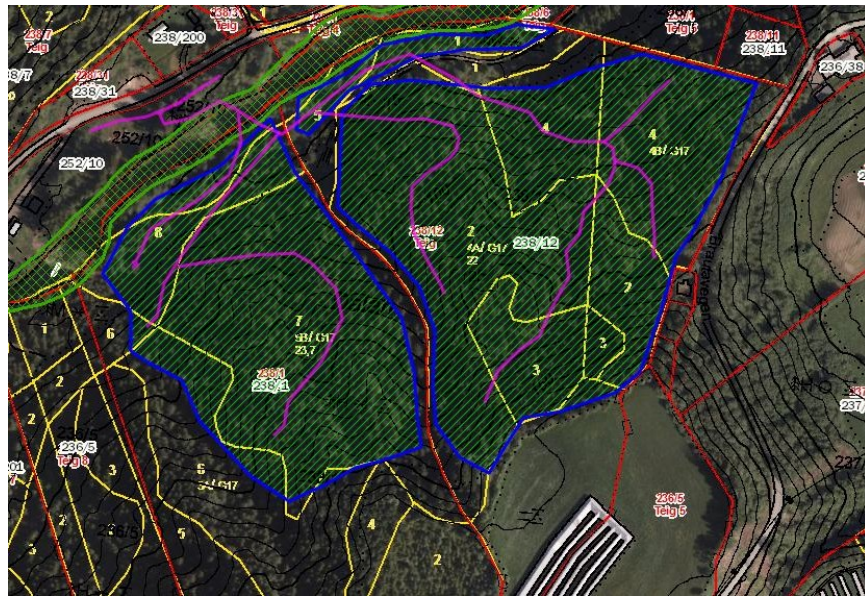
Figur 8 Ulike driftskostnader ved vanskelige graveforhold. Ulike veivavstander og skogtettheter



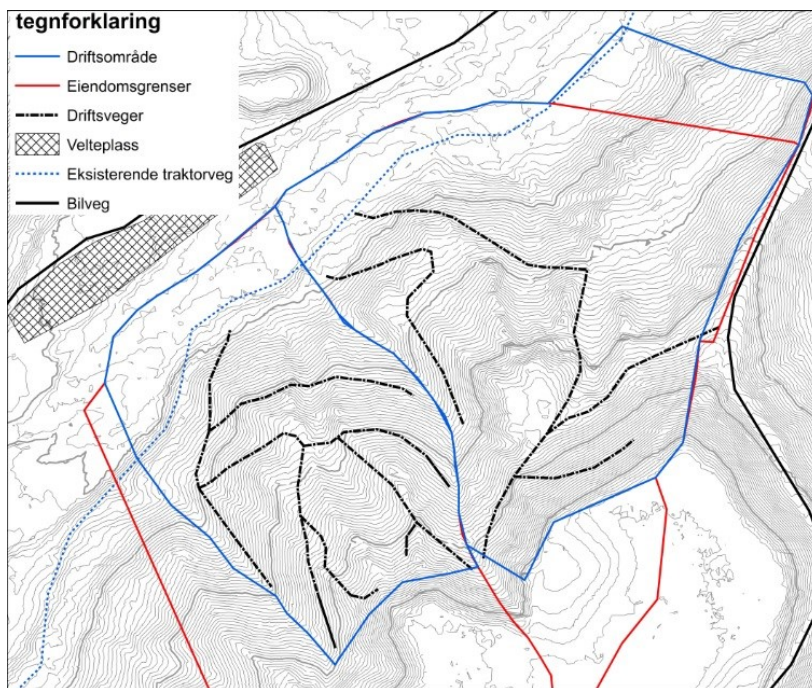
**Figur 9 Ulike driftskostnader ved meget vanskelige graveforhold. Ulike veivstander og ulike skogtettheter**

Stor variasjon i driftsprisene. Fra 126 kr/m<sup>3</sup> til 228 kr/m<sup>3</sup>. Hvilken veivstand som har lavest kostnad endrer seg etter som forholdene blir dårligere. Ved de beste forholdene er det 20 meters veivstand som har lavest kostnad, men ved de dårligste forholdene er det 40 meters veivstand som har lavest kostnad.

### 3.5 Terrenganalyser



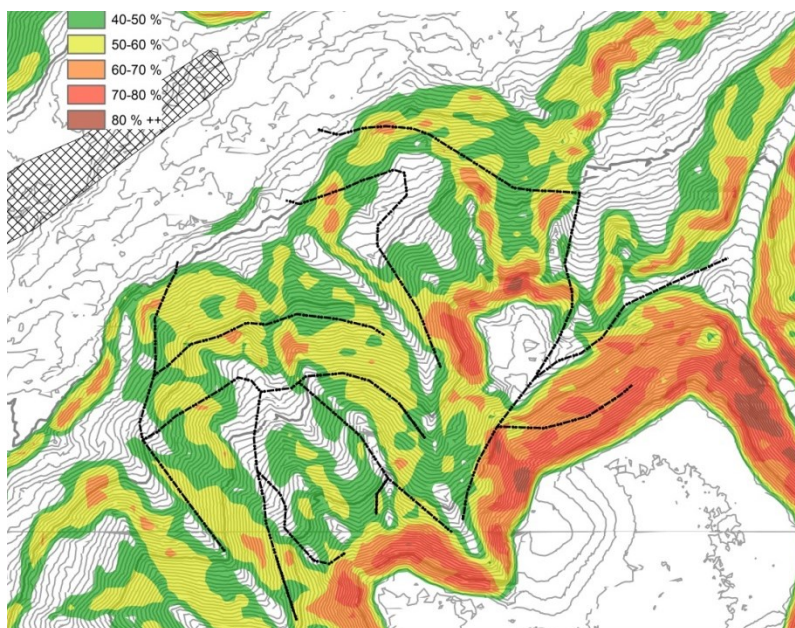
Kart 5 Driftskart med anslått driftsområde og forslag til driftsveier. Melhus. Kart: Allskog



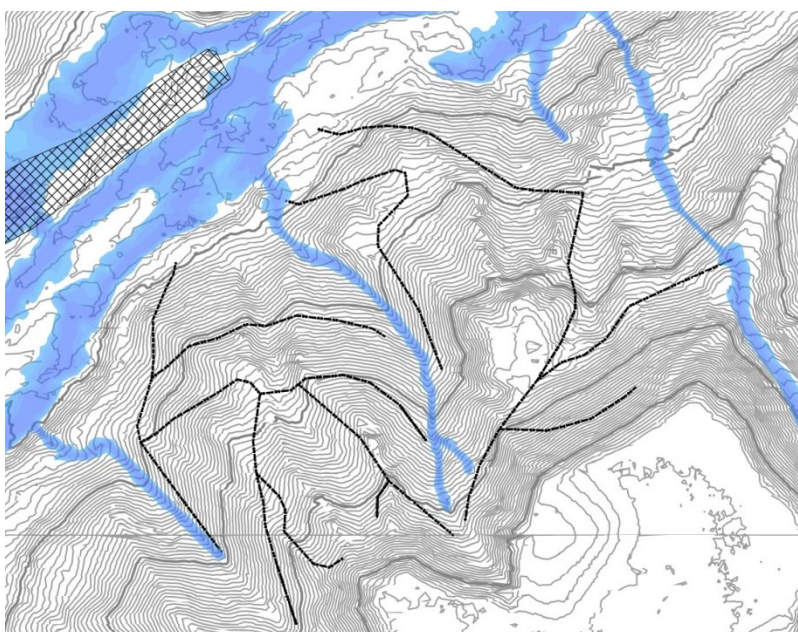
Kart 6 Oversiktskart med de gravde driftsveiene. Melhus

Ved sammenligning av disse to kartene ser man at de veiene som ble foreslått stemmer brukbart med hva det faktisk ble, men det ble gravd en god del mer enn antatt.



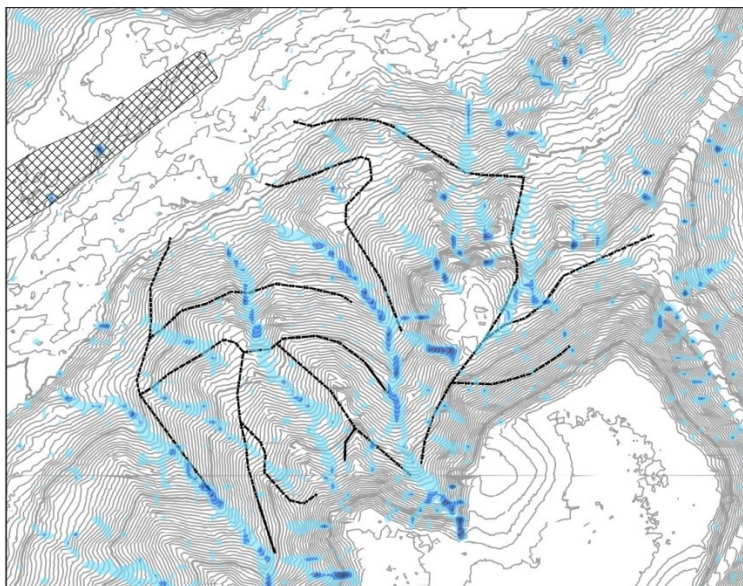


**Kart 7 Bratthetskart med veiene og tegnforklaring**

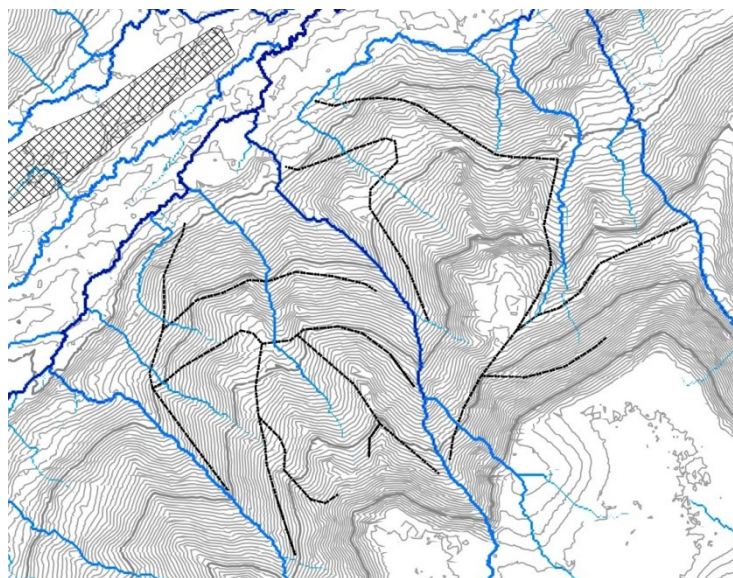


**Kart 8 WetMap. Melhus**

På kart 7 ser man at brattheten varierer mye. Og veiene er lagt unna de aller bratteste partiene med unntak av en stikkvei øverst i lia mot høyre hjørne på kartet. På kart 8 ser man hvor det blir predikert dybde til grunnvann. Det er differensiert med ulike blåfarger.



**Kart 9 Plan Curvature. Dalbunner representert med blått**

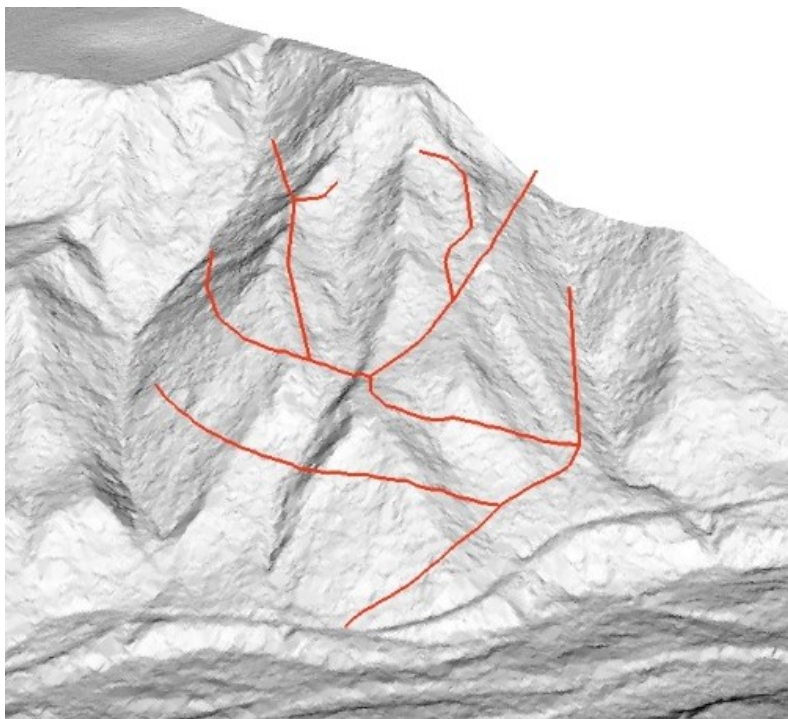


**Kart 10 Flow accumulation. Vannansamlinger representert med blått**

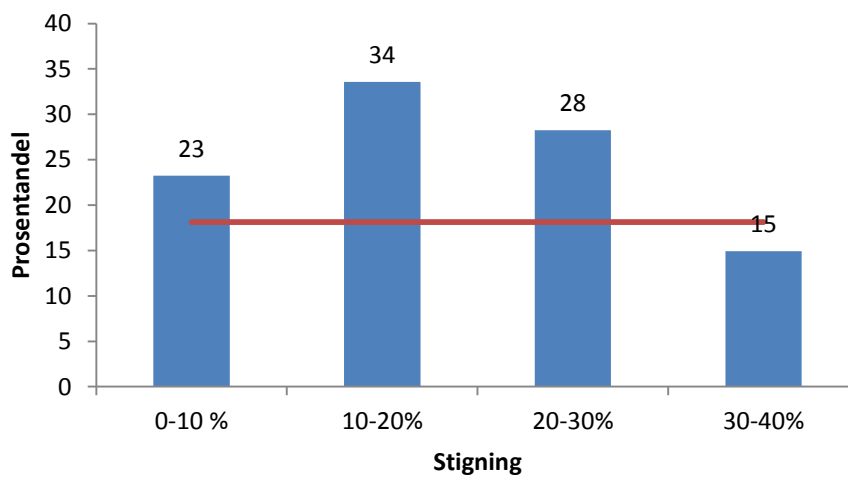
Kart 9 viser dalbunner illustrert med blått, og fargen blir mørkere jo brattere dalbunnen er. Dette er da områder som potensielt kan ha store ansamlinger vann. Kart 10 viser hvordan vannet akkumuleres nedover lia. Man finner igjen de fleste områder som på kart 9. Men her blir blåfargen mørkere jo mer vann som akkumuleres.



### 3.6 Ulike driftsveitetheter



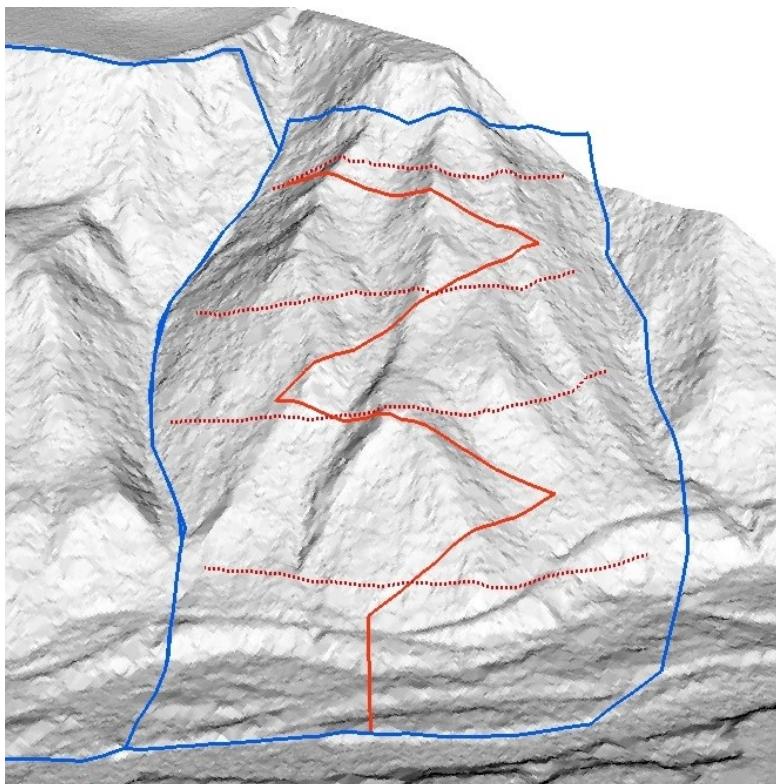
Kart 11 Det registrerte driftsveinettet på den ene drifta. Melhus



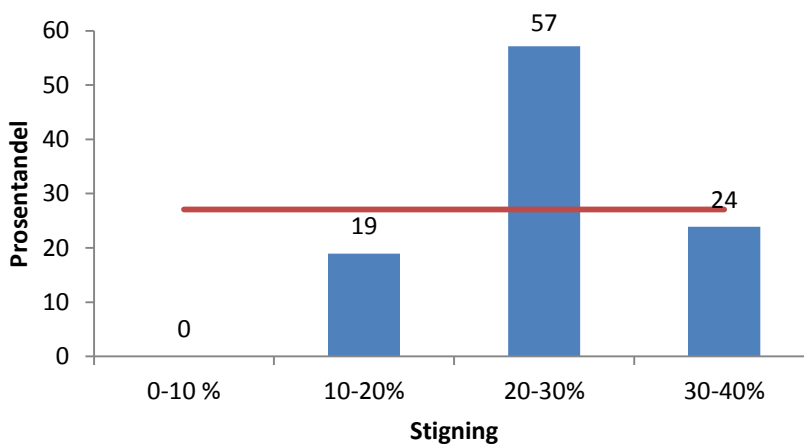
Figur 10 Prosentvis fordeling av stigning på driftsveiene fra kart 11. Rød strek er vektet gjennomsnitt

Det lengste strekket her med stigning på over 30 % var 24 meter. Det hadde stigning på 39 %.



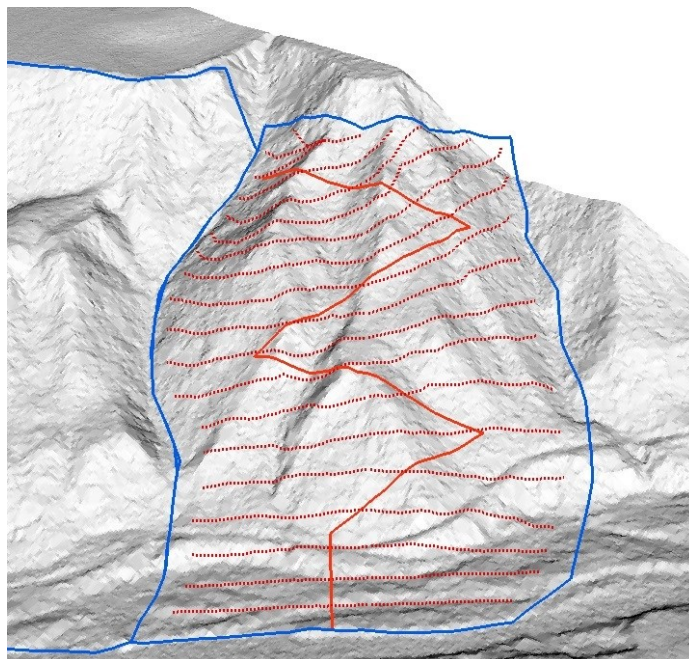


Kart 12 Skjematisk utlagte driftsveier med 60 meters avstand. Heltrukken rød linje er hovedveien og stiplet er stikkveier

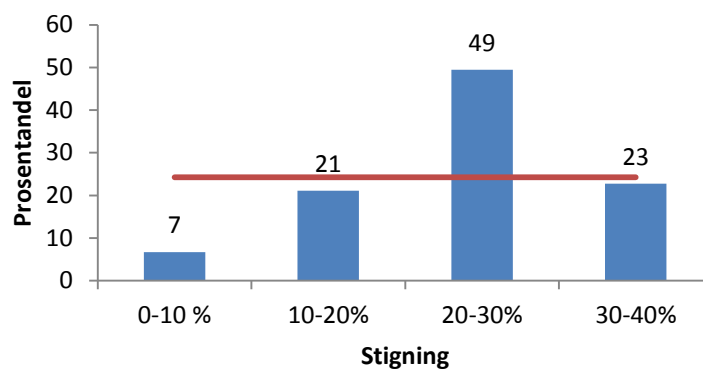


Figur 11 Prosentvis fordeling av stigningen på driftsveiene fra kart 12. Rød strek er vektet gjennomsnitt

Det lengste strekket her med stigning på over 30 % var 99 meter langt. Det hadde stigning på 35 %.



**Kart 13** Skjematisk utlagte driftsveier med 15 meters veiavstand. Heltrukken rød strek er hovedveien og stiplet er stikkveier



**Figur 12** Prosentvis fordeling av stigning på driftsveiene fra kart 13. Rød strek er vektet gjennomsnitt  
 Det lengste strekket med stigning over 30 % var 80 meter langt. Den hadde stigning på 31 %.

## 4.Diskusjon

Ekstrakostnaden ved opparbeiding av forhåndsfelte trær var i denne undersøkelsen på hele 25 kr/m<sup>3</sup> (Tabell 5), noe som var uventet høyt. Under tidsstudie av de forhåndsfelte trærne var det svært stor variasjon i hvordan trærne lå og størrelsen på trærne. Fra store trær som lå veldig vanskelig til og hvor hogstmaskinen måtte bruke mye tid for å få de klar for kvisting/aptering, til små trær som lå slik at kvistingen kunne begynne nesten med en gang (Figur 1). Dette burde bety at tallene fra tidsstudien er representative for opparbeiding av forhåndsfelt virke. Lileng (2009) tidsstuderte også opparbeiding av forhåndsfelt virke, hvor hogstmaskinen brukte 38 % av tiden til det han kalte lunneoperasjon kontra 16 % av tiden hogstmaskinen brukte på felling av stående trær. Noe som tilsier at det var en betydelig ekstrakostnad ved opparbeiding av forhåndsfelte trær.

I studieområde Melhus var det som tidligere nevnt svært gode graveforhold med tørre, svært mektige løsmasser. I tillegg til de gode graveforholdene, var det en svært erfaren sjåfør på gravemaskina. Dette resulterte i høy gravehastighet Tabell 6. For å gjøre disse tallene mer representative ble tallene fra Lileng (2009) tatt inn i beregningene (Vei 4 og 5 i Tabell 6 er fra Lileng). En av grunnene til den store forskjellen mellom de to studiene kan være terrengforholdene. Kostnaden ble da 9,8 kroner pr. meter vei, sammenlignet med 16,4 kroner pr. meter vei som den hadde blitt med bruk av Vines-metoden (Tabell 7). Noe som er en meget stor forskjell i kostnad. Beregningen av gravekostnader med Vines-metoden er riktignok teoretiske beregninger, og kunne med fordel heller blitt beregnet fra tidsstudie på begge metoder på samme drift med likt utstyr og sjåfør Den motormanuelle fellingen ble tidsstudert i to omganger, og for å øke presisjonen til prediksjonen ble tidsstudiet til Lileng (2009) på felling lagt inn i regnestykket (Studie 3 i Tabell 8). Kostnaden ble da 16 kroner pr. M<sup>3</sup>. Dette kostnadstallet forutsetter at alle trær kun felles nedover lia, som er den enkleste fellingen. Produktiviteten til en manuell feller vil variere mye med dyktigheten til arbeideren, og volumet på trærne. Dette kunne med fordel vært studert i større grad for å kunne gjøre mer presise beregninger. Men det vil alltid være forskjell på både skogforholdene, og arbeideren som feller trærne.

Tabell 12 ble den ene drifta i Melhus simulert med ulike veiavstand, og hvordan det påvirker driftsprisen. Vines og Melhus-metoden ble og sammenlignet med de ulike veiavstandene. Med de registrerte dataene fra drifta var driftsprisen 161 kroner pr m<sup>3</sup>, med samme data men med Lileng-metoden ble driftsprisen 14 kroner høyere. I samme tabell ser man at den driftsprisen som står som registrert veiavstand er betydelig lavere enn noen av de andre veiavstandsalternativene. Dette kommer av at på drifta som dataene er hentet fra så var det flere små flater oppe i lia, som gjorde at både hogstmaskin og lassbærer kjørte noe utenfor de gravde veiene. Dette gjorde at denne driftsprisen ble kunstig lav kontra de teoretiske beregnede driftsprisene. Av disse var det 20 meters avstand mellom veiene som var det rimeligste alternativet. Også her var Lileng-metoden betydelig dyrere med 15 kroner høyere total driftskostnad. Denne forskjellen i driftskostnader mellom de to metodene er godt illustrert i Figur 2.

Det ble utført følsomhetsanalyse med både den registrerte veiavstanden som utgangspunkt, og med et mer gjennomsnittlig alternativ. Med utgangspunkt i den registrerte veiavstanden (Tabell 13), var det å senke hogstmaskinkostnaden med 20 % som ga størst prosentvis endring med hele 15,4 % lavere driftskostnad som resultat. Det som økte driftskostnaden mest var å øke hogstmaskinkostnaden med 20 % som ga 8,7 % høyere driftskostnad. Etter hogstmaskinkostnad så var det skogtettheten som påvirket driftskostnaden mest, med 7,5 % høyere driftskostnad med 20 % lavere skogtetthet. Både høyere og lavere veitetthet ga høyere driftskostnad, men høyest med 20 % høyere veitetthet. Det ga 4,3 % høyere driftskostnad og 20 % lavere veitetthet ga bare 1,9 % høyere driftskostnad. Terrengforhold og fellekostnader ga begge svært små endringer i driftsprisen.

Følsomhetsanalysen for 20 meters veiavstand (Tabell 14) ga betydelig ulike resultater sammenlignet med den med utgangspunkt i den registrerte veiavstanden. Hogstmaskinkostnaden var også her den som påvirket driftskostnaden mest med 9,9 % høyere og 5,8 % lavere driftskostnader for henholdsvis 20 % høyere og 20 % lavere hogstmaskinkostnad. Skogtetthet var også her den som påvirket driftskostnaden nest mest med

4,7 % lavere og 7,6 % høyere driftskostnad for henholdsvis 20 % høyere og 20 % lavere skogtetthet. Men her påvirket terrengforholdene driftskostnadene vesentlig mer enn de gjorde i Tabell 14. 3,5 % høyere og 2,9 % lavere driftspris med 20 % høyere og lavere kontra 1,2 % høyere og 1,2 % lavere driftspris. Mens veitettheten påvirket driftsprisen i mindre grad enn den gjorde i Tabell 13.

For utgangspunkt med både den registrerte veitettheten og 20 meters veiavstand, var veitetthet den faktoren som ga nest minst utslag på følsomhetsanalysene. Kun fellekostnader ga mindre utslag. Det indikerer at ønsket om å redusere gravingen i det bratte terrenget ikke nødvendigvis betyr svært høye driftspriser. Det er naturlig nok maskinkostnadene som påvirker prisen i størst grad da de er de største kostnadene. Det vil si at så lenge hogstmaskinen og lassbæreren har høy produktivitet, vil ikke veitettheten påvirke driftskostnaden i noe stor grad.

Som man ser på driftskartet (Kart 5) sammenlignet med Kart 6 ble veiene som var planlagt i forkant av drifta stort sett fulgt, men det ble gravd betydelig mer enn hva som var planlagt. Men man ser noen av de samme veitraseene. Det er svært utfordrende å detaljplanlegge hvordan dette skal bli i forkant, og det burde være rom for forbedringer spesielt i forbindelse med fareområder for ras og erosjon. Med forskjellige terrenganalyser gjort i et GIS system, kan man kanskje avdekke potensielle fareområder hvor man må ta spesielle hensyn. Da vann er den største utfordringen med tanke på erosjon er de analysene gjort her med utgangspunkt i finne ut hvor det er vann og vanntransport før man setter i gang med gravingen.

Kart 8 er av en analyse som heter WetMap og skal avdekke hvor det går vann i grunnen. Men det virker som det her ble ganske grovt og de områdene i lia som kom fram på kartet er stort sett bekker og elver man kan se på et mer tradisjonelt kart (Her må jeg få noe mer informasjon fra deg Jan om hvordan dette ble presentert og den artikkelen du snakka om). Kart 10 er en analyse som heter flow accumulation som beregner hvordan vannet akkumuleres nedover lia med sterkere farge og tykkere streker for å markere vannet desto mer vann som akkumuleres. Sammenlignet med Kart 8 kan det se ut som det fanger opp flere nyanser og er dermed litt mer detaljert. Den tredje analysen heter plan curvature og fanger opp terrenget langs høydekurvene (Kart 9). Det vil si at man kan få fram daler og rygger i terrenget. Det kan man

gjøre ned på et svært detaljert nivå som blir lite hensiktsmessig når vi prøver å finne områder med en viss andel vanntransport. Resultatet her ble mer detaljert enn de to første analysene, kanskje i overkant detaljert. Men det bilde dette kartet danner av våte områder med mer vanntransport enn andre stemmer mye bedre overens med det jeg fikk inntrykk av selv under studiene, selv om det ikke ble gjort noe detaljert registrering av det.

Det man kan ta ut av disse kartene i praktisk informasjon er at i de blå områdene, spesielt de mørkere blå, bør man være spesielt påpasselig med og ikke lede vannet vekk med veiene. Man må sørge for at vannet renner like fritt nedover lia som det gjorde før drifta.

Beregningene av driftskostnader var veldig teoretisk og skjematisk gjort hvor det ble forutsatt at terrenget tillater graving i hele lia. Noe som ofte ikke stemmer med virkeligheten, da små stup, fjell i dagen og andre ting kan gjøre at man må jobbe med terrenget når man graver veiene. Men det er noe det ikke går an å ta høyde for når man gjør en sånn beregning, siden absolutt ingen lier er like. De alternative veiavstandene som står i Tabell 9 er maksimum til minimum med det utstyret som vanligvis brukes. Og den avstanden som står der er den faktiske avstanden i terrenget, mens avstanden på kartet blir noe mindre. Da man har horisontalavstand på kartet blir den avstanden lenger i terreng med helling. Den øker mer desto brattere terrenget er. Eksempelvis vil 20 meter i terrenget bli 18 meter på kartet med 50 % helling. Det må tas med i planleggingen av driftsveiene når det skal tegnes inn på kart.

På Kart 11 ser man veinettet som ble gravd på den ene drifta på Melhus. Veiene er tegnet inn etter GPS-sporinga som ble gjort på våren 2015. Det ble brukt samme terrengmodell som på de foregående kartene, men her framstilt i en 3D-modell for bedre å visualisere hvordan veiene lå i terrenget. Som man ser på tilhørende Figur 10 var stigningen stort sett forholdsvis liten på driftsveiene, men unntak av noen kortere strekk som var brattere. Kart 12 viser hvordan veinettet kunne ha sett ut hvis det ble tatt utgangspunkt i at man skulle ha 60 meters veiavstand. Her ble veiene lagt skjematisk ut, men forsøkt å unngå å lage de med veldig stor stigning. Som man ser på tilhørende Figur 11 har de blitt noe brattere, men fortsatt med gjennomsnitt under 30 % stigning. Til forskjell til de to foregående veinettverkene ser man på Kart 13 hvor enormt mye det må graves hvis man skal være sikker på at alt kan avvirkes

maskinelt med hogstmaskin. Her var da veiavstanden satt til 15 meter og veiene lagt ut på samme måte som på forrige kart. Hovedveien som går oppover lia er også den samme som på forrige kart. Den gjennomsnittlige stigningen er her litt lavere enn ved 60 meters veiavstand. Men her er det 17 stikkveier som går på langs med høydekurvene mot 4 som det var med 60 meters veiavstand. Det er en enorm forskjell. Det bør nevnes at dette er to ytterpunkter som viser forskjellene i hvordan et slikt terreng kan avvirkes. Det registrerte veinettverket er nærmest 60 meters veiavstand i antall meter pr. dekar. Dette skyldes delvis at som tidligere nevnt ble deler av lia hogd med hogstmaskinen da det var flere partier som var mulige å kjøre på. Som man ser på figurene for stigningsfordeling på de ulike driftsveiene (Figur 10,11 og 12) er stigningen noe høyere på de utlagte driftsveiene. Dette skyldes delvis at når stigningen er beregnet, blir de lagt over en detaljert terrengmodell som fanger opp mange små kuler og dumper. Men etter veiene er gravd er de fleste små hindringer gravd vekk og den gjennomsnittlige stigningen blir noe lavere.

Det bør nevnes at både ved drifta i Melhus og i Totenvika så var skogeieren med på drifta med landbrukstraktor og vinsj for å få tak i trær som de ikke fikk tak i med hogstmaskinen på noe vis. Dette ble ikke studert. Men det er en metode for å løse ut de ellers utilgjengelige partiene i lia som kunne vært interessant. Det kunne og vært en metode for og ytterligere øke driftsveiavstanden. Men hvis det skulle vært en del av selve drifta måtte det vært lagt opp på en annen måte for å få høyest mulig produktivitet på både vinsjinga og resten av systemet. Man kunne felt alle trær nedover lia og det hadde blitt vinsjet oppover til veiene. Dette hadde vært gunstig for den motormanuelle fellinga som bare foregår nedover, for hogstmaskina da den hadde fått tak i de forhåndsfelte trærne i rota som er mest gunstig, og for den som skal dra ut wire da det er betydelig enklere å dra tung wire nedover enn oppover lia. Dette hadde satt meget store krav til vinsjeutstyret da det er betydelig mye tyngre å vinsje et tre oppover. Etter samtaler med både maskinentreprenører og de som utførte den motormanuelle fellingen ble det klart at det begynte å bli et problem å få tak i manuell arbeidskraft til slike typer oppdrag. Dette gjaldt i områdene rundt både Totenvika og Melhus. Det er noe som kan vanskeliggjøre slike metoder betydelig.

I en viss grad blir det som tidligere nevnt brukt gravemaskiner utstyrt med hogstaggregat til sluttavvirkning i Norge. En maskin som ble studert av Wenski (2014) var en Volvo FC2121C på 25 tonn utstyrt med et Log Max 7000 XT hogstaggregat på en forlenget bom slik at man fortsatt har graveskuffen. Når maskinen skal bruke graveskuffen tilter den opp den forlengede bommen og griper seg fast til den med hogstaggregatet (Se Bilde 10). En slik type maskin kan tenkes å være svært interessant å bruke i gravedrifter da den kan gjøre jobben for 2 maskiner. Om det er, og i så fall hvor lønnsomt det er, er avhengig av om den klarer å konkurrere økonomisk med en tradisjonell hogstmaskin. Det er også grunn til å tro at en så stor gravemaskin kan håndtere store, forhåndsfelte trær lettere og raskere enn en hogstmaskin, da gravemaskinen i større grad er konstruert for slike tunge operasjoner. Dette gjør det til et system som hadde vært meget interessant å se på. En eventuell utfordring med et slikt system er om gravemaskinen klarer å opparbeide nok tømmer til at lassbæreren ikke får ekstra ventetid. Da gravingen vil gå på bekostning av  $m^3$  tømmer opparbeidet i timen. Men selv om denne maskinen skulle vise seg å være godt egnet for gravedrifter, så blir det en spesialmaskin som det kan være utfordrende å få nok arbeid på for at det skal lønne seg. Da det er liten grunn til å tro at den kan konkurrere med en hjulgående hogstmaskin i tradisjonell sluttavvirkning, siden hogstmaskina er spesielt konstruert for oppgaven. En mulighet man har med en slik gravemaskin er å sette den i vanlig gravearbeid under perioder med lite arbeid. Det opererer en lignende gravemaskin på Vestlandet som brukes i det bratte terrenget der. Den har et hurtigskiftesystem slik at den raskt bytter mellom graveskuffe og hogstaggregat (At.no)



**Bilde 10 Volvo FC2121C med LogMax hogstaggregat. Bildet er hentet fra mascus.no.**





**Bilde 11 Øverste bilde er tatt på høsten 2014 rett etter endt drift. De to nederste er av samme vei og sving men tatt våren 2015. Foto øverst: Sverre Husby., Foto nederst Jan Bjerketvedt**





**Bilde 12 Øverste bilde er tatt rett etter endt drift høsten 2014. Nederste er av samme skjæring tatt våren 2015. Foto øverst: Sverre Husby., Foto nederst: Jan Bjerketvedt**

Som man ser på

Bilde 11 og Bilde 12 har det skjedd betydelige utglidninger i skjæringene etter 6 måneder. Hvorav det meste av tiden var vinter og snødekt med liten erosjonsaktivitet. Det var ikke enorme snømengder i løpet av vinteren som førte til store vannmasser under snøsmeltingen på våren. Den erosjonen som har skjedd har vært lite påvirket av store nedbørsmengder og forhold som øker skredfare. Men det hadde ikke vært gjort noen utbedringer av kjøreskader da disse bildene ble tatt. Og det er grunn til å tro at ved en utbedring vil store deler av det vannet som på det tidspunktet rant i kjøresporene vil bli ledet dit der naturlig renner. Disse veiene er midlertidige driftsveier som da ikke blir lagd med tanke på at de skal vare særlig lenge, og det er derfor naturlig at de kollapser. Som man ser på Bilde 12 var skjæringen så godt som loddrett og svært høy. I det området der som var øverst i lia var det en del sand og finkornet grus. Ellers var det svært mektig leire stort sett over hele feltet. I så godt som alle skjæringene av leire var det en viss grad av erosjon. Og flere steder store utglidninger som man ser på

Bilde 11, og da spesielt der det var vanntransport i massene og i hjulsporene. Siden skjæringene var så bratte er det ikke til å unngå at man får en del utglidning før massene stabiliserer seg igjen.

Som en sammenligning til hva vi registrerte på våren 2015 av erosjon og vannproblematikk i forhold til de terrenganalysene som er tidligere nevnt, var det en noe som ikke ble fanget opp på disse analysene. Det vi så var flere tilfeller av betydelig vanntransport i løsmassene i ryggene som gikk nedover lia, som man ser man tydelig i Bilde 13. Dette kan tyde på at kunnskap om grunnforhold og lokale forhold er viktig for tolkning av terrenganalysene.



**Bilde 13** Vanntransport i ryggene. Foto: Jan Bjerketvedt

Veiavstand ser ikke ut her til å påvirke driftskostnaden så mye som man kanskje skulle tro. Siden gravingen ved en såpass stor drift som er brukt i beregningene her er blir forholdsvis rimelig uansett graveforhold, påvirker ikke gravemengden driftsprisen i så stor grad. Men det varierer veldig med skogforholdene. Da man ser at ved vanskelige graveforhold og lav skogtetthet blir den optimale veiavstanden betydelig større (Figur 7, Figur 8 og Figur 9). Mens ved høy skogtetthet og enklere graveforhold blir optimale veiavstanden lavere, noe kan skyldes flere ting. For det første blir det flere m<sup>3</sup> tømmer å fordele kostnadene på ved høyere skogtetthet, og for det andre så er det tatt utgangspunkt i likt areal på alle beregningene. Det vil si at det totale volumet tømmer hogd er mye høyere ved høy tetthet, som igjen gjør at de faste kostnadene ved en tømmerdrift blir fordelt på mange flere m<sup>3</sup> tømmer. Den trenden man ser på de tre figurene er at ved enkle forhold og høy tetthet, er det billigst å grave mye. Men når forholdene blir vanskeligere og tettheten lavere, så blir gradvis forskjellene mindre og når forholdene er vanskelige nok, blir det mer økonomisk gunstig å grave lite å felle store deler av arealet manuelt. Det er et viktig poeng, da denne driftsmetoden ofte blir beskrevet med en veiavstand på ca. 20 meter. Og dette nødvendigvis ikke er det rimeligste alternativet under alle forhold. Men driftskostnadene varierte med rundt 100 kroner fra det rimeligste til det dyreste. Hvor det rimeligste alternativet er under så gode forhold at det knapt kan forventes at det er reelt. Men de dårligste forholdene er mer enn rimelige. Og da er vi oppe i en driftspris på 220-230 kroner pr. m<sup>3</sup>, som ikke er langt unna driftsprisen på ei taubanedrift. Derfor er nok ikke gravedrift den beste løsningen over alt, selv om det er mulig å gjennomføre det. Spesielt hvis man forutsetter tilskudd til taubanedrift, som da gjør at skogeier sitter igjen med mer penger etter en taubanedrift, kontra en gravedrift under gitte omstendigheter. Et interessant forslag for å stimulere til økt driftsveiavstand ved gravedrifter er tilskudd til manuell felling. Det vil si at gravedriften ikke får direkte tilskudd, men kostnaden for den motormanuelle felling blir så liten at driftsveiavstanden kan økes betraktelig uten at det påvirker driftskostnaden i særlig stor grad. For å prøve å beregne effekten av et sånt tilskudd, ble det lagd en tabell på samme måte som Tabell 12 hvor tallene fra drifta på Melhus var utgangspunktet, men kostnaden ved den motormanuelle felling ble regnet som null i beregningen.



**Tabell 15 Simulering av ulike veivstand med og uten fellekostnader.**

<b>Veivstand</b> <b>m</b>	<b>Melhus-metoden</b> <b>kr/m<sup>3</sup></b>	<b>Uten fellekostnad</b> <b>kr/m<sup>3</sup></b>
Melhus	161	152
15	167	161
20	164	158
30	169	160
40	169	158
50	174	159
60	177	159

Som man ser i tabellen over blir driftskostnadene svært like ved de forskjellige veivstandene. Hvor bare 3 kroner pr. m<sup>3</sup> skiller det dyreste alternativet fra det billigste. Grunnen til at forskjellene blir så små er at den økte kostnaden ved mer opparbeiding med forhåndsfelt virke desto større veivstand man har, kompenseres med en lavere kostnad på gravingen siden det blir mindre av den. Dette kan bety at ved et eventuelt tilskudd til motormanuell felling kan man redusere gravingen i meget stor grad uten å øke driftsprisen av betydning. Vurdering av et eventuelt slikt tilskudd er en politisk sak og det kan derfor ikke forutsettes. Men det ser ut som det kan ha en svært interessant virkning da man kan redusere gravingen i stor grad og fortsatt beholde god økonomi for skogeier.

## **5. Konklusjon**

Med god planlegging før oppstart av drift ser det ut som det går an å øke driftsveivstanden uten at driftskostnadene øker veldig mye. Men det er avhengig av skog og terrengforholdene. En betydelig utfordring med å redusere graving og dermed øke den motormanuelle fellinga er manuell arbeidskraft, da dette kan virke til å være mangelvare. Ut i fra de terrengeanalysene som ble gjort kan det se ut som de stemmer bra overens med det som ble registrert i felt. Og derfor vil det kan brukes under planleggingsfasen av ei gravedrift. Men det er avhengig av en god vurdering av resultatene da grunnforholdene og lokale klimatiske forhold vil spille en stor rolle for hvordan det skal tolkes.

Det bør gjøres flere studier på operasjonene som er typiske for gravedrifter. Da for motormanuell felling hvor man differensierer på om det felles oppover eller nedover, på graving i terreng med ulike vanskelighetsgrad, og på opparbeiding av forhåndsfelt virke med hogstmaskin hvor man og kan differensiere på om maskinen må dra virket opp eller ned til seg. Siden det er en entreprenør som benytter gravemaskin med hogstaggregat i bratt terreng bør dette systemet undersøkes nærmere for å se om det kan være mer aktuelt enn hjulgående hogstmaskiner til gravedrifter. Mangel på manuell arbeidskraft til fellingen nevnes som et potensielt problem og bør derfor undersøkes siden det her legges opp til vesentlig mer motormanuell felling som følge av den reduserte gravingen.

## 6. Referanser

at.no. Tilgjengelig fra:

<http://www.at.no/index.php/anlegg/item/799-doosan-graver-rustet-for-hogst> (Lest 15 april 2015)

DSB.Tilgjengelig fra:

[http://fido.nrk.no/47a26131ca6e0114942c59e5317c6567e42a7011e2f8b5b7d295ec72e596629f/Flomevaluering\\_2013.pdf](http://fido.nrk.no/47a26131ca6e0114942c59e5317c6567e42a7011e2f8b5b7d295ec72e596629f/Flomevaluering_2013.pdf) . (Lest 16.april 2015)

Forstteknik.at. Tilgjengelig fra:

<http://en.forstteknik.at/system-klemmbank/> (Lest 5 mai 2015)

Ghaffariyan, M. R., Stampfer, K. & Sessions, J., (2010). Optimal road spacing of cable yarding using a tower yarder in Southern Austria. *European journal of forest research*, 129(3).

Granhus, A., Hysten, G., Ørnelund Nilsen, 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 sider.

Holmli, H. S. (2013). Produksjonsanalyse av Mouny-kabelkran. Bacheloroppgave. Evenstad, Høgskolen i Hedmark. 51 s.

Johnsrud, T.-E. (2007). Skogsdrift i bratt terreng - en veileder i planlegging. Biri: Skogbrukets kursinstitutt.

Kyllo, N.O. (2011). Ny Highlander med boggi. *Norsk Skogbruk* 57(10): 91-92.

Larsson, J. Y., & Hysten, G. (2007). Statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge registrert i perioden 2000-2004. Norsk institutt for skog og landskap.

Lileng, J. (2009). Avvirkning med hjulgående maskiner i bratt terreng. Ås: Norsk institutt for skog og landskap.

Mascus.no. Tilgjengelig fra:

30.04.15.<http://www.mascus.no/skogsmaskiner/brukt-skogs-gravemaskin/volvo-ec-210-forestry/rpoqeqrp.html> (Lest 30 april 2015)

McDonald, T. P., & Seixas, F.(1997). Effect of slash on forwarder soil compaction. *Journal of forest engineering*, 8(2), 15-26.

Menzimuck.com. Tilgjengelig fra:

<http://www.menzimuck.com/en/produktegruppe/forst/anwendung.html> (Lest 30 april 2015)

Nitteberg, M., Lileng, J. (2004): Mekanisert hogst i bratt terreng. Rapport fra skogforskningen 8/04:1-23

Nrk.no. Tilgjengelig fra:

<http://www.nrk.no/norge/kritisk-til-skogsveisatsning-1.11642485> (Lest 22 februar 2015)

Skogoglandskap.no. Tilgjengelig fra:

30.04.15.[http://www.skogoglandskap.no/kalkulator/utkjoeringskalkulator/utkjoeringskalkulator/ny\\_utkjoerings\\_kalkulator?calculator\\_mode=True](http://www.skogoglandskap.no/kalkulator/utkjoeringskalkulator/utkjoeringskalkulator/ny_utkjoerings_kalkulator?calculator_mode=True) (Lest 4 april 2015)

Ssb.no. Tilgjengelig fra :

[www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?subjectcode=&ProductId=&MainTable=AvvirkSalg13&nvl=&PLanguage=0&nyTmpVar=true&CMSSubjectArea=jord-skog-jakt-og-fiskeri&KortNavnWeb=skogav&StatVariant=&checked=true](http://www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?subjectcode=&ProductId=&MainTable=AvvirkSalg13&nvl=&PLanguage=0&nyTmpVar=true&CMSSubjectArea=jord-skog-jakt-og-fiskeri&KortNavnWeb=skogav&StatVariant=&checked=true) (Lest 1 Mai 2015)

Talbot, B. (2013). Forprosjekt, evaluering av gravedrifter. Rapport fra skog og landskap

Vennesland B, Hohle AE, Kjøstelsen L, Gobakken LR (2013) Prosjektrapport Klimatre. Energiforbruk og kostnader - skog og bioenergi. (Project report Klimatre. Energy use and costs—forest and bioenergy.) Norwegian Forest and Landscape Institute report 14/13

Wade, C. R., Aust, W. M., Bolding, M. C., & Lakel III, W. A. (2012). Best management practices for erosion control from bladed skid trails. Notes.

Wenski, T. O. (2014): Avvirkning utført med beltegående gravemaskiner : en analyse av produktivitet og lønnsomhet. Master thesis. Norwegian University of Life Sciences, Ås.

Ågren, A. M., Lidberg, W., Strömgren, M., Ogilvie, J., & Arp, P. A. (2014). Evaluating digital terrain indices for soil wetness mapping—a Swedish case study. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(9), 3623-3634.



## 7. Vedlegg

### 1

## Prosjekt «Gravedrift»

### Retningslinjer 12.09.14

#### Fra «Aktivitet 4. Retningslinjer og Rapportering.»:

Retningslinjer utarbeides med henblikk på å levere både kvantitative og kvalitative forklarende veiledninger på punkter som: valg av driftssystem (taubane eller gravedrift)- hva er de vesentligste argumenter, hensyn og forhold som skal legges til grunn for beslutningen, planlegging av innleggelse og riktig konstruksjon for optimalt driftsvegnett, graving, forstyrrelse av vannforhold, og erosjon under driften, arbeidsmønster og -hensyn som reduserer påvirkningen, de-aktivering av driftsvegene (hvilke tiltak er mest effektive – f.eks. tilbakelegging av løsmateriale og GROT?) og reetablering av naturforholdene (hva kan gjøres for å fremme en fort tilbakekomst til mere naturlig tilstand?).

#### Innledende redigeringskommentarer:

De-aktivering: i prosjektdokumentene er det benyttet de-aktivering og gjengravning som betegnelse på å legge tilbake veimassene etter avsluttet drift. I høringsutkast til ny landbruksveiforskrift (se vedlegg 4) brukes «tilbakeføring» om samme tiltak. Siden LMD er høyere opp i næringskjeden har jeg valgt å følge deres eksempel i dette dokumentet.....

#### Definisjoner:

##### Permanente veier:

Dette omfatter primært Veiklasse 7 (Traktorvei) og Veiklasse 8 (Enkel traktorvei). Disse planlegges og bygges i henhold til tekniske og geometriske krav i gjeldende Veinormal. Enkelte «adkomstveier» i forbindelse med gravedrifter kan komme i denne kategorien.

Den nye forskriften åpner for landbruksveier som ikke oppfyller kravene i Veinormalen. Dette kan blant annet gjelde driftsveier som bygges i forbindelse med gravedrifter og som det av ulike årsaker er ønskelig å beholde til framtidig bruk. Disse veiene må ikke benytte kvister, topper og stubber i veikroppen eller bruke høystubber som forankring av veilegemet.

##### Midlertidige driftsveier:

Dette er driftsveier som ikke skal benyttes etter driften. Avhengig av forholdene bør de tilplantes eller tilbakeføres.

**Retningslinjene er primært rettet mot midlertidige driftsveier, men er også gjeldende for permanente veier.**

### Forslag til retningslinjer pr 09.09.2014:

	Beskrivelse	Ansvar
<b>FØR DRIFT</b>		
Generell informasjon	<p>Innhenting av info (lokalkunnskap samt registreringer i Kilden/ Gårdskart):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Skoglige data (skogbruksplan)</li> <li>• Vann</li> </ul> <p>Sjekk med skogeier – lokalkunnskap om fuktighetsforhold, overflatevann ol.</p> <p>Annet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• HMS</li> <li>• Miljø og kulturminner</li> <li>• Driftsøkonomi</li> </ul>	Skogbruksleder
Terreng-data	<p>Visuell vurdering:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sjekk topografisk kart og flyfoto for «renner» eller ravine-pregete formasjoner</li> </ul> <p>Nettbasert informasjon:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geologi/jordtype/jordsmonn Det må være løsmasser av tilfredsstillende kvalitet og mengde innenfor området for at gravedrifter skal være aktuelt. Sjekk type og dels tykkelse av løsmasser på løsmassekart (se Kilden eller NGU <a href="http://www.ngu.no/kart/losmasse/kvartærgeologisk_kart">http://www.ngu.no/kart/losmasse/kvartærgeologisk kart</a>). Brattere enn 45 grader – sannsynlig med fjell</li> <li>• Skred-informasjon Sjekk <a href="http://Skredatlas.nve.no">http://Skredatlas.nve.no</a> for informasjon om ulike skredtyper (Snø, Jord og flom, Stein og Kvikkleire) med tilhørende registreringer av Faresone- og Aktsomhetsområder, samt Skredhendelser.</li> <li>• Bratthet Sjekk <a href="http://skredkart.ngi.no/">http://skredkart.ngi.no/</a> for bratthetssoner fra 20 grader (35 %). I Skredatlas finnes bratthet fra 27 grader (51 %).</li> </ul>	<p>Skogbruksleder</p> <p>Eventuelt involvere ekspertise fra NGI under planlegging</p>
Beslutning om drift	<p>Vurder risiko (sannsynlighet og konsekvens) for ras/erosjon.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bebyggelse og annen infrastruktur nedenfor driftsområde</li> <li>• Nedbørsfelt ovenfor driftsområde (lengde av</li> </ul>	Skogbruksleder

	<p>dreneringsfelt, oppstrøms areal)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vurder «gravedrift» kontra taubane (evnt ikke drift)</li> </ul>	
Planlegging	<p>Under planleggingen er målet å optimalisere driftsvegnettet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lange sammenhengende strekninger med stor stigning må unngås.</li> <li>• Sørg for kort avstand mellom dreneringspunkt (se tabell i Veinormalene for stigning/avstand for bruk av overflaterenner i Vedlegg 1)</li> <li>• Unngå å lede vann til nye plasser. Oppretthold naturlige vannløp med lavbrekk på driftsveiene</li> <li>• Forgreininger i driftsveinettet er kritiske punkt</li> <li>• Vurder bruk av manuell felling i forhold til terreng, maskintype og bestokning</li> <li>• Vurder estetiske/visuelle hensyn i områder med mye ferdsel/innsyn</li> </ul>	Skogbruksleder/ entreprenør
Søknad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utarbeid kartskisse med forslag til veiløsning i henhold til krav i Landbruksveiforskriften</li> <li>• Bistå med nødvendige tallmateriale for å beregne økonomisk nytte av tiltaket</li> <li>• Vurder nødvendige tiltak i forbindelse med vedtak på søknad</li> </ul>	Skogbruksleder/ entreprenør
<b>UNDER DRIFT</b>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruk hogstavfall aktivt til å forsterke midlertidige driftsveier, dette gjelder både på overflaten og i veikroppen.</li> <li>• Bruk hogstavfall som filtrerende og hastighetsdempende tiltak på rennende vann (erosjon)</li> <li>• Oppretthold lavbrekk (dreneringspunkt) på driftsveiene.</li> <li>• Reparer kjørespor som kan forstyrre vanntransporten.</li> <li>• Vurder bruk av åpen steinrenne eller «stokk-stikkrenne» der vann krysser vei og bruk av tømmer og kvist for å styre vann.</li> <li>• Forgreininger i driftsveinettet er kritiske punkt</li> <li>• Permanente veier må ikke benytte kvister, topper og stubber i veikroppen eller bruke høystubber som forankring av veilegemet.</li> <li>• Gjennomfør jevnlig inspeksjoner av veinettet, spesielt ved avslutning av dagens arbeid samt helg/ferie.</li> </ul>	Skogbruksleder/ entreprenør

ETTER DRIFT		
Etterarbeid	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opprinnelige/naturlige vannløp må opprettholdes</li> <li>• Kjørespor slettes så raskt som mulig etter gjennomført drift for å redusere potensielle erosjonsløp</li> </ul>	Entreprenør
Tilbakeføring	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tilbakeføring (gjengraving) av midlertidige driftsveier må vurderes for skjæringer over 2 m høyde, bratte og erosjonsutsatte strekninger.</li> <li>• Skjæringstopp og ytre skulder/fyllingskant legges mot innerkant driftsvei.</li> <li>• Bruk hogstavfall både i og oppe på massene som armering.</li> </ul>	Skogbruks- leder/ entreprenør
Tilplanting	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ved planting bør også midlertidige driftsveier tilplantes</li> </ul>	Skogbruks- leder

Jan Bjerketvedt  
Skog og landskap

## Vedlegg 2

### Oversikt over tabeller, figurer, kart og bilder

Tabell 1 Deskriptiv terrengklassifisering, Melhus. Klasseinndeling fra Tabell 4.....	13
Tabell 2 Deskriptiv Terrengklassifisering Totenvika. Klasseinndeling fra Tabell 4 .....	14
Tabell 3 Deskriptiv terrengklassifisering Skreia. Klasseinndeling fra Tabell 4.....	14
Tabell 4 Skjema for deskriptiv terrengklassifisering (Johnsrud 2007).....	22
Tabell 5 Opparbeiding av forhåndsfelt og stående virke .....	24
Tabell 6 Tidsforbruk og kostnad ved graving med Melhus-metoden .....	26
Tabell 7 Tidsforbruk og kostnad ved graving med Vines-metoden.....	26
Tabell 8 Produktivitet og kostnad ved motormanuell felling.....	26
Tabell 9 Tabell for beregning av driftskostnader. Inkludert de ulike faktorene for de ulike variablene ....	27
Tabell 10 Utfylt tabell med tall fra Melhus-drifta .....	28
Tabell 11 Kostnadsberegning med total driftspris utfylt med tall fra Melhus-drifta .....	28
Tabell 12 Ulike driftspriser basert på ulike veiavstander.....	29
Tabell 13 Kostnad og prosentvis endringer for de ulike variablene. 20 % endring positivt og negativt. Tallene er basert på Melhus-drifta.....	30
Tabell 14 Kostnad og prosentvis endringer for de ulike variablene. 20 % endring positivt og negativt. Tallene er basert på 20 meters veiavstand og litt vanskeligere terrengforhold.....	32
Tabell 15 Simulering av ulik veiavstand med og uten fellekostnader.....	52
Figur 1 Gjennomsnittlig tidsforbruk ved operasjonen før aptering. Minimum og maksimumsverdi er lagt inn som feilfelt.....	25
Figur 2 Sammenligning av Vines og Melhus-metoden. Rød er Melhus-metoden, og blå Vines-metoden. Registrert veiavstand var ca. 40 meter regnet ut i fra veitettheten. ....	29
Figur 3 Prosentvis endringer for de ulike variablene. 20 % <b>økning</b> og reduksjon. Tallene er basert på Melhus-drifta.....	31
Figur 4 Kostnadsendringer for de ulike variablene. 20 % <b>økning</b> og reduksjon. Tallene er basert på Melhus-drifta. X-aksen krysser ved opprinnelig kostnad på 161 .....	31
Figur 5 Prosentvis endringer for de ulike variablene. 20 % <b>økning</b> og reduksjon. Tallene er basert på Tabell 14 .....	33
Figur 6 Kostnadsendringer for de ulike variablene. 20 % <b>økning</b> og reduksjon. Tallene er basert på Tabell 14. X-aksen krysser ved opprinnelig kostnad 172 kr.....	33
Figur 7 Ulike driftskostnader ved bra graveforhold. Ulike veiavstander og skogtettheter.....	34
Figur 8 Ulike driftskostnader ved vanskelige graveforhold. Ulike veiavstander og skogtettheter .....	34
Figur 9 Ulike driftskostnader ved meget vanskelige graveforhold. Ulike veiavstander og ulike skogtettheter.....	35
Figur 10 Prosentvis fordeling av stigning på driftsveiene fra kart 11. Rød strek er vektet gjennomsnitt..	39
Figur 11 Prosentvis fordeling av stigningen på driftsveiene fra kart 12. Rød strek er vektet gjennomsnitt40	
Figur 12 Prosentvis fordeling av stigning på driftsveiene fra kart 13. Rød strek er vektet gjennomsnitt...	41

Kart 1 Studieområdet plassering i Melhus.....	12
Kart 2 Oversikt over studieområdets plassering .....	12
Kart 3 Studieområdenes plassering i Østre-Toten .....	13
Kart 4 Oversikt over studieområdenes plassering .....	13
Kart 5 Driftskart med anslått driftsområde og forslag til driftsveier. Melhus. Kart: Allskog .....	36
Kart 6 Oversiktskart med de gravde driftsveiene. Melhus.....	36
Kart 7 Bratthetskart med veiene og tegnforklaring .....	37
Kart 8 WetMap. Melhus .....	37
Kart 9 Plan Curvature. Dalbunner representert med blått .....	38
Kart 10 Flow accumulation. Vannansamlinger representert med blått.....	38
Kart 11 Det registrerte driftsveinettet på den ene drifta. Melhus.....	39
Kart 12 Skjematisk utlagte driftsveier med 60 meters avstand. Heltrukken rød linje er hovedveien og stiplet er stikkveier .....	40
Kart 13 Skjematisk utlagte driftsveier med 15 meters veiavstand. Heltrukken rød strek er hovedveien og stiplet er stikkveier .....	41

Bilde 1 T. Frivik taubanedrift avvirker svært bratt terreng med en Mouny 4000 kran, i Meldal, Sør-Trøndelag. Foto: Sverre Husby .....	6
Bilde 2 Menzi Muck i arbeid. Foto: Nitteberg og Lileng 2004 .....	7
Bilde 3 Highlander 6WD opparbeider og transporterer virke. Foto: Forsttechnik.at.....	8
Bilde 4 John Deere 1270 opparbeider forhåndsfelt virke i Melhus. Foto: Sverre Husby.....	14
Bilde 5 Komatsu 931.1 opparbeider forhåndsfelt virke i Totenvika. Foto: Sverre Husby .....	15
Bilde 6 John Deere 1510E på tur over elva med fullt lass i Melhus. Foto: Sverre Husby.....	16
Bilde 7 Caterpillar 314C graver forhåndsfelte driftsveier i bratta i Melhus. Foto: Sverre Husby .....	17
Bilde 8 Illustrasjon av 40 meters driftsveiavstand .....	19
Bilde 9 Illustrasjon av 60 meters driftsveiavstand .....	20
Bilde 10 Volvo FC2121C med LogMax hogstaggat. Bildet er hentet fra mascus.no. ....	47
Bilde 11 Øverste bilde er tatt på høsten 2014 rett etter endt drift. De to nederste er av samme vei og sving men tatt våren 2015. Foto øverst: Sverre Husby., Foto nederst Jan Bjerketvedt .....	48
Bilde 12 Øverste bilde er tatt rett etter endt drift høsten 2014. Nederste er av samme skjæring tatt våren 2015. Foto øverst: Sverre Husby., Foto nederst: Jan Bjerketvedt.....	49
Bilde 13 Vanntransport i ryggene. Foto: Jan Bjerketvedt .....	50





Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

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