



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016

30 stp Institutt for Naturforvaltning (INA)

Evaluering av fuktighetskart som hjelpemiddel for å redusere kjøreskader ved mekanisert hogst

Evaluation of wet-area maps to reduce rutting in mechanized forest
harvesting

Bernt Bjørnstad
Skogfag

Forord

Siden jeg var 4-5 år gammel har skog, friluft, jakt og fiske alltid vært en stor lidenskap. Små og store elementer i naturen som lever i symbiose og skaper ressurser, både rekreasjonsmessig, miljømessig og økonomisk har alltid interessert meg, og gjorde valg av studieretning veldig enkelt. Gjennom hele oppveksten min har jeg hatt en person som har betydd ekstra mye for meg, og som i tillegg til å være utdannet "forstkandidat" fra datidens NLH (Norges Landbruks Høgskole), var lidenskapelig opptatt av skog og utmark. Jeg tilbrakte mye tid med Morfar i tømmer skogen, på fisketur og på jakt, og sitter derfor her i dag og skal avslutte min mastergrad i skogfag ved NMBU. Fra oppveksten har jeg arvet en genuin interesse av skog og utmarksforvaltning, og jeg er utrolig takknemlig for å ha fått så mye inspirasjon, praktisk læring og gode opplevelser opp gjennom årene.

Tusen takk til førsteamanuensis Jan Bjerketvedt v. INA for å ha vært behagelig å samarbeide med, GIS-teknisk sterk og faglig stødig. Det har vært til stor hjelp.

Takk til Mjøsen Skog SA for tilgang til datamateriale til masteroppgaven, og ikke minst praktisk erfaring i form av sommerjobber og andre engasjement. Dette har vært en viktig del av utdannelsen min. Jeg vil også takke Svein Dypsund, avdelingsleder for strategisk planlegging i Viken Skog for kontaktinformasjon og lærerike betraktninger rundt bruken av fuktighetskart. Knut Waaler, skogbruksleder i Aurskog-Høland og Rømskog og de ansatte i «Brødrene Haneborg AS» ga meg mye nyttig praktisk informasjon, fine diskusjoner, artige historier og god kaffe på hver vår furustubbe i Aurskog Hølands dype skoger. Takk til dere.

Mannskoret Over Rævne har fulgt meg gjennom mine 5 år på NMBU, uten alle sosiale begivenheter i forbindelse med foreningslivet på Ås, hadde ikke studietiden vært den samme. Til slutt vil jeg takke mine fem samboere på Løa 213-218 for god støtte i et halvår da tømmerhogst, avløsertimer og sosiale sammenkomster har måttet vike for timer på datasalen. Med dette håper jeg du får en fin opplevelse med å lese denne studien.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, Norge, 13. Mai 2015

Bernt Bjørnstad

” Skogen synger med furu og tall
en sang så kjær.
Århundrer rinner og står for fall,
men sangen er like nær.
Stortrær styrtet, men nye vaks
og lognet for vind og vær.
Skogen synger.”

Utdrag fra “Skogen synger” av Hans Børli (1918-1989).

Sammendrag

Kjøreskader i skogbunnen som et resultat av dagens konvensjonelle skogbruk, hvor hogst utføres med hogstmaskin og framkjøring av tømmer til velteplass foregår med lassbærer, er et kjent problem både miljømessig og økonomisk i skogbruket i Norge i dag. Bedre driftsplanlegging er et tiltak som kan redusere omfanget av kjøreskader. Denne studien presenterer et digitalt verktøy som kalles DTW (Depth To Water). Det er et verktøy i GiS som beskriver bakkens dybde ned til et beregnet vannspeil. Verktøyet er utviklet ved The University of New Brunswick og blir brukt i stor grad i Sverige i dag. I Norge blir det brukt hos enkelte skogbruksplanleggere og entreprenører, men i liten grad. Et overordnet mål med studien er å få skogbruksplanleggere og entreprenører til å åpne øynene, og se mulighetene som ligger i kartlaget i form av verdifull informasjon.

Selve studien har en kartteknisk del, der 9 skogsdrifter med registrerte kjøreskader blir analysert i detalj og tolket ved hjelp av variablene; bratthet, løsmasstype, vannmetning, nedbør før drift, nedbør under drift, driftsstørrelse og DTW. Hvert punkt på 5 x 5 m har fått en verdi for hver variabel, noe som har gjort det mulig å gjøre statistiske analyser på hver kjøreskade. Formålet med studien er å fremstille hvilken av disse variablene som er best til å forklare en kjøreskade, samt å se hvilken av variablene som best kan forklare DTW. En lineær regresjonsanalyse i R-Commander for samtlige drifter viste at nedbør under drift og vannmetning er de to variablene som best harmonerer med økende DTW for en kjøreskade. Det er også utført et lite intervju med skogbruksleder og entreprenør som konsekvent benytter seg av fuktighetskart i sin daglige drift. De praktiske betraktningene fra intervjuet er kun subjektive meninger fra personer som bruker det for et gitt område, det gir ikke resultater det trekkes konklusjoner fra, men det fører frem gode momenter og meninger rundt bruken av fuktighetskart. Det brukes aktivt i driftsplanlegging og gjør det enklere for skogbruksleder å se hvilke områder som egner seg for avvirkning de tørreste delene av året, og hvilke som kan tas når det er fuktig. Fuktighetskart i digital planlegging er tidsbesparende for skogbruksleder, og for entreprenør, i tillegg til at kjøreskadene minker. Ved ekstremt fuktig vær var kjøreskader helt umulig å unngå, noe som harmonerer med mine resultater.

Abstract

Since the late 1950's, Norwegian forestry has been dominated by mechanized activity and use of forest machines instead of chainsaws and tractors. The development of forest machines and mechanized systems has been huge the last 30 years and machines harvest most of the Norwegian forests. Because the alternatives are hardworking and expensive, forest machines is the best solution today. The forest industry and the timber market requires rationality and effective transport. This makes the size and the weight of the forest machines important. The heavier machines, the higher the risk of rutting during forest activity.

This thesis will discuss how the use of wet-area maps can be helpful to avoid rutting in mechanized forestry. The tool I will describe in this study is a high resolution map showing flow channels and wet areas which can be used in forest planning and practical logging. This is called a "wet map" and describes depth to water. The main objective of this study is to find out how the variables; rainfall, soiltypes, water saturation of the soil, the size of the logging activity and the wet map can explain rutting and how the variables impacts the wetness index where rutting has appeared.

The analysis were done by using Arcmap 10.3.1, and the statistics were done by using R Commander. There is also done an interview of entrepreneurs and forest planners to have practical information about using the wet map. The results show that the size on the rainfall during the logging and the water saturation of the soil has a larger impact on the wetness index than the other variables. The wet map alone does not explain rutting from forest harvesting, but it is very helpful for the forest planner as well as the entrepreneurs.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag.....	III
Abstract	IV
Innholdsfortegnelse	V
1. Innledning	1
1.1 Klima.....	2
1.1.1. Tiltak for å unngå kjøreskader	4
1.2. Fuktighetskart.....	5
1.2.1. TWI	5
1.2.2. DTW.....	6
1.3. Tidligere studier.....	9
1.3.1. STIG-prosjektet.....	10
1.4. Prosjektet; "Sporløs kjøring"	10
2. Metode	12
2.1. Fuktighetskart	12
2.2. Klimadata og bearbeiding av driftsinformasjon	19
2.3. Intervju med skogbruksleder og entreprenør	20
3. Resultater	21
3.1. Driftene med størst volum	21
3.1.1. Kommentar til drifta i Brøttum Almenning	23
3.1.2. Kommentar til drifta hos Viberg.....	25
3.1.3. Kommentar til drifta hos Sturla Ramboe.....	27
3.2. Drifter gjennomført på vinter.....	28
3.2.1. Kommentar til drifta hos Øivind Brattli.....	30
3.2.2. Kommentarer til drifta hos Martin Berger	32
3.3. Drifter gjennomført med mye nedbør	33
3.3.1. Kommentar til drifta hos Martin Berger.....	35
3.3.2. Kommentar til driftene hos Johan Aalstad	39
3.3.3. Kommentarer til drifta hos Sturla Ramboe	41
3.4. Sammenligning av kategoriene: store drifter, vinterdrifter, fuktige drifter	42
3.5. Fuktighetsverdier hos samtlige drifter	45
3.6. Variabler som har innflytelse på DTW.....	46
3.6.1. Bratthet	47
3.6.2. Driftsstørrelse.....	49
3.6.3. Nedbør uka før drift	50
3.6.4. Nedbør under drift	52
3.6.5. Vannmetning	53
4. Diskusjon.....	55
4.1. Klimadata og løsmasseinformasjon.....	55
4.2. Gyldighet av kjøreskaderregistreringen.....	56
4.3. Gyldighet av fuktighetskartet.....	57
4.4. Intervju med skogbruksleder og entreprenør	57
4.5. Entreprenører.....	59
5. Konklusjon	61
6. Kildehenvisning.....	63

1. Innledning

Siden slutten på 1950 tallet har driftsteknikken i norsk skogbruk vært preget av mekanisert aktivitet ved bruk av hogstmaskin og lassbærer istedenfor motorsag og traktor. Utviklingen av det mekaniserte systemet har vært stor de siste 30 årene, og maskinhogst er det vanligste driftssystemet i Norge i dag, da alternativene er arbeidsintensive og kostbare i forhold.

Skogindustrien krever rasjonalitet og effektiv transport, dette gjør maskinstørrelse og vekt til viktige effektivitetsparametere i et mekanisert driftssystem. Store og tunge maskiner er mest effektive, men belastningen på skogbunnen blir større og faren for sporskader under hogst blir større med tyngre maskiner. På frossen mark med tele i bakken er ikke dette noe stort problem, men vinteren er kort, noe som tvinger mye av aktiviteten til å skje på sommeren. Stor konkurranse og høye maskinkostnader gjør at entreprenører må kjøre året rundt, også vår og høst da de klimatiske forholdene byr på størst utfordringer. En annen grunn til at aktiviteten må holdes høy over hele året er skogindustrien. All skogindustri er avhengig av å ha virke til enhver tid for å holde drifta i gang sommer som vinter. De krever jevn strøm av tømmer hele året for å forhindre dødtid på maskinene og driftsstans. Med tele i bakken spiller det sjelden noen rolle om skogbunnen er fuktig, da kan skogsmaskiner kjøre nesten hvor som helst uten at det oppstår kjøreskader.

Vår, sommer og høst stilles det store krav til god driftsplanlegging for å holde aktiviteten til de områdene der det egner seg å kjøre uten tele i bakken. Kjøreskader er et viktig tema innen norsk skogbruk, spesielt grunnet de økologiske konsekvensene med det. Skogbunn som blir skadet i nærhet av vassdrag kan få store konsekvenser for vannkvalitet, og i noen tilfeller øke faren for erosjon. Det er også påvist at mekanisert skogbruk kan forandre den naturlige vannstrømmen i skogbunnen og heve konsentrasjonen av Metylkvikksølv (MeHg) med 600 % over en periode på 3 år etter hogst. Om vannstrømmen blir påvirket er det dokumentert at dette vil påvirke vannkvalitet, fisk og akvatiske forhold på en negativ måte (Ågren et al. 2014). Tidligere forskning viser også at 10-25% av kvikksølvakkumulasjon i fisk er et resultat av skogbruksbasert aktivitet i Sverige (Mohtashami et al. 2011).

Kjøreskader i skogen gir ikke bare negative økologiske konsekvenser, men det gir også folk som bruker skogen som rekreasjonskilde en dårligere naturopplevelse. Norsk skogbruk har også

gitte retningslinjer på hvordan skogbruk skal drives miljømessig mest bærekraftig. Dette er gjennom PEFC, skogsertifiseringssystemet vi bruker i Norge. Dette er et sertifiseringssystem som revideres hvert 5. år av en arbeidskomité. Denne består av: Fellesforbundet, Friluftsrådernes Landsforbund, Maskinentreprenørenes Forbund, Norges Skogeierforbund, NORSKOG, Statskog SF, Treforedlingsindustriens Bransjeforening og Treindustrien med Miljødirektoratet og Landsbruksdirektoratet som observatører i arbeidskomiteen. Arbeidet med siste revidering av PEFC startet i 2013, og en endelig utgave kommer i 2016 (PEFC, 2015).

Under Kravpunkt 13 – Terrengtransport, første avsnitt, kan vi lese at "Ved terrengtransport skal en legge vekt på å unngå terrengskader som er skjemmende, som vanskeliggjør ferdsel og som kan forårsake vannavrenning og erosjon. Ved kryssing av elver og bekker med skogsmaskiner skal det legges vekt på å unngå kjørespor som fører til erosjon ut i elva/bekken. I mye brukte friluftsområder skal avbøtende tiltak eller stopp av drifter vurderes når skadene blir betydelige. I områder med mye dårlig bæreevne, hvor faren for terrengskader er stor ved drift i sommerhalvåret, skal utdrift av tømmer fortrinnsvis skje på frossen eller godt snødekt mark" (PEFC, 2015).

I siste avsnitt kan vi lese at "Hjulspor som forårsaker vannavrenning og erosjon, kjøreskader i stier og løyper og andre vesentlige skader, skal utbedres så snart fuktighetsforholdene gjør det praktisk mulig etter avsluttet bruk av utdriftstraseen" (PEFC, 2015). Hva som definerer en kjøreskade varierer mellom skogeierandelslagene i Norge. Mine studier er gjort i Mjøsen Skog SA sin region. De definerer en kjøreskade slik: *hjulspor som er dypere enn 30 cm over lengder på mer enn 10 m skal utbedres*" (Mjøsen Skog, 2012). Dette er definisjonen på kjøreskade som jeg vil bruke i denne oppgaven.

1.1. Klima

Kjøreskader som følge av mekanisert aktivitet i skog avhenger som nevnt tidligere av årstid og klima. Klimavariablene nedbør og temperatur er sentrale parametere for markas bæreevne og er viktig å ta hensyn til ved driftsplanlegging. Hvordan disse variablene har utviklet seg gjennom århundrer varierer, hovedsakelig på grunn av naturlige variasjoner i klimasystemet. Langtidstrender fra de siste 100-150 årene viser at en kombinasjon av menneskeskapte og naturlige klimapåvirkninger preger dagens klimasituasjon. De siste 50 årene er det sannsynlig at

global oppvarming har skyld i menneskeskapt aktivitet. De siste hundre årene har årsmiddeltemperaturen økt med 0,8 °C (Hansen-Bauer et al. 2009).

Variasjonene fra år til år har vært store, men siden 1965 har middeltemperaturen steget med 0,4 °C/tiår i gjennomsnitt over hele landet. Nedbørsmessig har årlig nedbør økt med nesten 20 % siden 1900, og den største økningen er om vinteren. Å framskrive klimaet er vanskelig, men i grove trekk ser det ut til at gjennomsnittstemperaturen i Norge vil stige i hele landet. Den største temperaturøkningen vil skje på den tiden av året da det er lavest temperatur, og på de steder der det er lavest temperatur. På nedbørssiden viser prognosene at det vil bli mer nedbør i hele landet, og de mest nedbørsrike områdene av landet vil få de største endringene. Dette viser at det blir mindre temperaturforskjeller, og at vi kan forvente oss mer nedbør i årene fremover (Hansen-Bauer et al. 2009).

Disse endringene medfører at vi får lengre perioder med temperaturer omkring 0 °C, og at vannmetningen i jorda relativt sett vil øke. Dette gir store driftstekniske utfordringer. Den stabile vinteren med tele og snøføre vil prege en mye mindre del av driftssesongen, noe som setter større krav til driftsplanlegging og hensyn under drifta.

Skogens tømmervolum i Norge har fra 1925 til 1995 økt med mer enn 100 %, og årlig tilvekst i perioden har økt fra 10 til 25 millioner m³ per år. Dette er en kombinasjon av overgang fra plukkhogst og bledningsskogbruk til bestandsskogbruk, bedre plantemateriale og lengre vekstsesong. Hvor mye av dette som skyldes klimaforandringer er imidlertid vanskelig å bevise statistisk (Hansen-Bauer et al. 2009).

Disse tallene gir oss en pekepinn på at aktiviteten i norske skoger bare bør heves, og med prognosene for klimaendringer ser vi at høyere årlig avvirkning kombinert med mer krevende klima setter større krav til planlegging og tilrettelegging av aktivitetene.

1.1.1. Tiltak for å unngå kjøreskader

1. Unngå hogst.

Å senke avvirkningsnivået i landet gir færre drifter, og en mulighet til å prioritere avvirkningen på den tiden av året da det egner seg best. Dette vil senke andelen kjøreskader i løpet av et år.

2. Unngå hogst på sommeren

Baserer man seg på å kun hogge på vinter med tele og snø, vil andelen kjøreskader senkes.

3. Unngå hogst på enkelte arealer

Områder som opplagt er lette å hogge uten å risikere kjøreskader blir prioritert foran områder der bekker, myrer og våtmarksområder må krysses.

4. Unngå mekanisert aktivitet i skogen

Å drive manuell hogst med motorsag og traktor for å drive så skånsomt som mulig på skogsmarka gir en mulighet til å avvirke områder som ved bruk av tyngre mekanisering ville resultert i kjøreskader.

5. Bedre planlegging

Markbefaringer og kartlegging både digitalt og praktisk gjør at aktiviteten kan holdes høy uavhengig av vær, føre og markas tilstand.

(Øvergård, 2014)

Å finne ut hvilke arealer som kan avvirkes på sommeren og hvilke som er avhengig av vinter med tele krever god planlegging. Skogbruksplanlegging basert på befaringer og feltarbeid er vanlig, og som oftest ved bruk av GIS (geografiske informasjonssystemer.)

Skogbruksplanlegging i felt er nøyaktig, men svært tidkrevende. Økt bruk av GIS kan gjøre planleggingsarbeidet mindre tidkrevende og potensialet her er stort. Kartløsningene som oftest er brukt i skogbruksplanene er basert på topografiske kart som gir oss bestandsinformasjon og viktig produksjonsinformasjon.

I denne studien skal jeg gjøre en GIS-analyse av 9 drifter, der kjøreskadene analyseres ovenfor variablene; løsmasser, nedbør uka før drift, nedbør under drift, bratthet, driftsstørrelse, vannmetning og DTW. I tillegg vil oppgaven inneholde et intervju av skogbruksleder og entreprenør som bruker fuktighetskart i driftsplanlegging og under drifta.

1.2. Fuktighetskart

For å synliggjøre fuktige områder i GIS kan flere metoder anvendes. De siste årene har TWI (Topografic Wetness Index) og DTW vært de mest populære og nøyaktige kartlagene til dette. Grunnlaget for begge disse modellene er en digital terrengmodell (DTM).

Terrengmodellen er bygget opp som et raster der hver rute har en høydeverdi. Denne modellen brukes til å prosessere og utvikle ulike terrengattributter i raster-format. Høydeverdiene i DTM er som oftest hentet via flybåren laserscanning, LiDAR (Light Detection And Ranging), som også har vært hovedgrunnlaget for utarbeidelse av skogbruksplaner i Norden de siste årene. Nøyaktigheten på DTM bestemmes av kvaliteten på laserscanningen. Jo flere lasertreff/m² man har, desto mer nøyaktig blir høydemodellen.

1.2.1. TWI – Topografic Wetness Index

For å simulere vannstrømmen og våte partier tolkes høydeforholdet mellom cellene (Friberg, 2014). Denne indeksen beskriver bratthet, størrelse på kurvaturen og dermed også fuktighetsstrømmen. Tallmessig høye verdier betyr at man er lavere i bakken og nærmere vannspeilet enn lave verdier. Dette gir terrenget en viss grad av fuktighet som er beskrevet i indeksen som kalles TWI. Under følger en matematisk beskrivelse av hvordan TWI blir beregnet.

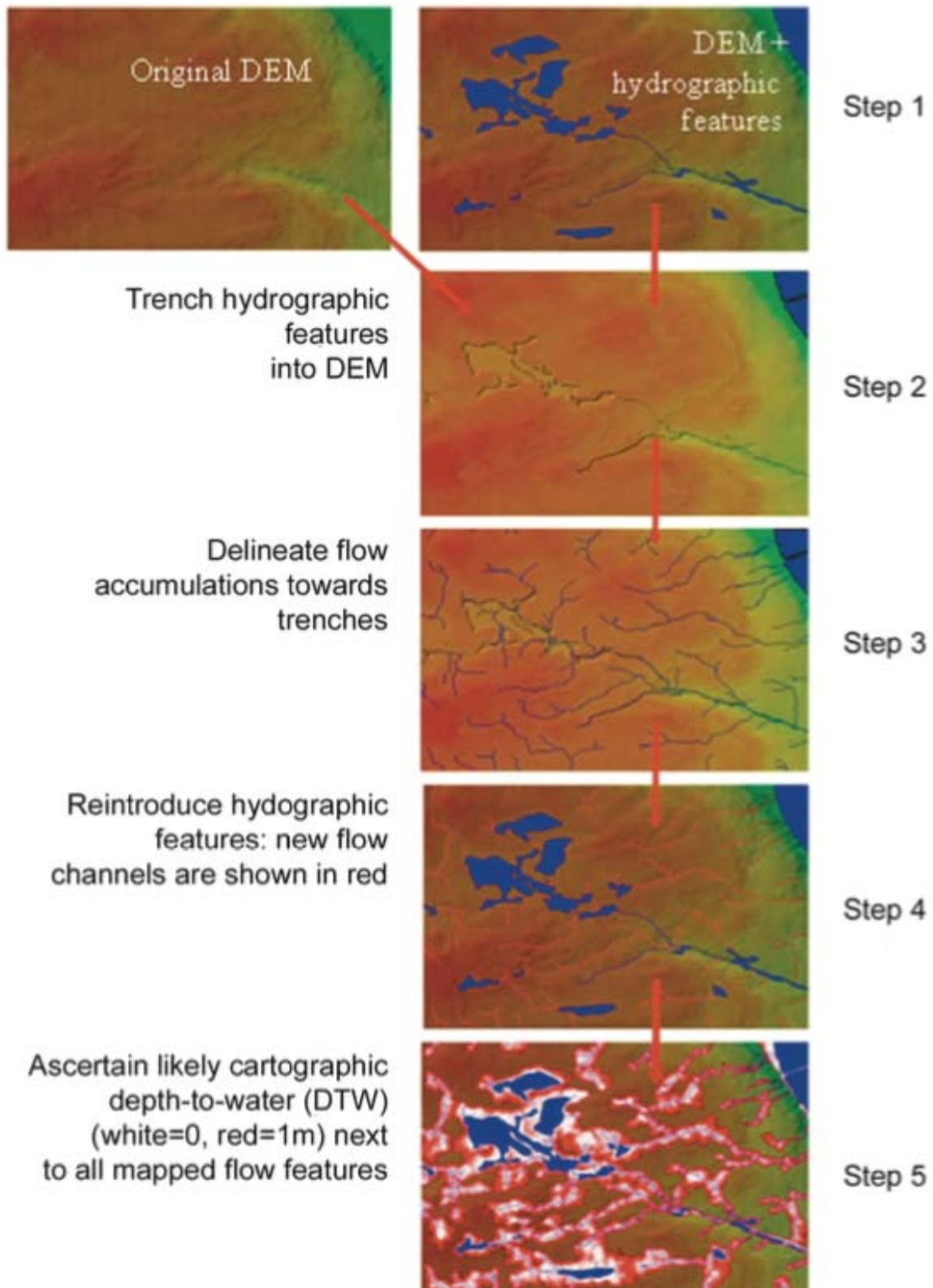
$$TWI = \ln \left(\frac{\alpha}{\tan \beta} \right)$$

- α beskriver nedslagsfeltet til enhver celle
- β beskriver helningen i radianer

Høy TWI betyr at området er fuktig, og brattheten er lav. Bratte områder drenerer marka bedre, og er derfor tørrere enn områder med lav TWI (Friberg, 2014).

1.2.2. DTW – Depth To Water

Prosesseringen av DTW er beskrevet ved 5 steg i figur 1. Kartografisk dybde-til-vann er et kart som kombinerer en DTM med et kart for grunnlagsdata som viser vann og vassdrag. I steg 1 ser vi de to kartlagene. Terrengmodellen kan bygges opp av lasertakst med informasjon om vann og bakke eller f.eks. 1 m høydekurver. Jo mer nøyaktig utgangspunkt, desto bedre. I steg 2 blir disse kartlagene koblet sammen. I steg 3 blir selve prosesseringen av DTW utført. Her lages selve fuktighetsmodellen ut i fra kalkuleringer av vannstrømmens retning som beregnes av en algoritme som opererer med 8 retninger. Størrelsen på nedslagsfeltet som skal sokne til hvert av de fuktige områdene settes også her. I min modell blir 1 hektar brukt som standard. I steg 4 utledes en indeks som gir hver av rutene i rasteret en DTW-verdi. I steg 5 legges fargekoder for de ulike DTW-verdiene til (Arp, P. 2009). I dette tilfellet vises områder med DTW lik 0 ved hvit farge, mens verdier som nærmer seg 1,0 m får fargen rød. Omkringliggende ruter på flatt terreng får verdier som stiger langsomt, mens det i bratt terreng får verdier som stiger raskt. Våte områder som er jorddekket vil for eksempel ha DTW verdier $< 1,0$ m.



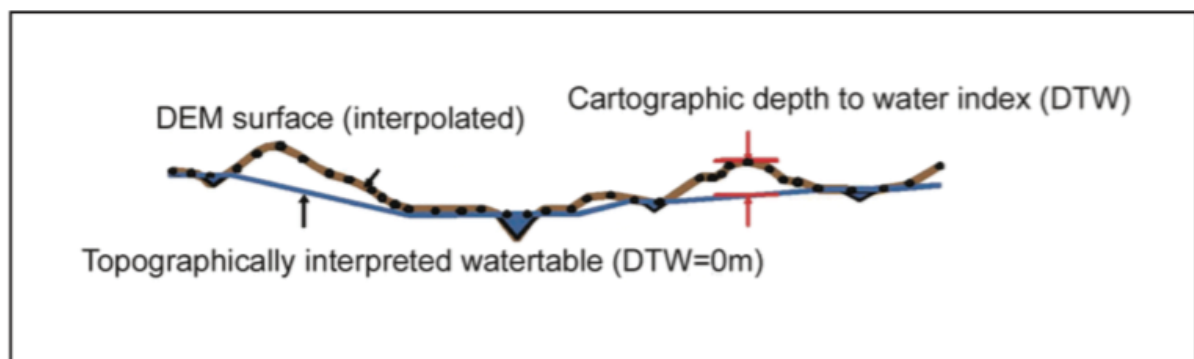
Figur 1: Prosessen består av å koble sammen grunnlagsdata og en høydemodell. Dette resulterer i et kart med en indeks som beskriver dybde til vann (Arp, P. 2009).

Som basis for å lage en høydemodell er flybåren laserscanning et godt alternativ. Denne teknologien er en systematisk og nøyaktig takseringsmetode som gir et godt digitalt inntrykk av bakkens kurvatur og topografiske detaljer.

Størrelsen på nedslagsfeltet som skal tilfalle hvert vassdrag har innvirkning på nøyaktigheten av DTW. Murphy et al. (2011) konkluderer med at nedslagsfelt på 4 hektar ga best nøyaktighet på DTW under store deler av året, men under de mest fuktige periodene og under snøsmeltingen om våren ga nedslagsfelt på 1-2 hektar best resultater. Nedenfor følger formelen for beregningen, etterfulgt av en grafisk framvisning av DTW (Murphy et al, 2011).

$$DTW = \left(\sum \frac{dz^i}{dx^i} \alpha \right) x_c$$

- dz/dx er helningen av en celle langs den minste høydebanen
- i er en celle langs banen
- α er lik 1, der banen krysser cellen parallelt med cellegrensen, og 1,4 der den krysser diagonalt
- x_c representerer størrelsen på en celle



Figur 2: Bakkens overflate er beskrevet i bruk med trekk fra flybåren laserscanning som svarte prikker på bakkelinjen. Vannspeilet er den blå linjen. Differansen mellom disse to nivåene er DTW indeks (Arp, P. 2009).

TWI og DTW er to metoder som beskriver fuktighet i marka, videre vil jeg gi en kort beskrivelse av tidligere studier der blant annet disse to metodene blir beskrevet.

1.3. Tidligere studier

Det er gjort noen studier tidligere som beskriver ulike GIS-verktøy for å gi en digital beskrivelse av fuktigheten i marka. Ågren et al. (2014) sammenligner blant annet DTW og TWI. I den studien konkluderes det også med at TWI er mer følsom for landskapsvariasjoner og detaljer enn DTW, og gir mer unøyaktige resultater på høyoppløselig DTM. DTW gir gode indikasjoner på jordens fuktighet og fanger opp detaljer i landskapet i størst grad. De så forøvrig at størrelsen på nedslagsfeltet var betydningsfullt for deres resultater. De kjørte analyser der størrelsen på nedslagsfeltet varierte mellom 0,5 og 16 ha. DTW kart basert på 1-2 hektar stort nedslagsfelt viste seg å gi de mest korrekte indikasjonene på fuktighet bortsett fra på sandjord. Forskning på hvordan disse to metodene varierer i forhold til løsmasser og klima nevnes som mangelfullt og interessant i diskusjonsdelen.

Murphy et al. (2011), viser at DTM som genererer TWI og DTW gir gode indikasjoner på jordfuktighet. De utfyller hverandre godt, hvorav DTW ga den mest detaljert beskrivelse av både jordtype, vegetasjon og jordmetning. DTW ga best resultater på å kvantifisere og beskrive detaljer i jordstruktur, næringsstoffsammensetning og pH. Dette er ikke bare essensielt for å modellere jordfuktighet, men også for å beskrive økologiske prosesser ved bruk av GIS. Ved bruk av nedslagsfelt på 4 ha, er DTW et godt modelleringsverktøy. TWI er et godt verktøy til å representere dammer, bekker og åpent vann i høyt og lavt terreng. Murphy et al. (2011) mener at TWI og DTW sammen kan spille en viktig rolle sammen ved modellering av skogsmark.

White et al. (2013), så at DTW < 1m ga nøyaktige resultater på flate arealer med nedslagsfelt på 4 ha i forhold til markbefaringer og bilder fra GoogleMap. Bruk av kartlaget vil gi gode indikasjoner på jordfuktighet avhengig av årstid, klima og vær og vil være et godt hjelpemiddel i f eks. bærekraftig ressursforvaltning, ved terrengtransport, i utmarksrekreasjon, park og turisme, i energisektoren og i forbindelse med agrikultur.

1.3.1. STIG-prosjektet

Skogforsk i Sverige satte i 2010 i gang et prosjekt som ble kalt STIG (Skoglig Terrengplanering i GIS), med formålet å utvikle planlegging og kjøring i skogen med hensyn på skogbunn og vann. Under dette prosjektet er bruk av fuktighetskart et viktig aspekt. De valgte å klassifisere DTW i 4 fuktighetsklasser, (jmf tabell 1), med kjøreskaderegistrering fra 36 drifter jevnt fordelt over 5 forskjellige områder. Deres resultater viste at 50 % av kjøreskadene hadde oppstått på fuktig mark og 3 % på bløt mark. Skadene på bløt mark ble beskrevet som betydelig mer omfattende enn de på frisk mark. Avslutningsvis konkluderte de med at fuktighetskart har en stor verdi som kartlag ved planlegging og kjøring i skogsmark, men at det er forbedringspotensiale i områder omkring bilvei med tanke på stikkrenner og grøfter (Bergkvist et al. 2014).

Tabell 1. I STIG-prosjektet ble DTW kategorisert i 4 grader av fuktighet (Bergkvist et al. 2014).

Fuktighetsklasse	DTW
Bløt mark	DTW = 0m
Fuktig mark	DTW < 1,0 m
Frisk mark	DTW = 1,0 – 2,0 m
Tørr mark	DTW > 2,1 m

1.4. Prosjektet "Spørøs kjøring"

Prosjektet "Spørøs kjøring" er et samarbeid mellom skogeierandelslagene Viken skog, Mjøsen skog samt Fylkesmannen i Hedmark og Oppland og NIBIO med et hovedmål om å frembringe resultater som bidrar til å redusere eller unngå terrengskader ved konvensjonell skogsdrift med hogstmaskin og lassbærer (Øvergård, 2014). Å forbedre planleggingen ved økt bruk av digitale verktøy er et av de mest framtidsrettede tiltakene som beskrives i dette prosjektet. Prosjektet ble igangsatt høsten 2014 og består av ei styringsgruppe med følgende medlemmer:

Johannes Bergum, Mjøsen Skog (leder)

Roar Lierhagen, Skogsmaskinentreprenør

Odd H. Stuen, Vassdragsforbundet for Mjøsa med tilleggssilver

Erik G. Flønæs, Fylkesmannen i Oppland

Tore Holaker, Fylkesmannen i Hedmark

Jan Bjerketvedt, Institutt for skog og landskap og NIBIO.

Trygve Øvergård Skogkurs

I forbindelse med prosjektet ble det utført detaljerte driftskontroller av et driftsapparat i Mjøsen Skog SA, for å kvantifisere kjøreskader. En driftskontroll er basert på befaringer av områder hvor det har vært avvirkning det siste året der det registreres hvorvidt aktiviteten har fulgt miljøstandarder samt om det har oppstått kjøreskader.

Hovedessensen med denne studien er å analysere kjøreskader ovenfor variablene løsmasser, fuktighet og klima, med vekt på bruk av fuktighetskart. De to hypotesene i studien er:

1. *Hvordan kan variablene løsmasser, nedbørsmengde, vannmetning, driftsstørrelse og fuktighetsindeks forklare kjøreskader?*
2. *Har variablene: løsmasser, nedbørsmengde, vannmetning og driftsstørrelse innvirkning på fuktighetsindeks hos en kjøreskade?*

2. Metode

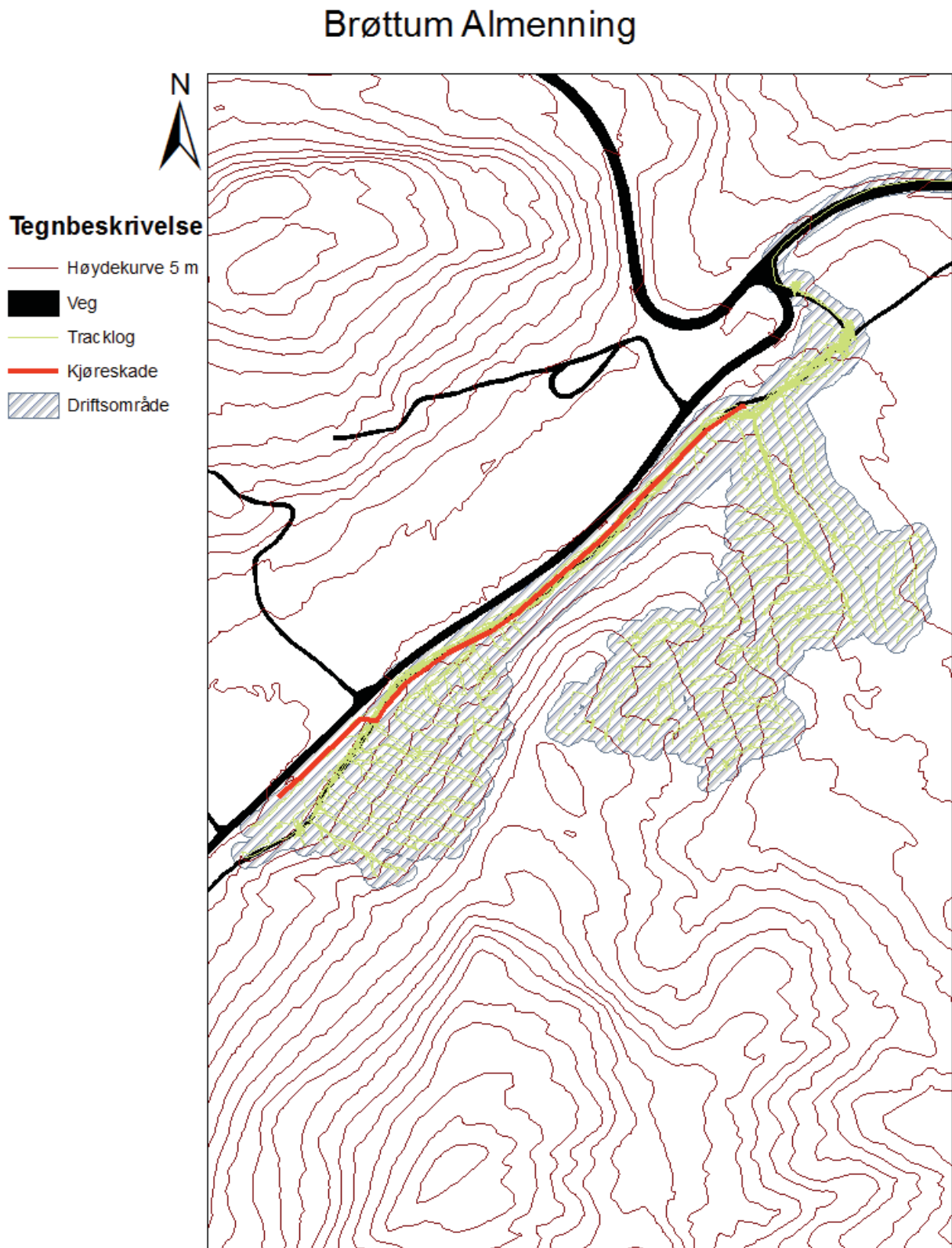
I forbindelse med Mjøsen Skogs driftskontroller i 2014 og prosjektet Sporløs kjøring, har jeg fått tilgang på 60 gjennomførte skogsdrifter. Kun 9 av disse har dokumenterte kjøreskader, og disse driftene er basis i denne studien. Kjøreskaden er registrert av entreprenør ved driftens avslutning, og er tegnet inn som en rød strek i tracklogen. Denne registreringen sender entreprenørene inn som en shape-fil til skogeierandelslagene, sammen med vedlagt driftsområde, henteklarmelding for tømmeret og ferdig utfylt miljøskjema. En tracklog er en digital beskrivelse av hvor maskinen har kjørt og viser både basveg og stikkveier i ei drift. Digitalt er disse driftene planlagt og gjennomført ved bruk av vanlig bestandskart og flyfoto, uten bruk av fuktighetskart i tillegg.

I denne studien har jeg med utgangspunkt i kjøreskaderegistreringene, gjort en analyse i Arcmap 10.3.1 for å få fuktighetsverdier, bratthetsverdier og løsmasseverdier på hver av kjøreskadene. Deretter er egenskapstabellene fra analysene i Arcmap omskrevet til et fullstendig datasett i excel som det er gjort statistiske undersøkelser på. Statistikken er utført i R-Commander og excel. I den statistiske undersøkelsen er driftsinformasjon om nedbør uka før drift, nedbør under drift, vannmetning i %, løsmasstype og driftsstørrelse satt opp mot å forklare DTW-verdier for å vise hvilken variabel som harmonerer best med DTW. I tillegg er det utført en spørreundersøkelse med entreprenør og skogbruksleder som bruker DTW aktivt i sitt aktive arbeid for å få praktiske synspunkter i diskusjonen.

2.1. Fuktighetskart

Under metodebeskrivelsen min vil jeg vise til ei eksempeldrift for å redegjøre gangen i selve GIS-analysen. Dette er ei drift fra Brøttum Almenning. For å kjøre analysen i GIS må man først lage fuktighetskartet. Dette ble gjort i Arcmap 10.3.1. I første omgang ble det lastet inn FKB-data for det aktuelle område for å få oversikt over høydekurver, veier og vann. I eksempeltilfellet er det snakk om FKB data for Ringsaker kommune. Utover Ringsaker inngår kommunene Gjøvik og Eidsvoll i mine analyser. FKB-data gir et oversiktlig kart med innlagte vann, veier og høydekurver på 1 m og 5 m. Det er i størst grad 5 m høydekurver som er blitt brukt, da de er lettere å arbeide med enn 1 m høydekurver på grunn av filstørrelsen. Etter at de ble lastet inn, ble shape-filene

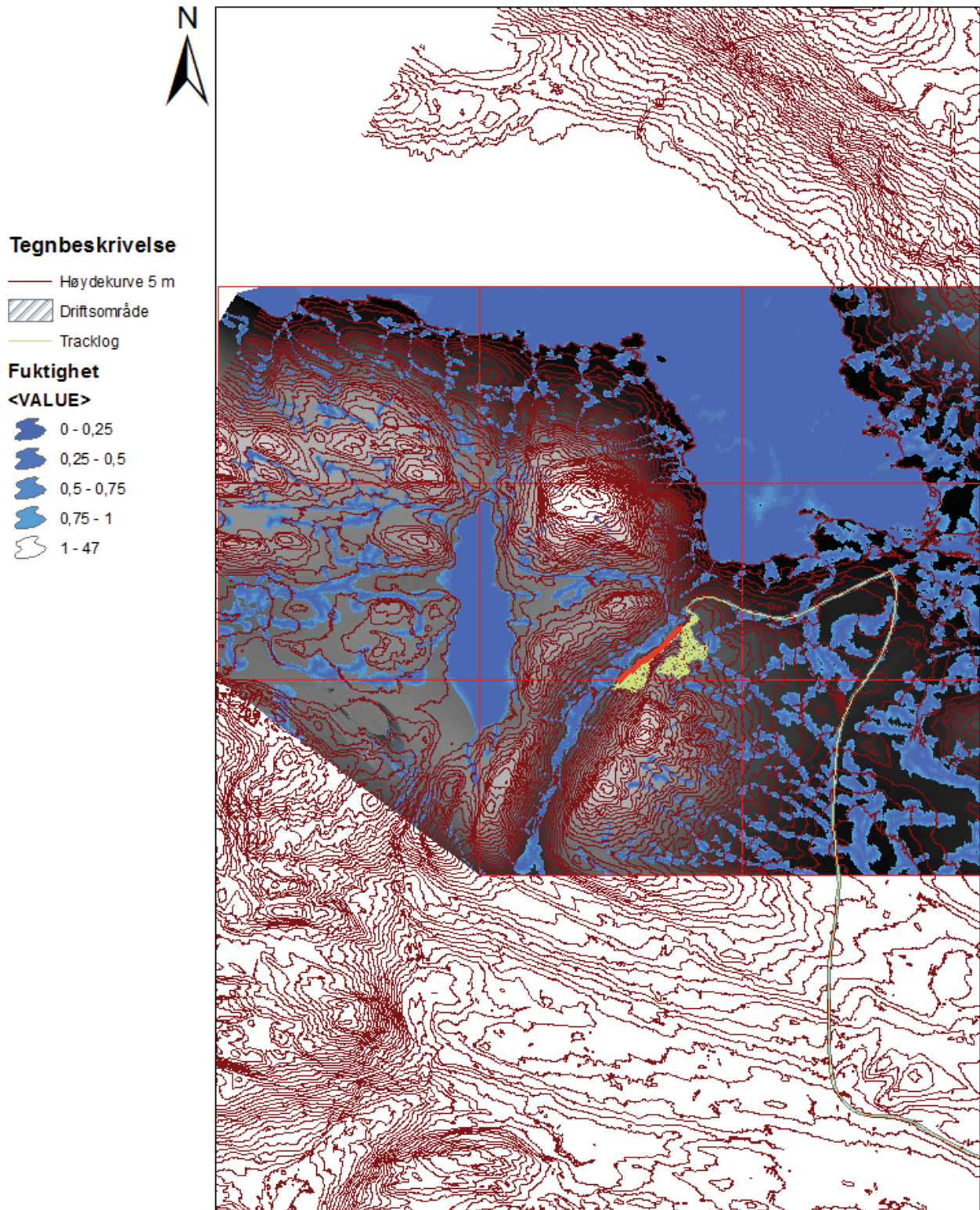
med registrerte sporskader og aktuelt driftsområde lagt inn for å gjøre de synlige i kartlaget og se hvor de lå.



Figur 3: Grunnlagsdata med høydekurver legges inn først og brukes som basis i høydemodellen. Her er også driftsområde, tracklog og registrert kjøreskade inntegnet.

For å vite hvilke kartblad av laserdataene som var nødvendig for å analysere en enkel drift ble det lagt inn et kartlag som viste kartbladinnndelingen over hele Norge. Jeg valgte å plukke ut 4-6 kartblad for hver enkelt drift. Laserdata er såpass store og tunge å behandle for vanlige datamaskiner at det ble plukket ut et utvalg for hver drift istedenfor å laste inn laserdata for hele kommunen. Som regel var selve driftsområdet kun innenfor et kartblad, men for å gjøre fuktighetsanalysen så god som mulig ble omkringliggende kartblad også tatt med, for å få et helhetlig inntrykk av omkringliggende terreng. Hvor mange kartblad som ble valgt ut for hver enkelt drift kom an på terrenget. Krav til punkttetthet per m^2 på lasertaksten utført i mitt forsøksområdet var $0,7 \text{ punkt}/m^2$ (Statens kartverk, 2011). For at høydemodellen og fuktighetsanalysen skal være så god som mulig er det viktig at hele nedslagsfeltet som kan ha påvirkning på det aktuelle driftsområdet tas med for å lage høydemodellen.

Brøttum Almenning



Figur 4: Rutenettet er laserdata for området omkring driftsområdet. Her er denne informasjonen gjort om til raster, og høydemodellen er ferdig. Den er også koblet til fuktighetskartet og vi har fått DTW-verdier.

Terrengets kurvatur bestemte hvilke områder som var viktig. De aktuelle kartbladene for hver enkelt drift ble lastet opp og alle laservariablene ble synlige i kartlaget. Lasertaksten viste flere variabler enn det som var nødvendig i mine analyser. Til min analyse er kun informasjon om bakke og vann interessant. Disse egenskapene ble filtrert ut, noe som resulterte i mange færre lasertreff enn utgangspunktet. Deretter ble hele datasettet konvertert til raster med en rasterstørrelse lik 2 m x 2 m. Laserdata for de aktuelle områdene er hentet fra fylkeskartkontoret. Dette resulterte i en komplett høydemodell for skogbunn og vann i et gitt område rundt det aktuelle driftsområdet.

Tabell 2: Kodingen av de ulike løsmassetypene.

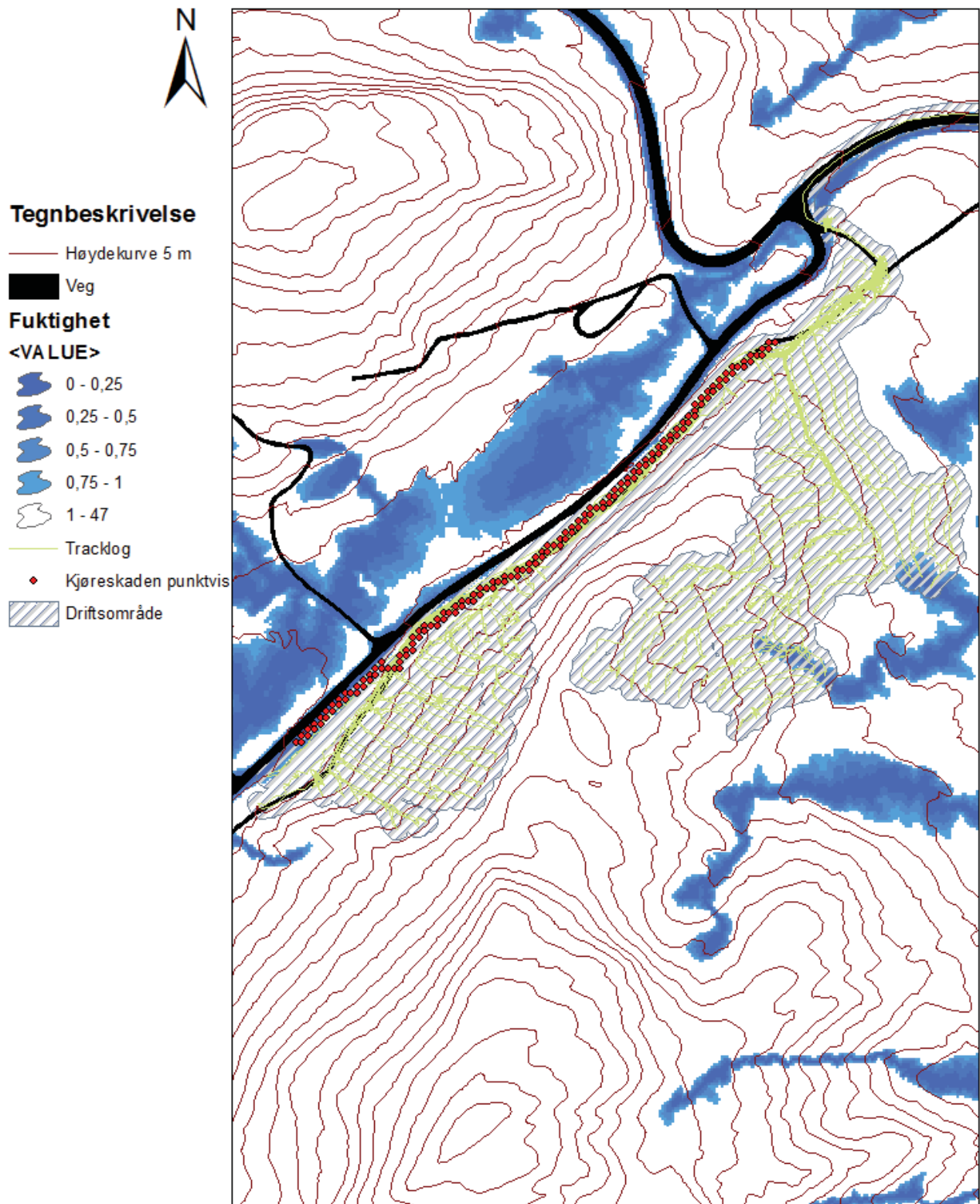
Fuktighetskartet er resultatet fra en "wet map-toolbox" utviklet av Skogforsk i Sverige, basert på forskning fra The University of New Brunswick. I et rutenett betyr det at hver av rutene har en gitt høydeverdi som sier hvor dypt det er ned til et gitt vannspeil, i meter.

Etter at fuktighetskartet var laget, la jeg inn et kartlag som viser løsmassetyper. Løsmassekartet ble hentet fra ngu.no som shape-fil. Disse kartene kommer kommunevis og "jordtype" beskriver de ulike løsmassetypene. Det er 15 forskjellige løsmassetyper, hvor hver av dem har en tallverdi som må leses om, jmf tabell 2. I denne studien er det snakk om to løsmassetyper, tynn og tykk morene. Kategoriseringen er gjort av NGU og definerer tykk morene som: "materiale som er plukket opp, transportert og avsatt av isbreen. Den er dårlig sortert og kan inneholde alt fra leire, steiner og blokker. Moreneavsetninger er med tykkelse fra 0,5 m til flere ti-talls meter og det er ikke fjellblotninger i områder med tykk morene (NGU, 2010). Tynn morene defineres som: "Materiale som er plukket opp, transportert og avsatt av isbreen, den kan inneholde alt fra leire til stein og blokker. Tykkelsen på avsetningene er normalt mindre enn 0,5 m (NGU, 2010).

KODE	LØSMASSETYPE
1	Berggrunn under vann
11	Tykk morene
12	Tynn morene
14	Avsmeltingsmorene
15	Randmorene
20	Bre-elveavsetning
30	Bresjøavsetning
36	Innsjøavsetning
50	Elveavsetning
70	Fint forvittringsmateriale
71	Grovt forvittringsmateriale
81	Skredmateriale
90	Torv og myr
120	Tilnærmet bart fjell
130	Bart fjell

Bratthetskartet ble laget ut fra høydemodellen og beskriver brattheten i prosent. Fuktighetskartet, bratthetskartet, løsmassekartet og selve kjøreskaden kom i varierende format. Kjøreskaden var en såkalt "polylinje", mens både bratthet og løsmassekartet var inntegnet som polygoner. Fuktighetskartet er som nevnt ovenfor i 2m x 2m. Prinsippet for analysen er at kjøreskaden deles opp i ruter slik at hver rute har en verdi for fuktighet, en for løsmasse og en for bratthet. For å gjøre dette mulig må alt konverteres om til 5m x 5m raster. Valget falt for 5 m ruter i og med at bredden på en lassbærer er omtrent i denne størrelsesorden. Kjøreskaden ble konvertert om til rasterformat, og deretter ble hver rute erstattet med punkt (se figur 5). Dette ga kjøreskaden en verdi per rute på 5m x 5m. Deretter bruktes verktøyet "extract values to points", hvor kjøreskaden ble koblet til henholdsvis fuktighetskartet, løsmassekartet og bratthetskartet hver for seg. Etter at alle de forskjellige kartlagene ble konvertert om til samme rutenett ble "Join" funksjonen brukt for å ende opp med en felles egenskapstabell for alle variablene. Hver 5 meters rute fikk da en egen ID med en fuktighetsverdi, en løsmasseverdi og en bratthetsverdi. Denne egenskapstabellen ble så konvertert over til excel for videre statistikkarbeid.

Brøttum Almenning



Figur 5: Kjøreskaden er her konvertert om til punkt. Her har kjøreskaden et punkt med fuktighetsinformasjon per 5 m x 5 m rute. Informasjon om løsmasstype og bratthet legges til i tillegg.

2.2. Klimadata og bearbeiding av driftsinformasjon

I driftskontrollen sto tidspunkt for oppstart og avslutning av drift, men ingen notis for hva slags vær og føre det var i forkant av og under drifta. Klima er en sentral forklaringsvariabel i forbindelse med kjørespordannelse, jeg valgte derfor å bruke senorge.no for å kartlegge klimadata for alle driftene. Det ble kartlagt:

- *Teledybde*: uten tele, delvis telefri, grunn tele, tele.
- *Jordens vannmetning i %*: under 60%, 60-70%, 70-80%.
- *Gjennomsnittstemperatur uka før driftsstart*
- *Gjennomsnittstemperatur under drifta*
- *Nedbør uka før driftsstart*
- *Nedbør under drifta*

Ved siden av disse variablene ble informasjon om utkjørt volum tatt med som en viktig parameter, det sier noe om belastningen på basvegen frem til velteplass. Det er varierende hvor i basvegen kjøreskader har oppstått, og hvor mye belastning jordbunnen har vært utsatt for akkurat her. Den største belastningen på basvegen er naturlig nok strekningen mellom driftsområdet og velteplassen. Her har samtlige lass gått, og belastningen er 100%. Om kjøreskaden har oppstått på en plass i basvegen der 40 eller 60 % av utkjørt volum har belastet skogbunnen er vanskelig å si, her er betraktningene basert på skjønnsutøvelse.

2.3. Intervju med skogbruksleder og entreprenør

Bruk av fuktighetskart i driftsplanlegging er ikke veldig utbredt i norsk skogbruk i dag. Ikke alle har tilgang til det, i sitt digitale planleggingsverktøy, og ikke alle som har tilgang på det bruker det aktivt i sitt planleggingsarbeid.

Etter kontakt med Svein Dypsund som er avdelingsleder for Strategisk planlegging i Viken Skog kom jeg i kontakt med både skogbruksledere og entreprenører som bruker fuktighetskart i sitt daglige arbeid. Tirsdag 19. april var jeg ute med skogbruksleder i Aurskog Høland og Rømskog, Knut Waaler, og et av hans entreprenørlag, «Brødrene Haneborg AS.» Tema for denne intervjurunden var å få et praktisk innblikk i bruken av fuktighetskart som en tilleggsopplysning i driftsplanlegging og driftsgjennomføring. Spørsmålene som ble stilt tok blant annet for seg hvordan det påvirker skogbrukslederens planlegging, om det er effektiviserende, om nøyaktigheten er god, er det topografiske forskjeller på nøyaktigheten til kartlaget og om kartlaget ble brukt til annet enn kun ren driftsplanlegging. Etter intervjurunden med skogbruksleder var vi ute og besøkte en entreprenør som bruker det aktivt for å få hans refleksjoner og for å se bruken av det i praksis. Under vårt besøk var han midt i ei stor tynningsdrift øst i Aurskog Høland.

3. Resultater

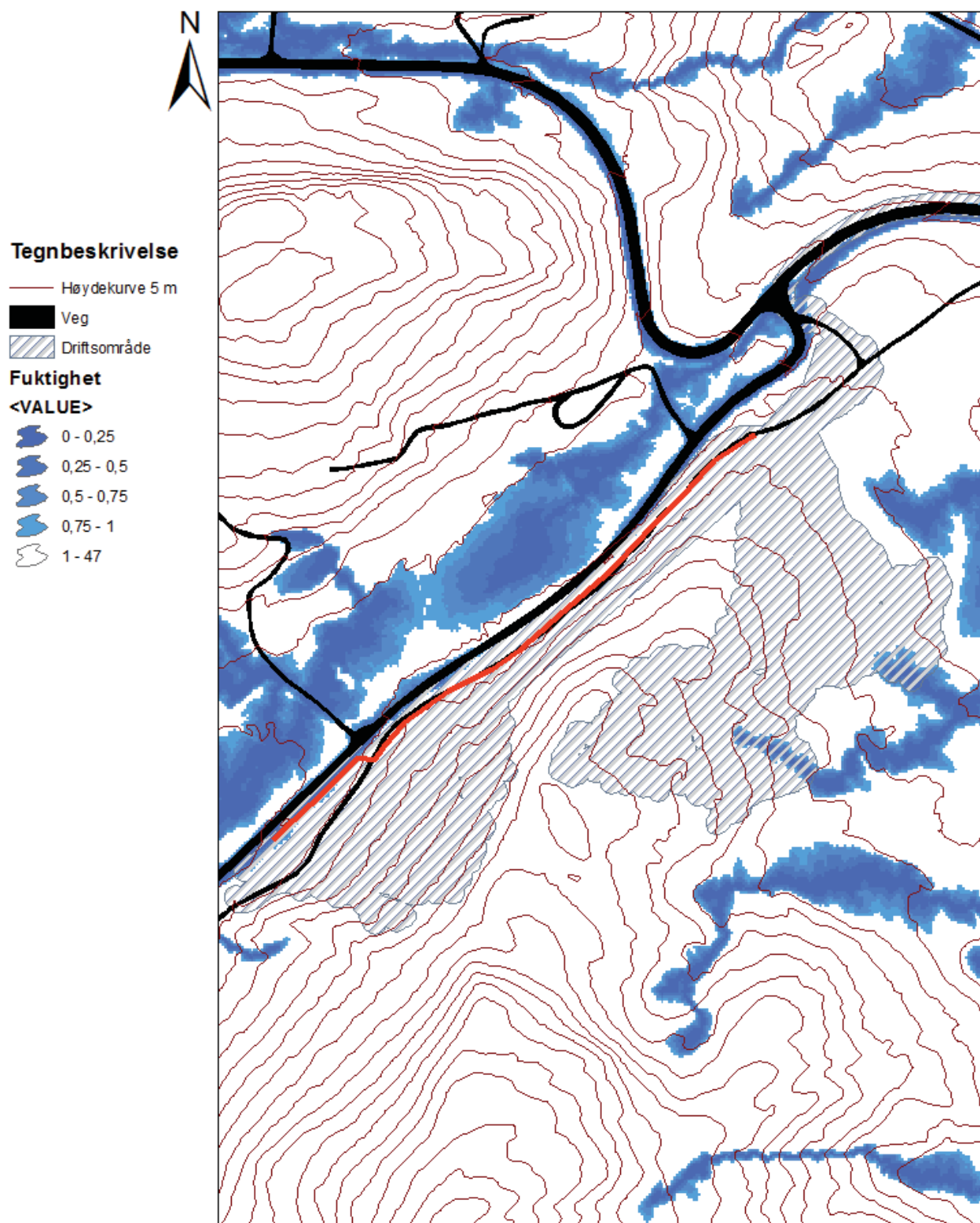
Felles for de 9 driftene det er kjørt analyser på, var at de hadde et inntegnet driftsområde, og en registrert kjøreskade. Kun et fåtall av driftene hadde med seg en tracklog, noe som gjorde det vanskelig å analysere kjøremønster og alternative traséer. Alle har gått gjennom den samme analysen i Arcmap før de ble kategorisert ut i fra hvilke utgangspunkt de hadde. Driftene ble kategorisert i 3 grupper: (1) Driftene med størst volum (over 1000 m³), (2) Drifter gjennomført med tele, (3) Drifter med mye nedbør uka før og under drift. Jeg valgte å fremstille de sammen med en oversikt over hva slags DTW-verdier kjøreskadene for hver av driftene hadde. Til slutt presenteres en statistisk analyse utført i R-commander, der det er kartlagt hvor stor innflytelse variablene driftstørrelse, nedbør før drift, nedbør etter drift, bratthet, vannmetning og løsmasstype har hatt på DTW.

3.3. Driftene med størst volum

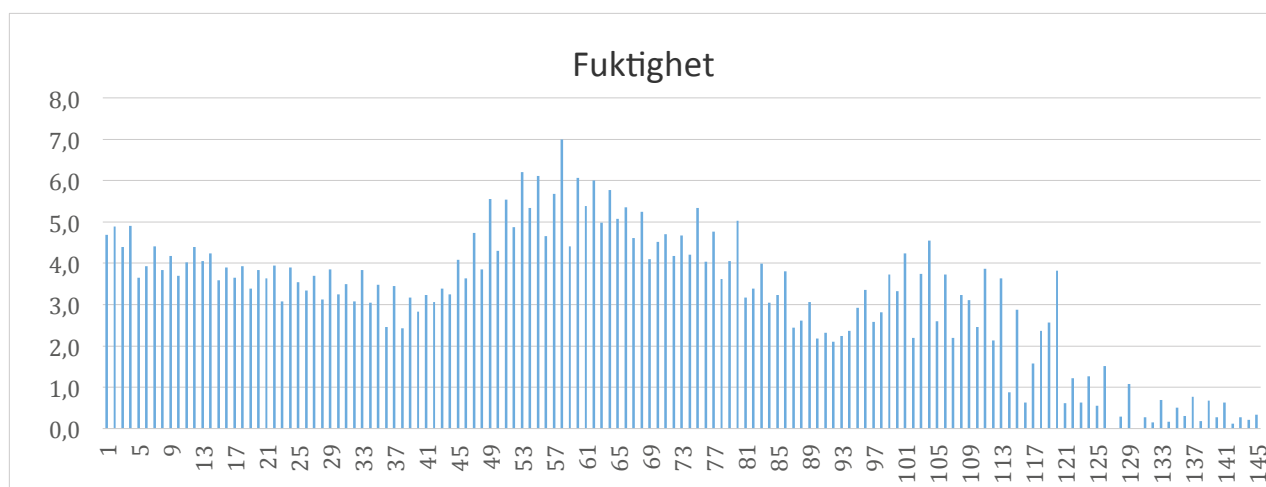
Tabell 3: Driftsinformasjon for de store driftene. Drifter over 1000 m3.

DRIFTSINFORMASJON			
SKOGEIER	Brøttum almenning	Sturla Ramboe	Viberg
KOMMUNE	Ringsaker	Ringsaker	Gjøvik
HØYDELAGE	350-450	250-350	250-350
DRIFTSSTART	23.05.2014	14.10.2014	16.09.2014
DRIFTSSLUTT	05.08.2014	24.10.2014	24.10.2014
UTKJØRT VOLUM	1998 m3	1900 m3	4070 m3
ANTALL LASS	125	126	230
LASSBÆRERTYPE	Ponsse Buffalo	John Deere 1510	John Deere 1910
SKONNING LASSBÆRER	Belte/ Kjetting	Kjetting	Belte/Kjetting
TELEDYBDE	Uten tele	Uten Tele	Uten Tele
JORDENS VANNMETNING I %	60-70%	60-70%	Under 60%
GJENNOMSNIITTSTEMPERATUR UKA FØR DRIFTSSTART	5-10 °C	5-10 °C	5-10 °C
GJENNOMSNIITTSTEMPERATUR UNDER DRIFTA	10-15 °C	3-5 °C	5-10 °C
NEDBØR UKA FØR DRIFTSSTART	10 mm	30-50 mm	30-50 mm
NEDBØR UNDER DRIFTA	10-30 mm	30-50 mm	10-30 mm
VEGETASJONSTYPE	Småbregneskog	Lågurt	Blåbærskog
LØSMASSETYPE	Tykk morene	Tykk morene	50% tykk morene, 50% tynn morene

Brøttum Almenning



Figur 6: Brøttum almenning. Bildet er hentet fra ArcMap og viser driftsområdet og hvor kjøreskaden har oppstått.

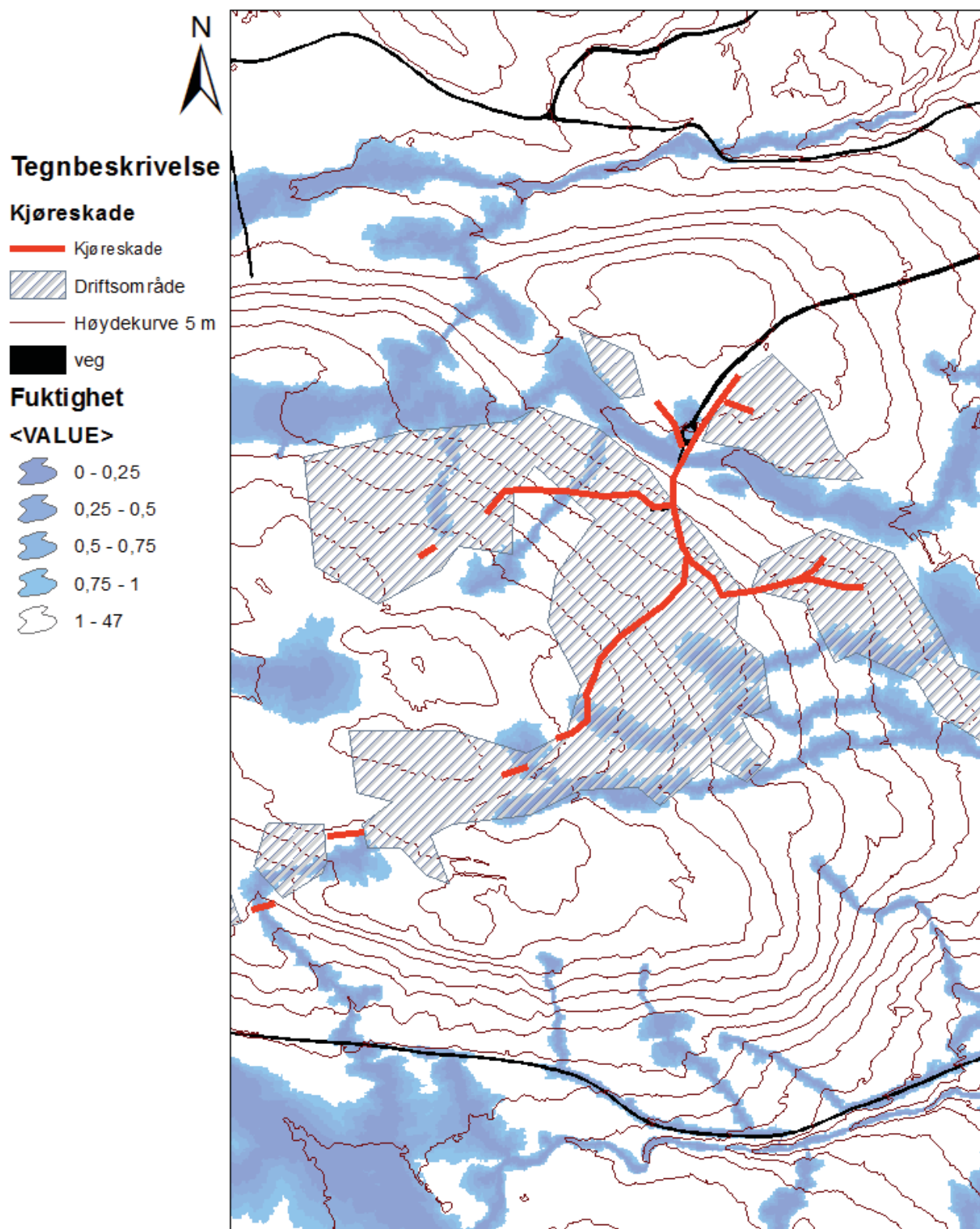


Figur 7: Brøttum almenning. Fuktighetstall for hver 5x5 m rute i den avmerkede kjøreskaden. Fra 1 m og grunnere synes som fuktig i kartet.

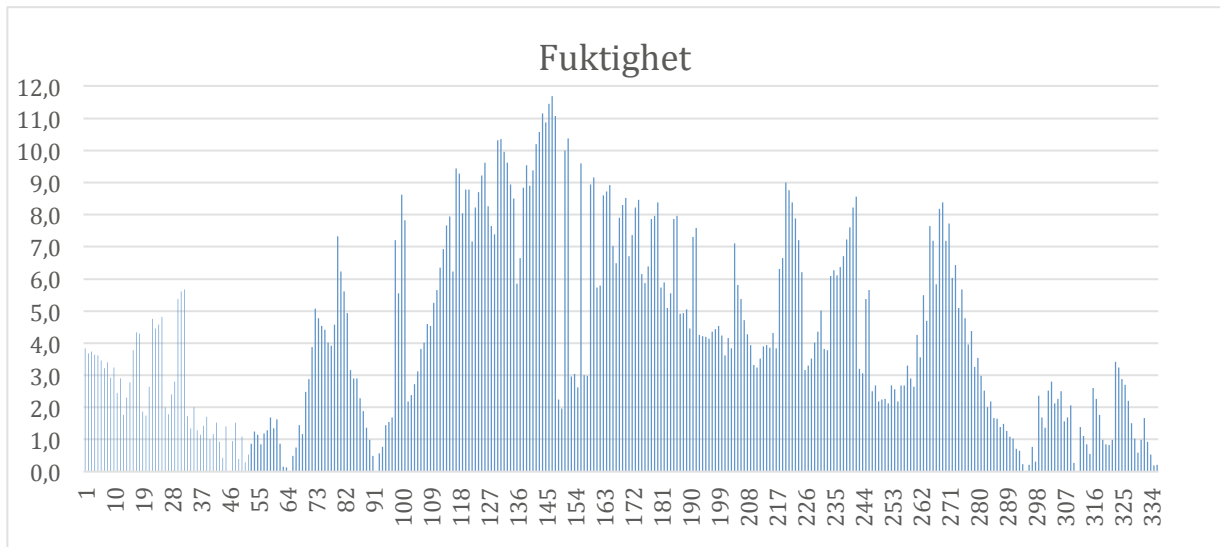
3.3.1. Kommentar til drifta i Brøttum Almenning

Denne drifta foregikk på sommerhalvåret, med en innlagt sommerferie for entreprenørene. Det var lite nedbør, derfor relativt lite kjøreskader. Driftsområdet var i et tørt område, og kjøreskadene har oppstått ved velteplass. Velteplassen er en veldig skjør plass med tanke på kjøreskader. Belastningen er stor siden de fleste lassene har gått her, og det er ofte en del småkjøring langs velteplassen. Til tross for dette har mye av kjøreskaden oppstått der DTW er mellom 3 og 6 meter, altså relativt sett på et tørt område. Drifta har foregått på sommeren uten noe tele, vannmetningen var middels høy, og det har gått 125 lassbærerlass og 1998 m³ med tømmer i de samme sporene.

Viberg



Figur 8: Viberg. Bildet er hentet fra ArcMap og viser driftsområdet og hvor kjøreskaden har oppstått.

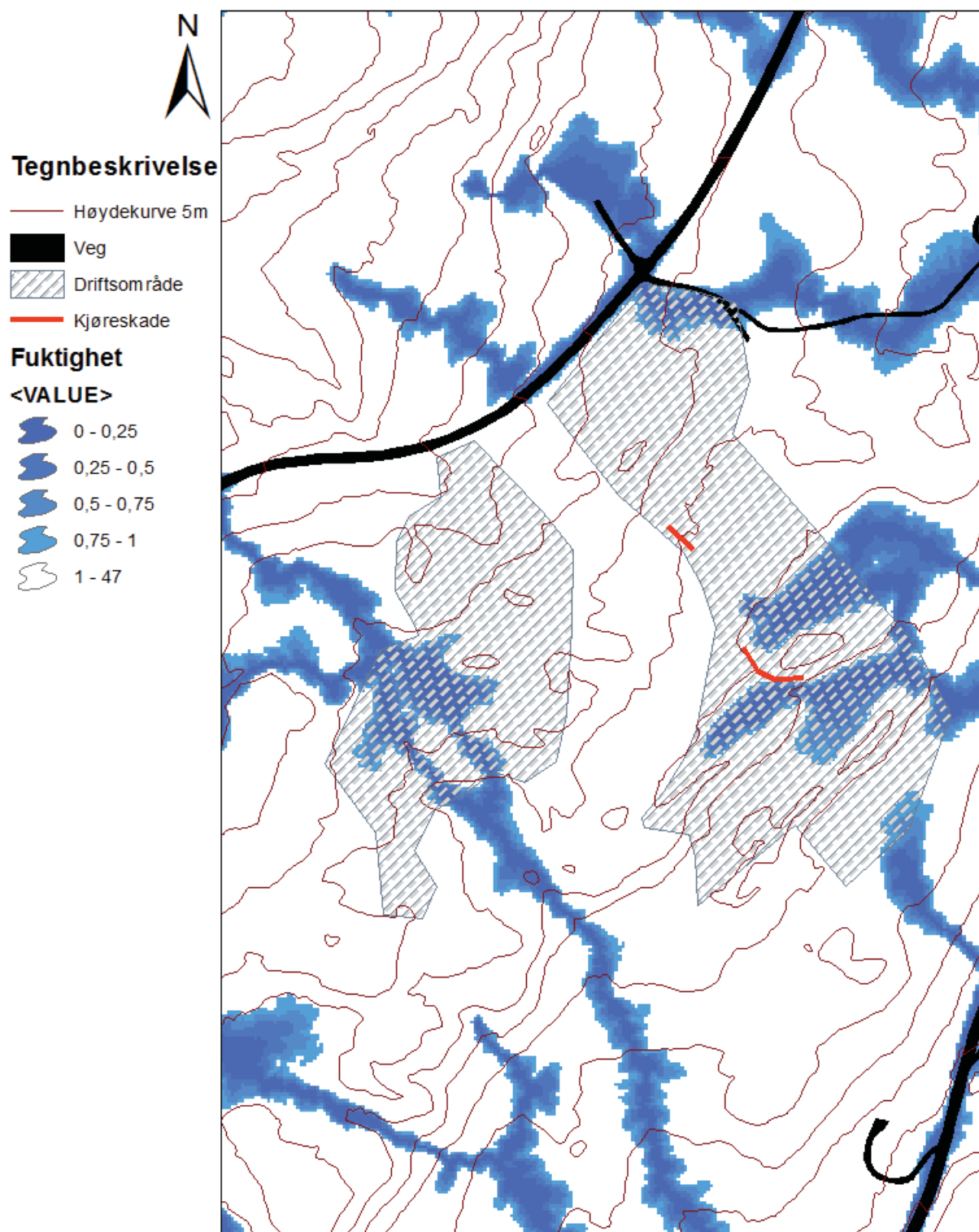


Figur 9: Viberg. Fuktighetstall for hver 5x5 m rute i den avmerkede kjøreskaden. Fra 1 m og grunnere synes som fuktig i kartet.

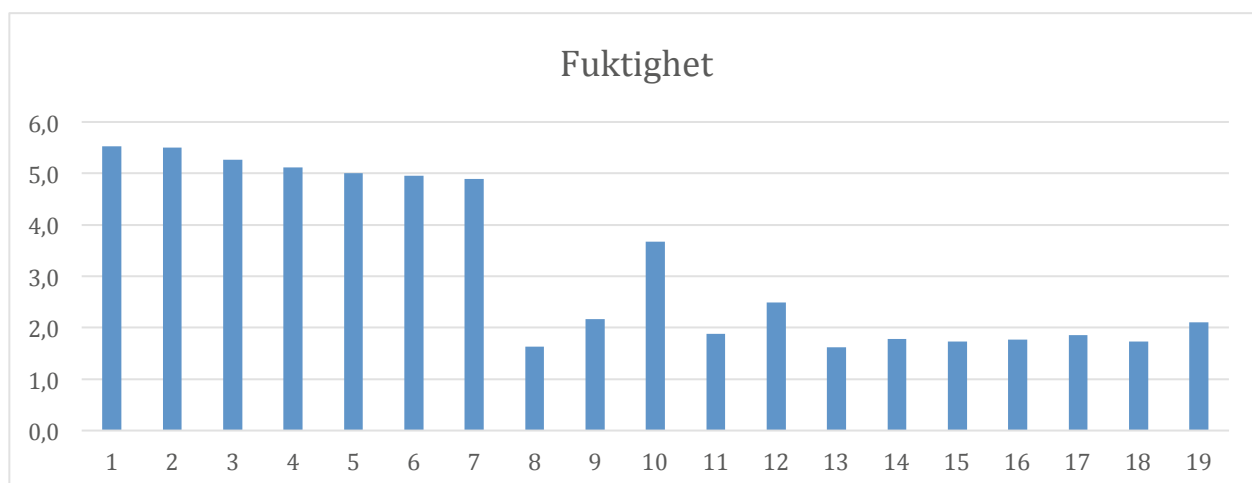
3.3.2. Kommentar til drifta hos Viberg

Denne drifta er den største i mitt datamateriale, med 4070 m³ og 230 lass utkjørt. Vi ser at store deler av kjøreskaden har oppstått utenfor de fuktige områdene. Dette kan forklares av relativt store nedbørsmengder uka før drifta fant sted, selv om vannmetningen var lav. I tillegg til at belastningen har vært stor i form av mange lass. Drifta fant sted på høsten, fra midten av september til slutten av oktober. Denne perioden av året har det lett for å være fuktig, da muligheten for opptørking er lav. Med tanke på hvor basvegen har vært lagt har de stort sett unngått de våteste områdene, mot velteplassen måtte de passere et svært fuktig område og dette har de gjort på det område der det ser smalest ut. Det er ikke brukt fuktighetskart ved planlegging av drifta, så dette kan tyde på en god entreprenør og en dyktig planlegger.

Sturla Ramboe



Figur 10: Sturla Ramboe. Bildet er hentet fra ArcMap og viser driftsområdet og hvor kjøreskaden har oppstått.



Figur 11: Sturla Ramboe. Fuktighetstall for hver 5x5 m rute i den avmerkede kjøreskaden. Fra 1 m og grunnere synes som fuktig i kartet.

3.3.3. Kommentar til drifta hos Sturla Ramboe

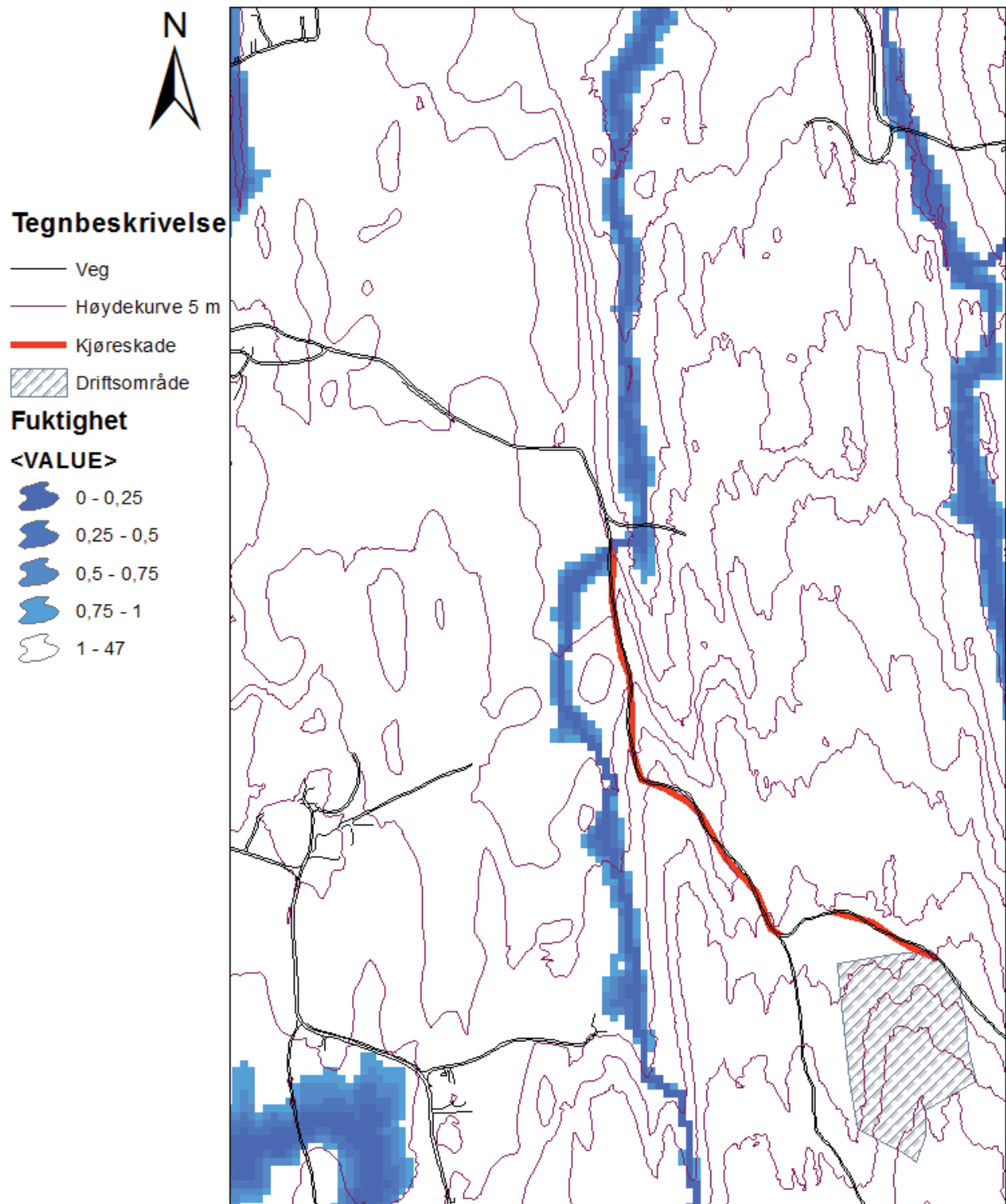
Ei relativt stor drift på 1900 m³ og 126 lass. Kjøreskadene har stort sett oppstått der belastningen på skogbunnen har vært i underkant av 50 % av totalt utkjørt volum. Det var mye nedbør både før og under drifta, så at kjøreskadene ikke kom i større omfang er merkelig, da mye av basvegen har gått over fuktige områder. Vanskelige driftsforhold i oktober med mye nedbør kan ha gjort at entreprenøren har gjort gode forberedelser og kavlelagt kjøring over veldig fuktige områder.

3.4. Drifter gjennomført på vinter

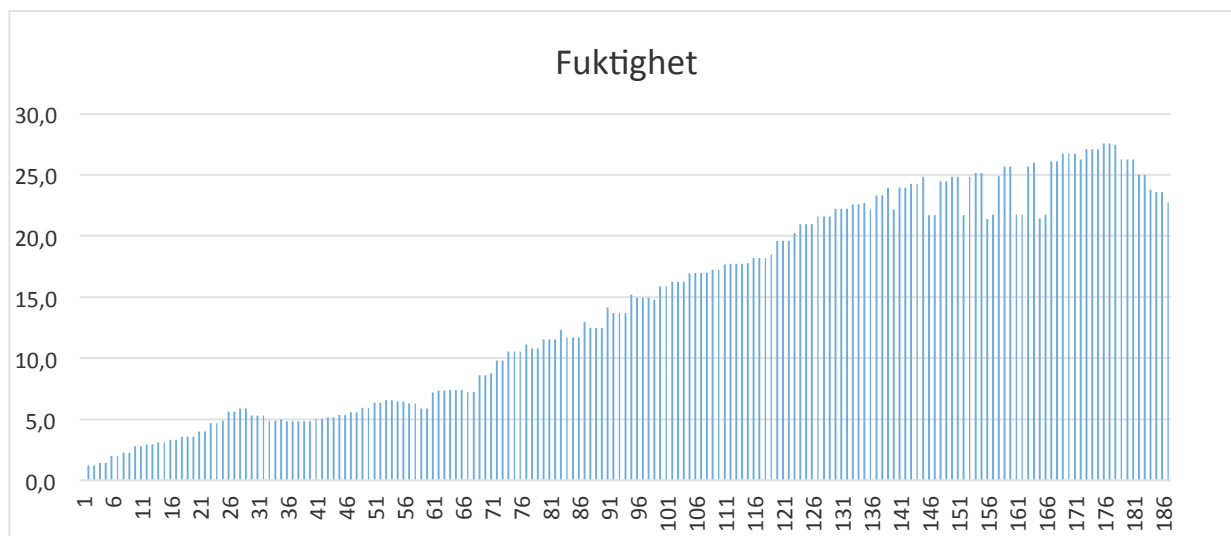
Tabell 4: Driftsinformasjon for vinterdriftene

DRIFTSINFORMASJON		
SKOGEIER	Øivind Brattli	Martin Berger
KOMMUNE	Gjøvik	Eidsvoll
HØYDELAG	250-350	250-350
DRIFTSSTART	03.03.2014	15.01.2014
DRIFTSSLUTT	08.03.2014	20.01.2014
UTKJØRT VOLUM	740	962 m ³
ANTALL LASS	41	64
LASSBÆRERTYPE	Ponsse Buffalo	Rottne H14
SKONNING LASSBÆRER	Belte/Kjetting	Kjetting
TELEDYBDE	Grunn tele	Grunn Tele
JORDENS VANNMETNING I %	70-80 %	70-80%
GJENNOMSNITTSTEMPERATUR UKA FØR DRIFTSSTART	-1 - -3 °C	1-3 °C
GJENNOMSNITTSTEMPERATUR UNDER DRIFTA	0 - -1 °C	-5 - -10 °C
NEDBØR UKA FØR DRIFTSSTART	10-30 mm	30-50 mm
NEDBØR UNDER DRIFTA	30-50 mm	30-50 mm
VEGETASJONSTYPE	Blåbærskog	Lågurt
LØSMASSETYPE	Tynn morene	Tynn morene

Øivind Brattli



Figur 12: Øivind Brattli. Bildet er hentet fra ArcMap og viser driftsområdet og hvor kjøreskaden har oppstått.

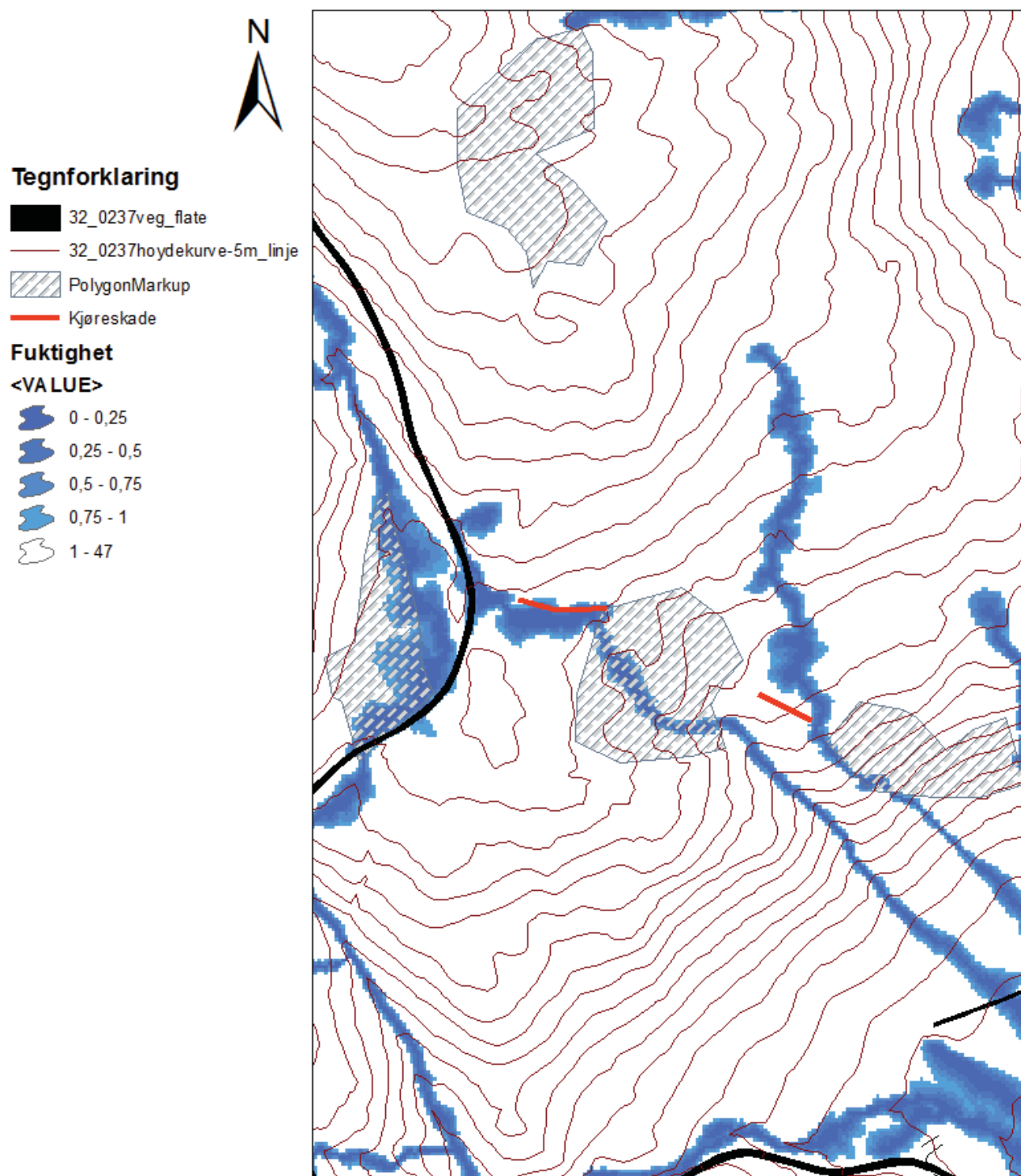


Figur 13: Øivind Brattli. Fuktighetstall for hver 5x5 m rute i den avmerkede kjøreskaden. Fra 1 m og grunnere synes som fuktig i kartet.

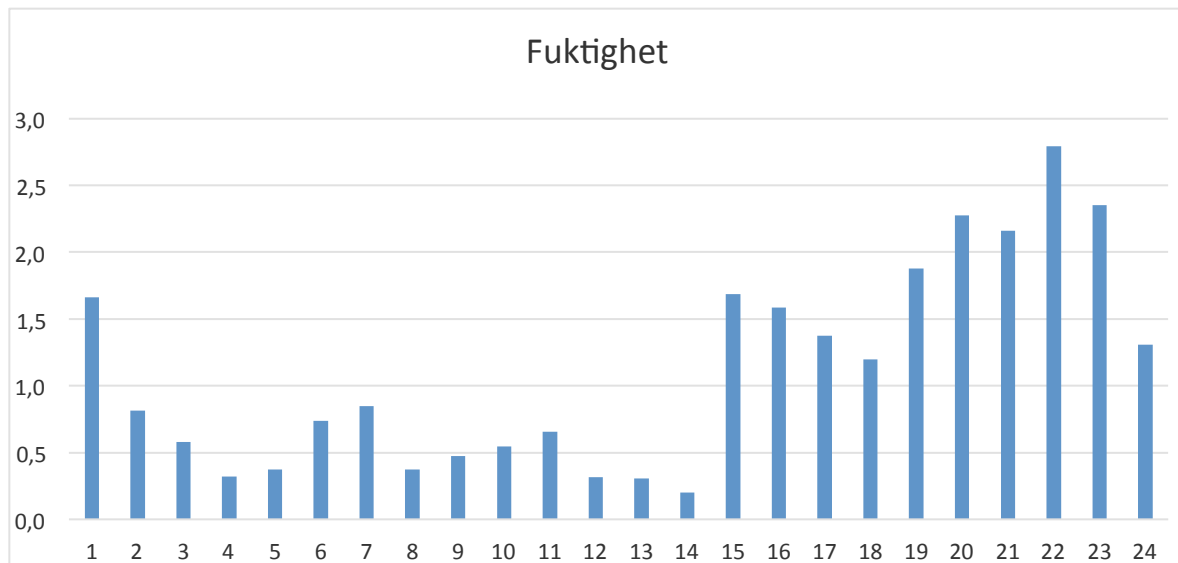
3.4.1. Kommentar til drifta hos Øivind Brattli

Under driftsperioden var vannmetningen høy, det var mye nedbør under drifta og temperaturen var omkring 0 grader. I og med at den foregikk i starten av mars er det naturlig å tro at det var plussgrader på dagtid. Det oppstod kjøreskader i områder som ifølge fuktighetskartet var langt fra fuktig med en dybde til vann helt opp til 27,5 m. Som vi kan lese av kartutsnittet har kjøreskadene oppstått der 100% av utkjørt volum har vært belastningen. Basvegen var lagt til en gammel oppmerket traktorvei.

Drift hos Martin Berger



Figur 14: Martin Berger. Bildet er hentet fra ArcMap og viser driftsområdet og hvor kjøreskaden har oppstått.



Figur 15: Martin Berger. Fuktighetstall for hver 5x5 m rute i den avmerkede kjøreskaden. Fra 1 m og grunnere synes som fuktig i kartet.

3.4.2. Kommentarer til drifta hos Martin Berger

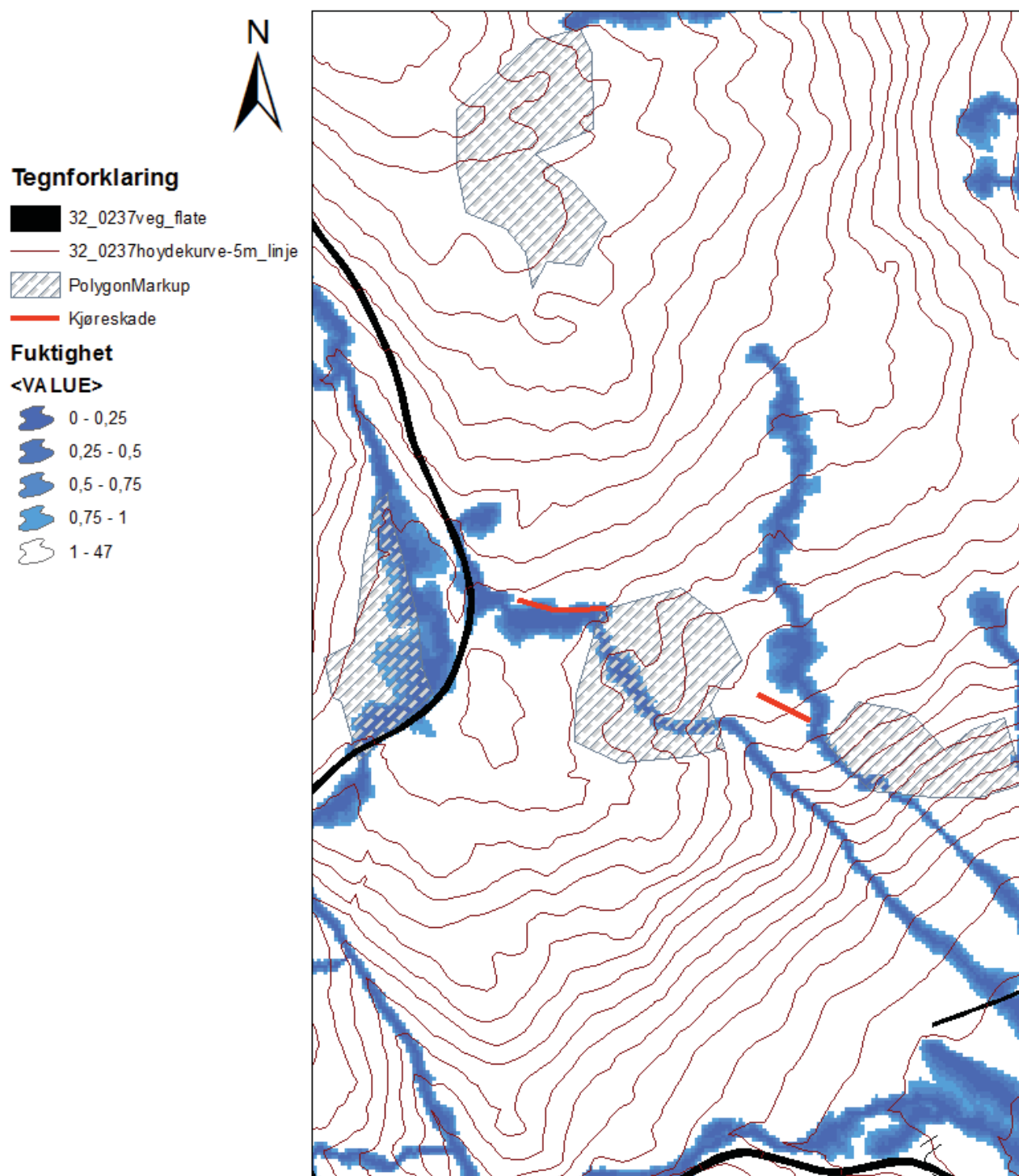
Drifta ble gjennomført i slutten av januar med høy vannmetning. Temperaturen var på minussiden og det var grunn tele i bakken. Både før og etter drifta kom det mye nedbør, dette var i form av snø. Omkring 50 % av kjøreskaden har oppstått i områder som er merket fuktig ifølge fuktighetskartet.

3.5. Drifter gjennomført med mye nedbør

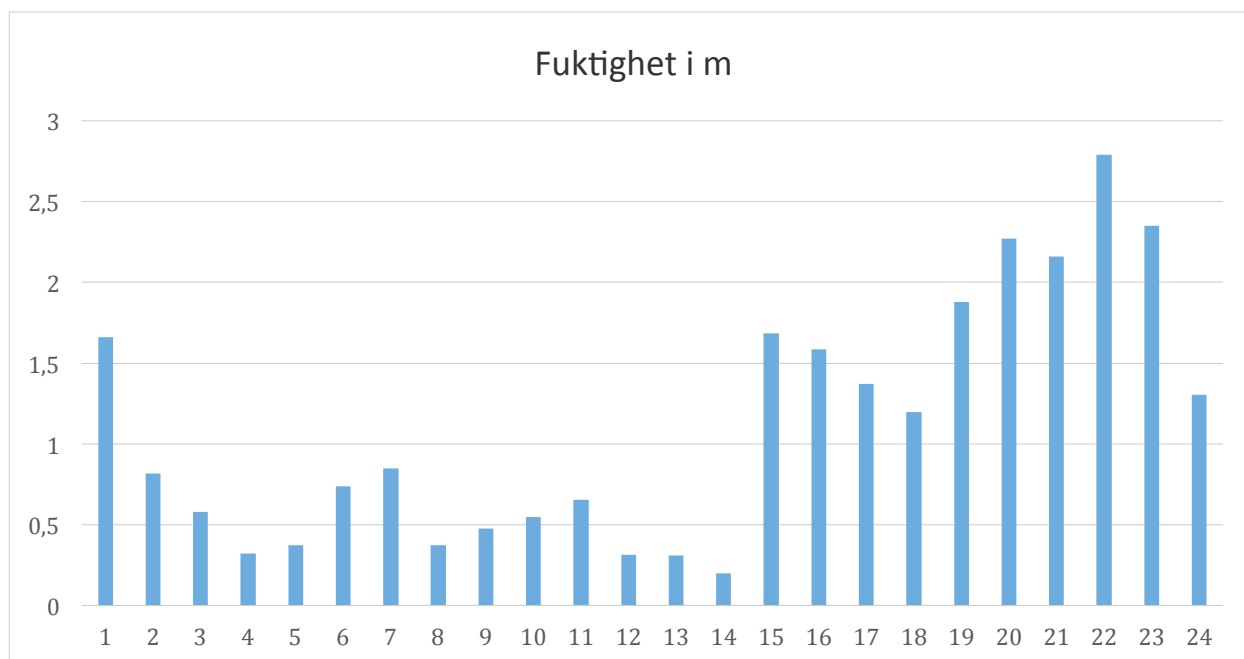
Tabell 5: Driftsinformasjon for driftene gjennomført med mye nedbør til stede.

DRIFTSINFORMASJON			
SKOGEIER	Martin Berger	Johan Aalstad	Sturla Ramboe
KOMMUNE	Eidsvoll	Gjøvik	Ringsaker
HØYDELAG	250-350	150-250	250-350
DRIFTSSTART	15.01.2014	01.09.2014	14.10.2014
DRIFTSSLUTT	20.01.2014	06.09.2014	24.10.2014
UTKJØRT VOLUM	962 m3	470 m3	1900 m3
ANTALL LASS	64	47	126
LASSBÆRERTYPE	Rottne H14	John Deere 1910 E	John Deere 1510
SKONNING LASSBÆRER	Kjetting	Belte/Kjetting	Kjetting
TELEDYBDE	Grunn Tele	Uten Tele	Uten Tele
JORDENS VANNMETNING I %	70-80%	60-70%	60-70%
GJENNOMSNITTSTEMPERATUR UKA FØR DRIFTSSTART	1-3 °C	1-3 °C	5-10 °C
GJENNOMSNITTSTEMPERATUR UNDER DRIFTA	-5 - -10 °C	1-3 °C	3-5 °C
NEDBØR UKA FØR DRIFTSSTART	30-50 mm	30-50 mm	30-50 mm
NEDBØR UNDER DRIFTA	30-50 mm	30-50 mm	30-50 mm
VEGETASJONSTYPE	Lågurt	Lågurt	Lågurt
LØSMASSETYPE	Tynn morene	Tykk morene	Tykk morene

Drift hos Martin Berger



Figur 16: Martin Berger. Bildet er hentet fra ArcMap og viser driftsområdet og hvor kjøreskaden har oppstått.

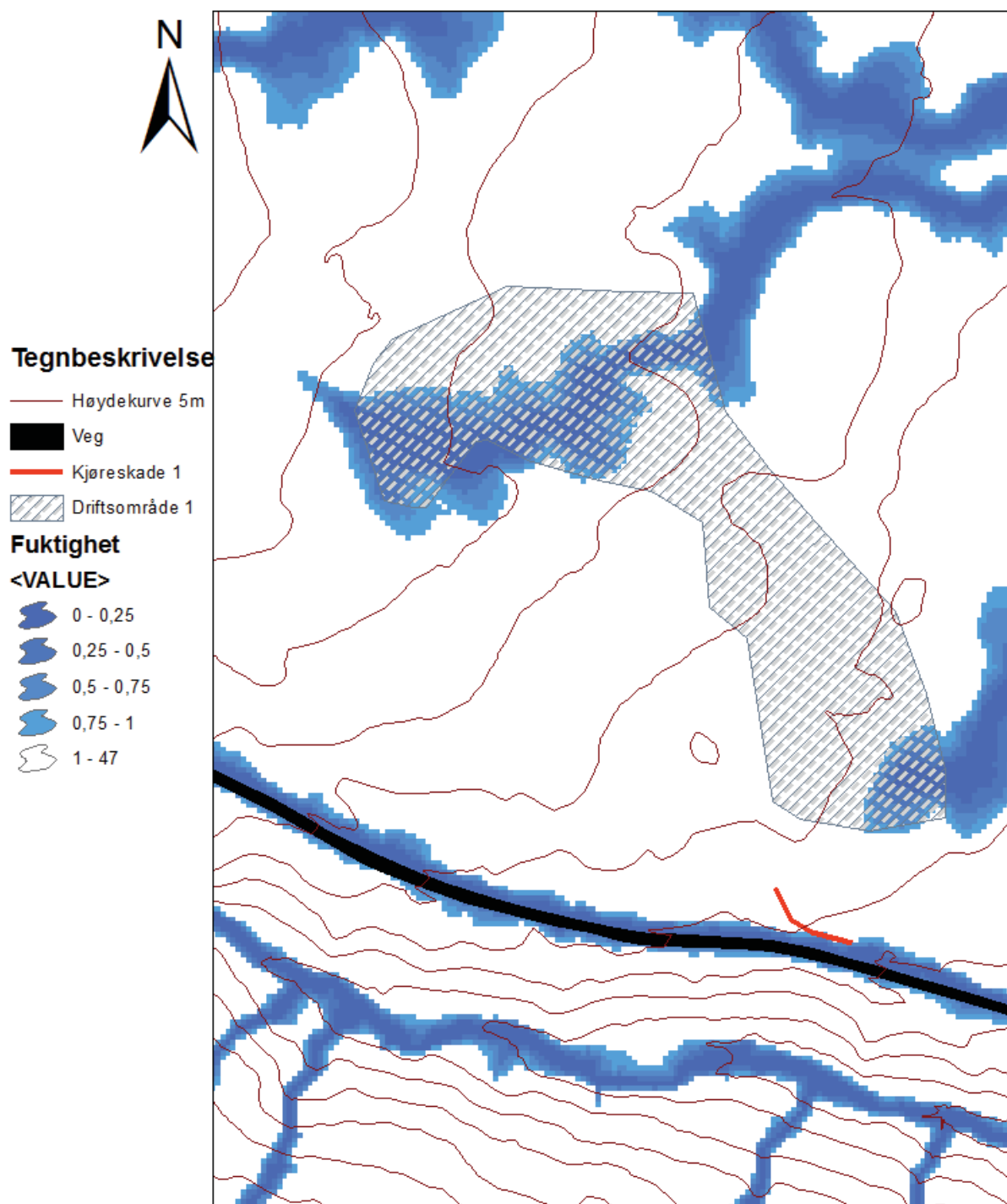


Figur 17: Martin Berger. Fuktighetstall for hver 5x5 m rute i den avmerkede kjøreskaden. Fra 1 m og grunnere synes som fuktig i kartet.

3.5.1. Kommentar til drifta hos Martin Berger

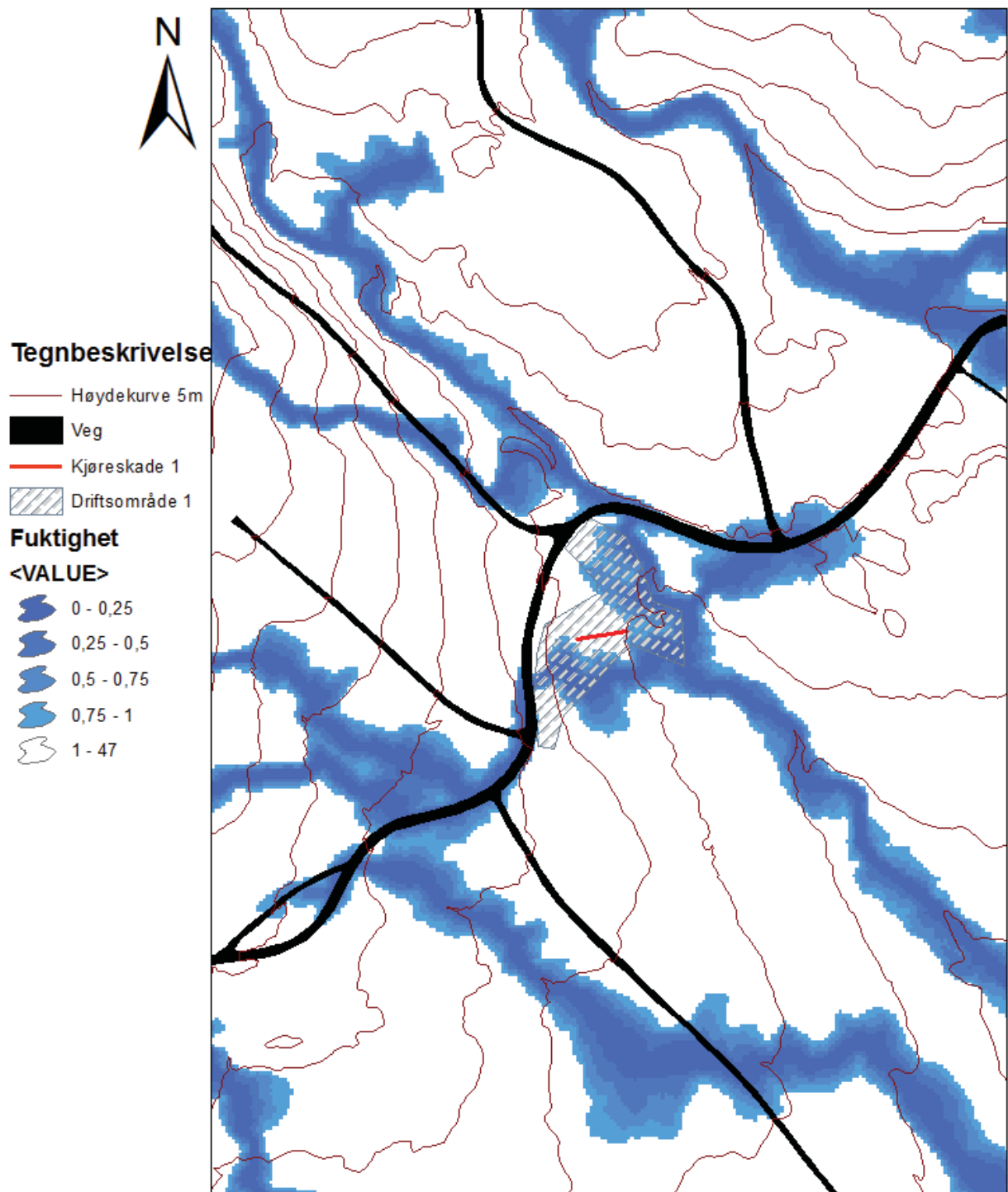
Drifta har funnet sted på vinteren med store nedbørsmengder før og etter, samt svært høy vannmetning. Med 962 m^3 og 64 lass er belastningen relativt stor. Det har vært grunn tele under drifta, da den foregikk i januar. Kjøreskadene har oppstått der dybde til vann er under 3 meter overalt, altså relativt lave fuktighetsverdier. Det ble relativt lite kjøreskader etter denne drifta. De 14 første punktene (jmf figur 17), beskriver en del av kjøreskaden der omkring 50 % av totalt volum har vært belastningen. Denne delen av registrert kjøreskade har hatt større belastning enn siste del, den har også oppstått i område som er merket som fuktig i kartet.

Aalstad drift 1

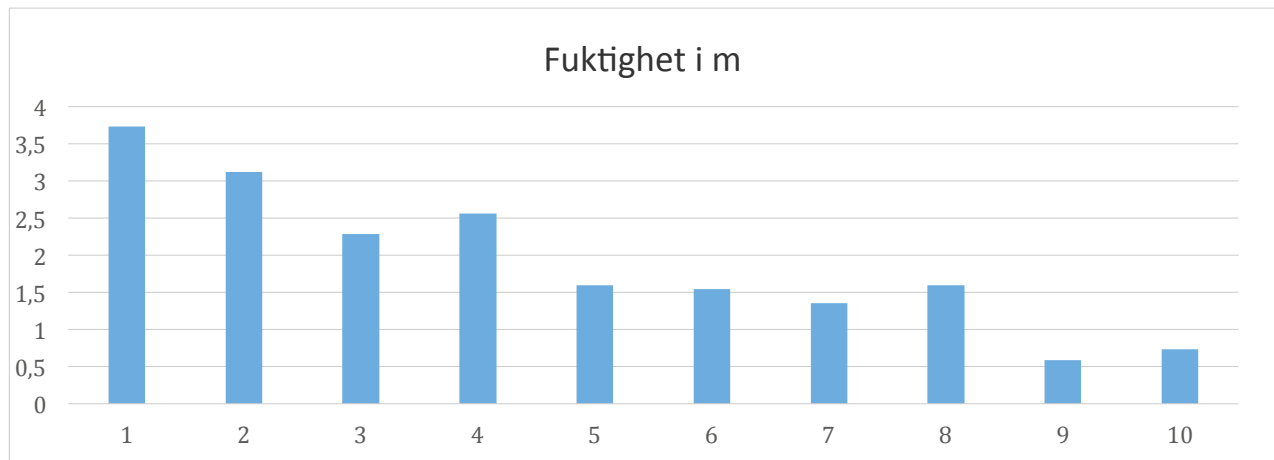


Figur 18: Johan Aalstad drift 1, Bildet er hentet fra ArcMap og viser det første driftsområdet og hvor kjøreskaden har oppstått.

Aalstad drift 2



Figur 19: Johan Aalstad drift 2, Bildet er hentet fra ArcMap og viser det andre driftsområdet og hvor kjøreskaden har oppstått.



Figur 20: Johan Aalstad drift 1, Fuktighetstall for hver 5x5 m rute i den avmerkede kjøreskaden i drift 1. Fra 1 m og grunnere synes som fuktig i kartet.

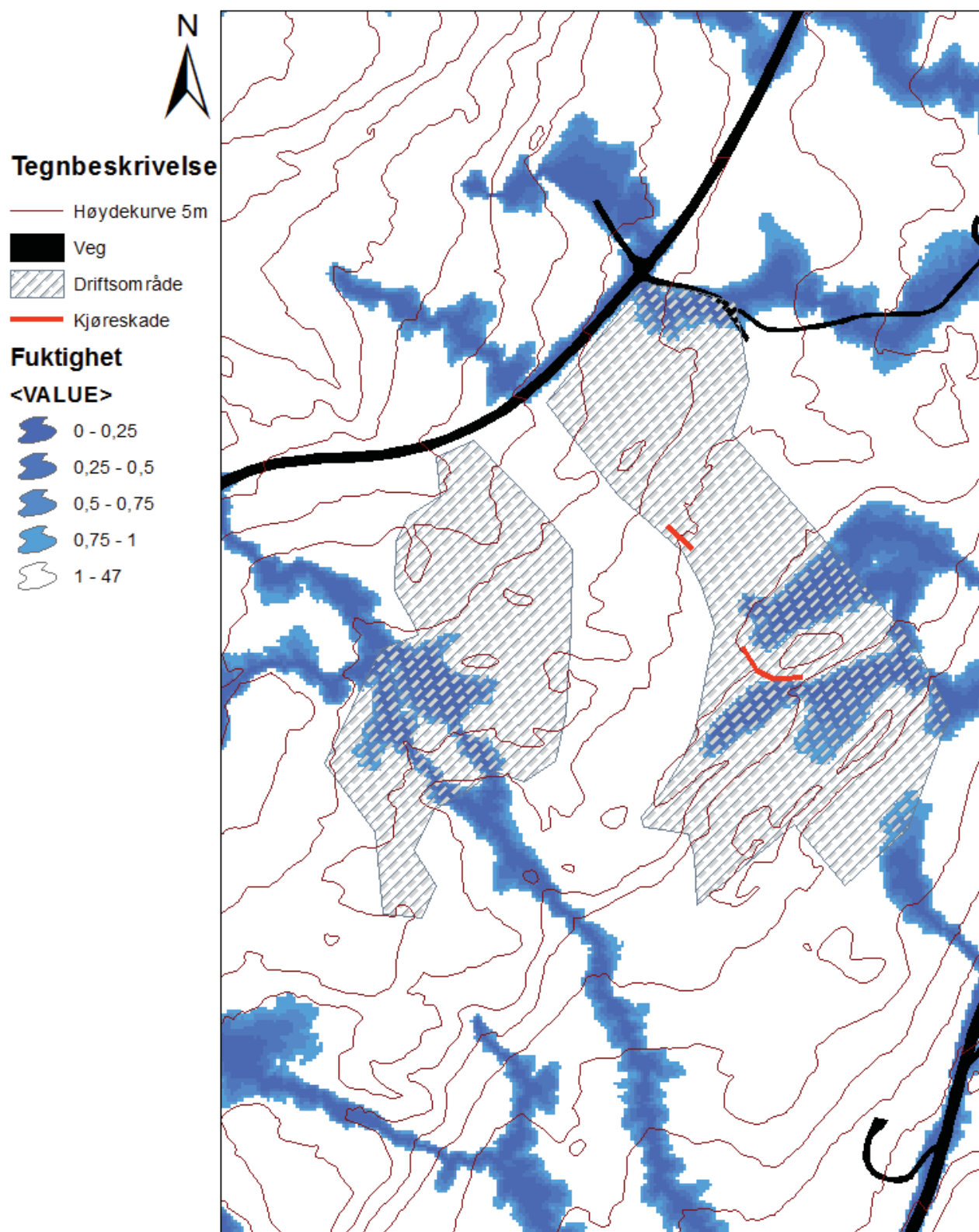


Figur 21: Johan Aalstad drift 2, fuktighetstall for hver 5x5 m rute i den avmerkede kjøreskaden i drift 2. Fra 1 m og grunnere synes som fuktig i kartet.

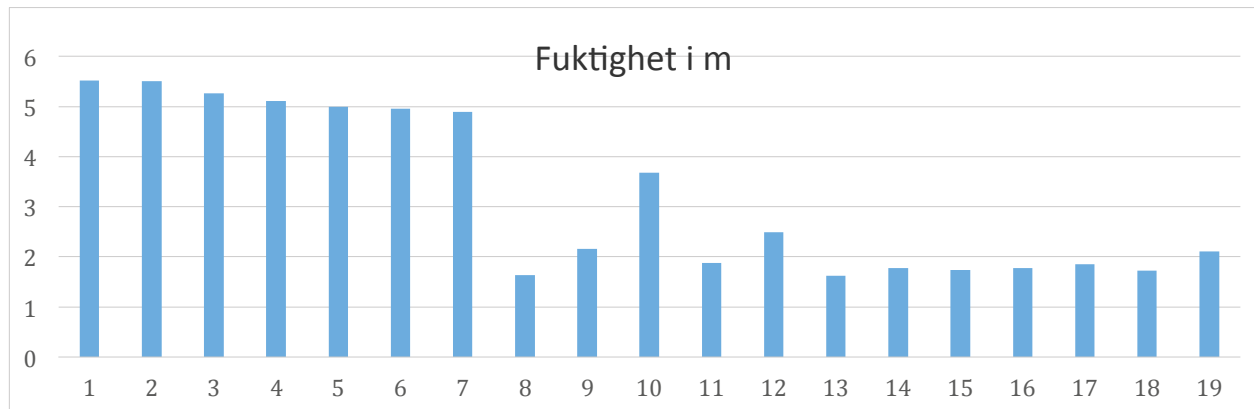
3.5.2. Kommentar til driftene hos Johan Aalstad

Driftsinformasjonen er felles for begge driftene. De ble gjennomført på samme uka, men maskinene hjulkjørte mellom de to driftsområdene som er litt adskilt fra hverandre. Jeg har delt de inn i «drift 1» og «drift 2». De ligger i underkant av 1 km fra hverandre. Det er avvirket 470 m³ til sammen og driftsområdene er omtrent like store, så jeg antar at det er avvirket 235 m³ på hver av driftene. Dette er en skjønnsmessig vurdering. I drift 1 har kjøreskade oppstått like i nærheten av velteplass som også er merket fuktig på kartet og hvor hele kvantumet fra drifta har vært belastningen. Deler av denne kjøreskaden har oppstått i område som er merket fuktig. Kjøreskaden i drift 2 har oppstått i basvegen midt i driftsområdet. Den ligger mellom to fuktige områder.

Sturla Ramboe



Figur 22: Sturla Ramboe, Bildet er hentet fra ArcMap og viser driftsområdet og hvor kjøreskaden har oppstått.

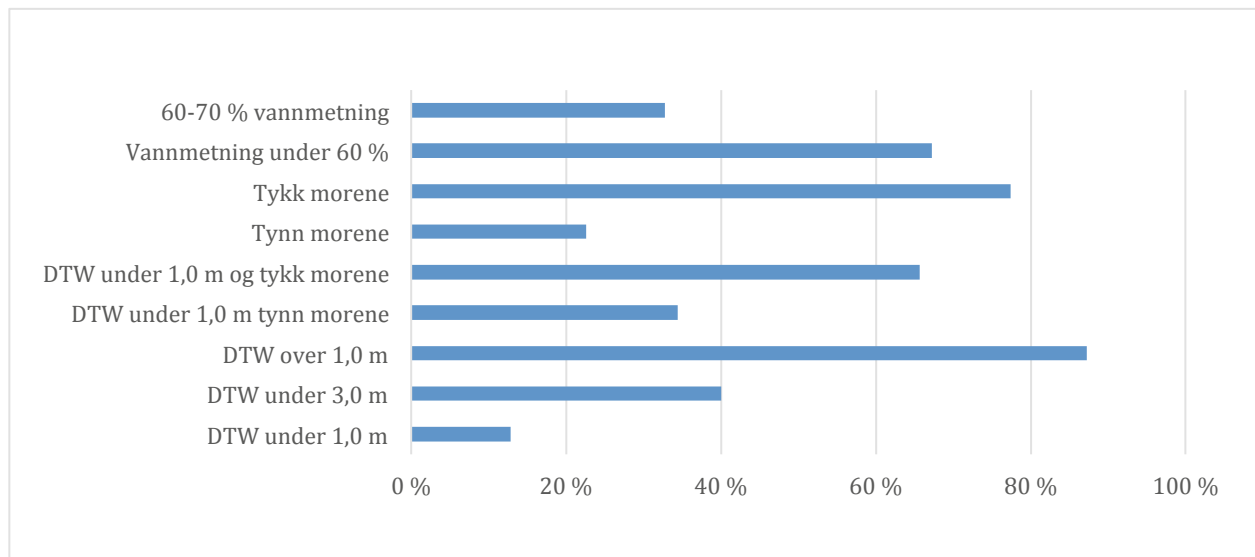


Figur 23: Sturla Ramboe, fuktighetstall for hver 5x5 m rute i den avmerkede kjøreskaden. Fra 1 m og grunnere synes som fuktig i kartet.

3.5.3. Kommentarer til drifta hos Sturla Ramboe

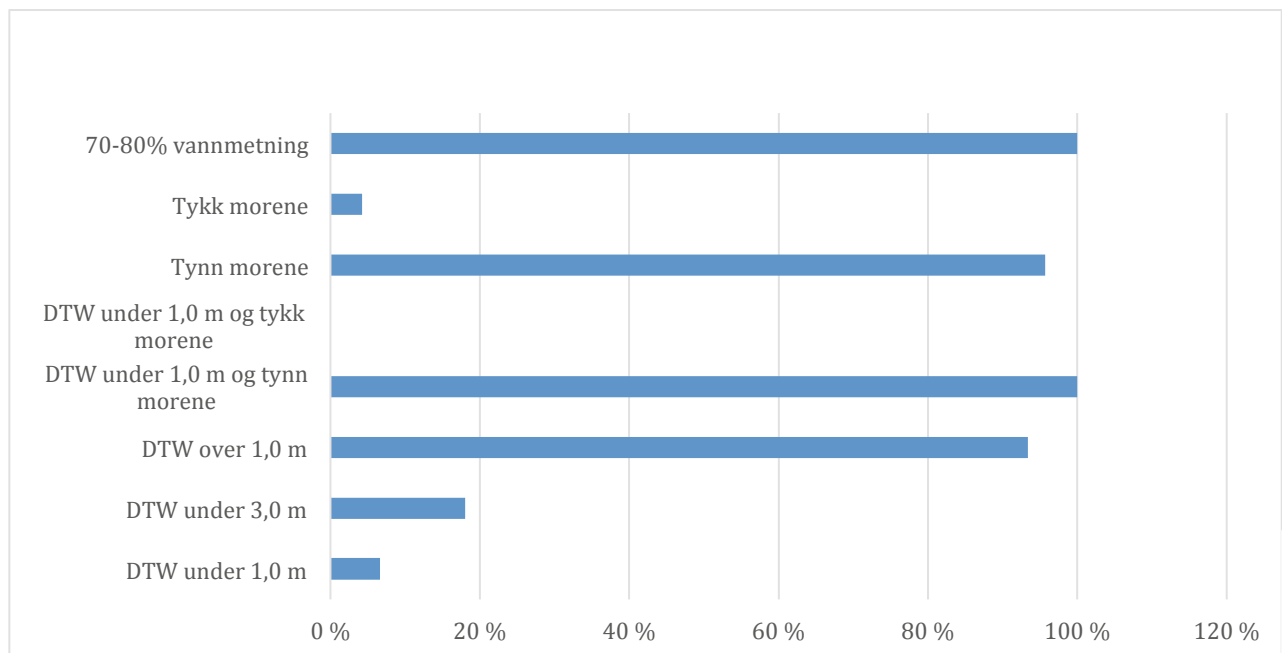
Dette var ei stor drift som ble gjennomført i oktober, med relativt høy vannmetning, og mye nedbør. Forutsetningene tatt i betraktning er det relativt lite kjøreskader her. Ser man på driftsområdet til venstre i figur 22, ser man at det er vel så fuktig her, og det er ikke registrert kjøreskader i det hele tatt.

3.6. Sammenligning av kategoriene: store drifter, vinterdrifter, fuktige drifter



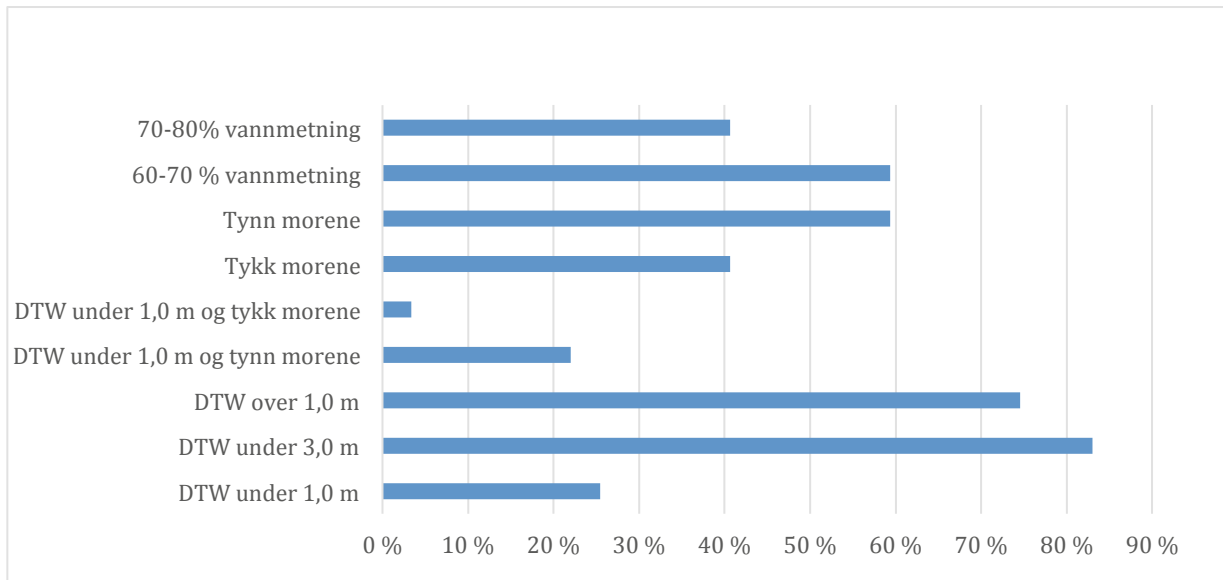
Figur 24: De 3 største driftene

Alle driftene har foregått på sommer og høst, uten tele og med relativt lav vannmetning. Kun 13 % av kjøreskadene i disse driftene oppstod i områder som var merket fuktig ifølge fuktighetskartet, mens 40 % av kjøreskadene oppstod i områder med fuktighetsverdier fra 3,0 m og lavere. Kjøreskadene bærer preg av å ha oppstått i områder med tykk morene, dette er også den mest vanlige løsmassetypen i områdene med DTW lavere enn 1,0 m.



Figur 25: Drifter gjennomført med tele på vinterstid

Driftene har hatt mye nedbør underveis, men er kjørt med noe tele til stede. Det var høy vannmetning under begge driftene. Kun 7 % av kjøreskadene har oppstått i områder som er merket fuktig ifølge fuktighetskartet, noe som er svært lavt. Tynn morene er den vanligste løsmassetypen der kjøreskaden har oppstått, med 96 %. Løsmassetypen i fuktige områder er utelukkende tynn morene.

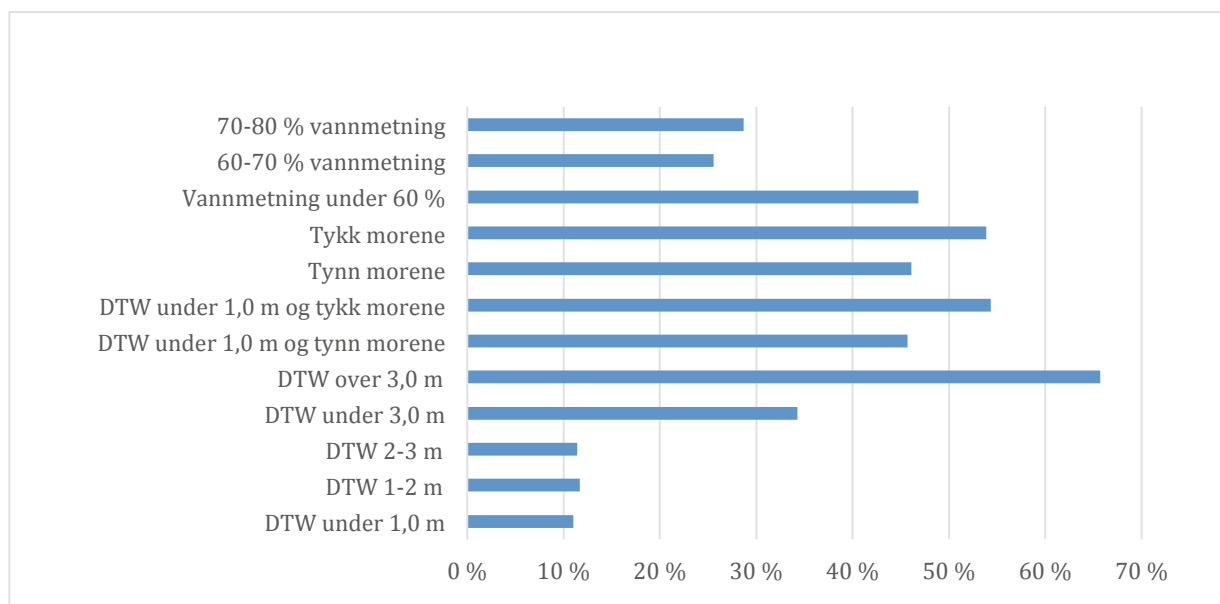


Figur 26: Drifter gjennomført med mye nedbør uka før og under drift

25 % av kjøreskadene på disse driftene har oppstått i områder som er merket fuktig i fuktighetskartet, og godt over 80 % har oppstått i områder med DTW under 3,0 m. Fordelingen av løsmasser er ca 60 % tynn morene og 40 % tykk morene.

I sammenligning av de tre kategoriene kan vi se at for kjøreskader i drifter uavhengig av størrelse har løsmassetypen vært preget av tynn morene. I ingen av tilfellene viser det seg at kjøreskade alene kan forklares av fuktighetskartet.

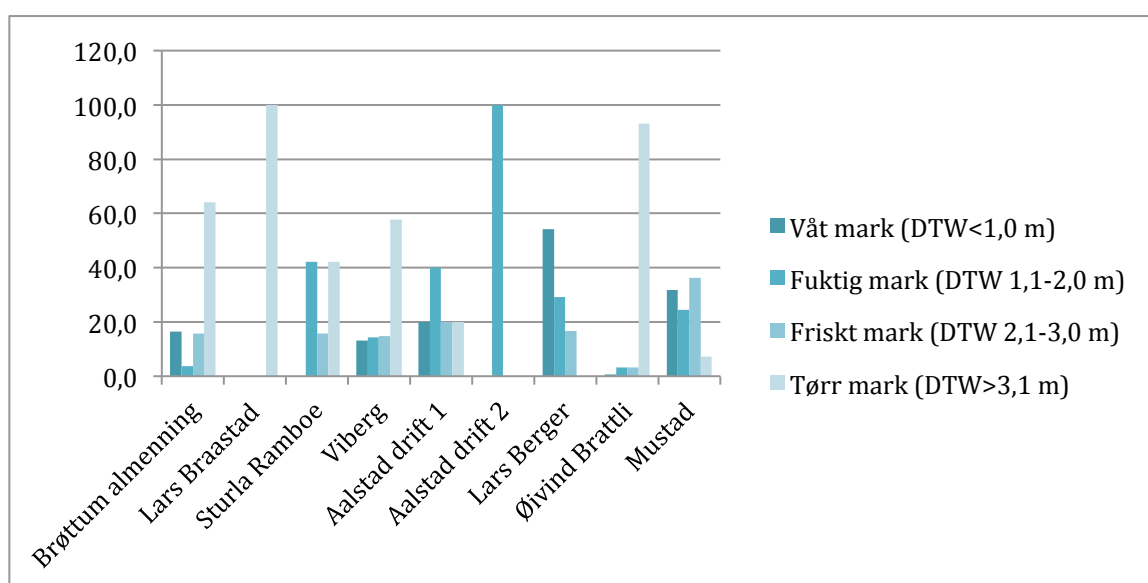
3.7. Fuktighetsverdier hos samtlige drifter



Figur 27: Statistikk for samtlige drifter.

For samtlige drifter kan vi se at kun 11 % av kjøreskadene har oppstått i områder som er merket fuktig mens 34 % har oppstått der DTW er under 3,0 m (jmf figur 27). Fordelingen mellom tynn og tykk morene er henholdsvis 46 % og 54 %, altså en svært liten forskjell (jmf figur 27).

For å vise fuktighetsgraden for kjøreskadene er det gjort en kategorisering av fuktighet for hver drift, lik som for STIG-prosjektet.



Figur 28: Viser 4 ulike grader av fuktighet for hver av driftene. Andelen av hver fuktighetsgrad er i prosent.

3.8. Variabler som har innflytelse på DTW.

For å gjøre en mer detaljert analyse av selve fuktighetskartet gjorde jeg en lineær regresjonsanalyse i R-Commander. Her ble faktorene løsmasstype, nedbørsmengde før drift, nedbørsmengde etter drift, bratthet og driftsstørrelse testet mot fuktighetskartet for å se hvilke variabler som har største innflytelse på fuktighetsverdiene på samtlige kjøreskader. Testen ble utført med 95 % signifikansnivå.

Hypotesen var som følger:

H0: Variabelen har ikke innflytelse på DTW.

H1: Variabelen har innflytelse på DTW.

Under følger en tabell som viser resultatene i R-Commander.

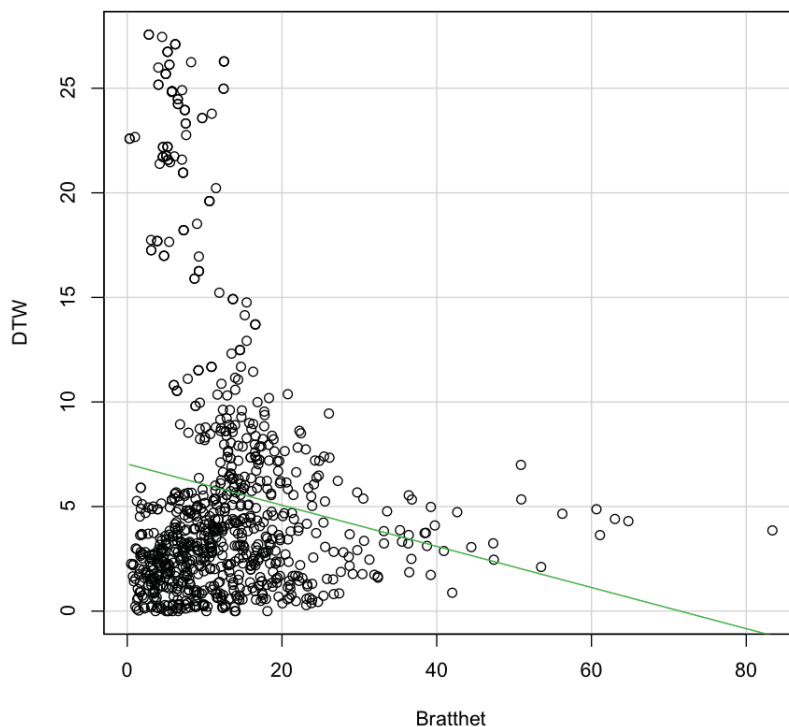
Output					
Min	1Q	Median	3Q	Max	
-8.9830	-2.3106	-0.0884	1.9758	14.6751	
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	0.9483676	1.0053177	0.943	0.345773	
Bratthet	-0.0638493	0.0176383	-3.620	0.000312	***
Driftstorrelse	-0.0012524	0.0001491	-8.401	< 2e-16	***
Losmasser(Tykk)	-1.0818387	0.2068798	-5.229	2.15e-07	***
Nedbor.for.drifta	0.0638165	0.0130616	4.886	1.23e-06	***
Nedbor.under.drifta	0.2672127	0.0272827	9.794	< 2e-16	***

Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' ' 1
s: 4.668 on 839 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0.4701,					
Adjusted R-squared: 0.4669					
F-statistic: 148.9 on 5 and 839 DF, p-value: < 2.2e-16					

Figur 29: Ved å kjøre "Linear Model" med DTW som variabel på Y-aksen ble resultatet en p-verdi for hver av variablene, samt en felles R^2 som viser hvor godt alle variablene til sammen harmonerer med DTW.

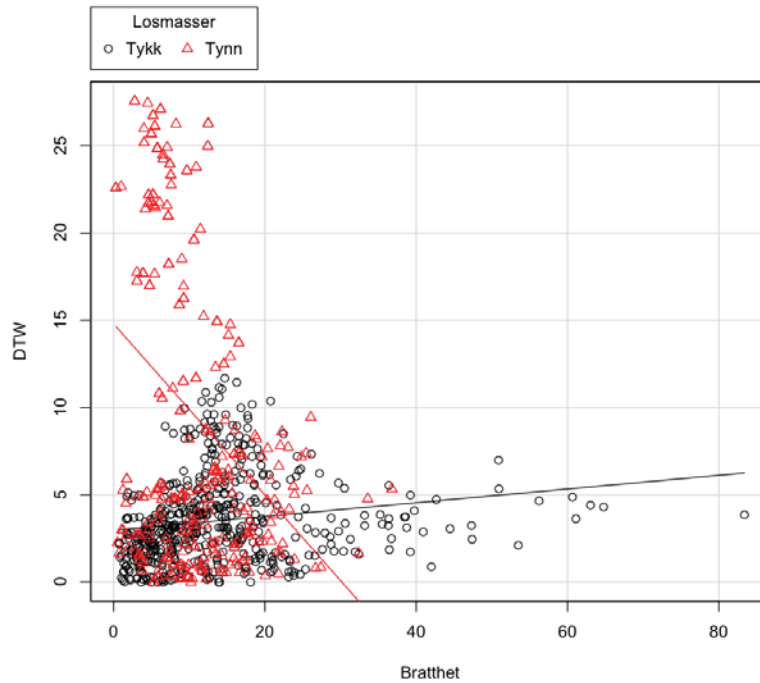
Mine undersøkelser er gjort med et signifikansnivå på 0.95. Verdier med P-verdi høyere enn 0.05 kan derfor forkastes. Av figur 29 kan vi se at H_0 kan forkastes for alle variabler, alle variablene er dermed signifikante. R^2 sier noe om hvor godt dataene samsvarer med hverandre. $R^2 = 1$ betyr at det er en perfekt lineær sammenheng mellom X og Y variabelen. R^2 verdien i figur 31 viser at samtlige variabler harmoniserer med DTW i 47 % av tilfellene. Nedenfor kommer en beskrivelse av hver variabel hver for seg ovenfor DTW og med henholdsvis tykk og tynn morene.

3.8.1. Bratthet



Figur 30: Bratthet og DTW med en P-verdi på 0,00031 og en R^2 på 2 %

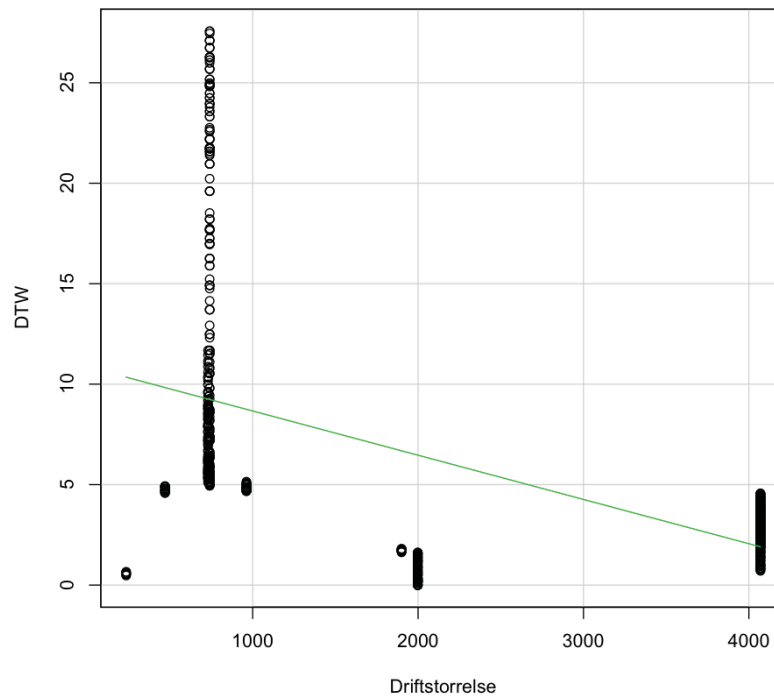
Bratthet og DTW ga en P-verdi på 0,00031 og en R^2 på 2 %.



Figur 31: Fordelingen av tynn og tykk morene for variablene bratthet og DTW.

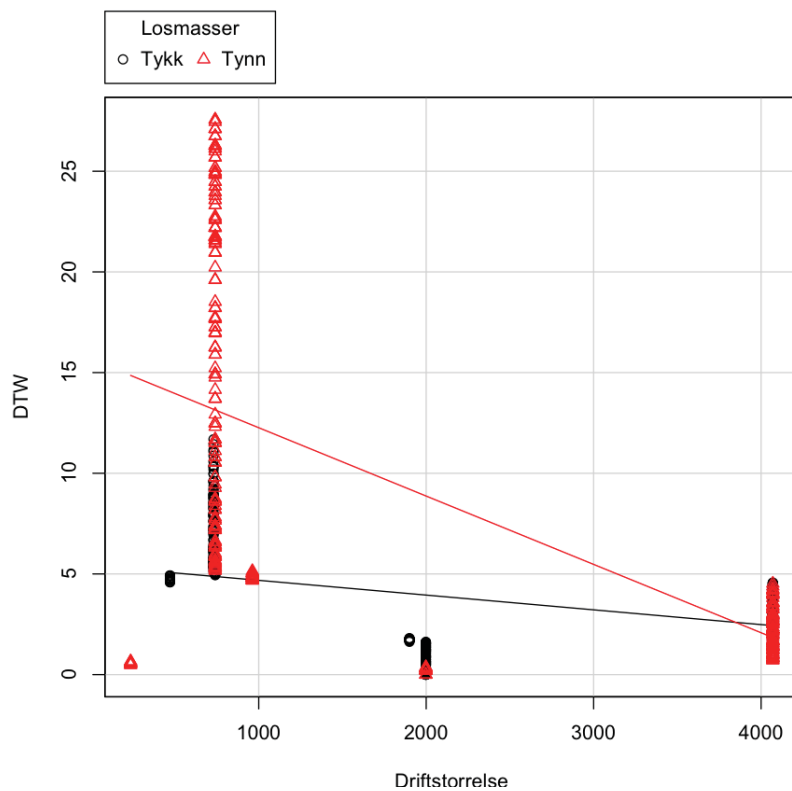
Av figur 30 kan vi se at økt bratthet og økt DTW harmonerer i svært liten grad for en kjøreskade (jmf figur 30). Figur 31 viser at for tynn morene har kjøreskader oppstått på områder med svært høy DTW og lav bratthet, mens for tykk morene ser vi at noe kjøreskader har oppstått i områder med lav DTW, men høy bratthet.

3.8.2. Driftsstørrelse



Figur 32: Sammenhengen mellom driftsstørrelse og DTW, der driftsstørrelse beskrives i antall kubikk.

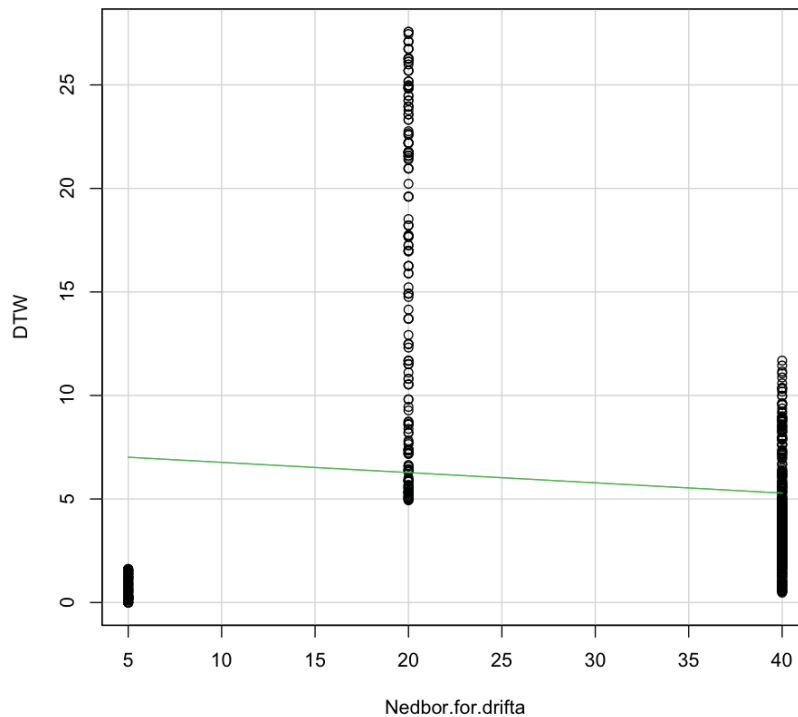
Driftsstørrelse og DTW ga en P-verdi på 2,2E-16 og en R^2 på 27 %.



Figur 33: Fordelingen av tynn og tykk morene for variablene driftsstørrelse og DTW.

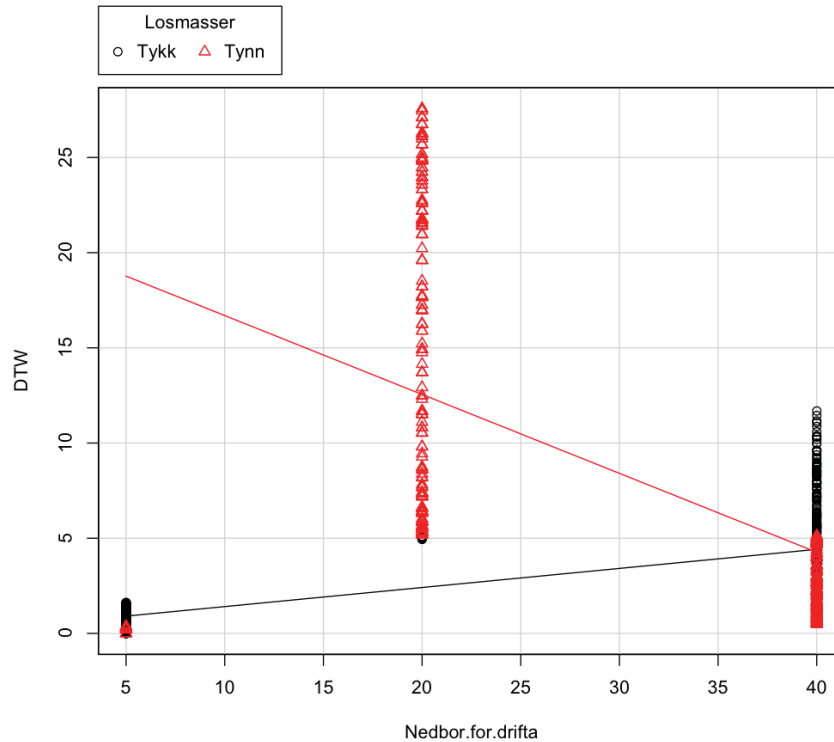
Jmf figur 32 ser vi at det er negativt korrelasjon. Større drifter gir kjøreskader med lavere DTW enn det små drifter har gjort. Jmf figur 33 er det tynn morene der det har oppstått kjøreskader på store drifter.

3.8.3. Nedbør uka før drift



Figur 34: Sammenhengen mellom nedbør før drift og DTW.

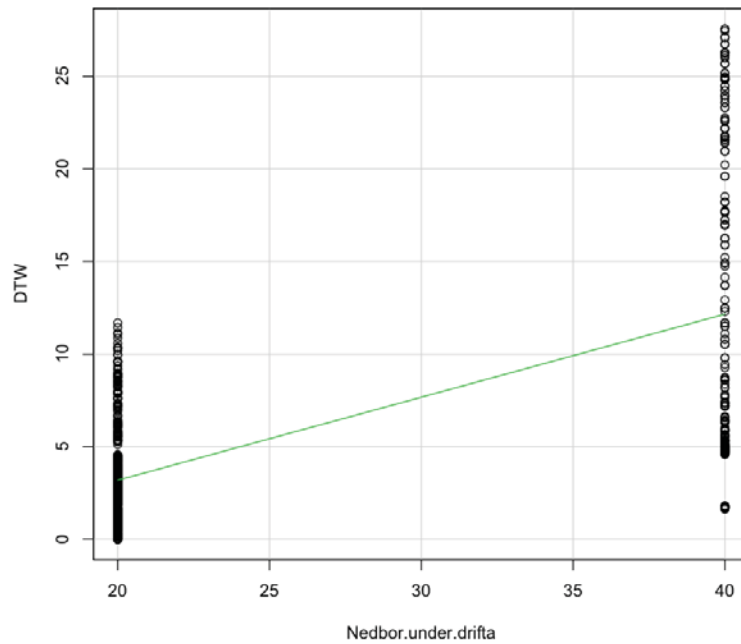
Nedbør før drift og DTW ga en P-verdi på 0,00185 og R^2 på 1,02 %.



Figur 35: Fordelingen av tynn og tykk morene for variablene nedbør før drifta

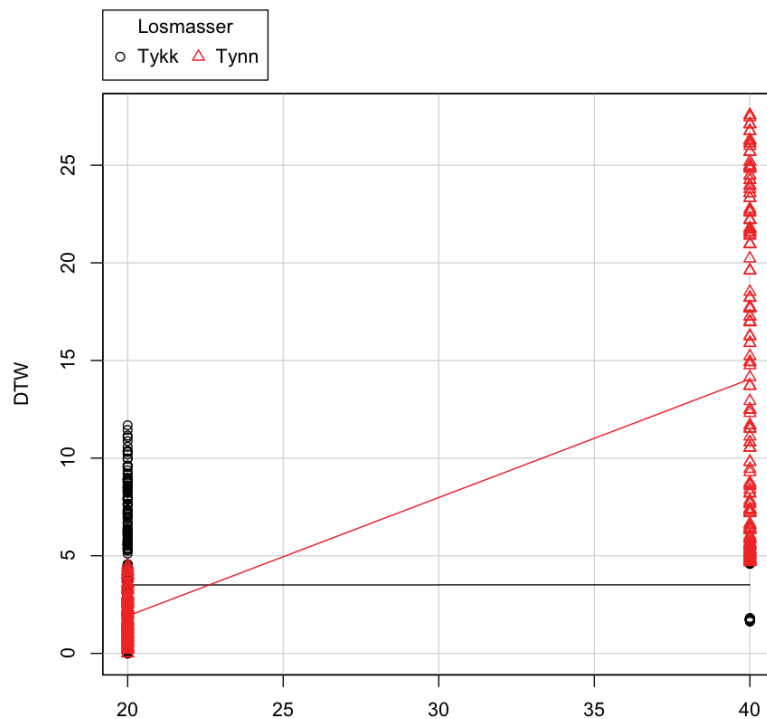
Nedbørsverdiene er et gjennomsnitt av de samme nedbørsklassene som er beskrevet tidligere i oppgaven. Det vil si at kategorien "under 10 mm" her er beskrevet som 5 mm, 10-30 mm er beskrevet som 20 mm, og 30-50 mm er beskrevet som 40 mm. Vi ser at økt nedbørsmengde uka før drift harmonerer relativt dårlig med DTW (jmf. Figur 34). Det som slår mest ut er store kjøreskader ved middels høy fuktighet på mark med høy DTW. Kjøreskaderegistreringene med høyest DTW i figuren stammer fra samme drift som er beskrevet under kapittel 5.1.4. Dette er drifta hos Øyvind Brattli (jmf figur 12 og 13). For kjøreskadene har tynn morene en tendens til prege kjøreskadene som har oppstått ved lav DTW og med mye nedbør før drift, mens tykk morene preger kjøreskader som har oppstått ved høyere DTW og mye nedbør (jmf figur 35).

3.8.4. Nedbør under drift



Figur 36: Sammenhengen mellom nedbør under drift og DTW.
40,7 %

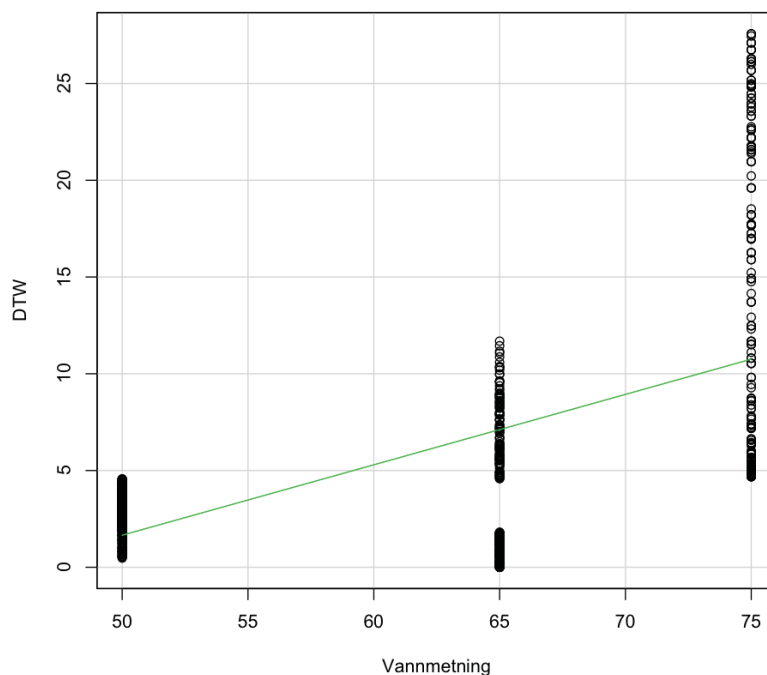
Nedbør under drift og DTW ga en P-verdi på $2,2E - 16$ og R^2 på 40,7 %.



Figur 37: Fordelingen av tynn og tykk morene for variablene
nedbør under drifta og DTW.

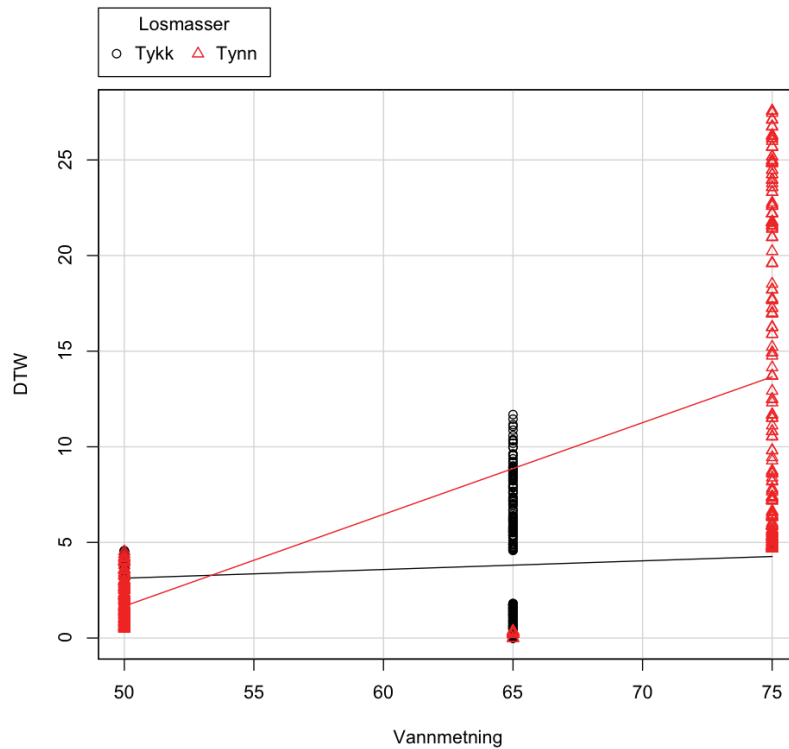
Nedbørsverdiene er skrevet om på samme måte som i kapittel 3.8.3, med 20 mm og 40 mm som gjennomsnittsverdier for henholdsvis 10-30 mm og 30-50 mm. Jmf figur 36, ser vi at R^2 er på ligg i overkant av 40 %, og økende nedbør under drifta gir kjøreskader på områder med høy DTW. Dette gjelder spesielt for tynn morene, for tykk morene er det ingen betydelig forskjell på økt nedbør under drift og økt DTW (jmf figur 37).

3.8.5. Vannmetning



Figur 38: Sammenhengen mellom vannmetning og DTW.

Vannmetning i % og DTW ga en P-verdi på $2,2E - 16$ og en R^2 -verdi på 33,5 %.



Figur 39: Fordelingen av tynn og tykk morene for variablene vannmetning og DTW.

Den statistiske undersøkelse viser en korrelasjon på vannmetning og DTW i 33,5 % av tilfellene (jmf figur 38). For tynn morene ser vi at det har oppstått kjøreskader på lav DTW og lav vannmetning, samt høy DTW og høy vannmetning. I kjøreskadene som har oppstått ved lav vannmetning har vi i størst grad hatt tynn morene. Dette gjelder også for høy vannmetning, mens kjøreskadene ved middels vannmetning har vært preget av tykk morene (jmf figur 39).

4. Diskusjon

Min analyse av 9 drifter med registrerte kjøreskader har vist store resultatvariasjoner med hensyn på klimavariablene, fuktighetsvariabelen, løsmassevariabelen og driftsstørrelse. Ut i fra de 60 registrerte driftskontrollene jeg har tatt utgangspunkt i var det kun 9 drifter hvor det var gjort ei digital kjøreskader registrering, noe man er avhengig av å ha i en slik studie. Dette utvalget er svært lite, og begrenser kategoriseringsmulighetene noe som gjør det vanskelig å se forskjeller og trekke gode konklusjoner av resultatene. Digital registrering av biologiske variabler er vanskelig å gjøre på en nøyaktig måte, da variabler som klima vil ha mye å si og samtidig ha store lokale forskjeller. Sammenlignet med STIG-prosjektet hvor over 60 % av alle kjøreskadene har oppstått i områder som er kategorisert som fuktig ($DTW < 1,0$ m) (Bergkvist et al. 2014), viser mine resultater at kun 11 % av kjøreskadene har oppstått i områder hvor $DTW < 1,0$ m (figur 27.) Forventningene var at denne andelen skulle være høyere, tidligere studier tatt i betraktning. Dette viser at kjørespordannelse er komplekst, og ikke kan forklares alene av en digital fuktighetsindeks. Videre vil jeg drøfte de ulike variablene som jeg har valgt å vektlegge ved siden av fuktighetskartet i min studie.

4.1. Klimadata og løsmasseinformasjon

Som nevnt innledningsvis er klimadataene hentet fra senorge.no. Dette er en database som besitter klimadata fra langt bak i tid. Prosentvis vannmetning i jord beskriver et forhold mellom dagens simulerte vannlager i forhold til en referanseperiode fra 1981 til 2010 ved bruk av HBV-modellen. Dette er data som kommer fra Norges vassdrags og energidirektorat. Det er inndelt i 4 vannmetningsklasser, og nøyaktigheten på rutenettet er 1 km x 1 km. Dette er et grovt rutenett, og i sammenheng med denne studien er rutene i seg selv større enn et gjennomsnittlig driftsområde. Det betyr at nøyaktigheten ikke er stor, men den gir en indikasjon. Størrelsen på rutenettet er også lik for nedbør, temperatur og telesimuleringer. Nedbør og temperatursimuleringene er data som kommer fra metrologisk institutt. Denne informasjonen er grov og ikke lokalt tilpasset.

Informasjon om nedbør under drift og vannmetning er likevel variablene som viser seg å ha best korrelasjon med DTW for en kjøreskade. Ved økt nedbør under drift har det oppstått

kjøreskader i områder med høye DTW-verdier som tilsier at områdene er tørre. Det samme gjelder vannmetning. Disse resultatene gjelder i størst grad for tynn morene. Klassifiseringen av tynn og tykk morene er dog unøyaktige. Tykk morene er definert som avsetninger som har en tykkelse på over 0,5 m, mens tynn morene er definert som avsetninger med en tykkelse på under 0,5 m. Disse resultatene harmonerer med studien av Aampoorter et al. (2007), der det konkluderes med at jordtyper med høyere tetthet og mindre luft i kg/m^3 er mer motstandsdyktig mot kjøreskader. I en studie av Solgi et al. (2014), konkluderes det med at jord med tynt humuslag har lettere for å få kjøreskader enn jord med tykt humuslag. Tynn morene er mer luftig enn tykk morene, noe som gjør at den drenerer bedre, men blir raskere veldig våt og skjør for belastning. At klassene for henholdsvis tynn og tykk morene er såpass store vil si at de innehar jordtyper av stor variasjon, dette må tas med i betraktningen av resultatene i denne studien.

4.2. Gyldighet av kjøreskaderegistreringen

Kjøreskaden er registrert av lassbærersjåføren ved driftsavslutning, og tegnet inn samtidig. Denne gir oss en god indikator på hvor kjøreskader av betydning har funnet sted. Inntegningen kommer i de aller fleste tilfeller alene på en shapefil, uten en tracklog i tillegg. For bedre analyse av kjøreskader er kjøreskaderegistreringen kombinert med tracklog en mer fullstendig registrering som gjør det lettere å se alternative kjøreruter for å unngå kjøreskader. Dette oppfordres entreprenører og skogbruksplanleggere å bli flinkere til å registrere. Å se tracklog kombinert med kjøreskade gir rom for diskusjon, spesielt sammen med fuktighetskart og høydekurver. Det er sjeldent noen fasit på hvor man skal legge en basveg, men kostnadseffektiv og skånsom kjøring er det som bør ligge til grunn for valget. Driftsinformasjon for øvrig er hentet fra driftskontroller som er basert på feltarbeid. Disse er svært nøyaktig.

4.3. Gyldighet av fuktighetskartet

I prosesseringen av DTW er terrengmodellen bygget opp av flybåren laserscanning. Ved bruk av denne metoden er nøyaktigheten på registreringen av fuktige områder et usikkerhetsmoment. I hvilken grad laserscanning klarer å ta hensyn til alle mindre bekker og pytter kan være avgjørende for hvor nøyaktig DTW kan bli. Unøyaktigheten på registrering av mindre pytter og små bekker i DTW er beskrevet i både Ågren et al. (2014) og Murphy et al. (2011).

Fuktighetskartet er et verktøy som ikke tar hensyn til lokale forskjeller eller klimatiske forhold. Nøyaktigheten på modellen vil derfor ikke gi noe godt svar lokalt, og vil variere mye i forhold til nedbør og snøsmelting. Ågren et al. (2014) viser i sine undersøkelser at fuktighetskartet ga mest nøyaktige resultater ved fuktige deler av sommeren og i snøsmeltesesongen ved å senke nedslagsfeltet i modellen til 1 og 0,25 hektar. Generelt ga et nedslagsfelt på 4 hektar best resultater, mens fuktighetsverktøyet i mine analyser er basert på 1 hektar nedslagsfelt. Ved å se nærmere på driftene i denne studien som ble utført med store nedbørsmengder både før og etter drift, så kan vi se at 83 % av kjøreskadene har oppstått på steder med fuktighetsverdier fra 3,0 m DTW og lavere (jmf figur 26).

Generelt på alle driftene i denne studien ser vi at fuktighetskartet i liten grad kan forklare kjøreskader alene, men at 34 % av skadene har oppstått ved DTW fra 3,0 m og lavere (jmf figur 27). Det kan derfor diskuteres hvorvidt fuktighetskartet bør skaleres opp fra å vise 1,0 m som fuktig til 2,0 eller 3,0 m. For noen av driftene med mye nedbør uka før og under drift har det oppstått kjøreskader i nærheten av områder som er merket fuktig og i tillegg har lav bratthet (jmf figur 18 og figur 19). Disse kjøreskadene kan forklares av at indeksen som viser DTW, utvider seg ved lav bratthet og mye nedbør.

4.4. Intervju med skogbruksleder og entreprenør

Fuktighetskart er et verktøy som teoretisk sett skal være til nytte for en driftsplanlegger, men for å vite hvordan det fungerer i praksis valgte jeg å intervju personer som bruker det. I dette tilfellet foregikk driftsplanleggingen slik at skogbrukslederen etter kontakt og avtale med skogeier planla driftsområdet med en basveg og en velteplass. Denne prosessen inkluderer en

digital undersøkelse i GIS hvor skogbrukslederen bruker bestandskart med bestandsinformasjon og blant annet fuktighetskart som tilleggsinformasjon for å se den beste framkjøringsmuligheten for tømmeret. Dette etterfølges som oftest av en befaring som gjerne foregår sammen med skogeier hvor de to diskuterer valgene og legger opp en strategi for tømmerdrifta. Etter avtalen er inngått lages driftskartene digitalt og sendes over til entreprenørene som gjennomfører drifta. Samarbeidet mellom skogbruksleder og entreprenør lot entreprenøren løse oppdraget med relativt frie tøyler når det gjaldt kjøremønster og taktiske trasèvalg.

Skogbruksleder påpekte at fuktighetskartet først og fremst er et glimrende virkemiddel for å velge drifter som kan gjennomføres uten tele og under fuktige forhold som det gjerne er i teleløsning på våren, eller sent på høsten. På et mer detaljert nivå var det arbeidsbesparende i at det var enklere å planlegge en nøyaktig basveg i forkant av befaring, som gjør befaringen mer effektiv og mindre tidkrevende. Skogbrukslederen beskriver fuktighetskartet som et enkelt men samtidig utrolig nyttig verktøy som gir nyttig tilleggsinformasjon. Om man føler seg kjent i området eller ikke så er informasjonen aldri overflødig.

Hogstmaskinføreren sa det gjorde han mer effektiv ved at det var lettere å se for seg stikkveier og kjøremønster for å få bedre oversikt over drifta uten nødvendigvis å måtte forlate maskinen. I tillegg brukte han ofte fuktighetskartet til å tolke skogbildet i bestandet, blant annet volum og treslagsfordeling. Områder merket lyseblått, altså $DTW < 1,0$ m, bar ofte preg av større lauvinnslag og tømmer av lavere kvalitet enn tørrere deler av bestandet. Dette gjorde at hogstmaskinføreren ofte la stikkveier i de fuktige områdene. Stikkveiene tar ofte en del plass, og entreprenøren vil heller lage «hull» i bestandet hvor det står dårlig skog i utgangspunktet, enn å legge stikkveier til deler av bestandet hvor tømmerkvaliteten er bedre. Stikkveiene blir som oftest ikke utsatt for noen stor belastning, så det er sjelden noe problem at det oppstår kjøreskader her.

Entreprenøren poengterte at skjønnsutøvelse kombinert med fuktighetskart var nødvendig for å kjøre i de fuktige områdene. Fuktige områder må nesten alltid krysses under ei skogsdrift, men bruk av fuktighetskartet sammen med 5 m høydekurver sier noe om hvor kryssing kan utføres med minst mulig kjørespordannelse. Der fuktighetskartet beskriver området med kun en tykk blå strek tolket entreprenøren ofte til å være den beste passasjen over. Det betyr ofte at det er blokk eller fjell under, og lite fuktige områder omkring.

Området jeg besøkte er preget av gårdsskogbruk og det ligger 150-300 moh. Skogbruksleder beskrev kartlaget som svært nøyaktig, bortsett fra på furupregete områder med

tynn morene og jord som drenerer nedbør svært raskt. I slike områder var det vanskelig å predikere kjøreskader i forhold til nedbørsmengde, og kjøreskader oppstod ofte sporadisk. I tillegg til dette sa han at større drifter ofte ga kjøreskader uavhengig av fuktige områder, løsmassesammensetning, bratthet eller klima. Store drifter og drifter med mye nedbør underveis ga kjøreskader uansett, og ofte på uforutsette steder.

Entreprenøren beskrev kartlaget som nøyaktig, men han så ofte at mindre pytter og dammer med vann ikke var merket i kartlaget. I vassdrag og fuktighetsstrømmer stemte DTW godt overens med virkeligheten. Denne påstanden tilsvare Ågren et al (2014), der TWI beskrives som et bedre verktøy enn DTW for å lokalisere dammer og pytter. Det var også en veldig stor fordel i situasjoner der entreprenøren hadde dårlige lokalkunnskaper kombinert med at bakken var snødekket. Da blir det vanskeligere å se mindre fuktighetsstrømmer, og at det er snø uten at det er tele i bakken hadde ifølge entreprenøren vært veldig vanlig de siste årene.

Skogbruksleder kom til å bruke fuktighetskartet også i planlegging av planting, markberedning og skogkultur fra og med våren 2016. Dette hadde han ikke gjort tidligere, men han så absolutt nytten av å beregne riktig planteantall på hogstfeltet samt at det gir entreprenørene bedre oversikt i hvor det skal plantes og hvor det skal kjøres i markberedning.

4.5. Entreprenører

Entreprenøren er en variabel jeg ikke har noe informasjon om i denne studien. Hvor lenge vedkommende har drevet i bransjen, eller data som sier i hvilken grad det er gjort forebyggende tiltak som kavllegging, barlegging, bruk av kjørematter osv er variabler jeg ikke har informasjon om. Dette er også informasjon som er vanskelig å kategorisere på en nøyaktig måte hvis ikke størrelsen på studien er en annen. Om en entreprenør tar mye hensyn for å unngå kjørespordannelse vil ofte gi store utfall. God barlegging, kavllegging ved kryssing av fuktige områder, rutine i forbindelse med valg av basveg uavhengig av om det brukes fuktighetskart eller ikke, er helt avgjørende for kjørespordannelse. Dette gjør seg gjeldende spesielt på større drifter der belastningen er stor. Dette kombinert med mye nedbør vil potensielt gi store kjøreskader nesten uansett (jmf kapittel 4.4 – Intervju med skogbruksleder og entreprenør). Et eksempel på slike tilfeller er drifta hos Viberg i Ringsaker (jmf figur 8 og 9). Et annet aspekt som kan bidra til kjøring i områder som er merket fuktig er at bakken er snødekket. Uten å kjøre etter

fuktighetskartet i lassbæreren og hogstmaskinen kan det da kjøres unødvendig i fuktige områder. Dette kan være en grunn til deler av kjøreskadene på drifta hos Sturla Ramboe (jmf figur 10 og 11).

5. Konklusjon

Å ta i fatt på en slik studie og regne med at all sporskadedannelse kunne vært unngått ved bruk av fuktighetskart er helt urealistisk. Skogbruksplanlegging er en prosess hvor digitale verktøy er et hjelpemiddel for å gi et så realistisk bilde av virkeligheten som mulig. Registrering av biologiske variabler er komplekst og vil aldri vise det faktiske terrenget eller det faktiske skogbildet på lokalt nivå.

Fuktighetskartet er et godt eksempel på dette. Det gir et digitalt inntrykk av fuktighetsstrømmer og fuktige områder og hjelper skogbruksplanleggere og entreprenører til å få et mer helhetlig bilde av det faktiske terrenget. Mine studier viser at fuktighetskart alene ikke kan forklare hvorfor en kjøreskade oppstår, men at variablene som beskriver vannmetning og nedbør under drift påvirker kjørespordannelse i størst grad. Mine resultater viser også at økt vannmetning og økt nedbør under drift gir kjøreskader ved høyere DTW-verdier. Disse resultatene er signifikante ved et signifikansnivå på 0.95. Mye nedbør under drift og høy vannmetning i skogbunnen, spesielt i områder med mye tynn morene, vil være variabler som fremprovoserer kjøreskader også i områder med høy DTW. Hvordan fuktige områder vises på kartet er et tema som kan diskuteres. Basert på denne studien kan det diskuteres om informasjon om løsmassetyper skal implementeres i fuktighetskartet slik at områder med tynn morene synliggjør fuktige områder opp til 2,0 m. DTW, mens tykk morene fortsatt viser DTW på 1,0 m.

Basert på intervjuer og praktiske betraktninger rundt bruk av fuktighetskart som digitalt verktøy ser vi at kartlaget er et godt verktøy for å senke kjøreskadeandelen fra mekanisert hogst i Norge i dag. Det er brukervennlig og nøyaktig nok til å gi et realistisk bilde av det faktiske terrenget, og i mange tilfeller kan det være nok. Det gir digital informasjon som for en skogbruksplanlegger eller entreprenør oppleves som en stor bonus i forhold til å ikke ha det tilgjengelig. Fuktighetskartet kan brukes for å unngå kjøreskader, men også for entreprenørens taktiske kjøring og for å lese skogbildet i form av treslag og produksjon. Mye nedbør under drift vil gi kjøreskader uansett hva fuktighetskartet viser. Fuktighetskart kan også være et godt hjelpemiddel til andre skjøtselstiltak som planting, markberedning og ungskogpleie (se kapittel 4.4 – Intervju med skogbruksleder og entreprenør).

Basert på denne studien vil svaret på hypotese 1 (se s. 11) være at kjøreskadene ikke alene kan forklares av en variabel. Kjørespordannelse er komplekst, og alle variablene som er diskutert i kapittel 4 vil påvirke på sin måte. Svaret på hypotese 2 (se s. 11) er at nedbør under drift og vannmetning er de to variablene i denne studien som harmonerer best med DTW. For å kunne trekke konklusjoner av større betydelighet innenfor dette temaet kreves mer forskning. Større datamateriale og mer nøyaktig informasjon om nedbør og vannmetning registrert på lokalt nivå vil være nødvendig.

6. Kildehenvisning

- Aaheim, A., Dannevig, H., Ericsson, T., Oort, B. V., Innbjør, L., & Rauken, T. (2009). *Konsekvenser av klimaendringer, tilpasning og sårbarhet i Norge- Rapport til klimatilpasningsutvalget*. Oslo: Center for International Climate and Environmental Research.
- Aampoorter, E., Goris, R., Cornelis, W., & Verheyen, K. (2007). Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils. *Forest Ecology and Management* 241 , 162-173.
- Arp, P. (2009). High resolution flow-channel and wet-areas maps: a tool for better forest operations planning. *SFM Network Research Note Series No. 55* , 1-6.
- Bergkvist, I., Friberg, G., Mohtashami, S., & Sonesson, J. (2014). *STIG projektet 2010-2014*. Uppsala: Skogforsk 818-2014.
- Friberg, G. (2014). En analysmetod för att optimera skotning mot optimerad körsträcka och minimerad påverkan på mark och vatten. *Institutionen för skogens produkter* , 1-62.
- Hansen, I. B., Drange, H., Førland, E., & Roald, L. (2009, September). Klima i Norge 2100. *Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpasning* , 1-148.
- Mohtashami, S. (2011, Juni). Planning forest routes for silvicultural activities using GIS based techniques: A case study of Selesjö in Östergötland, Sweden. *TRITA-LWR Degree Project* , 1-43.
- Murphy, P. N., Ogilvie, J., Meng, F., White, B., Bhatti, J. S., & Arp, P. A. (2011). Modelling and mapping topographic variations in forest soils at high resolution: A case study. *Ecological Modelling* , 1-19.
- NGU. (2010). *Produktspesifikasjon:ND_Løsmasser*. Oslo: NGU.

Norsk PEFC, S. (2012). Norsk PEFC skogstandard - feltheft 2012. *Norsk PEFC skogstandard - feltheft 2012*, 1-76.

NGU. (2010). *Produktspesifikasjon: ND_Løsmasser*. Oslo: NGU.

PEFC. (2015). *PEFC N 02 Norsk PEFC Skogstandard*. Oslo: www.pefcnorge.org.

Solgi, A., & Najafi, A. (2014). The impacts of ground-based logging equipment on forest soil. *Journal of forest science*, 60, 28-34.

White, B., Ogilvie, J., David, M., Campbell, M., Hiltz, D., Gauthier, B., et al. (2013, January 23). Using the Cartographic Depth- to- Water Index to Locate Small Streams and Associated Wet Areas across Landscapes. *Canadian Water Resources Journal*, 1-16.

Øvergård, T. (2014). *Prosjekt "Sporløs kjøring"*. Oslo: Skogkurs.

Ågren, A., Lidberg, W., Strömgren, M., Ogilvie, J., & Arp, P. (2014). Evaluating digital terrain indices for soil wetness mapping - a Swedish case study. *HESS*, 1-14.

Statens kartverk. (2011) Spesifikasjon- Laserdata til skogbruksformål (Laser-skog). *Tillegg til produktspesifikasjon, nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB laser)*, 1-5

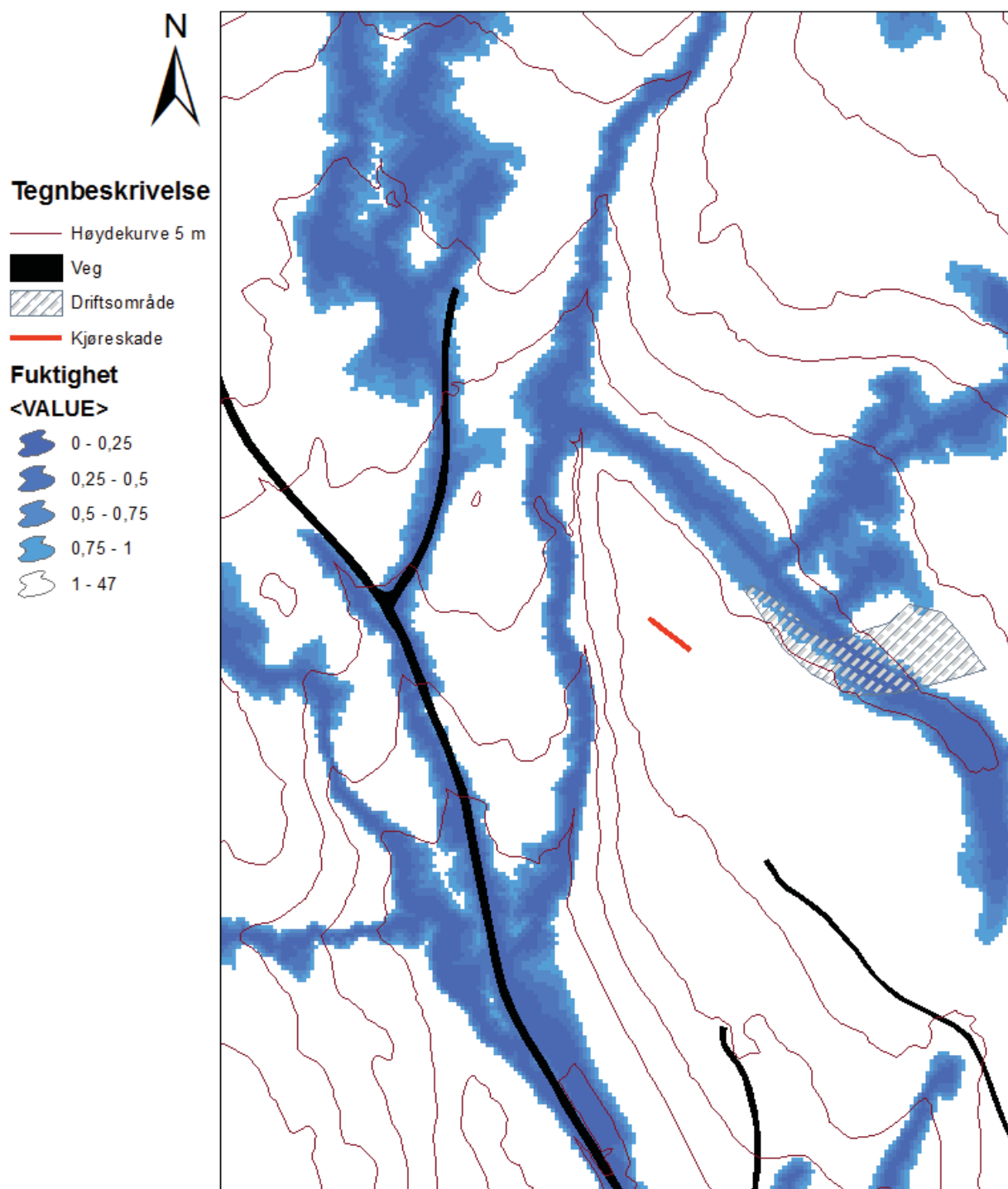


Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway

VEDLEGG 1.

Lars Braastad



VEDLEGG 2.

Mustad

