



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp  
Institutt for Naturforvaltning

## **Undersøkelse av sammenhengen mellom løsmassetyper, markfuktighet og skogsbilveggers bæreevne**

Examination of the Relationship Between Soil  
Types, Soil Moisture and the Carrying Capacity  
of Forest Roads

Karl Andreas Johannessen  
Skogfag

## Forord

Denne oppgaven markerer slutten på min 2-årige mastergradsutdanning i skogfag ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Jeg vil rette en stor takk til førsteamanuensis Jan Bjerketvedt for god veiledning under arbeidet med denne oppgaven. Jeg vill også takke veiplanlegger Nils Olaf Kyllø for informasjon om skogsbilvegen i Selbu, og overingeniør Liv Trongmo Hogres på Kartverket i Steinkjer for tidlig tilgang på upublisert laserdata for Selbu.

## Sammendrag

Skogsbilvegnettet i Norge er under stadig større belastning, industrien krever tømmer hele året. Klimaet er i endring og kjøretøyene blir større og tyngre. Dette fører til et stort behov for opprusting på et skogsbilvegnett som i stor grad ble bygget på 1960- og 70 tallet.

I denne oppgaven ble bæreevne målinger fra 4 skogsbilveger i Norge sammenlignet med løsmasstype og dybde til vann. Bæreevnen ble målt punktvis langs vegene med falllodsmålere. Løsmassetypen i punktene ble bestemt ved bruk av løsmassekart fra Norges geologiske undersøkelse i et GIS-program. I analysene er det tatt utgangspunkt i at vegene er bygget av stedegne løsmasser. Dybden til vann ble beregnet ved bruk av "Depth To Water index" (DTW) metoden. DTW er et GIS verktøy som regner ut den minste forskjellen i høyde fra et punkt til nærmeste åpne vannspeil slik som bekker, elver, innsjøer og havkanten der dybden til vann er satt til 0.

Sammenhengen mellom løsmasstype, DTW og bæreevne ble testet med regresjonsanalyser. Det var kun data fra en skogsbilveg og data fra alle skogsbilvegene samlet som gav signifikante resultater.

Resultatene viser at det ikke er noen sammenheng mellom beregnet DTW og bæreevne. Eller løsmasstype og bæreevne. Men det er statistisk korrelasjon mellom DTW, løsmasser og bæreevne. Selv om mange av resultatene ikke er signifikante og det ikke er korrelasjon. Ser vi klare trender for at bæreevnen går opp med stigende DTW verdier.

## Summary

The forest road network in Norway is under increasing pressure, the industry requires timber throughout the year, the climate is changing and the vehicles are getting bigger and heavier. This leads to a need for improvement on the forest road networks, which was largely built in the 1960s and 70s.

In this study carrying capacity measurements from 4 forest roads in Norway were compared to soil-types and depth to water. The carrying capacity was measured on points along the roads. The soil-types in the points was determined using a soil map from Norway's geological survey in a GIS-program. The analyzes is based on the presumption that the roads are built by indigenous soil types. The depth of water was calculated using the Depth To Water Index (DTW) method. DTW is a GIS tool that calculates the slightest difference in height from one point to the nearest open water level such as streams, rivers, lakes and the shoreline where the depth of water is set to 0. The relationship between soil types, DTW and carrying capacity was tested with regression analyzes. Only data from one of the forest roads and data from all the forest roads gave significant results.

The results show that there is no connection between calculated DTW and carrying capacity. Or soil-type and carrying capacity. However, there is statistical correlation between DTW, soil-types and carrying capacity. Although many of the results are not significant and have low correlation. We see clear trends for carrying capacity to rise with increasing DTW values, on many of the soil-types.

# Innholdsfortegnelse

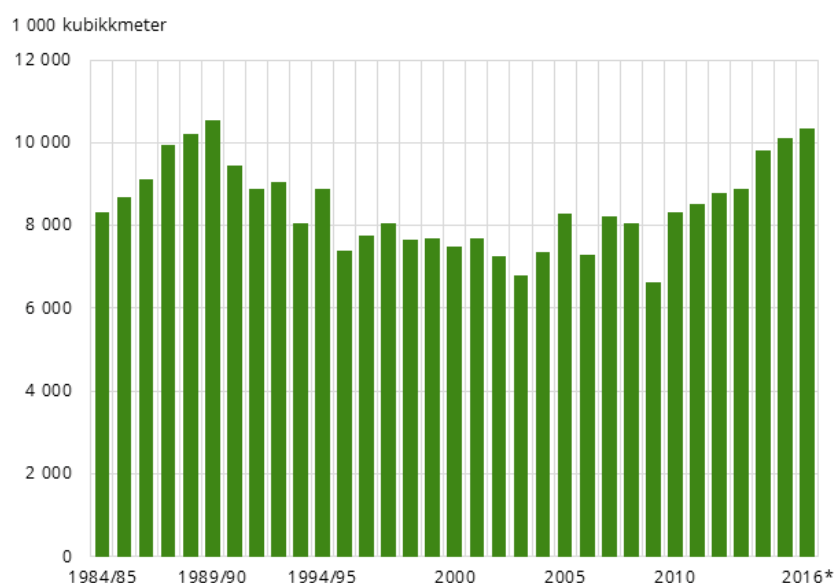
<b>1. Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Skogsbilveger .....	2
1.2 Klima .....	5
1.3 Bæreevne målinger .....	6
1.4 Markfuktighetskart .....	7
1.5 Løsmassekart .....	8
1.6 Problemstilling .....	10
<b>2. Metode</b> .....	<b>11</b>
2.1 Studieområde .....	11
2.2 Markfuktighetskart .....	16
2.3 Bæreevne målinger .....	21
2.4 Løsmassekart .....	22
2.5 Statistikk .....	23
<b>3. Resultater</b> .....	<b>24</b>
3.1 Datasett med alle målinger samlet .....	24
Alle bæreevne målinger sammenlignet med DTW .....	25
Sammenheng mellom hav-, fjord- og strandavsetninger, bæreevne og DTW .....	26
Sammenheng mellom hav og fjordavsetninger, bæreevne og DTW .....	26
Sammenheng mellom tykk morene, bæreevne og DTW .....	27
Sammenheng mellom tynn morene, bæreevne og DTW .....	27
Sammenheng mellom torv og myr, bæreevne og DTW .....	28
3.2 Selbu .....	29
Sammenheng mellom løsmassetyper, bæreevne og DTW .....	30
Sammenheng mellom løsmassetype, nedbøyning og DTW .....	31
Sammenheng mellom tykk morene, bæreevne og DTW .....	32
Sammenheng mellom torv og myr, bæreevne og DTW .....	33
DTW testet mot nedbøyning (G90) .....	33
3.3 Aurskog Høland .....	35
Sammenheng mellom løsmassetyper, bæreevne og DTW .....	36
3.4 Åmot Sommer 2014 .....	38
Sammenheng mellom løsmassetyper, bæreevne og DTW .....	39
3.5 Åmot Høst 2014 .....	40
Sammenheng mellom løsmassetyper, bæreevne og DTW .....	41
3.6 Lunder .....	42
Hav-, fjord- og strandavsetninger sammenlignet med DTW og bæreevne .....	43
<b>4. Diskusjon</b> .....	<b>44</b>
4.1 Markfuktighetskart .....	44
4.2 Markfuktighetskart og løsmassekart .....	45
4.2 Bæreevne målinger .....	45
<b>5. Konklusjon</b> .....	<b>46</b>
<b>6. Referanser</b> .....	<b>47</b>
<b>7. Vedlegg</b> .....	<b>49</b>

## 1. Innledning

Avvirkningen av tømmer har vært økende de siste 7 årene i Norge (Figur 1). Til tross for lavere tømmerpriser i 2016 enn i 2015 økte avvirkningen i 2016 (SSB 2017). Derfor er skogsbilvegnettet i Norge et viktig satsningsområde for det norske skogbruket.

Tømmertransport med lastebil er den mest økonomiske og miljøvennlige formen for transport i forhold til terrengtransport med lassbærer.

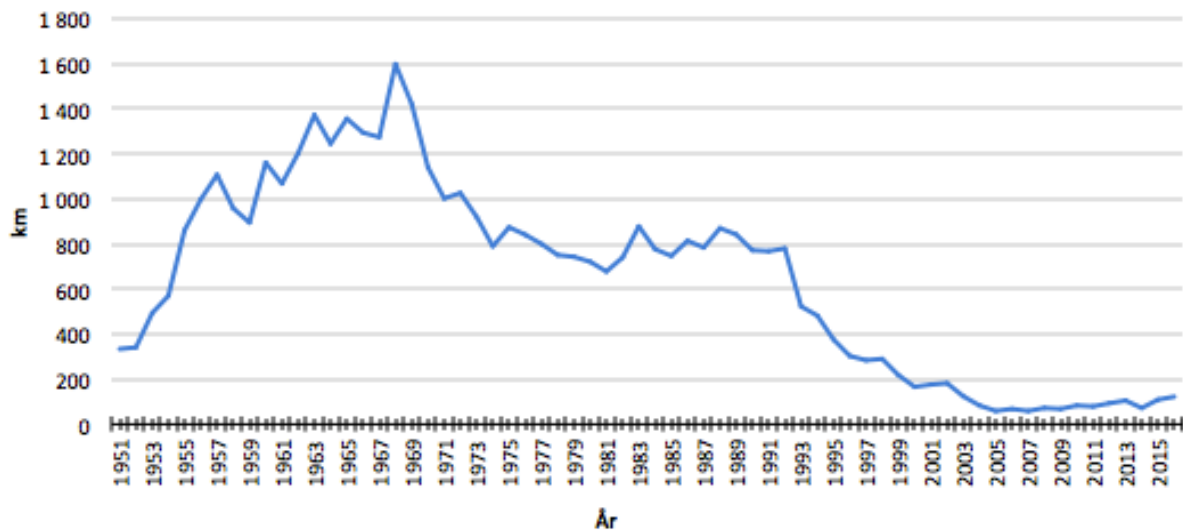
Skogsbilvegnettet i Norge er under stadig større belastning, industrien krever tømmer hele året og kjøretøyene blir større og tyngre. Derfor er skogsbilvegnettet i Norge et viktig satsningsområde for det norske skogbruket. Regjeringen har de siste årene satset mye penger på verdiskapning og utviklingstiltak for skogbruket. Med et klima i forandring og stadig mer nedbør, ekstremvær og fare for flom, kan bruken av verktøy slik som løsmassekart og markfuktighetskart bli mer aktuelt enn det noen gang har vært før.



Figur 1: Avvirkningskvantum (SSB 2017)

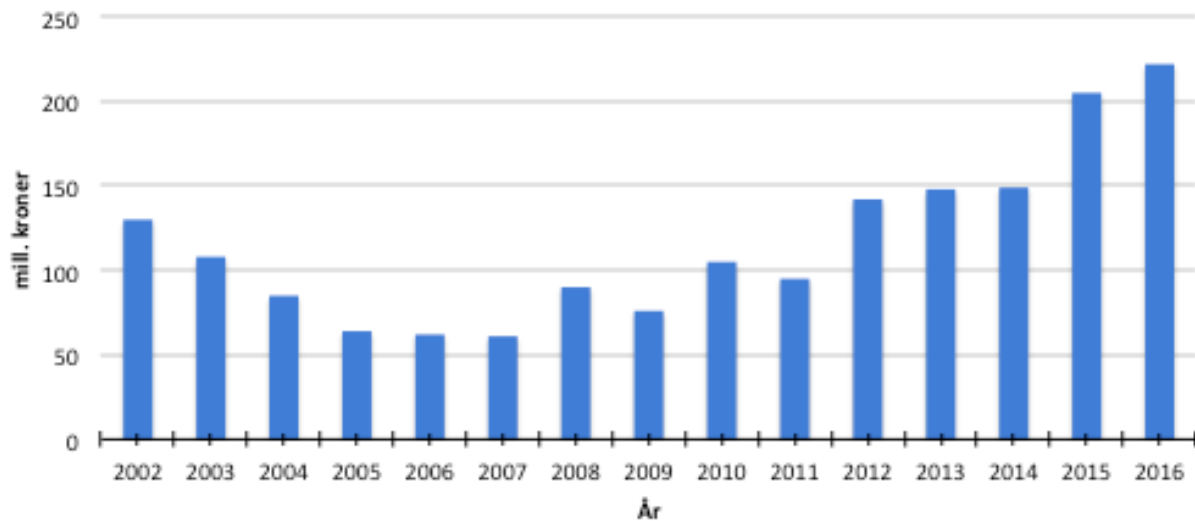
## 1.1 Skogsbilveger

Store deler av skogsbilvegnettet i Norge ble bygget fra 1951 til toppåret 1968 da det ble bygget 1600 km med skogsbilveger. Etter dette ble det bygget betraktelig mindre skogsbilveger frem til 1980 tallet hvor vegbyggingsaktiviteten øker litt og deretter flater ut. Fra 1990 tallet frem til 2004 synker vegbyggingsaktiviteten, veibyggingsaktiviteten øker fra 2004 til 2016 sett bort ifra en nedgang i antall kilometer skogsbilveg bygget i 2014 (Figur 2).



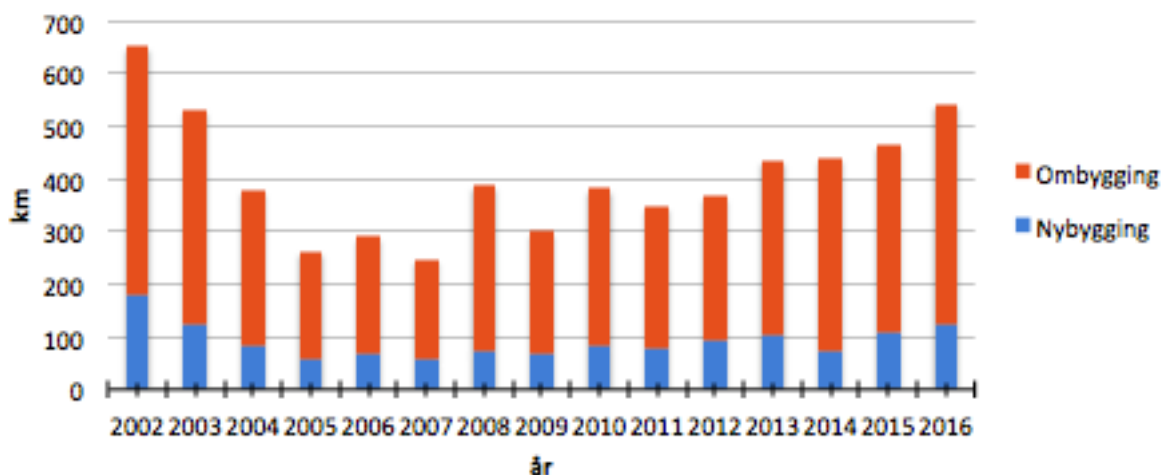
Figur 2: Nybygging av skogsbilveg fra 1951- 2016 (Landbruksdirektoratet 2017)

Investeringen i skogsbilveger er økende, i 2016 ble det investert 8% prosent mer i skogsbilveger enn i 2015 (Figur 3), (Landbruksdirektoratet 2017). Økningen i investeringer er i takt med Regjeringens økende satsing på infrastruktur i skogbruket.



Figur 3: Investering i skogsbilveger 2002- 2016 (Landbruksdirektoratet, 2017)

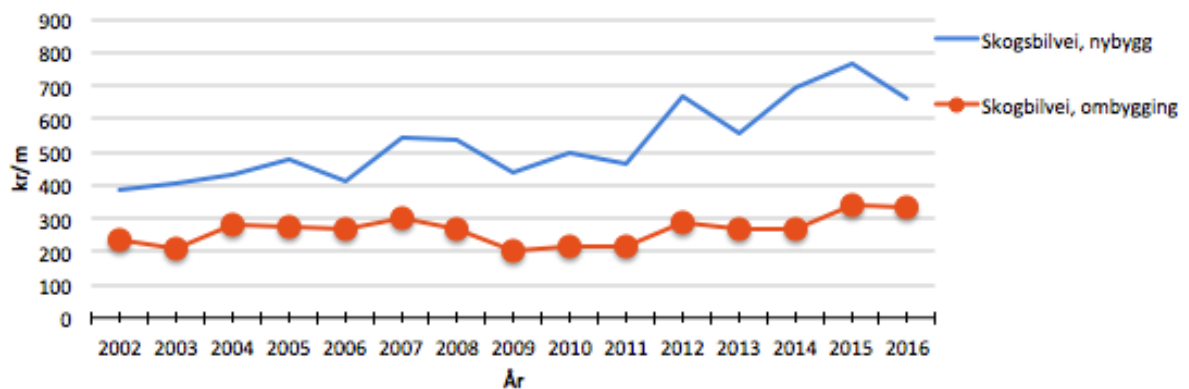
Store deler av skogsbilvegnettet i Norge ble bygget fra 1950 tallet til 1970 tallet. Derfor er mye av byggeaktiviteten på skogsbilveger i dag ombygging til en høyere vegklasse. I 2016 ble det oppgradert 420 km med skogsbilveger i motsetning til 122 km med nybygging (Figur 4), (Landbruksdirektoratet 2017).



Figur 4: Fordeling av nybygging og ombygging av skogsbilveger (Landbruksdirektoratet 2017)



Kostnadene ved nybygging og ombygging av skogsbilveger er svært varierende. Det er mange variabler som har innvirkning på prisen til en skogsbilveg. Kostnadene med et veganlegg varierer i stor grad med terrenget og hva slags løsmasser og berggrunn det er i området. Sprenging og tilkjøring av masser trekker prisen for et skogsbilveganlegg betraktelig opp. Som vist i Figur 5 er prisene på nybygging og ombygging stabil. I 2016 var prisen på nybygg 660 kr meteren, prisen for ombygging var 335 kr (Landbruksdirektoratet 2017). Disse tallene er gjennomsnitt for hele landet, prisene for nybygg og ombygging av skogsbilveger kan variere my både lokalt og regionalt.

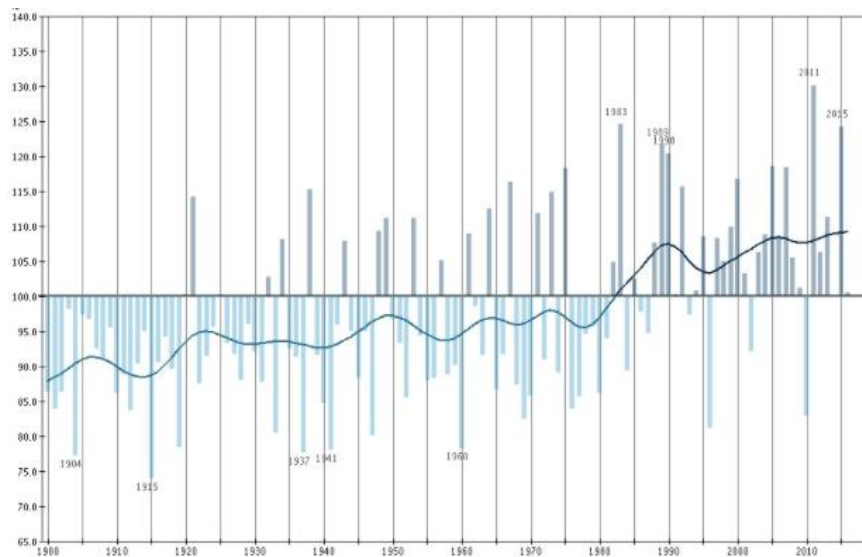


Figur 5: Kostnader for ombygging og nybygging av skogsbilveger (Landbruksdirektoratet 2017)

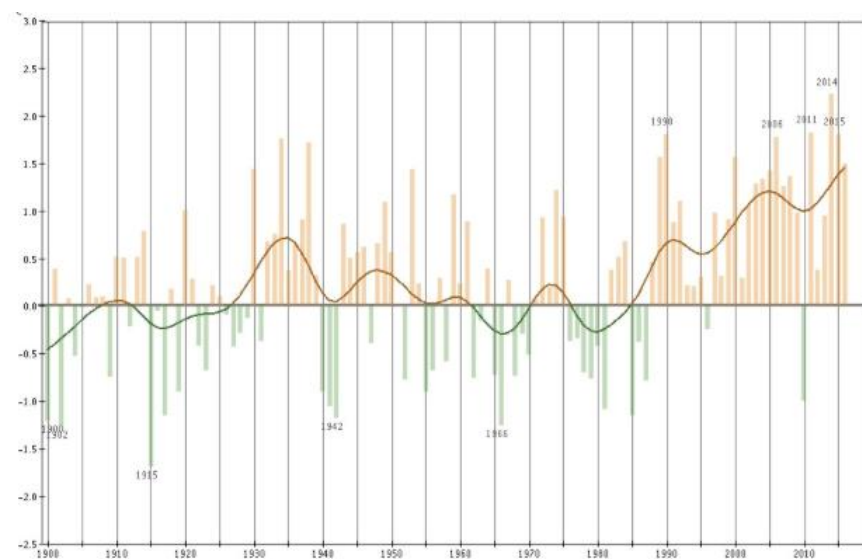
Skogbruket er i forandring med stadig større og tyngre maskiner og effektivisering, dette fører til at kravene til skogsbilveger blir stadig mer omfattende. Siden 1960-tallet har totalvekten og lengden til tømmerbilene økt betraktelig. Vegnormalens krav til skogsbilveger har økt i takt med utviklingen av tømmerbilene. På 1960 tallet var tillatt aksellast på en tømmerbil 8 tonn, på 1980 tallet økte den tillatte aksellasten til dagens standard på 10 tonn (Glommen- Skog 2012). Totalvekten og lengden på tømmerbilene har økt betraktelig siden 1960 tallet. På 1970 tallet var tømmerbilene 18,5 meter lange og hadde en totalvekt på 42 tonn. I dag er tillatt totallengde 24 meter og med en totalvekt på 60 tonn. Denne utviklingen fører til at en stor andel av skogsbilvegnettet må oppgraderes til en høyere standard for å møte dagens krav satt i vegnormalen som er 10 tonn på veg og 13 tonn på bru (LMD 2013).

## 1.2 Klima

Klimaet er i endring, temperaturene og nedbørsmengdene øker. Faren for ekstremvær og økende flomfare er en realitet (Hansen-Bauer et al., 2015). De siste 100 årene har klimaet i Norge blitt våtere (Figur 6) og middeltemperaturen øker (Figur 7), (MET 2017). Dette fører til tidligere teledøsning og mer vann på skogsbilvegene, dette kan føre til dårligere bæreevne spesielt når tømmertransporten nå foregår hele året (Salour & Erlingsson 2013).



Figur 6: Nedbørsøkning siste 100 år (MET, 2017)



Figur 7: Temperatur siste 100 år (MET, 2017)

### 1.3 Bæreevne målinger

Bæreevne målinger på skogsbilveger er viktige for å undersøke veiens bæreevne tilfredsstillende kravene i vegnormalen. Det er flere grunner til at dette er viktig. Staten betaler ut tilskudd til etablering og opprusting av skogsbilveganlegg. Bæreevne målinger kan også bidra til mer informasjon om hvordan fuktighetsforhold og løsmasseforhold påvirker bæreevnen. Dette er spesielt viktig i dag med et klima i endring og stadig tyngre kjøretøy og mer trafikk. Den mest utbredte metoden for å måle bæreevne er fallodd som måler nedbøyningen i veien. En fallodds måler slipper et lodd ned på en plate med en diameter på 30 cm tilsvarende et lastebilhjul. Sensorer (geofoner) plassert i forskjellige avstander fra platen måler nedbøyningen i veien. Av dataene om nedbøyningen kan veiens bæreevne og informasjon om svake lag i veien beregnes. En G90 måling er fra geofonen plassert 90 cm fra senter av platen. G90-verdien viser styrken på undergrunnen. En nedbøyning på over 0,3 mm i G90 indikerer at undergrunnen er dårlig (Rambøll 2015). I denne studien ble bæreevne målingene utført med fallodds målere fra Statens Vegvesen og Rambøll.



Figur 8: Fallodds måler Foto: Jan Bjerketvedt

## 1.4 Markfuktighetskart

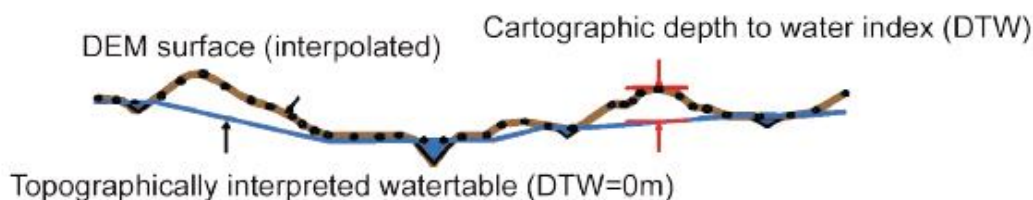
Markfuktighetskart er en kartografisk fremstilling av fuktigheten i et område. Det finnes flere typer markfuktighetskart. De to mest vanlige er Depth To Water index (DTW), (Murphy, et al., 2009) og Topographic Wetness index (TWI). Ågren, et al (2014) sammenlignet DTW og TWI, og kom frem til at den beste og mest stabile modellen var DTW. TWI var mer følsom for bratthet og variasjoner i landskapet.

DTW metoden som ble brukt i denne studien er et kart som viser dybde til vann kartografisk og med en tallverdi. Et grafisk fremstilt DTW kart kommer i denne oppgaven til å bli kalt et markfuktighetskart. DTW regner ut den minste forskjellen i høyde fra et punkt til nærmeste åpne vannspeil slik som bekker, elver, innsjøer og havkanten der dybden til vann er satt til 0 se Figur 9 (Arp 2009). Se metodekapittel for detaljert beskrivelse av denne prosessen.

$$D_{TW} = \left[ \sum \frac{dz_i}{dx_i} a \right] x_c,$$

**Formel 1: Formel for beregning av DTW (Ågren, et al 2014)**

Formel 1: Formel for beregning av DTW (Ågren, et al 2014): Formel 1 viser formelen som er grunnlaget for utregningen av DTW, hvor  $dz/dx$  er hellingen på cellene (i) i forhold til med minst forskjell i høyde.  $X_c$  er størrelsen på cellene (Ågren, et al, 2014).



**Figur 9: Grafisk fremstilling av DTW (Arp 2009)**

Dette er en metode som er basert på en digital terreng modell (DTM) som i denne studien ble basert på flybåren laserdata (FLS) fra kartverket, typen laserdata ble brukt var LiDAR data (Light Detection Detection And Ranging). Laserdataene fra kartverket

har tre ulike kvalitetsklasser: FKB-LASER10, FKB-LASER20 og FKB-LASER50. FKB-LASER10 har en punkttetthet på mellom 2-10 punkt pr m<sup>2</sup>, FKB-LASER20 har en punkttetthet på mellom 0,5- 2 punkt pr m<sup>2</sup> og FKB- LASER50 har en punkttetthet på mellom 0,1- 0,5 punkt pr m<sup>2</sup> (Kartverket 2013). Ulik punkttetthet vil gi forskjellig kvalitet og detaljnivå på den digitale terrengmodellen.

## 1.5 Løsmassekart

Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) har løsmassekart tilgjengelige både som kartdata til GIS-programmer og en nettløsning. I disse kartene ligger informasjonen NGU har om løsmasser i et gitt område.

Løsmasser er svært viktig i forbindelse med vegbygging siden noen typer løsmasser egner seg bedre enn andre til vegbygging. Forskjellige typer løsmasser har forskjellig bæreevne og responderer ulikt på vann. Løsmassedatene fra NGU viser kun de løsmassetypene som dominerer øverst i terrengoverflaten (NGU 2015).

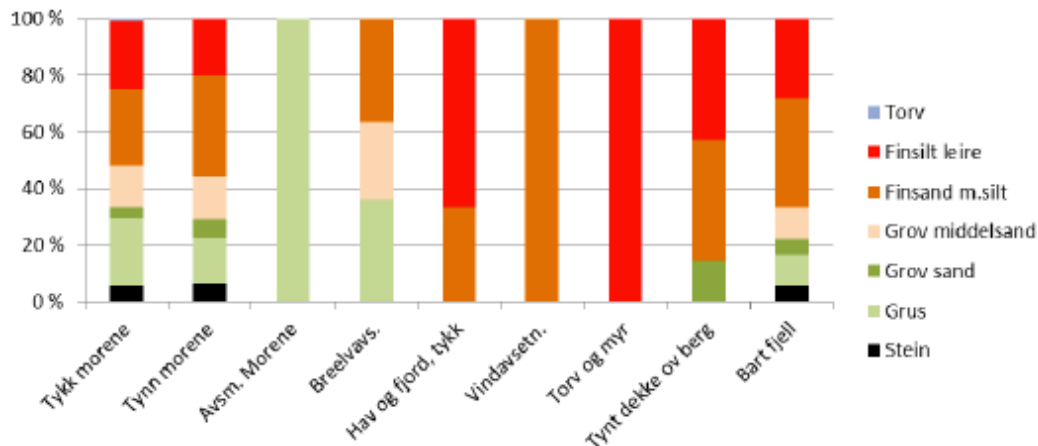
Løsmassekartene har varierende kvalitet og kvaliteten kan variere innad i en kommune. Nøyaktigheten på løsmassekartene kan variere med målestokken på kartet og med hvilken fjernmålingsmetode som er brukt.. NGU har brukt både flyfoto og terrengmodeller fra laserdata til kartlegging av geologiske data (NGU 2015).

Løsmassekategoriene som NGU bruker er grove når det gjelder sammensetning og egenskaper (Tabell 1). Uspesifisert morenemateriale kan inneholde alt fra leire til stein og blokker (NGU 2015).

**Tabell 1: Innhold i løsmasstyper (NGU)**

<b>Løsmasstype</b>	<b>Innhold</b>
Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet	Finkornige, marine avsetninger med mektighet fra 0,5 m til flere ti-talls meter. Avsetningstypen omfatter også skredmasser fra kvikkleireskred, ofte angitt med tilleggssymbol. Det er få eller ingen fjellblotninger i området
Hav- og fjordavsetning og strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen	Grunnlendte områder/hyppige fjellblotninger. Tykkelsen på avsetningene er normalt mindre enn 0,5 m, men den kan helt lokalt være noe større. Det er ikke skilt mellom hav-, fjord- og strandavsetning. Kornstørrelser angis normalt ikke, men kan være alt fra leir til blokk
Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet	Materiale plukket opp, transportert og avsatt av isbreer, vanligvis hardt sammenpakket, dårlig sortert og kan inneholde alt fra leir til stein og blokk. Moreneavsetninger med tykkelse fra 0,5 m til flere ti-talls meter. Det er få eller ingen fjellblotninger i området.
Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen	Materiale plukket opp, transportert og avsatt av isbreer. Det er vanligvis hardt sammenpakket, dårlig sortert og kan inneholde alt fra leir til stein og blokk. Områder med grunnlendte moreneavsetninger/hyppige fjellblotninger. Tykkelsen på avsetningene er normalt mindre enn 0,5 m, men den kan helt lokalt være noe mer
Torv og myr (Organisk materiale)	Organisk jord dannet av døde planterester, med mektigheter større enn 0,5 m. Det skilles ikke mellom ulike torvtyper.
Elve- og bekkeavsetning (Fluvial avsetning)	Materiale som er transportert og avsatt av elver og bekker. De mest typiske formene er elvesletter, terrasser og vifter. Sand og grus dominerer,
Breelavsetning (Glasifluvial avsetning)	Materiale transportert og avsatt av breelver. Sedimentet består av sorterte, ofte skråstilte lag av forskjellig kornstørrelse fra fin sand til stein og blokk. Breelavsetninger har ofte klare overflateformer som terrasser, rygger og vifter. Mektigheten er ofte flere ti-talls meter.

Dette gjør at løsmassekartene gir et godt, men grovt bilde av hva som finnes av løsmasser i studieområde. Bjerketvedt og Fjeld gjennomførte i 2016 et pilotprosjekt hvor de sammenlignet løsmassekartets klassifisering og feltregistrert data, Figur 10 viser spennet i teksturer for løsmassetypene. For å få et mer nøyaktig bilde av hva slags løsmasser som finnes i et område må det gjøres mer nøyaktige registreringer.



Figur 10: Fordeling av teksturer i ulike løsmassetyper kilde: Bjerketvedt & Fjeld

## 1.6 Problemstilling

I denne oppgaven skal jeg undersøke om løsmassekart og markfuktighetskart egner seg som planleggingsverktøy ved planlegging av opprusting av skogsbilveger.

Er det sammenheng mellom markfuktighet og målt bæreevne på skogsbilveger?

Er det sammenheng mellom løsmasstype og målt bæreevne på skogsbilveger?

Er det sammenheng mellom løsmasstype, markfuktighet og bæreevne?

I hvilken grad kan egner GIS-verktøyene seg til vegplanlegging, med den tilgjengelige kartinformasjonen vi har.

## 2. Metode

### 2.1 Studieområde

I denne studien ble bæreevne målinger fra 4 forskjellige skogsbilveianlegg sammenlignet med markfuktighetskart og løsmassekart. De fire områdene er lokalisert i Selbu kommune, (Sør Trøndelag), Aurskog-Høland kommune, (Akershus), Åmot kommune, (Hedmark) og i Våler kommune, Østfold.



Figur 11: Studieområdenes plassering i Norge



Skogsbilvegen i Selbu er lokalisert i sørenden av innsjøen Sørungen, fra 32V 5992 7000 til 32V 5958 7001 UTM, og er ca 6 km lang. Skogsbilveien i Selbu var gammel og nedslitt og er konstruert av stedeagne masser. Grøftene og mange av stikkrennene og dreneringsrørene var underdimensjonert eller gjengrodd (Kyllo 2015).

Løsmassene i området består av tynn og tykk morene og av torv og myr (NGU).

Bæreevne målingene ble gjennomført 8. september 2015 av Rambøll. Målingene ble foretatt hver 25. meter i høyre hjulspor fra øst mot vest. Målingene ble utført med et falllodd av typen Primax 1500. 251 av bæreevne målingene Rambøll registrerte i Selbu ble brukt i denne studien.

Laser-dataene som ble brukt til å lage den digitale terrengmodellen og deretter markfuktighetskartet, var midlertidige data sendt fra overingeniør Liv Trongmo Hognes på kartverket i Steinkjer. Laser-dataene holder Kartverkets kvalitetskrav og har en punkttetthet på 3 punkter pr m<sup>2</sup>.



Figur 12: Kart over vegen i Selbu med bæreevne målingspunkter

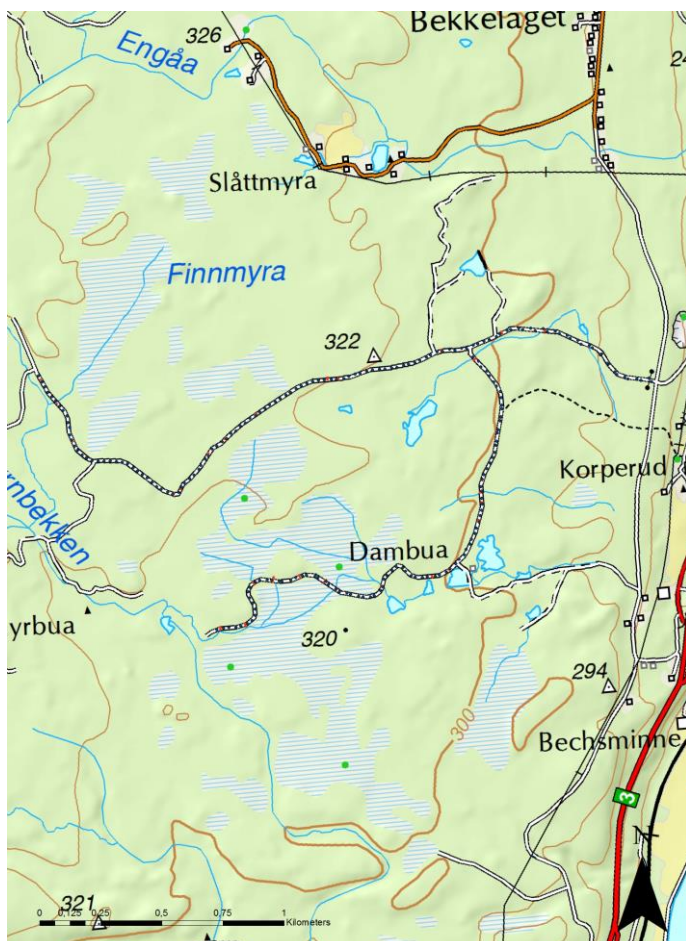
Skogsbilveganlegget i Aurskog- Høland er lokalisert sørvest for Eikeberg fra 32V 6313 6645 i nord til 32V 6315 6640 i sør, 32V 6318 6644 i øst til 32V 6312 6643 i vest. Veggen er ca 3,5 km lang. Ringkollveien er stort sett bygd av stedeagne masser med et slitelag av knust grus. Løsmassene i området er svært varierende og består av elv-, bekk-, fjord-, strand- og havavsetninger samt torv og myr. Bæreevne målingene ble gjennomført den 4. september 2015. Målingene på denne veien ble utført av Statens Vegvesen med en fallodds måler av typen Dyna test 8002.

Bæreevne målingene ble utført i høyre hjulspor i sørgående retning, det ble utført en måling for hver 50. meter. I denne studien ble det brukt 77 bæreevne målinger fra Aurskog-Høland. Laser-dataene som ble brukt til å lage rasteret og deretter markfuktighetskartet ble lastet ned fra høydedata.no. Datasettet skal holde kartverkets kvalitetskrav og var av typen FKB-LASER20, punkttettheten er 0,5-2 punkter per m<sup>2</sup>. Posisjonene på stikkrennene ble målt av meg og Jan Bjerketvedt med en iPad med gps.



Figur 13: Kart over skogsbilvegen i Aurskog Høland med bæreevne målingspunkter

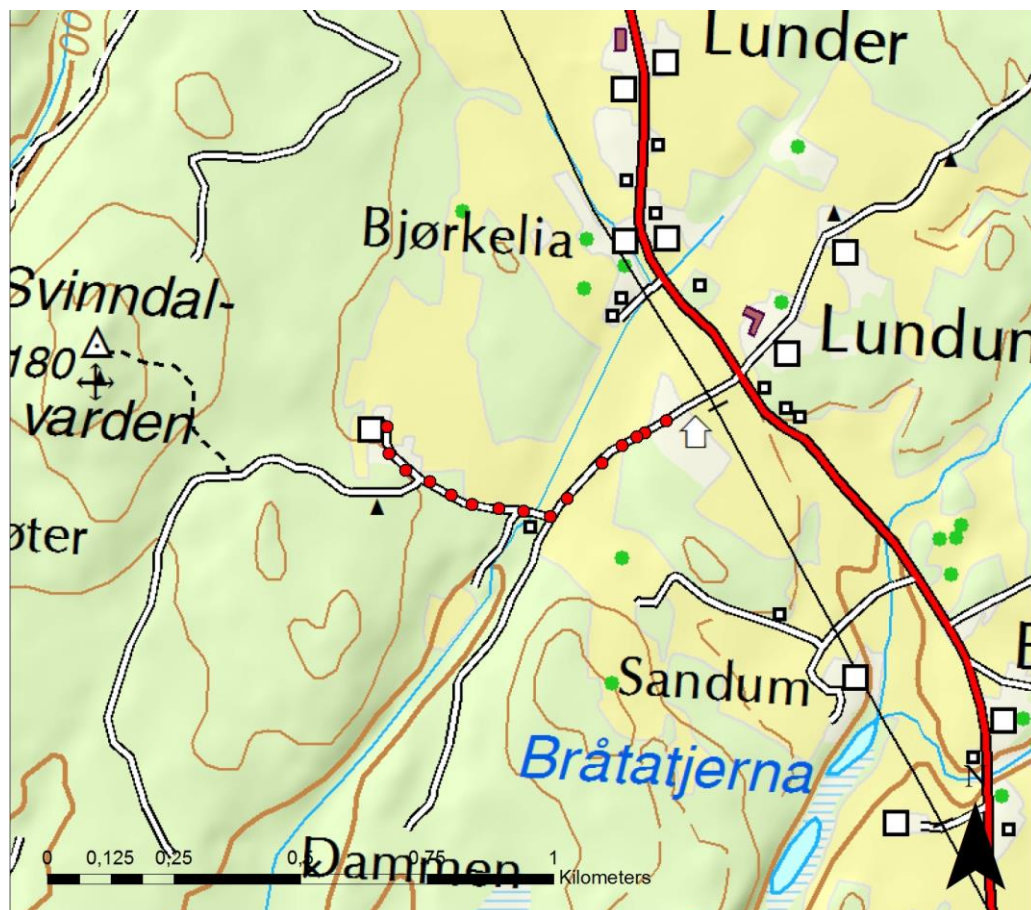
Skogsbilveganlegget i Åmotd er lokalisert rett sør for Rena sentrum fra 32V 6270 6776 i øst til 32V 6245 6776 i vest, veien deler seg i to ved 32V 6262 6777 og fortsetter sør-vest til 32V 6252 6775. Veggen er på ca 5 km. Veggen er bygd på stedeagne masser og den bærer preg av mye bruk. Løsmassene i området består av stort sett av tykk og tynn morene. Bæreevnmålingene ble gjennomført med falloddsmåler av Statens Vegvesen den 23/7 2014 og den 16/10 2014. Med en falloddsmåler av typen Dyna test 8002. Fra høsmålingen er det 115 bæreevnmålinger med i denne studien, fra sommeren er det 98. Bæreevnmålingene ble utført på annenhver side av veien for hver 25. meter. Laser-dataene som ble brukt til å lage rasteret og deretter markfuktighetskartet ble lastet ned fra høydedata.no. LAS datasettet opprettholder kartverkets kvalitets krav og var av typen FKB- LASER20. Punkttettheten er 0,5-2 punkter per m<sup>2</sup>. Posisjonen på stikkrennene ble registrert med iPad-GPS av Jan Bjerketvedt.



Figur 14: Kart over skogsbilveganlegget i Åmot, med bæreevnmålingspunkter



Skogsbilveianlegget i Lunder går fra 32V 6135 6593 i øst til 32V 6129 6593 og vegen er ca 750 m lang. Veien er oppbygd av stedeagne masser med noe tilkjørte masser på enkelte steder. Løsmassene i området består hovedsakelig av hav-, fjord- og strandavsetninger i et usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen. Det er også noe innslag av bart fjell (NGU). Bæreevne målingene ble gjennomført med fallodd av Statens Vegvesen den 11/11 2015, med en falloddmåler av typen Dyna test 8002. Det ble kun registrert 15 målinger på denne vegen. Bæreevne målingene ble gjennomført i venstre hjulspor fra øst mot vest, målingene ble gjennomført for hver 50. meter. Laser-dataene som ble brukt til å lage rasteret og deretter markfuktighetskartet ble lastet ned fra høydedata.no. LAS-datasettet opprettholder kartverkets kvalitets krav og var av typen FKB- LASER10, punkttetthet på mellom 2-10 punkt pr m<sup>2</sup>. Posisjonen på stikkrennene ble registrert i felt av Jan Bjerketvedt med iPad-GPS.



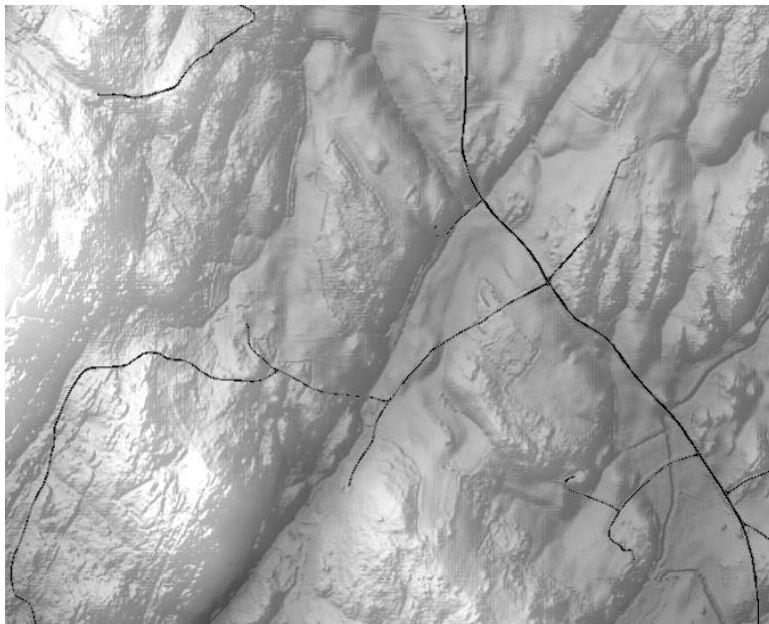
Figur 15: Kart over skogsbilvegen på Lunder, med bæreevne målingspunkter.

## 2.2 Markfuktighetskart

Først ble nedslagsfeltet i de aktuelle studieområdene beregnet ved hjelp Norges vassdrag og energi direktorats nedbørsfelt-verktøy NEVINA (NVE).

Dette ble gjort for å kunne avgrense Laser-datasettet til nedbørsfeltet for det aktuelle området. Deretter kunne LiDAR data lastes ned fra kartverket sine nettsider (Høydedata.no). Arbeidet ble utført med GIS-programmet ArcMap 10.5.

Først ble det laget et Lasdatasett av laserdatafilene. Til dette ble verktøyet "Data Management => Las Dataset=> Create Lasdataset" brukt, deretter en ble det laget en ny layer av bakketreffene som i dette tilfelle er klasse 2. Her ble verktøyet "Layers and Table views=> make Lasdataset Layer" brukt. Dette ble gjort fordi det kun er bakketreffene som skal brukes i DTW verktøyet. Neste steg var å konvertere laserpunktene til et 1x1 m DTM (Figur 16). Til denne prosessen ble verktøyet "Las Dataset to raster" brukt.



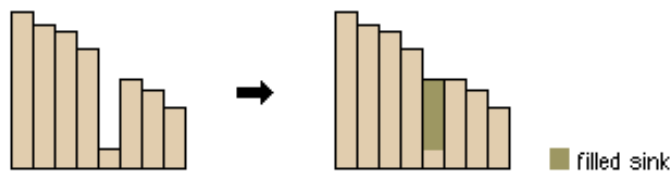
Figur 16: DTM Lunder

Etter DTM var ferdig ble det laget et DTW kart, til dette ble det brukt en "toolbox" til Arcgis utviklet av Skogforsk i Sverige. Wetmap-verktøyet lager et rasterkart som gir cellene en verdi ut i fra hvor langt det er ned til vann fra overflaten. I wetmap-verktøyet blir en DTM brukt som input.

Prosessen med å lage et markfuktighetskart i Arcgis blir utført i flere trinn, Wetmap verktøyet bruker mange av funksjonene til ArcHydro for å lage et markfuktighetskart.

1. Først fylles eller utjevnes DTM, denne funksjon kalles «Fill».

I Fill funksjonen jevnes den digitale terrengmodellen ut for å få kontinuerlig vanntransport og unngå forsenkninger (Figur 17).



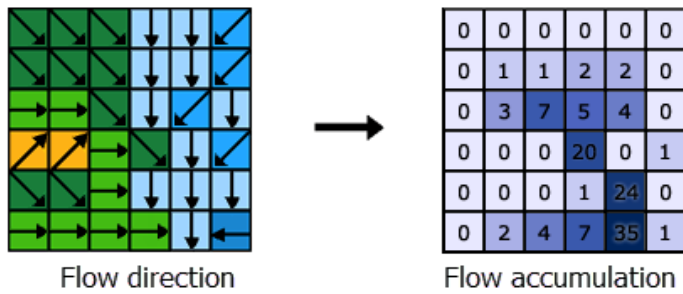
Figur 17: Fill funksjon, kilde: Esri.com

2. Helningsretningen beregnes ved hjelp av "flow direction", "flow direction" kalkulerer hvilken retning hver av cellene drenerer vannet. Retningen blir bestemt av hvilken vei det er brattest, celler som ligger høyere drenerer mot nabocellene som ligger lavere (Figur 18).

3. "Flow accumulation" kalkulerer den akkumulerte flyten av vann

Når vannet renner fra en celle gjennom nabocellen akkumuleres celleantallet.

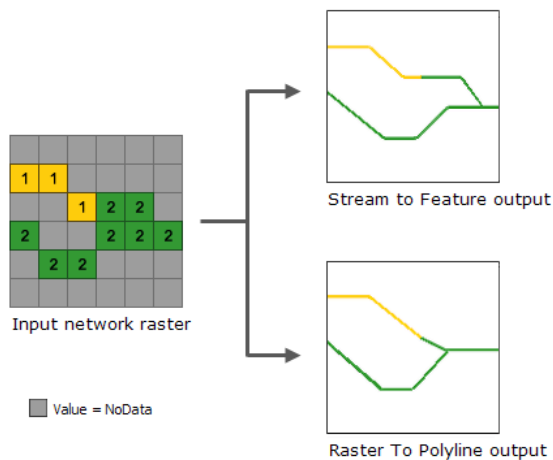
Celleverdien som blir angitt i rasteren er antallet celler som blir akkumulert i cellene (Figur 18). Vi kan da se hvordan og hvor mye terrenget leder og samler vannet i dalbunner og forsenkninger.



Figur 18: Flow direction, Flow accumulation Kilde: Esri.com

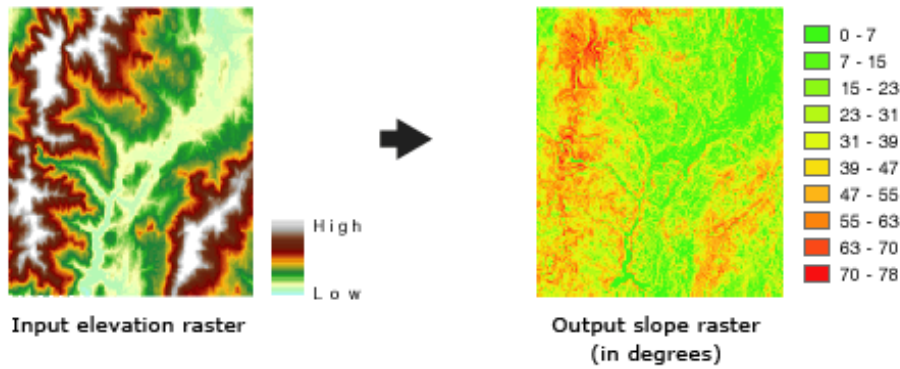
4. I wetmap-verktøyet velges det verdier for hvor stort nedslagsfelt som skal til for å generere åpent vann, i beregningen som har blitt utført i denne studien er det brukt et nedslagsfelt på 1 hektar. Det betyr at 10.000 1x1m celler er grenseverdien for at det skal bli åpent vann.

5. "Stream to features" bruker en algoritme til å lage et vann- nettverk i form av vektor linjer fra cellene i den digitale terrengmodellen (Figur 19).



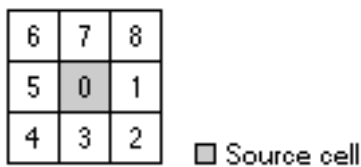
Figur 19: Stream to features Kilde: Esri.com

6. "Slope" funksjonen kalkulerer cellens helling i forhold til nabocellene og beregner endringen i elevasjon. Elevationen mellom cellene og 8 av nabocellene kalkuleres og den bratteste nedstigningen fra cellen identifiseres (Figur 20).



Figur 20: Slope Kilde: Esri.com

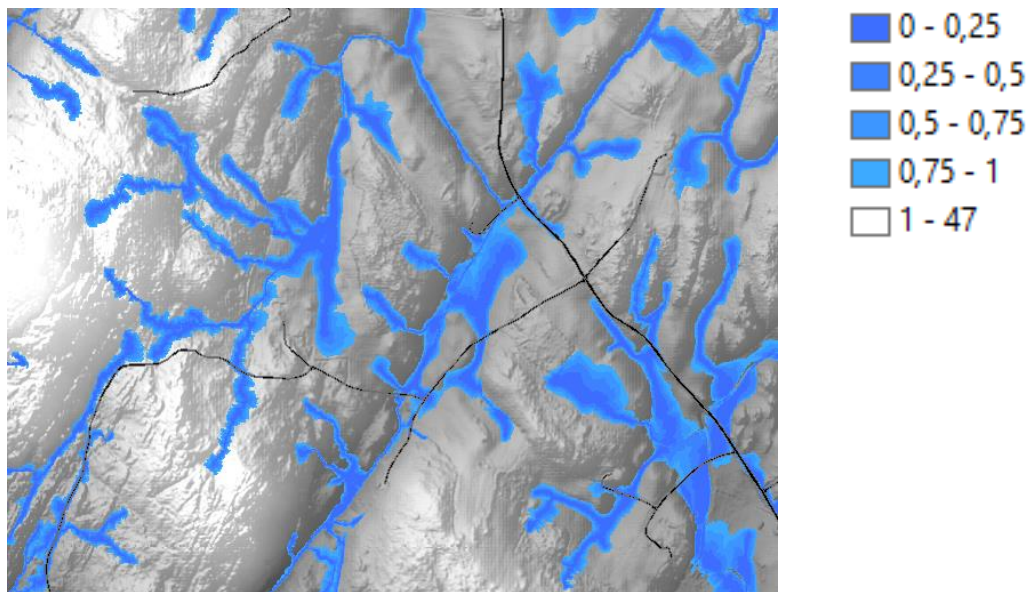
7. "Path distance" funksjonen lager en ny raster hvor den minste høydeforskjellen mellom cellene og vann- nettverkene har blitt identifisert. Vannet følger cellene som ligger lavere (Figur 21), dette blir beregnet ved hjelp av verktøyet "least elevation path". Vann- nettverk cellene har blitt identifisert tidligere i prosessen med "Stream to features".



Figur 21: Path distance, Kilde: Esri.com

8. I siste del av denne prosessen kan brukeren velge hvordan DTW-informasjonen skal fremstilles, i denne studien ble det brukt 4 klasser fra 0 til 1 m ned til vann (Figur 22).





Figur 22: DTM med hillshade og DTW, tegnforklaring viser dybde til vann i meter

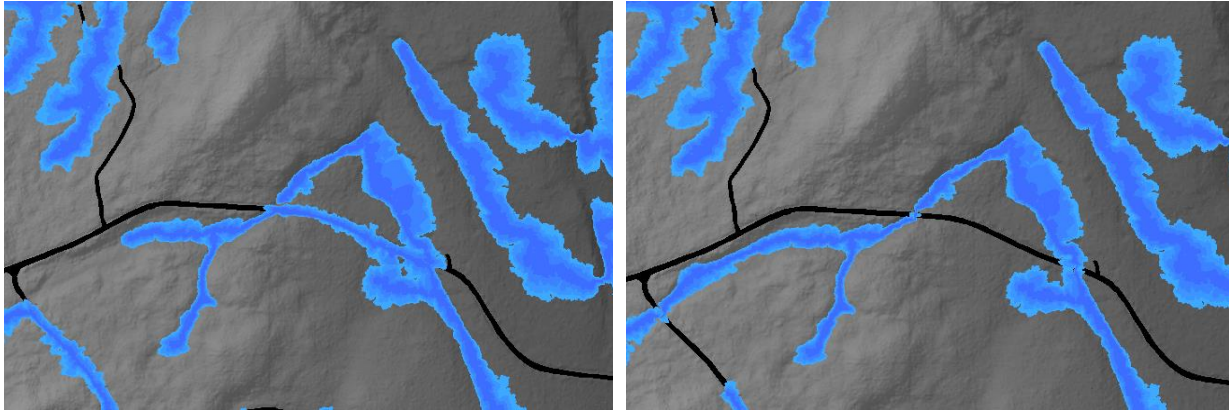
For at DTM som er grunnlaget for DTW kartet skal representere virkeligheten best mulig må DTM justeres. Laserdataen lager et bilde av området sett rett ovenfra derfor blir ikke stikkrennene tatt med i beregningen.

Derfor ble det laget nye raster kart med stikkrenner brent inn i DTM slik at vannet drenerer slik det gjør i virkeligheten. Først ble stikkrennenes posisjon registrert i felt Deretter ble stikkrennedataen importert som punkter til Arcmap. Stikkrennepunktene ble deretter konvertert til linjer som ligger tvers over veien slik stikkrennen gjør. Posisjonen på stikkrennene ble korrigert ved hjelp av toporaster wms kart fra kartverket (kartverket.no).

Neste steg var å brenne stikkrennelinjene inn i DTM.

Verktøysettet som ble brukt til dette var Arc Hydro toolbox som ble lastet ned fra esri.com. Verktøyet som ble brukt til å brenne inn stikkrennene i DTM var "DEM manipulation =>DEM Reconditioning". Input i dette verktøyet var den digitale terrengmodellen og stikkrennene. Av verdier ble det brukt 1 celle som buffer, smooth drop 0 og sharp drop 2 meter. Dette betyr at den digitale terrengmodellen blir senket 2 meter ned og at det er 1 celle som buffer rundt linjene. Etter rasterene var korrigert i

forhold til stikkrenner ble wetmap-analysen kjørt på nytt, dette var for å sammenligne DTW kartene visuelt med og uten stikkrenner se Figur 23.



Figur 23: På venstre side markfuktighetskart uten stikkrenner, På høyre side er stikkrenner brent inn

## 2.3 Bæreevne målinger

Neste steg var å legge til bæreevne målingene i kartene, bæreevne målingene ble importert som punkter. Punktene er registrert med koordinater av falloddmåleren der de er utført, med unntak av veianlegget i Aurskog-Hørland der posisjonene på målingene ble målt i forhold til et kjent startpunkt og avstanden ut ifra det. Nye punkter ble laget og kalibrert i forhold til startpunktet og deretter ble informasjonen om bæreevne målingene satt sammen med punktene. Dette ble utført ved hjelp av Verktøykassen Conversion Tools=> Excel=> Excel to table etter dette ble informasjonen om bæreevne målingene satt sammen ved bruk av verktøykassen Data Management Tools=> Joins=> Join Field. På de tre andre veianleggene ble punktene med informasjon om bæreevne målingene som ble utført importert til ArcMap, ved bruk av Conversion Tools=> Excel=> Excel to table og deretter Add xy data.

## 2.4 Løsmassekart

Informasjonene om løsmasser i de aktuelle studieområdene ble hentet fra Ngu.no. Deretter ble kommunevise løsmassekart lastet inn i ArcMap. Informasjonen om løsmassene som ble brukt i statistikkberegningene er kodet i henhold til NGU sine produktspesifikasjoner (NGU 2015).

Til slutt måtte informasjonen fra løsmassekartlaget sammenstilles med informasjonen fra DTW modellen og bæreevne målingene. Det er bare informasjonen om løsmasstype og dybden ned til vann på posisjonen til punktene hvor det er målt bæreevne som er interessante. Denne prosessen ble utført i to trinn, først ble informasjonen fra DTW rasteren sammenstilt med informasjonen i bæreevnepunktene. Verktøyene som ble brukt til den første del av prosessen var "Spatial Analyst tool=> Values To Points". Etter dette ble "Geoprocessing=> Intersect" brukt til å legge inn løsmasse informasjonen i den nye punkt filen med informasjonen om bæreevne, dybde til vann og løsmasser. Når all informasjonen var på plass ble punktene eksportert som en excel fil til dette ble verktøyet "Conversion Tools=> Table To Excel".

## 2.5 Statistikk

Statistikkberegningene ble gjort i JMP 13, JMP er et statistikkprogram laget av SAS. I JMP ble det laget regresjonsmodeller med P- verdi og  $R^2$ . P- verdien forteller om resultatene av analysene er signifikante, og  $R^2$  forteller hvordan korrelasjon det er mellom forskjellige faktorer.

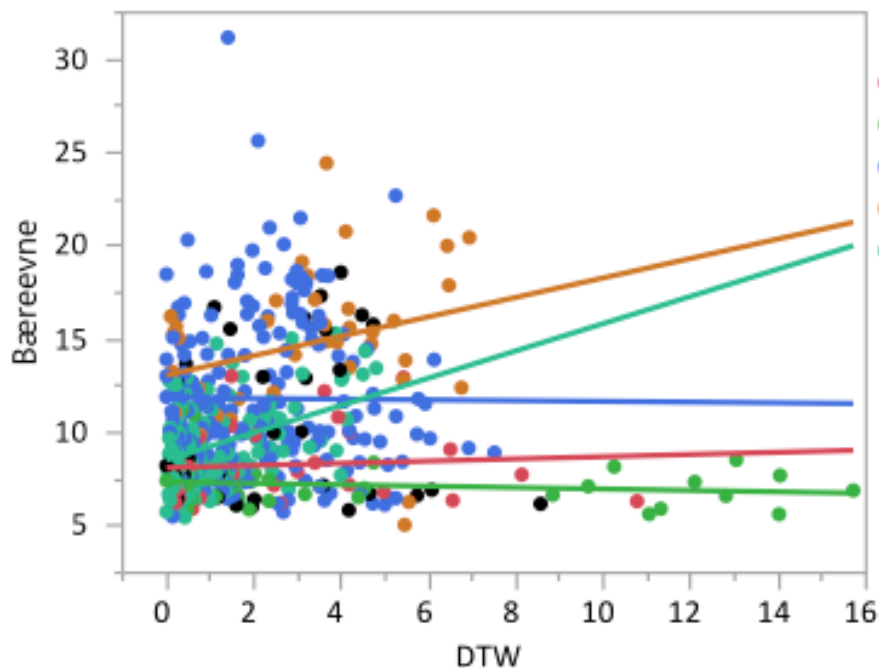
Det ble laget regresjonsmodeller for alle de fire datasettene separat og samlet i et datasett. Regresjonsmodellene som viser korrelasjon mellom DTW-verdi og bæreevne for datasettet fra Selbu og alle dataene samlet blir presentert i resultatene.

Regresjonsmodellene som viser korrelasjon mellom DTW, løsmassetyper og bæreevne blir fremstilt for alle analysene i resultatene.

Løsmassetype ble testet mot DTW og bæreevne med målingene fra de fire veianleggene separat og samlet i et datasett. På datasettet fra Selbu ble også nedbøyningen (G90) testet mot DTW.

### 3. Resultater

#### 3.1 Datasett med alle målinger samlet



#### Løsmasstype

- Hav- og fjordavsetning og strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet
- Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Torv og myr (Organisk materiale)

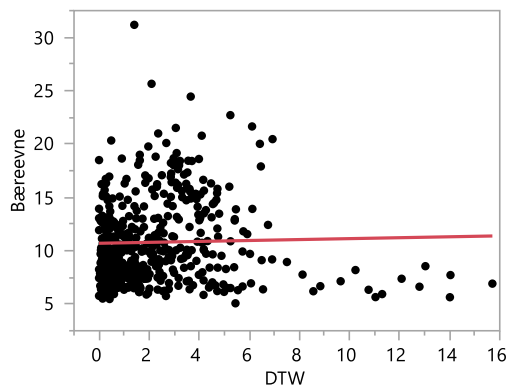
Figur 24: Løsmasser og DTW testet mot bæreevne

Figur 24 viser en regresjonsmodell med bæreevne målingene fra alle veganleggene og alle løsmasstypene. I regresjonsmodellen kan vi se at bæreevnen for enkelte løsmasstyper øker med økt dybde til vann, mens andre løsmasstyper er mer stabile. Regresjonsmodellen viser en  $R^2$  på 0,28, det betyr at det er en korrelasjon på 28% mellom løsmasser og DTW og bæreevne. P-verdien er på under 0,0001, dette viser at resultatene er signifikante. Det er sterkere korrelasjon mellom alle løsmasser og DTW, enn løsmasser testet enkeltvis mot DTW. Denne regresjonsmodellen er basert på 427 observasjoner, løsmasstyper med under 20 observasjoner ble ekskludert fra denne regresjonsanalysen (Tabell 2).

Tabell 2: Alle observasjoner fordelt på løsmasstype

Løsmasstype	Observasjoner
Hav- fjord og strandavsetning	27
Hav- og fjordavsetning	36
Tynn morene	39
Torv og myr	122
Tykk morene	203
<b>Totalt</b>	<b>427</b>

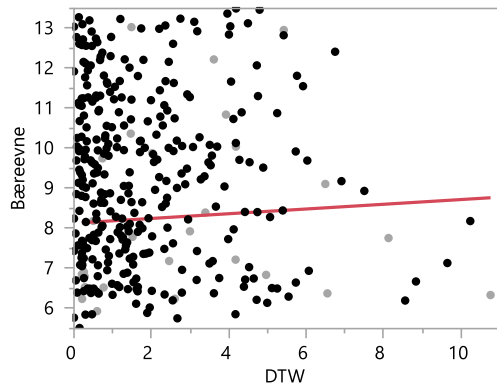
### Alle bæreevne målinger sammenlignet med DTW



Figur 25: DTW sammenlignet mot bæreevne

Bæreevne målingene fra alle veganleggene ble sammenlignet med DTW, I Figur 25 ser vi at DTW alene ikke kan predikere bæreevne. Trendlinjen viser ingen økning i bæreevne med økende dybde til vann. Det er ingen korrelasjon mellom dybde til vann og bæreevne,  $R^2$  er på 0 og resultatet er ikke signifikant med en P- verdi på 0,5774.

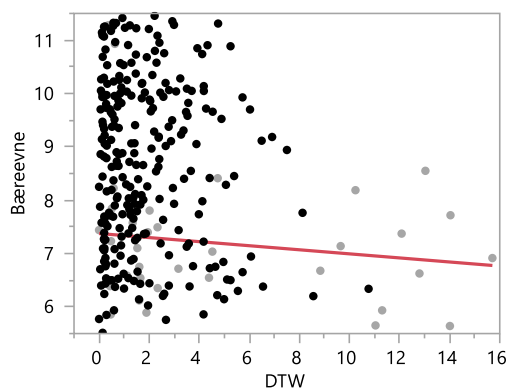
## Sammenheng mellom hav-, fjord- og strandavsetninger, bæreevne og DTW



Figur 26: DTW og hav-, fjord-, og strandavsetning sammenlignet mot bæreevne (Grå plott er ekskluderte fra modellen)

Bæreevne målingene fra alle veganleggene ble sammenlignet med DTW og løsmassetypen hav-, fjord-, og strandavsetninger. I Figur 26 ser vi at trendlinjen viser en svak økning i bæreevne med økende dybde til vann. Det er ingen statistisk korrelasjon,  $R^2$  er på 0,01 og resultatet er ikke signifikant med en P-verdi på 0,7077.

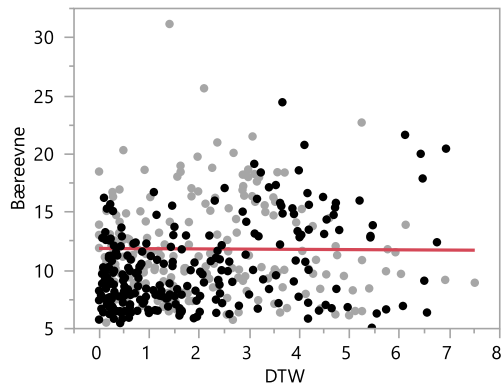
## Sammenheng mellom hav og fjordavsetninger, bæreevne og DTW.



Figur 27: DTW og Hav/Fjord avsetninger sammenlignet mot bæreevne (Grå plott er ekskluderte fra modellen)

Bæreevne målingene fra alle veganleggene ble sammenlignet med DTW og løsmassetypen hav og fjordavsetninger. I Figur 27 ser vi at trendlinjen viser en nedgang i bæreevne med økende dybde til vann. Det er ingen statistisk korrelasjon,  $R^2$  er på 0,02 og resultatet er ikke signifikant med en P-verdi på 0,3584.

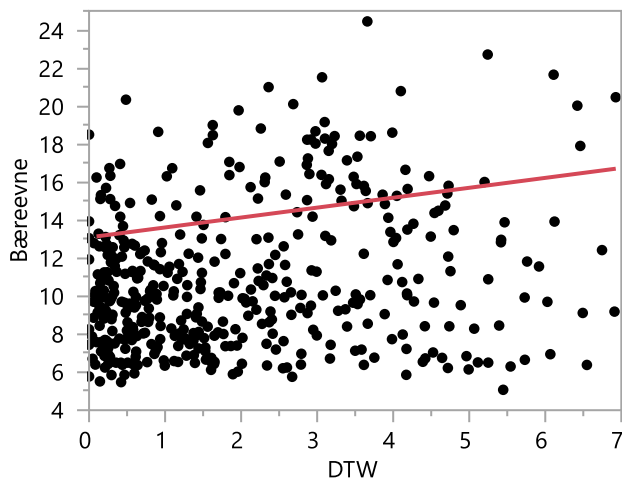
### Sammenheng mellom tykk morene , bæreevne og DTW.



Figur 28: DTW og tykk morene sammenlignet mot bæreevne (Grå plott er ekskluderte fra modellen)

Bæreevne målingene fra alle veganleggene ble sammenlignet med DTW og løsmassetypen tykk morene, I Figur 28 ser vi at trendlinjen viser stabil bæreevne med økende dybde til vann. Det er ingen statistisk korrelasjon,  $R^2$  er 0 og resultatet er ikke signifikant med en P-verdi på 0,9113.

### Sammenheng mellom tynn morene , bæreevne og DTW.

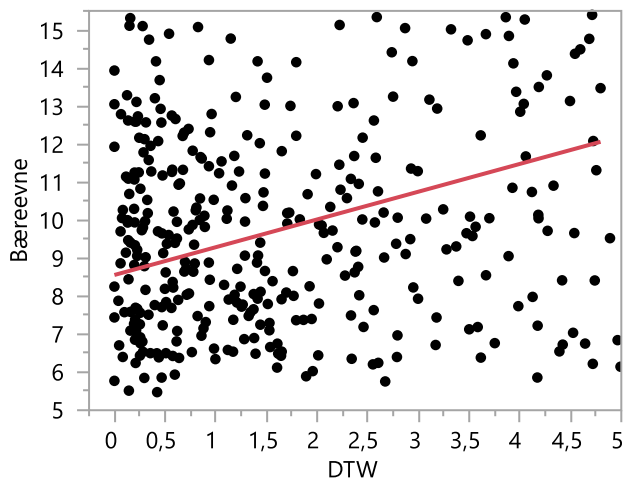


Figur 29: Tynn morene og DTW testet mot bæreevne

Bæreevne målingene fra alle veganleggene ble sammenlignet med DTW og løsmassetypen tynn morene, I Figur 29 ser vi at trendlinjen viser en stigende bæreevne med økende dybde til vann. Det er ingen statistisk korrelasjon,  $R^2$  er 0,02 og resultatet er ikke signifikant med en P-verdi på 0,0883.



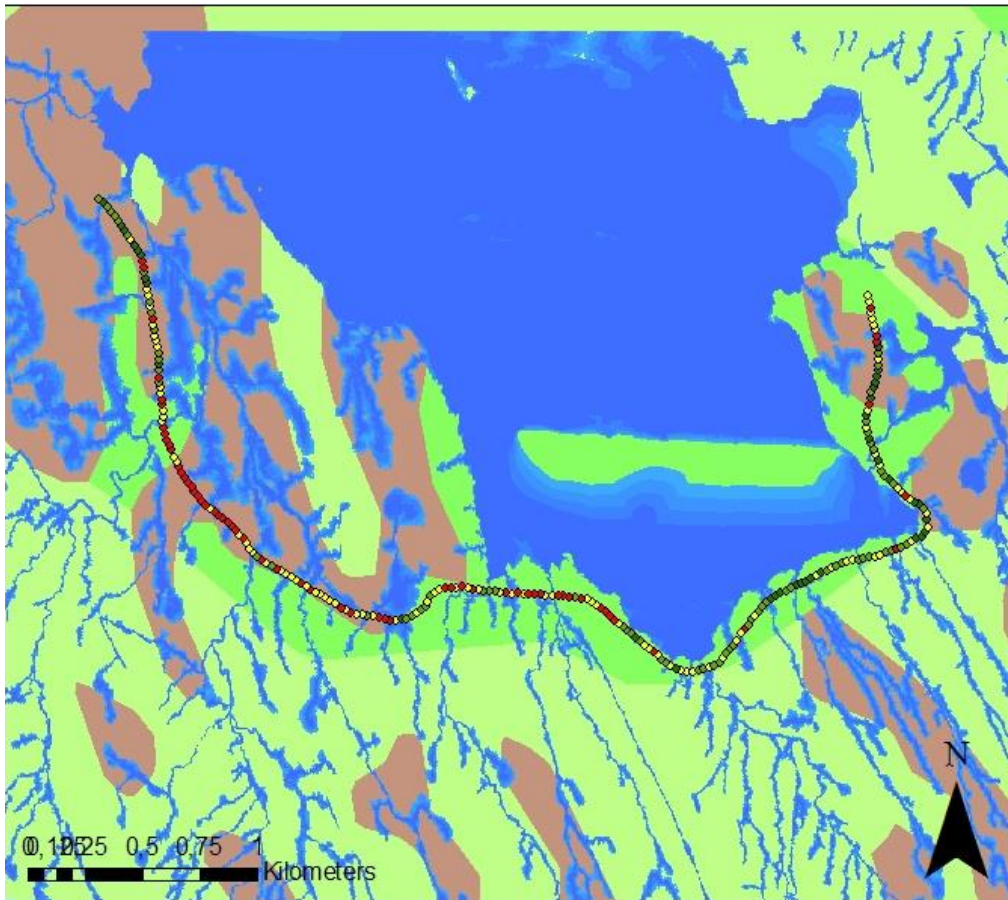
### Sammenheng mellom torv og myr , bæreevne og DTW.



Figur 30: Torv og myr sammenlignet med DTW og bæreevne

Bæreevнемålingene fra alle veganleggene ble sammenlignet med DTW og løsmassetypen torv og myr, i Figur 30 ser vi at trendlinjen viser en stigende bæreevne med økende dybde til vann. Det er en svak statistisk korrelasjon på 15% ( $R^2 = 0,15$ ) og resultatet er signifikant med en P- verdi under 0,001.

## 3.2 Selbu



Figur 31: Kart over Selbu med løsmasser, markfuktighet og bæreevne målingspunkter

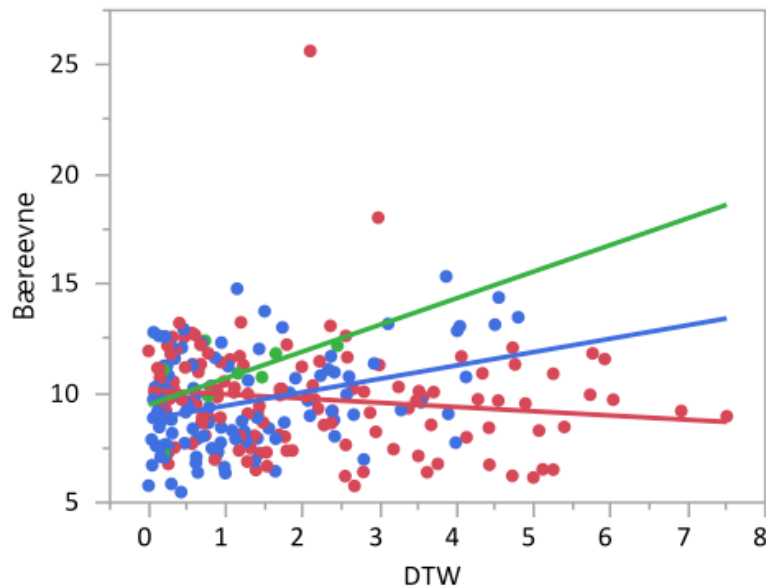
### Bæreevne og løsmasser

- ◆ 5- 8
  - ◆ 8- 10
  - ◆ 10- 12
  - ◆ 12- 16
- 012-Morenemateriale, usammenhengende
- 011-Morenemateriale, sammenhengende dekke,
- 090-Torv og myr (Organisk materiale)

Figur 32: Tegnforklaring Selbu

Figur 31 viser et kart over skogsbilvegen i Selbu med løsmassetyper, markfuktighet og bæreevne målingspunktene. Løsmassetypene er fargekodet i henhold til NGU standard.

## Sammenheng mellom løsmasstyper, bæreevne og DTW



### Løsmasstype

- Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Torv og myr (Organisk materiale)

Figur 33: Alle løsmasstyper og DTW sammenlignet mo bæreevne Selbu

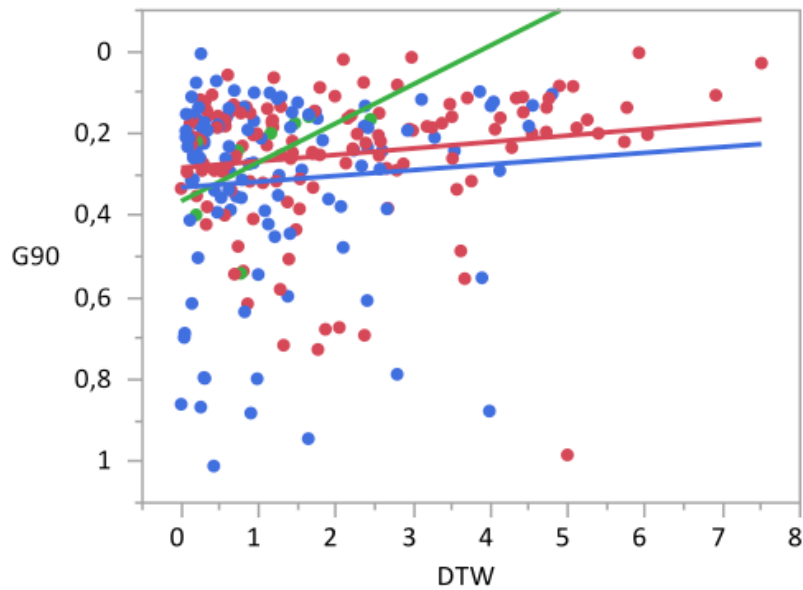
Figur 33 viser en regresjonsmodell med bæreevne målingene fra Selbu med alle løsmasstypene sammenlignet med DTW. I regresjonsmodellen kan vi se trendlinjer som viser at bæreevnen for tynt morene og torv og myr øker med økt dybde til vann, men tykk morene har en synkende bæreevne med økt dybde til vann.

Regresjonsmodellen har en  $R^2$  på 0,07, det betyr at det ikke er korrelasjon mellom løsmasser og DTW. Men resultatet er signifikant med en P-verdi på 0,0026. Denne regresjonsmodellen er basert på 251 observasjoner.

Tabell 3: Observasjoner fordelt på løsmasstyper Selbu

Løsmasstype	Observasjoner
Tynn morene	8
Torv og myr	111
Tykk morene	132
<b>Totalt</b>	<b>251</b>

## Sammenheng mellom løsmasstype, nedbøyning og DTW



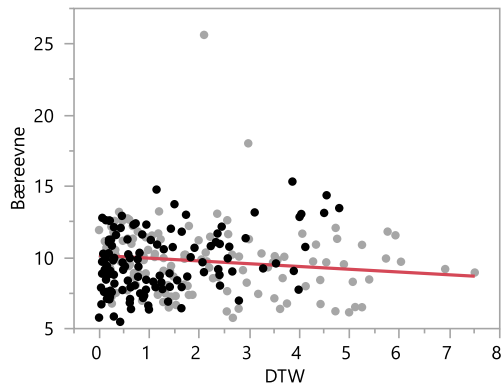
### Løsmasstype

- Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Torv og myr (Organisk materiale)

Figur 34: Løsmasstype sammenlignet med DTW mot nedbøyning (G90)

Figur 34 viser en regresjonsmodell hvor G90 er sammenlignet med DTW og løsmasstyper. I regresjonsmodellen kan vi se at nedbøyningen i veggen minker med økende DTW verdi. Regresjonsmodellen viser en  $R^2$  på 0,04 og en P-verdi på 0,0467. Resultatet er signifikant men det er ingen korrelasjon.

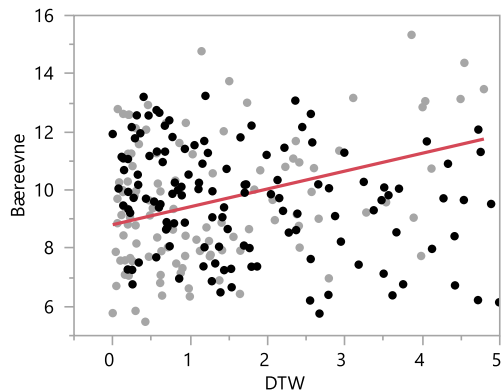
## Sammenheng mellom tykk morene, bæreevne og DTW



Figur 35: Tykk morene sammenlignet med bæreevne og DTW (Grå plott er ekskluderte fra modellen)

Bæreevne målingene fra Selbu ble sammenlignet med DTW og tykk morene, i Figur 35 ser vi at trendlinjen viser svakt synkende bæreevne med økende dybde til vann. Det er ingen statistisk korrelasjon,  $R^2$  er 0,08 og resultatet er ikke signifikant med en P-verdi på 0,1089. Analysen er basert på 131 observasjoner.

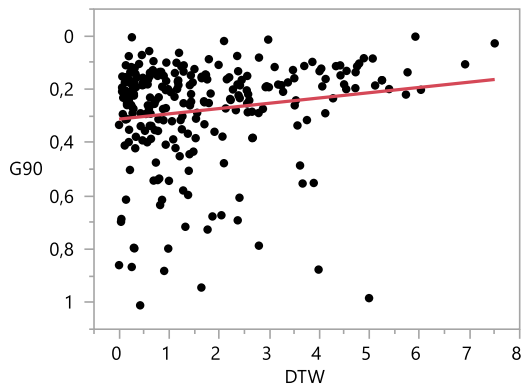
## Sammenheng mellom torv og myr, bæreevne og DTW



Figur 36: Sammenheng mellom torv og myr, bæreevne og DTW (Grå plott er ekskluderte fra modellen)

Bæreevne målingene fra Selbu ble sammenlignet med DTW og løsmassetypen torv og myr. I Figur 36 ser vi at trendlinjen viser en stigende bæreevne med økende dybde til vann. Det er en svak statistisk korrelasjon på 12% ( $R^2 = 0,12$ ) og resultatet er signifikant med en P-verdi under 0,002. Analysen er basert på 110 observasjoner.

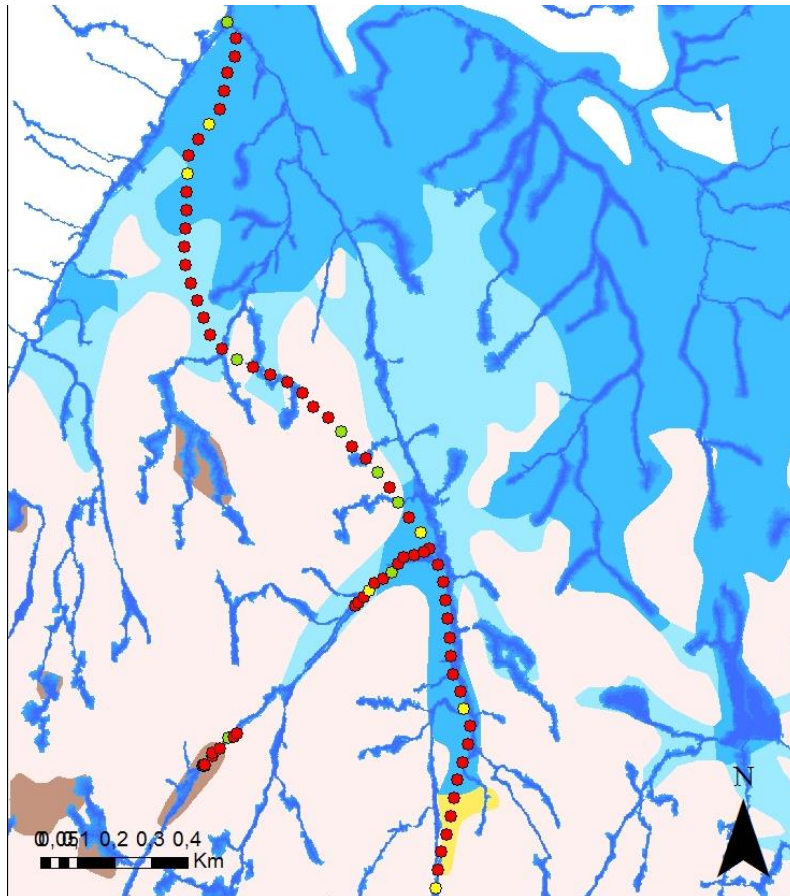
### DTW testet mot nedbøyning (G90)



Figur 37: DTW testet mot nedbøyning (G90)









Figur 37 viser en regresjonsmodell hvor G90 er sammenlignet med DTW. I regresjonsmodellen kan vi se at nedbøyningen i vegen minker med økende DTW verdi. Regresjonsmodellen viser en  $R^2$  på 0,03 og en P-verdi på 0,0106. Resultatet er signifikant men det er ingen korrelasjon.

### 3.3 Aurskog Høland



Figur 38: Kart over Aurskog-Høland med Løsmasser, markfuktighet og bæreevne målingspunkter

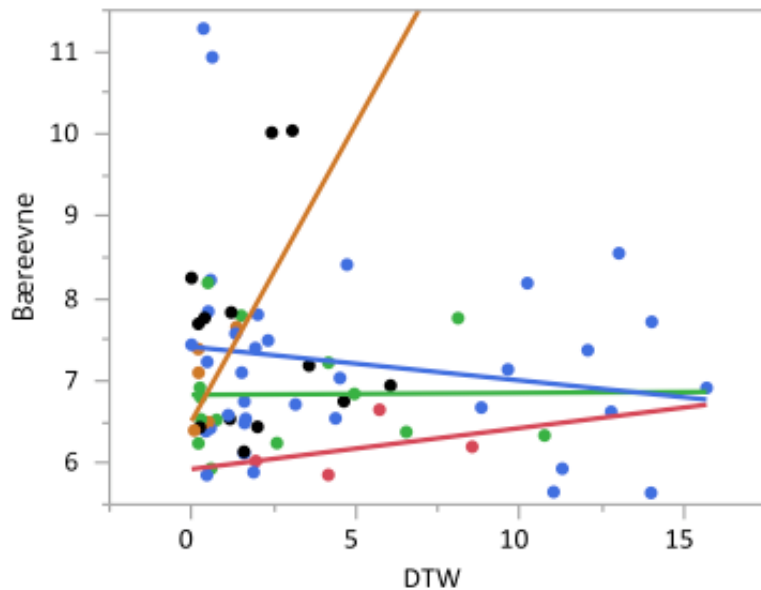
#### Bæreevne og Løsmasser

-  6-8
-  8-10
-  10-12
-  050-Elve- og bekkeavsetning (Fluvial avsetning)
-  043-Hav- og fjordavsetning og strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke
-  041-Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet
-  130-Bart fjell
-  090-Torv og myr (Organisk materiale)

Figur 38 viser et kart over skogsbilvegen i Aurskog-Høland med løsmassetyper, markfuktighet og bæreevne målingspunktene. Løsmassetypene er fargekodet i henhold til NGU standard.



## Sammenheng mellom løsmasstyper, bæreevne og DTW



### Løsmasstype

- Elve- og bekkeavsetning (Fluvial avsetning)
- Hav- og fjordavsetning og strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet
- Torv og myr (Organisk materiale)

Figur 39: Alle løsmasser og DTW sammenlignet mot bæreevne (svarte plott er ekskluderte fra modellen)

Figur 39 viser en regresjonsmodell med bæreevne målingene fra Aurskog-Høland med alle løsmasstypene sammenlignet med DTW. I regresjonsmodellen kan vi se trendlinjer som viser at bæreevnen for elve og bekkeavsetninger og torv og myr øker med økt dybde til vann, men hav og fjordavsetninger har en synkende bæreevne med økt dybde til vann. Bæreevnen til hav-, fjord og strandavsetningene holder seg stabile.

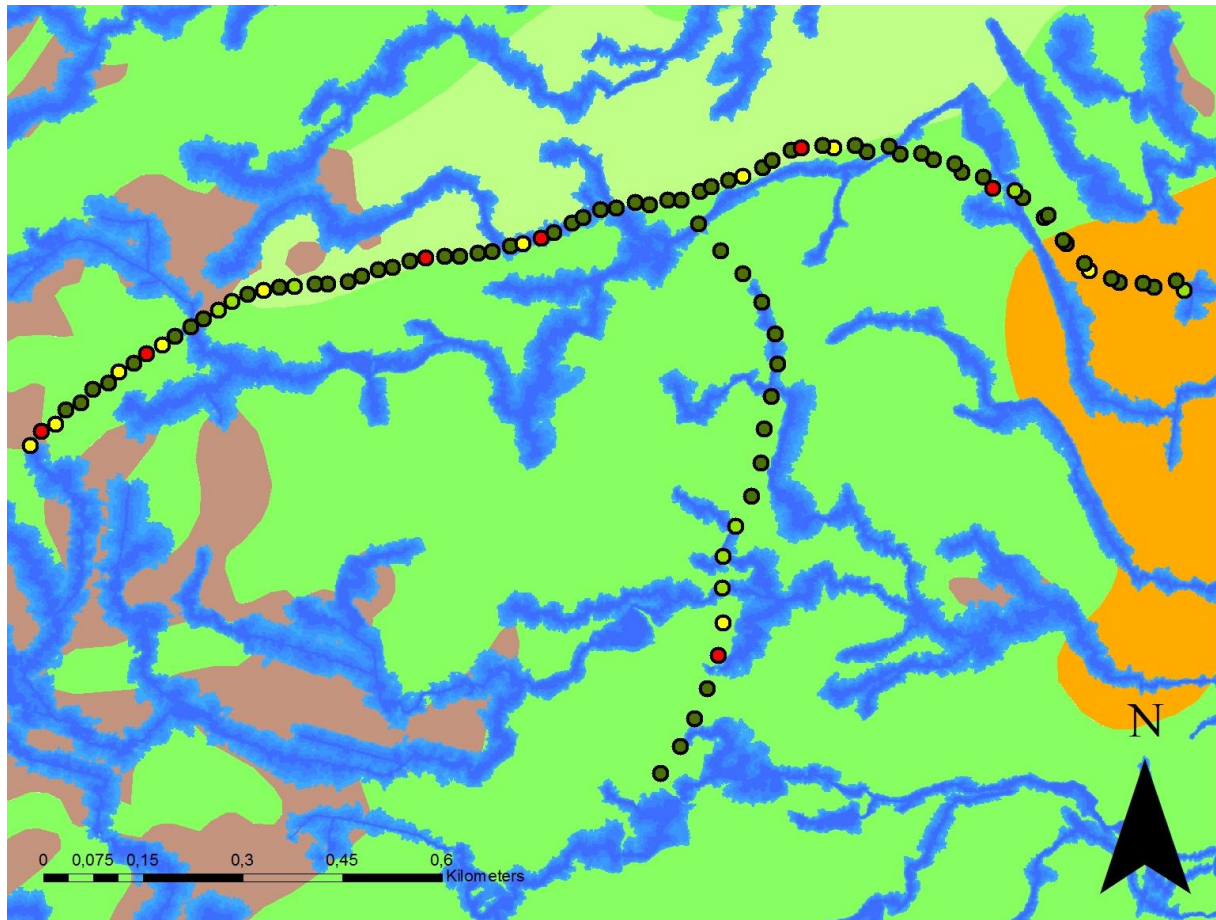
Regresjonsmodellen har en  $R^2$  på 0,11, det betyr at det er en lav korrelasjon mellom løsmasser og DTW. Men resultatet er signifikant med en P-verdi på 0,049.

Denne analysen er basert på 61 observasjoner.

Tabell 4: Observasjoner fordelt på løsmassetyper Aurskog-Høland

<b>Løsmasstype</b>	<b>Observasjoner</b>
Elve og bekkeavsetning	4
Torv og myr	8
Hav- fjord og strandavsetning	14
Bart fjell	16
Hav- og fjordavsetning	35
<b>Totalt</b>	<b>77</b>

### 3.4 Åmot Sommer 2014



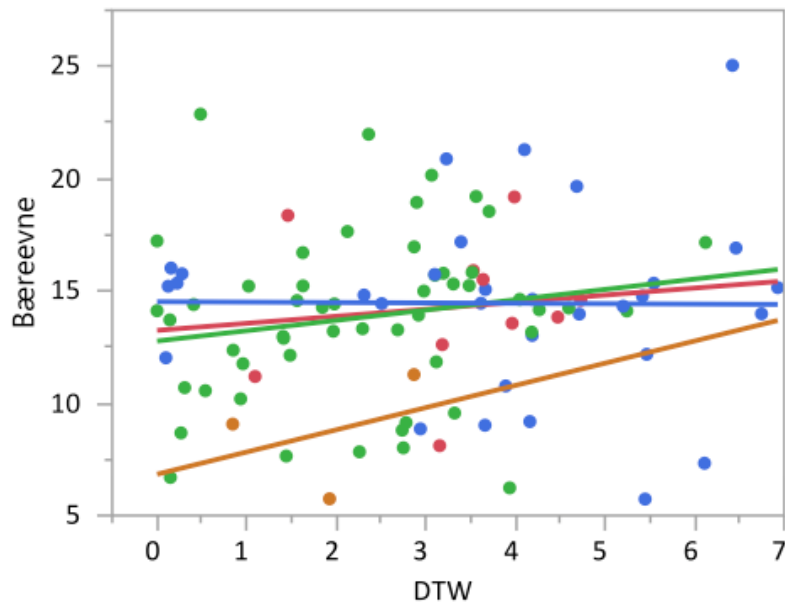
Figur 40: Kart over Åmot med løsmasser, markfuktighet og bæreevne målingspunkter

#### Bæreevne og Løsmasser

- 5-8
  - 8-10
  - 10-12
  - 12-25
- 012-Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- 011-Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- 020-Breelavsetning (Glasifluvial avsetning)
- 090-Torv og myr (Organisk materiale)

Figur 40 viser et kart over skogsbilvegen i Åmot med løsmassetyper, markfuktighet og bæreevne målingspunktene. Løsmassetypene er fargekodet i henhold til NGU standard.

## Sammenheng mellom løsmasstyper, bæreevne og DTW



### Løsmasstype

- Breelvavsetning (Glasifluvial avsetning)
- Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Torv og myr (Organisk materiale)

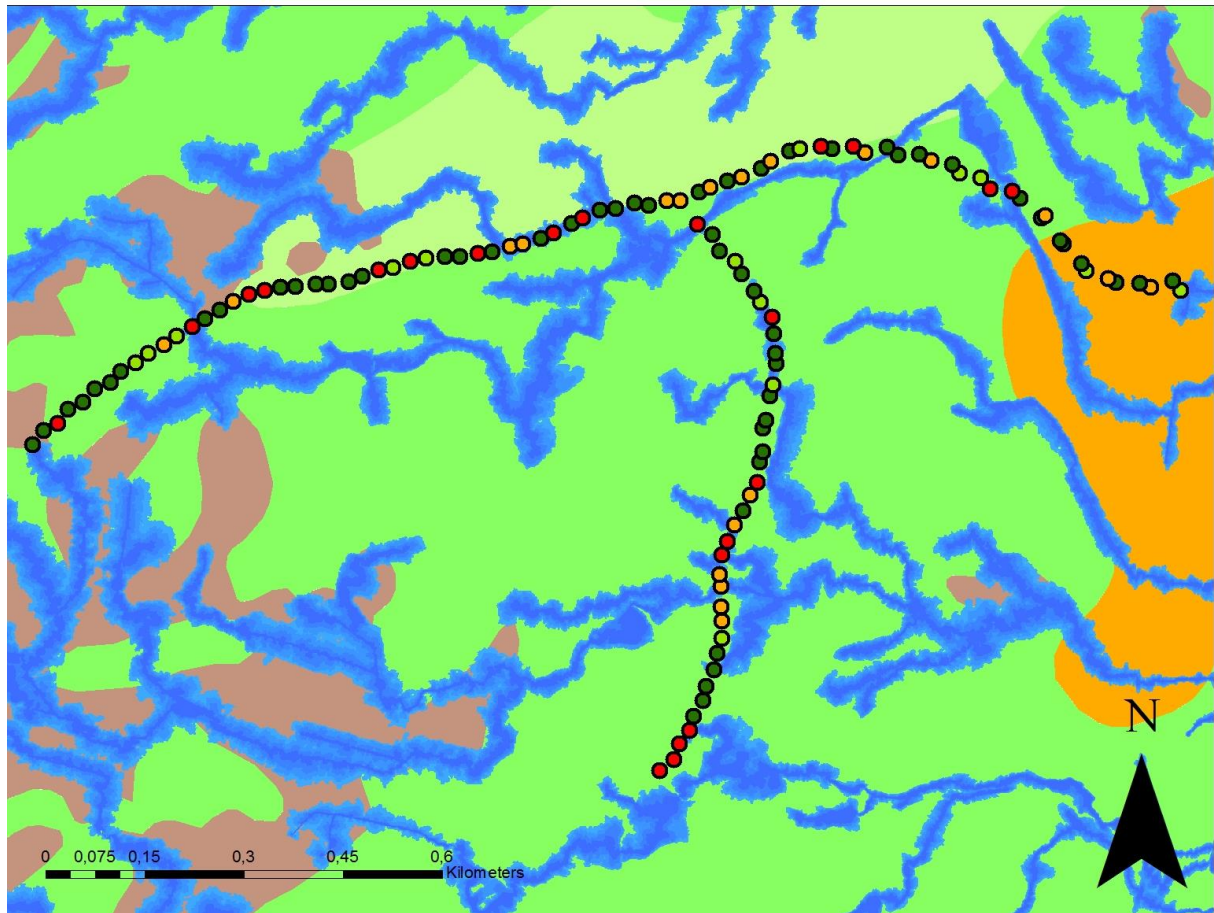
Figur 41: Alle løsmasser sammenlignet med bæreevne.

Figur 41 viser en regresjonsmodell med bæreevne målingene fra Rena (23/7 2014) med alle løsmasstypene sammenlignet med DTW. I regresjonsmodellen kan vi se trendlinjer som viser at bæreevnen for torv og myr, tykk morene og breelvavsetning øker med økt dybde til vann. Bæreevnen til tynn morene holder seg stabil. Regresjonsmodellen har en  $R^2$  på 0,08, det betyr at det ikke er korrelasjon mellom løsmassene og DTW. Resultatet er ikke signifikant med en P-verdi på 0,3269. Denne analysen er basert på 98 observasjoner.

Tabell 5: Observasjoner fordelt på løsmasstype Åmot 23/7 2014

Løsmasstype	Observasjoner
Torv og myr	3
Breelvavsetning	10
Tynn morene	31
Tykk morene	54
<b>Totalt</b>	<b>98</b>

### 3.5 Åmot Høst 2014



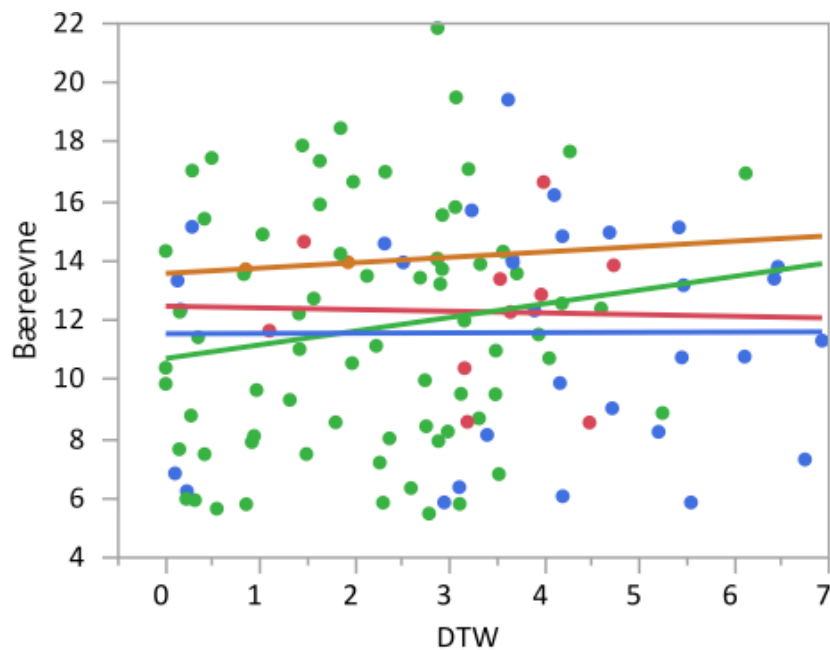
Figur 42: Kart over Åmot med løsmasstype, markfuktighet og bæreevne målingspunkter

#### Bæreevne og Løsmasser

- 5-8
  - 8-10
  - 10-12
  - 12- 18
- 012-Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- 011-Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- 020-Breelavsetning (Glasifluvial avsetning)
- 090-Torv og myr (Organisk materiale)

Figur 42 viser et kart over skogsbilvegen i Åmot med løsmasstyper, markfuktighet og bæreevne målingene. Løsmasstypene er fargekodet i henhold til NGU standard.

## Sammenheng mellom løsmasstyper, bæreevne og DTW



### Løsmasstype

- Breelavsetning (Glasifluvial avsetning)
- Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Torv og myr (Organisk materiale)

Figur 43: Alle løsmasser sammenlignet med bæreevne og DTW

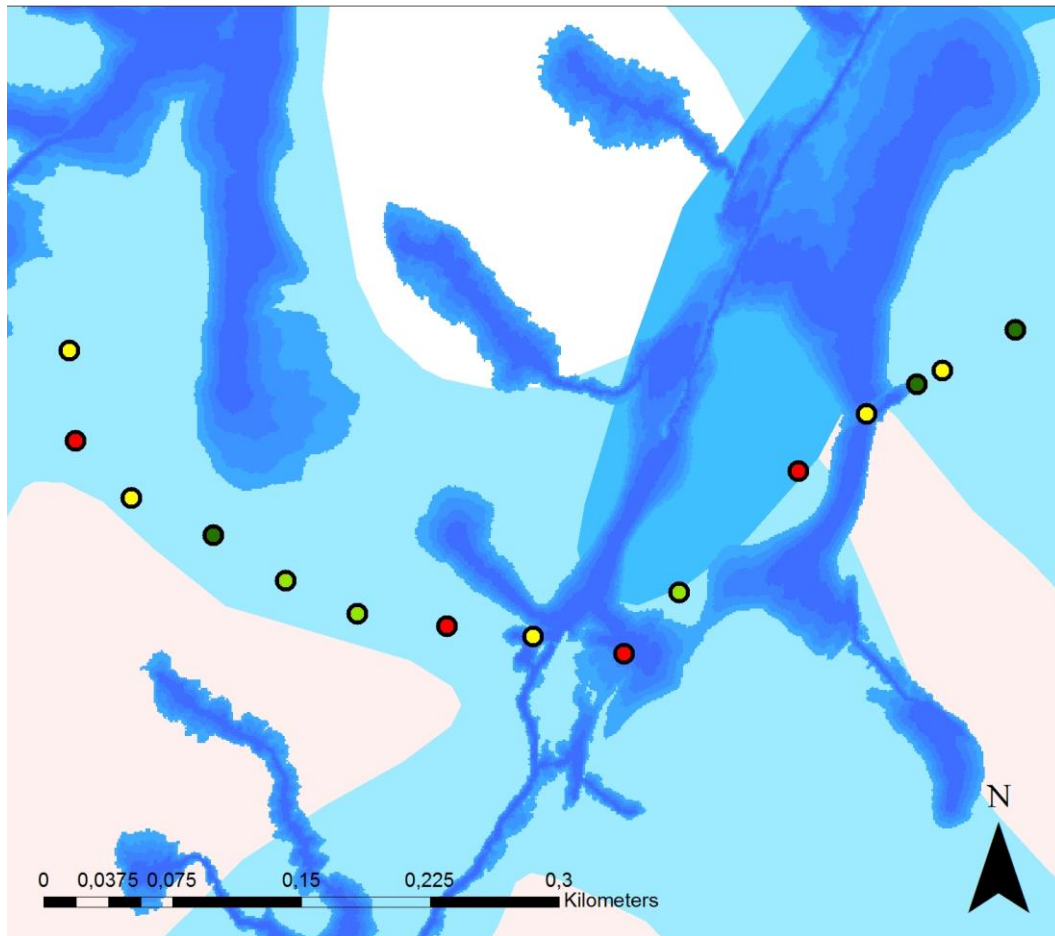
I Figur 43 ser vi en regresjonsmodell med bæreevne målingene fra Rena (16/10 2014) med alle løsmasstypene sammenlignet med DTW. I regresjonsmodellen kan vi se trendlinjer som viser at bæreevnen for torv/ myr og morene med stor mektighet øker med økt dybde til vann. Bæreevnen til tynn morene og breelavsetning holder seg stabil. Regresjonsmodellen har en  $R^2$  på 0,03, det betyr at det ikke er korrelasjon mellom løsmassene og DTW. Resultatet er ikke signifikante med en P-verdi på 0,867. Denne analysen er basert på 115 observasjoner.

Tabell 6: Observasjoner fordelt på løsmasstyper Åmot 16/10 2014

Løsmasstype	Observasjoner
Torv og myr	3
Breelavsetning	10
Tynn morene	31
Tykk morene	71
<b>Totalt</b>	<b>115</b>



### 3. 6 Lunder



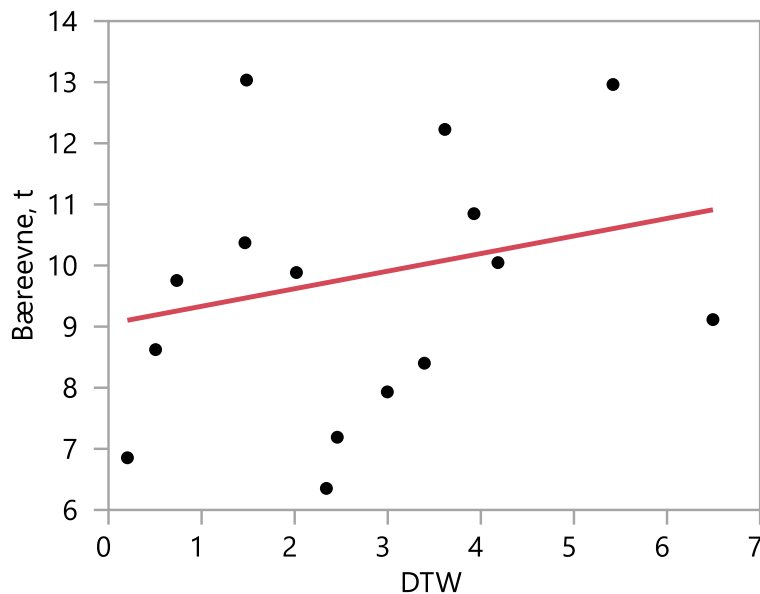
Figur 44: Kart over Lunder med løsmasser, markfuktighet og bæreevne målingspunkter

#### Bæreevne og Løsmasser

- 6-8
  - 8-10
  - 10-12
  - 12-13
- Hav- og fjordavsetning og strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet
- Bart fjell

Figur 44 viser et kart over skogsbilvegen i Åmot med løsmassetyper, markfuktighet og bæreevne målingene. Løsmassetypene er fargekodet i henhold til NGU standard.

## Hav-, fjord- og strandavsetninger sammenlignet med DTW og bæreevne



Figur 45: Hav- fjord og strandavsetninger sammenlignet med DTW og bæreevne

I Figur 45 ser vi en regresjonsmodell med bæreevne målingene fra Lunder med løsmassetyper hav-, fjord- og strand avsetninger med DTW. I regresjonsmodellen ser vi en trendlinje som viser at bæreevnen for hav fjord og strand avsetninger øker med økt dybde til vann. Regresjonsmodellen har en  $R^2$  på 0,07, det betyr at det ikke er korrelasjon mellom løsmassene og DTW. Resultatet er ikke signifikante med en P- verdi på 0,3939. Denne analysen er basert på 13 observasjoner.

Tabell 7: Observasjoner fordelt på løsmassetyper Lunder

Løsmasstype	Observasjoner
Bart fjell	1
Hav- og fjordavsetning	1
Hav- fjord og strandavsetning	13
<b>Totalt</b>	<b>15</b>



## 4. Diskusjon

Det ble ikke funnet mange signifikante resultater i analysen av de fire veganleggene, det var kun data fra Selbu og for alle veganleggene samlet som gav signifikante resultater. Det ble gjort analyser for løsmassetyper på alle veganleggene. Datagrunnlaget for Lunder, Rena og Aurskog Høland er for svakt og har for stor spredning til å gi signifikante resultater. Det er også forskjell på detaljnivået på terrengmodellene (DTM) for de forskjellige datasettene. Men vi kan se tendenser i trendlinjene for alle de fire områdene. Alle analysene er basert på den tilgjengelige informasjonen vi har om løsmasser, tilstanden på veganleggene og byggemetoden for veganleggene. I analysene er det tatt utgangspunkt i at de registrerte stikkrennene fungerer og drenerer vann bort vann fra vegen, og at vegene er bygd på stedege løsmasser. Men det er ikke tatt hensyn til grøfter. Veiene har ulik trafikk belastning. Detaljer om byggemetode og alder er ukjent. Flere av veiene er bygd eller opprustet i flere omganger. De fire veganleggene har stor geografisk spredning med klimatiske og geologiske forskjeller. Det er derfor vanskelig å trekke definitive beslutninger fra det samlede datasettet. Vegnormalen stiller forskjellige krav til tykkelse i bærelaget for forskjellige løsmasser dette kan føre til at vegene blir bedre dimensjonert i de områdene vi predikerer dårlig bæreevne med bruk av verktøy slik som markfuktighetskart og løsmassekart. Entreprenørens erfaringsnivå kan også føre til at bærelaget på vegen er sterkere i våte områder en i tørrere områder.

### 4.1 Markfuktighetskart

Det er ingen statistisk korrelasjon eller signifikans mellom DTW og observert bæreevne. Dette ble testet i regresjonsmodeller for alle veganleggene samlet, enkeltvis og sommer og høst på veganlegget i Åmot. DTW tar ikke hensyn til klimatiske forhold og kan derfor variere mye lokalt. DTW kartet er kun basert på en terrengmodell av overflaten. Modellen registrer ikke alltid små elver, bekker eller pytter og kan derfor være unøyaktig (Ågren et al, 2014). Topografien i områdene kan ha en effekt på fuktighet som

DTW modellen ikke klarer å ta hensyn til det kan derfor være dårlig bæreevne på grunn av fukt selv om DTW viser stor dybde til vann, det motsatte kan også være tilfelle. DTW sammenlignet mot vegens nedbøyning (G90) gav signifikante resultater . Dette kan tyde på at fuktighet har større effekt på bæreevnen dypere i vegen enn i.

#### 4.2 Markfuktighetskart og løsmassekart

Det er statistisk korrelasjon mellom DTW, løsmasser og bæreevne. Trendlinjene viser at bæreevnen til torv og myr går opp med en høyere DTW verdi. Trendlinjene viser at enkelte løsmasser kan være bedre egnet til vegbygging en andre, og at løsmasse og DTW kart predikerer bæreevne bedre på enkelte typer løsmasser en andre. Løsmassekartet til NGU har svært grov inndeling og løsmassene stemmer ikke alltid med virkelige forhold verken på plassering, type eller sammensetning. Tykk morene kan for eksempel inneholde alt fra leire til blokker og ha en tykkelse fra 0,5 til flere ti- talls meter (NGU).

#### 4.2 Bæreevne målinger

Det kan være stor variasjon på bæreevne målinger som er tatt rett etter hverandre Tvengsberg (2016), målte bæreevne fra 6-13 tonn kg på 6 målinger med 30 cm mellomrom med fallodds måler. Om bæreevne målingene er utført på fyllingssiden eller skjæringssiden kan også ha en effekt på resultatet, en måling for hver 25. m eller 50. m gir kun et lite innblikk i vegens bæreevne. Bæreevnen kan stige og synke betraktelig mellom 2 målinger. Bæreevne målingene er gjennomført på forskjellige tidspunkter og på Aurskog Høland manglet målepunktene posisjon og ble derfor kalibrert mot et kjent punkt.

## 5. Konklusjon

Markfuktighetskart kan ikke brukes alene til å predikere bæreevne på et eksisterende veganlegg, men markfuktighetskart sammen med løsmassekart gir en indikator på at enkelte løsmassetyper har en betraktelig dårligere bæreevne med økende fuktighet. Ved å ta egne geologiske prøver i felt og omklassifisere løsmassetypene i kartet til riktig observerte løsmasse. Eller kalibrert i forhold til fkb informasjon om våte områder slik som myrer kan gi bedre resultater. En terrengmodell (DTM) med større nøyaktighet kunne gitt et mer detaljert grunnlag om grøftene på skogsbilvegene. Slik at Markfuktighetskartet hadde tatt mer hensyn til avrening i grøftene. Markfuktighets og løsmasse kart kan med mer detaljerte kartgrunnlag. Og med et større datagrunnlag med flere og tettere bæreevne målinger bli et verdifullt planleggingsverktøy for vegplanleggere i fremtiden.

## 6. Referanser

- Arp, Paul. (2009). *High-resolution flow-channel and wet-areas maps: a tool for better forest operations planning*. Faculty of Forestry and Environmental Management, University of New Brunswick, Fredericton, Canada Research Note Series No. 55
- Bjerketvedt, J, & Fjeld, D,. (2016). *Pilotforsøk i Bæreevneklassifisering*. ÅS: Prosjektsammendrag NIBIO
- Glommen-skog. (2012). Skogsbilveger i de tradisjonelle skogstrøk - trenger vi et løft?: Glommen Skog BA. Tilgjengelig fra: [http://www.glommen-skog.no/wpcontent/uploads/Rapport\\_vegprosjekt.pdf](http://www.glommen-skog.no/wpcontent/uploads/Rapport_vegprosjekt.pdf) (Lest 15.04 2017)
- Hanssen-Bauer, I, Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nilsen, J, E, Ø., Sandven, S., Sandø, A, B., Sorteberg, A & Ådlandsvik, B (2015). *Klima i Norge i 2100*. Norsk klimaservicesenter. Oslo: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2015/September-2015/Klima-i-Norge-2100/>. (Lest 10.04 2017)
- Kartverket (2013). Produktspesifikasjon Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser). Hentet fra: [http://sosi.geonorge.no/Produktspesifikasjoner/tidligere/fkb-laser-v20\\_2013-02-01.pdf](http://sosi.geonorge.no/Produktspesifikasjoner/tidligere/fkb-laser-v20_2013-02-01.pdf). (Lest 05.04 2017)
- Kyllo (2015). Nils Olaf Kyllo, *Sørungveien opprusting*
- Landbruksdirektoratet. (2017). Skogsveier: Landbruksdirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/statistikk/skogbruk/skogsveier> (Lest 01.04 2017)
- LMD. (2013). Normaler for landbruksveier med byggebeskrivelse: Landbruks- og matdepartementet.

Murphy, P. N., Ogilvie, J., Arp, P. A. (2009). Topographic modelling of soil moisture conditions: a comparison and verification of two models. *Soil science volume 60*, s 94- 109.

NVE (2017). Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra: <http://nevina.nve.no> (Lest 25.01 2017)

Norges geologiske undersøkelse. (2015). Produktspesifikasjon:ND\_Løsmasser. Oslo: NGU. Tilgjengelig fra: [http://www.ngu.no/upload/Aktuelt/DOK\\_Produktspesifikasjon\\_Losmasser\\_ver3.pdf](http://www.ngu.no/upload/Aktuelt/DOK_Produktspesifikasjon_Losmasser_ver3.pdf). (Lest 05.04 2017)

Metrologisk institutt (2017). *Klima siste 100 år*. Tilgjengelig fra: <https://www.met.no/vaer-og-klima/klima-siste-150-ar> (Lest 05.04 2017)

Rambøll (2015). *Notat Bæreevnmåling Sørungen, Selbu*

Salour, F. & Erlingsson, S. (2013). Investigation of a pavement structural behaviour during spring thaw using falling weight deflectometer. *Road Materials and Pavement Design*, 14 (1): 141- 158.

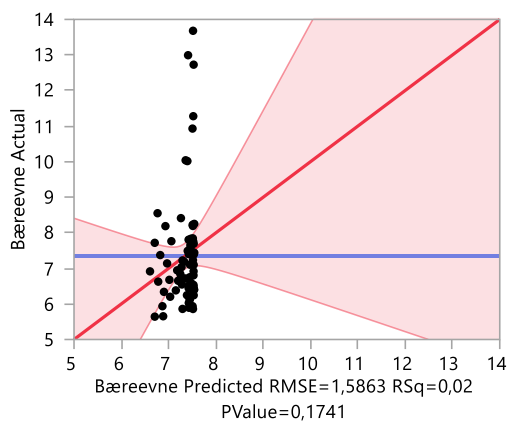
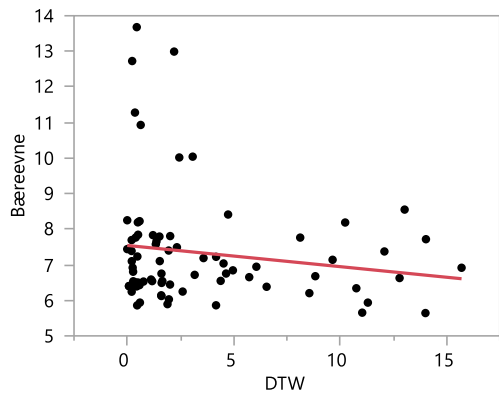
SSB (2017), Mer hogst tilt ross lavere priser: Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/mer-hogst-tross-lavere-priser—305019>. ((Lest 01.04 2017)

Tvengsberg. H. (2016). *Bæreevnmåling av skogsbilveg med håndholdt fallodds måler*. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

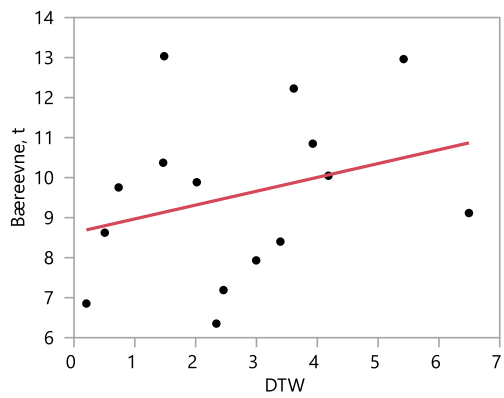
Ågren, A. M., Lindberg, W., Strömngren, M., Ogilvie, J., & Arp, P. A. (2014). *Evaluating digital terrain indices for soil wetness mapping - a Swedish case study*. *Hydrology and Earth System Sciences*(18), ss. 3623 - 3634.

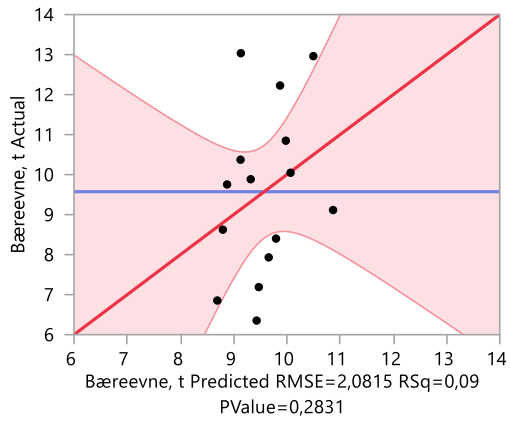
## 7. Vedlegg

Aurskog: Alle DTW

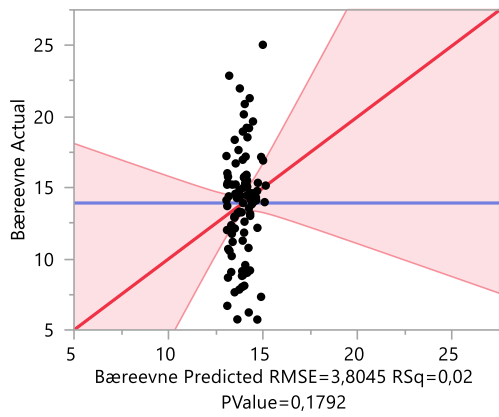
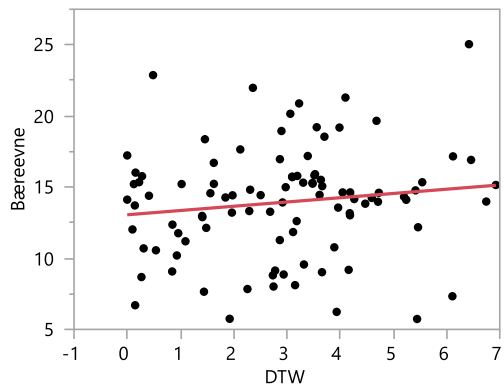


Lunder: Alle DTW

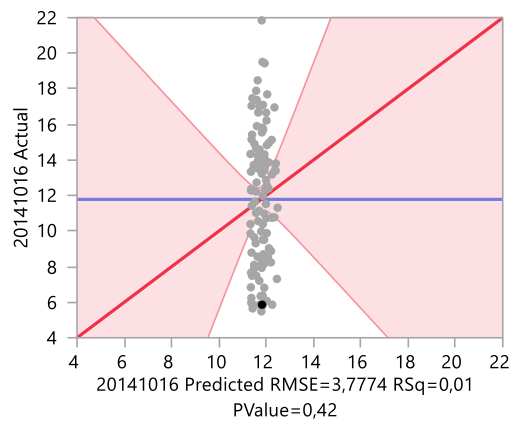
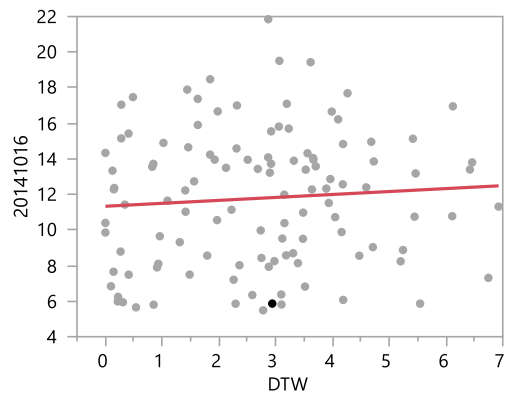




### Rena sommer: Alle DTW



### Rena høst: Alle DTW







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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway