

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for miljøvitenskap

Masteroppgave 2014
30 stp

Kartlegging av stabilitetsforhold og hydrogeologi i ravinelandskap langs ny jernbanetrasé nord for Eidsvoll stasjon.

Survey of stability conditions and
hydrogeology in ravine
landscape along new railway
track north of Eidsvoll Station.

Erik Aavatsmark

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på et toårig masterstudium i miljø og naturressurser (MINA) med fordypning i geologi på Institutt for miljøvitenskap (IMV) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU).

Oppgaven er et samarbeid med med NIFS-prosjektet (Naturfare-Infrastruktur-Flom-Skred), som er felles satsningsområde mellom Jernbaneverket, Norges vassdrags- og energidirektorat og Statens vegvesen.

Verden er inne i en periode med klimaendringer som blant annet påvirker nedbørsmønstrene i Norge. Hvordan endring i nedbørsmønstre og grunnvannsstrømninger påvirker løsmassers egenskaper, som kan føre til endrede stabilitetsforhold og fare for skred, var noe jeg tidlig fikk lyst til å skrive om. Det var imidlertid ingen av forslagene til masteroppgavene fra NMBU kunne tilby denne kombinasjonen. Jeg oppsøkte derfor førsteamanuensis Helen K. French ved IMV for å høre om dette var et tema det var mulig å få veiledning innenfor, og ble møtt med stor velvilje og entusiasme. Vi diskuterte både ulike vinklinger av oppgaven og mulige samarbeidspartnere. Etter at French hadde forhørt seg med ulike personer i sitt kontaktnett var det hydrolog Steinar Myrabø ved Jernbaneverket som introduserte oss for NIFS-prosjektet.

Jeg vil gjerne takke min veileder Helen French som har vært til stor hjelp gjennom hele arbeidet med oppgaven. Videre ønsker jeg å takke Leif Jacobsen som har vært en viktig støttespiller i forbindelse med gjennomføring av feltarbeidet, og Jan Vaslestad for geoteknisk rådgivning. Jeg vil også rette en stor takk til alle hjelpsomme og kunnskapsrike mennesker fra Jernbaneverket (JBV), Statens Vegvesen (SVV) og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) som jeg har vært i kontakt med gjennom mitt arbeid med oppgaven. En spesiell takk rettes til Jernbaneverket og NIFS-prosjektet for finansiering av prosjektet.

Til sist vil jeg takke min samboer og mine små døtre som jeg har fått alt for liten tid til det siste året.

Ås, 15.08.2014

Erik Aavatsmark

Sammendrag

Klimaprognoser viser at det vil bli mer nedbør og hyppigere episoder med kraftig regn og dermed hyppigere og større flommer, og okkende skredfare, i Norge i fremtiden. Dette gjelder over hele landet. Endringer i klima kommer til å påvirke stabiliteten av skråninger i løsmasser langs vei og jernbane. Forskning viser at både temperatur og nedbør har økt over hele landet de siste tiårene (Lawrence 2011).

Jernbaneverket holder for tiden på med en utbygging av Dovrebanen hvor det skal bygges nytt dobbeltspor på strekningen Eidsvoll-Hamar. Som en del av dette prosjektet bygges det nytt vendespor på strekningen Eidsvoll-Langset. I den forbindelse har to skråninger i ravinlandskapet langs jernbanetraséen blitt planert ut for å bedre stabiliteten. I ettertid har det oppstått problemer med både overflateerosjon, grunnvannserosjon og overflateutglidninger i disse skråningene.

Målsetningene med oppgaven har endret seg en del underveis i prosessen. Opprinnelig var oppgavens primære målsetning å kvantifisere grunnvannsstrømninger og infiltrasjon i området rundt skjæringene. Innsamlede data skulle danne grunnlag for en modell i Visual Modflow for transiente simuleringer av grunnvannsstrømninger, slik at resultatene av disse simuleringene kunne danne grunnlag for dimensjonering av dreneringsløsninger og andre avbøtende tiltak. Grunnet av en rekke tekniske problemer underveis med blant annet instrumentering og datainnsamling, som har ført til store forsinkelser av hele prosjektet, har oppgavens hovedfokus blitt endret. Når dette skrives er allerede avgjørelsen tatt med tanke på hvilke tiltak som iverksettes for å løse stabilitetsproblemene i skjæringene. Resultatene i oppgaven får derfor liten eller ingen innvirkning på konkrete valg av løsninger knyttet til utbedringer av disse skjæringene. På bakgrunn av dette har jeg valgt å i større grad flytte fokus mot prosessene som ligger bak valgene som har blitt foretatt i forbindelse med planering og sikring av skjæringene sommeren 2013. Resultatene viser at flere av anbefalingene i ulike konsulentrapporter strider mot retningslinjer i henhold til SVV sine håndbøker. Disse retningslinjene er også gjeldende for JBV og deres leverandører av konsulent- og entreprenørtjenester.

Preface

Climate projections show that there will be more precipitation and more frequent episodes of heavy rainfall and thus more frequent and larger floods, and increased landslide hazards in Norway in the future. This applies across the country. Changes in climate will affect the stability of slopes in soils along roads and railways. Research shows that both temperature and precipitation have increased across the country in recent decades (Lawrence 2011).

Norwegian National Rail Administration (JBV) is currently working on a development of Dovrebanen where a new double railway route is under construction between Eidsvoll and Hamar. As part of this project a new turning track is built on the stretch Eidsvoll-Langset. Lengthwise this new route two slopes in the ravine landscape along the railway line has been flattened out to improve stability. In retrospect, problems has occurred regarding both surface erosion, groundwater erosion and surface slides in these slopes.

The objectives of this master thesis has changed somewhat during the process. Originally the primary objective of the thesis was to quantify groundwater flows and infiltration around the slopes. Collected data should form the basis for a model in Visual Modflow for transient simulations of groundwater flows. The results of these simulations was ment to contribute suggestions regarding design of drainage solutions and other stabilizing measures. Due to a number of technical problems along the way including instrumentation and data collection, which has led to major delays in the project, the main focus of the thesis has changed.

As I write this, the decision has already been taken regarding the measures to be performed to solve the stability problems in the slopes. The results of the thesis will therefore have little or no effect on the specific choice of solutions related to the restoration of these slopes. For this reason I have chosen to increasingly shift the focus to the processes that underlie the choices that have been made in connection with leveling and securing the slopes during the summer of 2013. Results show that several of the recommendations in various consultant reports contrary to the guidelines according to the design manuals published by the Norwegian Public Roads Administration (SVV). These guidelines are also applicable to JBV and their suppliers of consultancy and contracting services.

Innholdsfortegnelse

Forord	3
Sammendrag	4
Preface	5
1. Innledning	8
1.1 Bakgrunn	8
1.2. Problemstilling	9
1.3. Målsettinger	11
2. Litteratur/teori	11
2.1. Grunnvann, overflatevann og stabilitet i skråninger	11
2.2. Poretrykk	12
2.3. Statens Vegvesens retningslinjer for skjæringer i løsmasseskråninger	13
3. Områdebeskrivelse	14
3.1. Geografisk plassering	14
3.2. Geologi	14
3.2.1. Kwartærgeologi	14
3.2.2. Berggrunnsgeologi	18
4. Metode	18
4.1. Geofysiske metoder	18
4.1.1. Georadar (GPR)	18
4.1.2. Elektriske resitivitetsmålinger (ERT)	20
4.2. Instrumentering av forsøksfeltet	20
4.2.1. Grunnvannsbrønner	22
4.2.2. Grunnvannsloggere	22
4.2.3. Dataloggere	22
4.2.4. Jordfuktsensorer	23
4.2.5. Temperatursensor	23
4.3. Jordprøver og kornfordelingsanalyse	23
4.4. Sugtest (Horslev´s metode)	24
4.5. Hydrologi/nedbørsdata	25
4.6. Visual MODFLOW	26
4.7. Kartstudier for vurdering av skredhendelser og lokale stabilitetsforhold.	26
4.8. Vurdering av konsulentrapporter opp mot Statens Vegvesens håndbøker	26
5. Resultater	27
5.1. Geofysiske metoder	27
5.1.1. GPR.....	27
Profiler fra liten skjæring	27
Profiler fra stor skjæring	28
5.1.2. ERT	30
5.2. Grunnvannsnivåer	30
5.3. Jordfukt	31
5.4. Jordtemperatur	31
5.5. Kornfordelingsanalyse og fastsettelse av konduktivitet	31
5.6. Slugtest og fastsettelse av konduktivitet	31
5.7. Analyse av nedbørsdata	33
5.8. Sammenlikning av konsulentenes råd med Vegvesenets håndbøker	35
5.8.1. Statens Vegvesens håndbøker.....	35
5.8.2. Relevante utdrag fra konsulentrapporter.....	45
Rapport UEH-10-A-55212_04A, Geoteknisk fagrapport Utfylling og skjæring langs Vorma.....	45

5.8.3. Notat fra møte/befaring 14.03.2014, Eidsvoll Vending, Eidsvoll, Sweco 26.03.2014.....	47
5.9. Skredhendelser	48
6. Diskusjon.....	51
7. Konklusjon	53
8. Anbefalinger om videre arbeid	54
8. Referanser	55
9.1. Grunnvannsdata.....	57
9.2. Kornfordelingsanalyser	58
9.3. Slugtest	65

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

De globale klimaendringene fører til at vi i Norge i årene som kommer vil oppleve våtere og varmere vær. Samtlige klimaframskrivninger viser at alle årstider vil bli varmere i samtlige landsdeler. Det opereres med lav-, middels- og høy framskriving, og årsmiddeltemperaturen er beregnet å øke med henholdsvis 2,3 °C, 3,4 °C og 4,6 °C innen år 2100. Det forventes at avrenning vil øke i landet totalt sett, men det vil forekomme vesentlige regionale forskjeller. Generelt forventes økt avrenning høst og vinter, mens det forventes mindre avrenning flere steder i sommermånedene (Noregs offentlege utgreiingar 2010). Temperaturene vil øke mest i vinterhalvåret, og spesielt i Nord-Norge. Årsnedbøren vil øke mest i vinter- og vårmånedene. Sommernedbøren vil generelt avta, og dette vil få størst utslag på Øst- og Sørlandet. Høstnedbøren vil øke i alle regioner. Videre forventes det flere intense nedbørsperioder lokalt. Avrenning i vintermånedene kommer til å øke betydelig, mens avrenning i sommerhalvåret generelt vil minke. Skredhendelser i løsmasser kan komme i områder hvor det tidligere ikke har gått skred. Flomfaren vil øke både høst og vinter, og regnflommene forventes bli større. (Mamen & A. 2010; Norges vassdrags- og energidirektorat 2010)

Følgene av klimaendringene vil medføre store konsekvenser for infrastruktur som vei og jernbane, spesielt i områder hvor løsmasser dominerer. Det forventes økt fare for jord, stein og fjellskred ved smeltevannsinfiltrasjon og erosjon. Videre forventes økt fare for ødeleggelse av vegnettet der drenering ikke er tilstrekkelig dimensjonert (Miljøverndepartementet 2005).

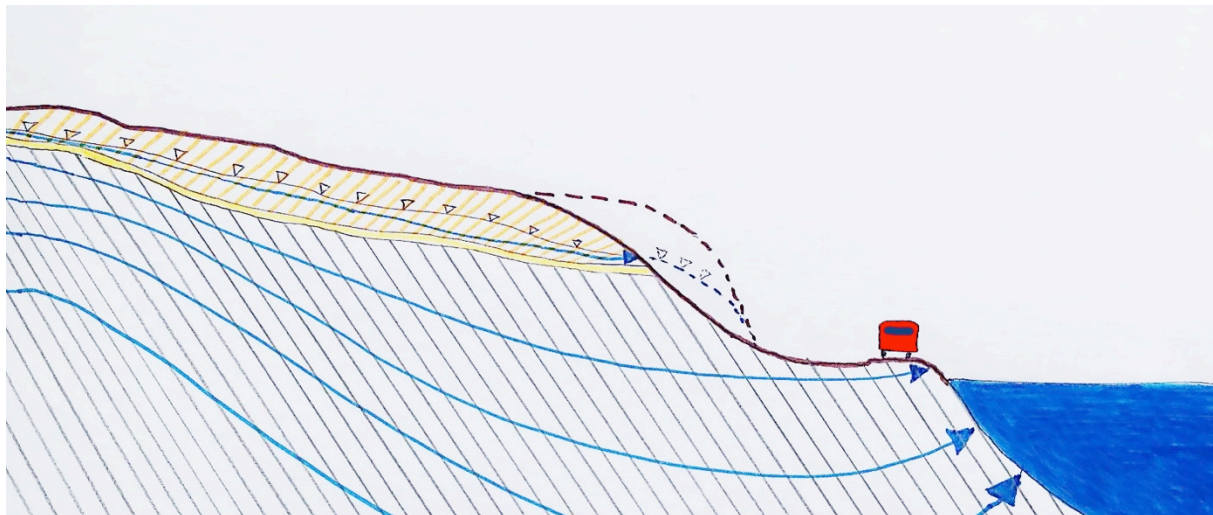
Statens Vegvesen og Jernbaneverket samarbeider om et fellesprosjekt for utvikling av Dovrebanen til dobbeltspor. Utbygging, som startet i 2011, av parseller på E6 fra Dal opp mot Minnesund og videre langs Mjøsa medfører store overskuddsmasser etter sprenging i fjell. Parsellen Dal – Minnesund alene vil få et estimert overskudd av overskuddsmasser på ca 200.000 m³. Disse massene anvendes for utfylling langs Vorma for å gi plass til utvidelse av dagens kryssingsspor nordover fra Eidsvoll Stasjon, samtidig som fyllingen er tenkt å inngå i et fremtidig dobbeltspor (Aas-Jakobsen / Geovita 2012). To naturlige skråninger i ravinlandskapet langs jernbanesporet har fått redusert helningsgraden for å bedre stabiliteten.

I tillegg stabilitet- og hydrogeologiske forhold, vil jeg også se på ulike konsulentrapporter som er utarbeidet i løpet av planprosessen. Formålet med dette har vært å utrede om noe kunne vært gjort fernerledes for å forhindre problemene som har oppstått med skjæringene.

1.2. Problemstilling

Skråninger er naturlige formasjoner i løsmasser, mens definisjonen på en skjæring er en skråning som er planert ut og har fått redusert helningsgraden (Statens Vegvesen 2012). To bratte skråninger i ravinlandskapet som ligger langs Vorma, nord for Eidsvoll stasjon, ble sommeren 2013 planert ut og fikk redusert helningsgraden til 1:2 i henhold til råd fra Aas Jacobsen / Geovita som har fingert som underleverandør til SWECO på prosjektet. Dette ble gjort for å bedre totalstabiliteten. For å redusere faren for overflateerosjon i den største skjæringen ble nedre del denne dekket med fiberduk og plastret med pukk for å stabilisere overflaten (Aas-Jakobsen / Geovita 2012).

I ettertid har det oppstått problemer med både erosjon og stabilitet i begge skjæringene. Dette antas å skyldes en kombinasjon av grunnvann som siver ut i front av skjæringene i tillegg til overflateavrenning. Som det fremgår av skissen under har det i forbindelse med planering gravd inn i det tidligere grunnvannsspeilet i skråningen, slik at grunnvannet nå siver direkte ut av overflaten i skjæringen.



Figur 1. Skisse som viser et tenkt tverrsnitt (sør mot nord) av den store skjæringen (Aavatsmark, E.). Brun linje viser dagens topografi. Stiplet brun linje markerer antatt tidligere topografi i skråning. Tynn svart linje (i orange skravert felt) indikerer grunnvannsspeilet. Stiplet blå linje indikerer antatt tidligere grunnvannsspeil i skråning, før planering. Skravert orange område er et lag bestående av godt sortert relativt fin sand (elveavsetninger). Gult felt

er tynt lag bestående av silt, og skravert grått felt er et tykt lag bestående av leire. Blå piler indikerer grunnvannsstrøm mot Vorma.



Figur 2. Bilde viser arbeidet med planering for å endre helningsgraden i den store skråningen 03.06.2013 (JBV 2013). Legg merke til den markante lagdelingen mellom leire, silt og sand, samt spor etter grunnvannserosjon midt i sandlaget.

I byggemøte med Jernbaneverket og Sweco på Eidsvoll den 10. mars 2014, hvor jeg deltok, fremkom det at omfanget av disse problemene til dels har kommet overraskende på så vel Jernbaneverket som konsulentselskapene som har levert geotekniske rapporter i forbindelse gjennomføringen av prosjektet.

Grunnvann siver til en viss grad naturlig ut av alle skråninger. Når tilsiget av grunnvann er større en avrenningen, slik at høyt vanntrykk bygges opp, får vi ustabile skråninger med for eksempel grunnvannserosjon eller overflateglidning som resultat (Forrester 2001)

For å kunne dimensjonere og iverksette avbøtende tiltak i ustabile skråninger langs vei og jernbane er det nødvendig å få kvantifisert vannmengdene, og å kartlegge ulike vannstrømningsveier (overflateavrenning/grunnvann) under forskjellige klimatiske, hydrologiske og hydrogeologiske forhold.

1.3. Målsettinger

Målene med oppgaven er todelt. Den ene delen består i å kvantifisere grunnvannstrømning og infiltrasjon i skjæringene. Den andre delen vil bestå i å gjennomgå konsulentrapporter, og annedre relevante dokumenter som er utarbeidet i løpet av planprosessen, for å se om noe kunne vært gjort annerledes for å forhindre problemene som har oppstått med skjæringene.

For å få til dette er følgende delmål fastsatt:

- Gjennomgå relevante rapporter og dokumenter fra prosjekteringsfasen, og se om anbefalinger gitt i disse er i henhold til retningslinjene i SVVs håndbøker.
- Kartlegging av lagdeling av variabilitet ved hjelp av geofysiske målinger og boreprøver.
- Etablere forsøksfelt med instrumenter som skal gi data for validering av modell (grunnvannsstand samt jordfukt og jordtemperatur).
- Etablere grunnvannsmodell i Visual MODFLOW for transiente simuleringer med tanke på å kvantifisere mengden grunnvann som strømmer ut av skjæringene, og å validere resultatene fra disse (utgår).
- Gi dimensjonerende vannmengder for dimensjonerende tiltak (utgår).

2. Litteratur/teori

2.1. Grunnvann, overflatevann og stabilitet i skråninger

Så mye som 90% av stabilitetsproblemer i løsmasseskråninger kan tilskrives vann (Vaslestad 2014, muntlig meddelelse).

Fra jordmekanikk vet vi at skråningers stabilitet avhenger av vanninnholdet i løsmassene som danner skråningen. Dette kan forklares ved at vi betrakter den totale vekten av løsmassene i skråningen. Vekten vil være på sitt høyeste når løsmassene er 100% mettet, og på sitt laveste i et hypotetisk tilfelle hvor løsmassene inneholder 0% vann. Alle skråningene som ikke tolererer de lokale meteorologiske forholdene har allerede rast ut. De som står igjen risikerer å rase ut når ekstreme meteorologiske hendelser inntreffer (Dimakis 2013).

Klimaendringer som fører til endrede nedbørsmønstre og snøsmeltingsforhold kan dermed få store konsekvenser for skråninger som tidligere har vært antatt å være stabile.

For å forstå grunnvannets strømningsveier i skråninger er det mange faktorer som må tas i betraktning. Faktorer som spiller inn er mektigheten av de ulike lagene og variasjon i disse med tanke på topografi, hydrauliske konduktivitet, kornfordeling. Eventuelle underliggende leirlag vil også ha stor betydning.

2.2. Poretrykk

Grunnvann spiller en avgjørende rolle i nesten alle geotekniske spørsmål. Under en viss dybde finne vi grunnvannsspeilet som markerer skillet mellom mettet og umettet sone. Metningsgraden har stor betydning for stabiliteten, men det er poretrykket/porevannstrykket (trykkforholdene i grunnvannet) som er av størst betydning (Norsk geoteknisk forening 1982). Poretrykket beskriver trykket i væske eller gass i porer i jord- eller bergarter.

Når det gjelder stabilitet i skråninger er hydrologi/meteorologi og geologi nært knyttet sammen. Nedbør og snøsmelting setter begrensninger for hvilke typer skråninger, fra en geologisk (sedimentologisk) perspektiv, som er stabile i et område. En kraftig nedbørshendelse eller plutselig snøsmelting fører til at grunnvannstanden stiger og fører til at poretrykket øker. Poretrykket i øker normalt lineært med dypet så lenge vannet kan bevege seg fritt (Statens Vegvesen 2010).

Trykket i en væske med en vertikal distanse h under jordoverflaten er gitt ved likningen

$$p = \rho gh$$

Her er p = porevannstrykket, ρ = væskens tetthet, g = tyngdekraften ($9,81 \text{ m/s}^2$) og h = dybden av frittstående vann over jorda (den overliggende vannsøylen)

Dersom poretrykket tilsvarer vekten av den overliggende vannsøylen er det snakk om en hydrostatisk trykkfordeling. Et hydrostatisk poretrykk øker med ca. 10 kPa for hver meter dybde under grunnvannsspeilet. Løsmassenes stabilitet avhenger av jordartenes sammensetning og at de effektive spenningene i løsmassene opprettholdes. Effektiv spenning er en kombinasjon av porevannstrykket og trykket på sedimentenes kornstruktur. (www.grunnvanninorge.no).

2.3. Statens Vegvesens retningslinjer for skjæringer i løsmasseskråninger

Statens Vegvesen (SVV) har utgitt en rekke håndbøker som gir råd og veiledning i forbindelse med veibygging og annen infrastruktur. Jernbaneverket har ingen egen geoteknisk avdeling, og deres interne retningslinjer pålegger derfor byggeledere og prosjektledere å følge anbefalinger gitt i Vegvesenets håndbøker (Rasdal, Asbjørn 2014). Alle planlegging og gjennomføring av arbeidet med nytt vendespor ved Eidsvoll stasjon skal med andre ord være utført i henhold til Vegvesenets håndbøker.

Følgende håndbøker fikk jeg anbefalt av Jan Vaslestad som mest relevante for prosjektet:

- Håndbok 016 (HB016), Geoteknikk i vegbygging (2010)
- Håndbok 018 (HB 018), Vegbygging (2011)
- Håndbok 274 (HB274), Grunnforsterkninger, fyllinger og skråninger (2008/2012)

I løpet av juni 2014 har de fleste av Vegvesenets håndbøker fått nye nummer og til dels nye titler. Hvorvidt innholdet er endret er jeg usikker på. Ettersom jeg har jobbet med de gamle bøkene siden i fjor, og det i tillegg er disse håndbøkene konsulenter, entreprenører og Jernbaneverket har skullet forholde seg til i den aktuelle perioden, har jeg valgt å holde meg til de gamle utgavene. Jeg har valgt å holde direkte utklipp fra håndbøkene i kursiv. Mine kommentarer står med vanlig skrift.

3. Områdebeskrivelse



Figur 3. Skjæringene nord for Eidsvoll stasjon fotografert fra østsiden av Vorma. De røde og blå prikkene er beskrevet under avsnittet om metode. (Aavatsmark 2013)

3.1. Geografisk plassering

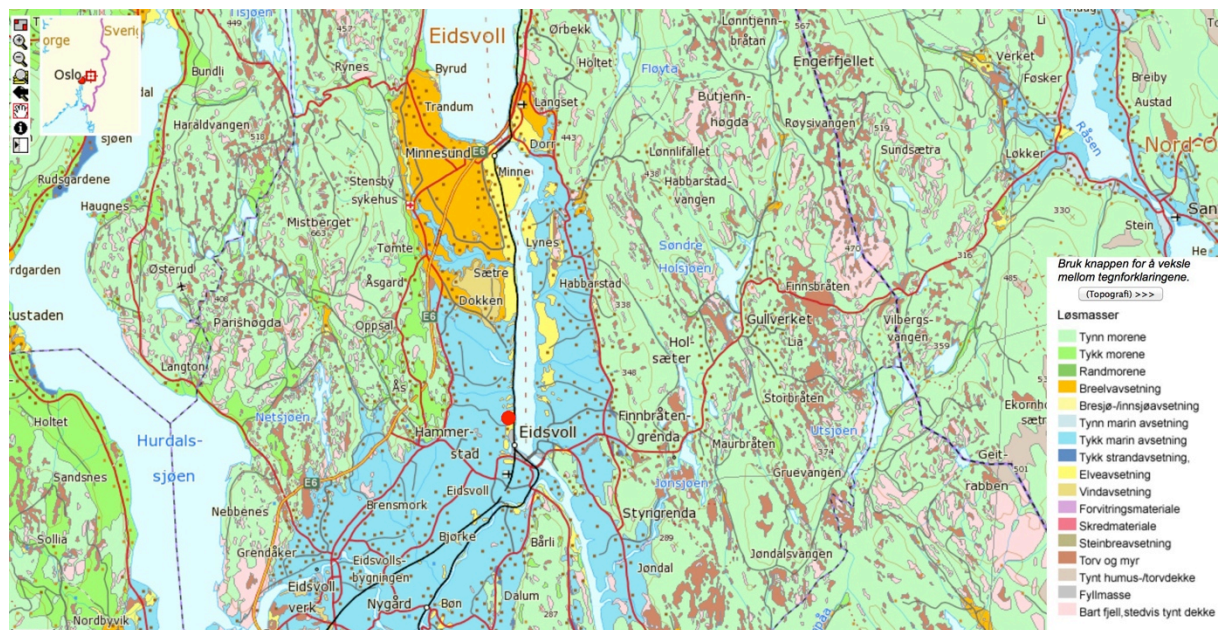
Eidsvoll befinner seg omkring 71 km nord for Oslo.

Det nye vendespetet går mellom Eidsvoll stasjon og Dokknes i Eidsvoll kommune i Akershus fylke. Selve forsøksfeltet med skjæringene ligger ca 500 meter nord for Eidsvoll stasjon og befinner seg 140-160 moh. Sporet går langs elven Vorma som er en del av Glommavassdraget. Vorma har sitt utspring i sørenden av Mjøsa ved Minnesund, som ligger 7,5 km fra Eidsvoll stasjon. 32 km sør for Minnesund, Nestangen ved Vormsund, renner Vorma sammen med Glomma og utgjør Glommas viktigste tilløp. I perioder med flom er Vorma Norges mest vannrike elv.

3.2. Geologi

3.2.1. Kvartærgeologi

Kvartærgeologien omhandler de siste 2,6 millioner år (epokene Holocen og Pleistocen), og det er i dette tidsrommet dagens løsmasser ble dannet. I løpet av denne perioden har det vært flere istider hvor hele Skandinavia har vært dekket av is. Siste istid (weichsel) startet rundt 115000 f.n. og endte ved inngangen til Holocen ca. 9700 år f.n.



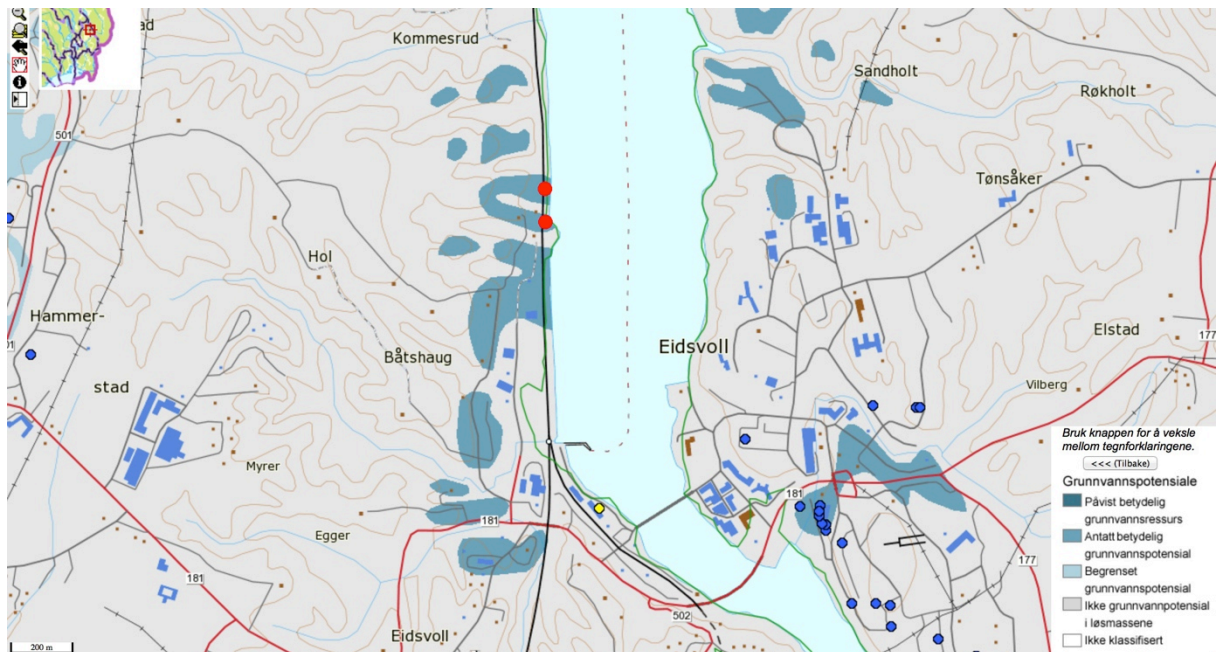
Figur 4. Kvartærtgeologisk kart over Eidsvoll – Minnesund. Rødt punkt markerer området hvor skjæringene er lokalisert (NGU-Arealis, 2014).

Området rundt Eidsvoll stasjon befinner seg under marin grense, og ligger om lag 8 km sør for Minnesundtrinet. Da brefronten trakk seg tilbake, mot slutten av siste istid, fulgte havet etter, og strandlinjen lå den gang 192 meter over dagens havnivå. Minnesundtrinet ble avsatt i den Preboreale perioden som etterfulgte Yngre dryas. I denne perioden var det et lengre opphold i brefrontens tilbaketrekning om lag 10200 år f.n. (9400 ^{14}C -år), og avsetningen er et brefrontdelta avsatt av smeltevann, med en sandur på toppen. Store grus- og sandmasser ble skyllet ut med bre-elvene og avsatt langs breranden. Israndavsetningen danner i dag en høyde i terrenget og utgjør et betydelig grunnvannsreservoar. Løsmassene i området domineres av marine silt og leiravsetninger som stedvis er dekket av glacifluviale og fluviale sand- og grusavsetninger (Erikstad 1992). Leiravsetningenes mektighet varierer fra 0,5 m til flere ti-tall meter, mens de fluviale avsetningenes mektighet varierer fra 0,5 til over 10 meter. Det er få eller ingen fjellblotninger i området (Norges geologiske undersøkelse 2014).

Som resten av israndavsetningene på Romeriket, skiller Minnesundtrinet seg fra israndavsetninger lenger sør (e.g. Raet), ved at det mangler morenemateriale og morenerygger (Ramberg 2007). Deglasiasjonen over Romerike er anslått til å ha tatt rundt 400 år, og oppbyggingen av selve brefrontdeltaet rundt 50-200 år. Kornstørrelsen på løsmassene minker som en hovedregel med avstand fra brekanten.



Figur 5. Kvartærgeologisk kart over området nord for Eidsvoll hvor skjæringene er markert med røde punkter. Den lille skjæringen ligger lengst sør. Som vi ser av kartet domineres løsmassene i området av tykke marine avsetninger, med stedvise elveavsetninger av varierende mektighet (NGU-Arealis, 2014).



Figur 6. Kartutsnitt som viser grunnvannspotensiale i området hvor skjæringene er markert med røde punkter. Som vi ser sammenfaller områdene som er kartlagt som antatt betydelig grunnvannressurs, med områdene kartlagt som elveavsetninger i figur x (NGU-Arealis, 2014).



Figur 7-10. Bilder fra pleneringsarbeidet i juni 2013. Legg merke til den markante lagdelingen. (Jernbaneverket 2013).



3.2.2. Berggrunnsgeologi

Berggrunnen består hovedsakelig av pregambriske gneiser. Granodiorittisk til tonalittisk gneis. Som regel migmatittisk med slirer, linser eller små kropper av granitt og pegmatitt (tolkning av NGUs berggrunnskart N50).

4. Metode

4.1. Geofysiske metoder

4.1.1. Georadar (GPR)

Georadar (Ground Penetrating Radar - GPR) er et instrument som sender elektromagnetiske bølger ned i bakken for undersøkelse av lagdeling og strukturer i grunnen. På vei gjennom sedimentene vil deler av den elektromagnetiske energien reflekteres av grenser (e.g. grunnvannsspeil) som representerer en endring i mediets dielektriske egenskaper, mens resten fortsetter mot dypere sjikt. Refleksjonene fanges opp av en mottaker-antenne og signalet sendes videre til en kontrollenhet hvor det forsterkes. Rekkevidden for de elektromagnetiske bølgene avhenger av den elektriske ledningsevnen i sedimentene, og frekvensen på bølgene som sendes ut (bølgelengden). Leire som har høy ledningsevne vil gi et svært dårlig signal, mens sand eller grus som har lav ledningsevne vil gi et godt signal. I praksis vil dette si at når de elektromagnetiske bølgene møter leire vil penetrasjonen være svært dårlig, og signalet vil forsvinne. I umettede lag med sand derimot kan man oppnå en rekkevidde på flere titalls meter om man anvender antenner med lav frekvens (50 – 100 MHz) (Schwartz 2002).

Ved å avlese utskriften fra et georadar-opptak kan man finne ut toveis gangtid til de forskjellige reflekterende enhetene. For å kunne fastslå dybden til ulike reflekterende lag må bølgehastigheten i underliggende lag være kjent eller kunne fastslås (Beres 1991).

Forekomst av vann påvirker transporten av elektromagnetiske bølger, og georadar er således et velegnet instrument til kartlegging av hydrogeologiske forhold. Georadar er ansett å være den geofysiske metode som gir mest nøyaktig informasjon om grunnforhold, men har en begrenset rekkevidde i forhold til for eksempel seismikk.

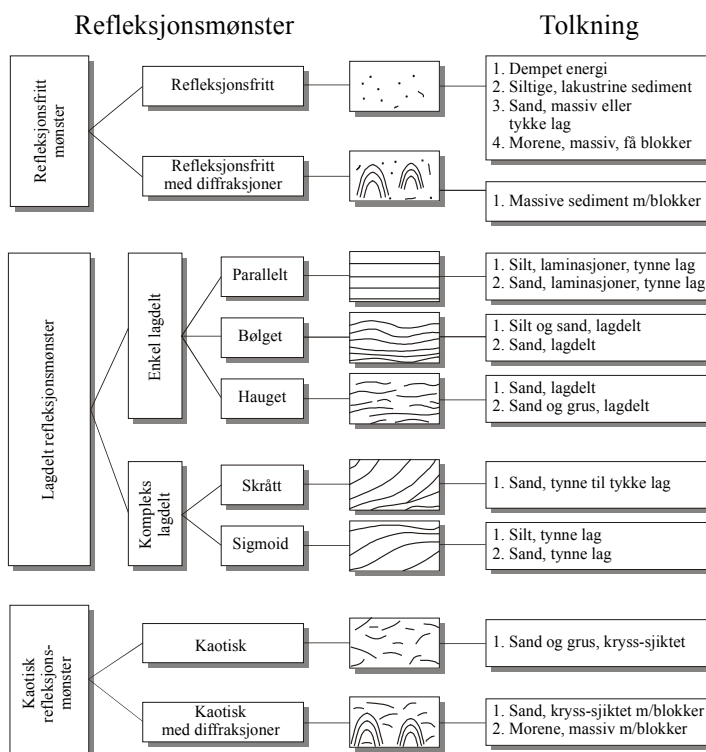
Antenner med ulik frekvens benyttes for å kartlegge ulike dybder. Høy frekvens (950 MHz) gir høy oppløsning på signalet, men kan ikke trenge like langt ned i grunnen som antenner

med lav frekvens (50 MHz) vil være i stand til. Dyptgående elektromagnetiske bølger med høy frekvens har imidlertid lavere oppløsning på signalet. Det er et visst forhold mellom bølgelengde og oppløsningen som sier at oppløsningen vil være omtrent 1/4 av bølgelengden.



Figur 11. Georadar-opptak i ulendt terreng. Overingeniør Leif Jacobsen assisteres av Tone Israelsen fra Jernbaneverket på vei ned den minste skjæringen.

Den 28.11.2013 ble de tre første georadar-opptakene gjennomført ved den minste skjæringen. Antenner med en frekvens på 50 MHz. Den 04.02.2014 ble det foretatt georadaropptak av den største skråningen. Denne gang ble det benyttet antenner med en frekvens på 100MHz.



Figur 12. Skjema som knytter refleksjonsmønster på georadaropptak til avsetningstype og lagdeling (Beres et Haeni, 1991).

4.1.2. Elektriske resistivetsmålinger (ERT)

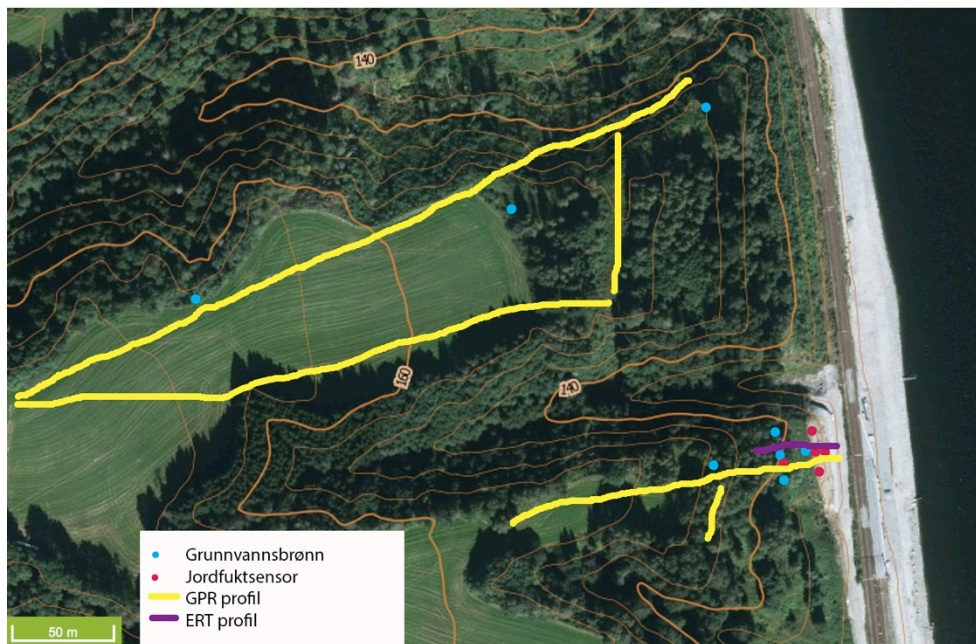
Den elektriske resistiviteten (motstanden) i geologiske enheter varierer, og ERT-målinger kan derfor brukes til å kartlegge grunnforhold og skille mellom ulike geologiske enheter. Fjell og tørre sedimenter har en høy elektrisk resistivitet mens vann og våte sediment har en lavere resistivitet (Schwartz 2002).

Den 28.11.2013 ble det foretatt en 2D resistivetsmåling langs den minste skjæringen. 48 elektroder ble banket ned i jorden (det var tele på dette tidspunktet) med en meters avstand, langs et 47 meter langt profil fra bunnen av den minste skjæringen og frem til et stykke inn i skogen i overkant av skjæringen. Dette var en såkalt Wenner-konfigurasjon, som blant annet er velegnet for å finne dybden ned til grunnvannsspeilet. Elektrodene ble deretter koblet til en lang kabel som ble koblet til selve styreenheten av merket Syskal. Halvparten av elektrodene ble satt til å lede elektrisk strøm, mens den andre halvparten målte den elektriske motstanden.

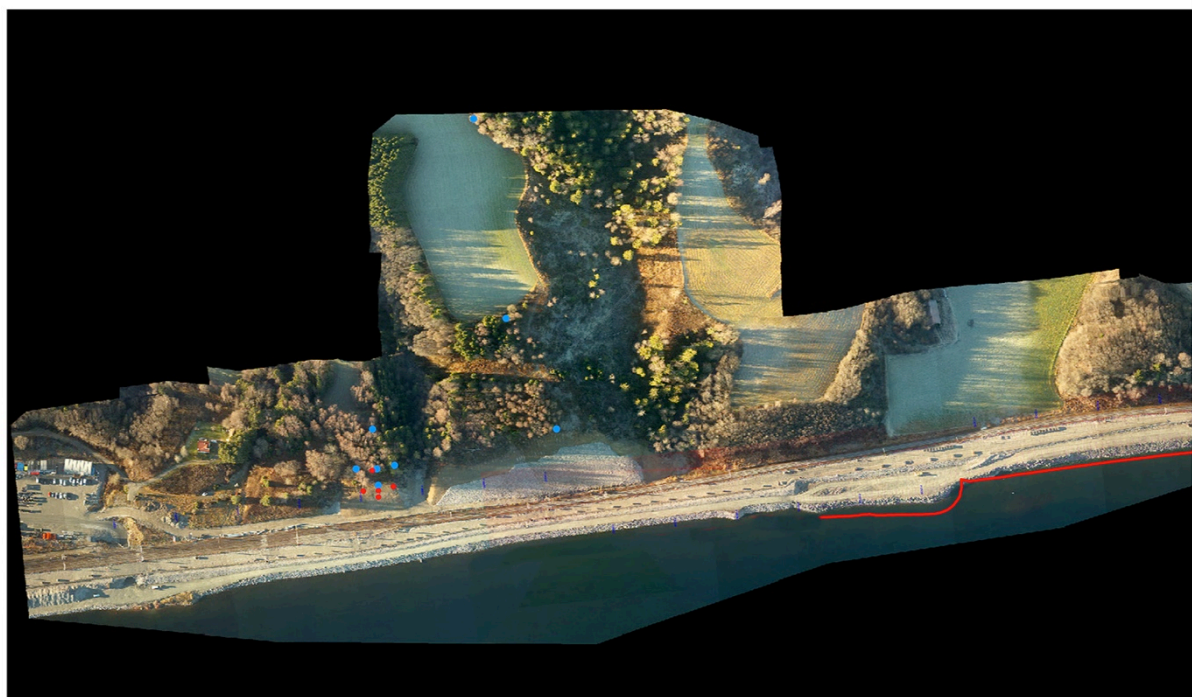
4.2. Instrumentering av forsøksfeltet



Figur 13. Skjæringene sett fra østsiden av Vorma. Blå punkter markerer plassering av grunnvannsbrønner, og røde punkter jordfuktsensorer. Tre av brønnenes plassering er ikke synlig på bildet da disse ligger lenger inne i landskaper og derfor er dekket av skog. (Aavatsmark 2013)



Figur 14. Oversiktsbilde over forsøksfeltet. Blå punkter markerer grunnvannsbrønner, og røde punkter markerer jordfuktsensorer. Gule linjer markerer georadar-profil, og lilla linje ERT-profil. Til høyre i bildet ser vi jernbanesporet og Vorma (Statens kartverk/Norge i bilder 2014).



Figur 15. Oversiktsbilde over forsøksfeltet. Blå punkter markerer grunnvannsbrønner, og røde punkter markerer jordfuktsensorer (Jernbaneverket 2013).

4.2.1. Grunnvannsbrønner

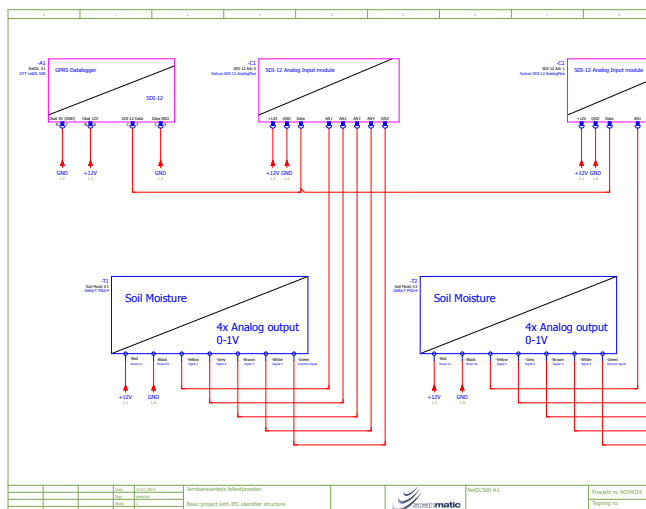
Det er i alt etablert åtte grunnvannsbrønner i feltet. I november 2013 ble det først boret fem brønner (brønn #1 - #5) i overkant av den minste skjæringen, ved hjelp av skovlbor, og montert plastrør med en ytre diameter på 63 mm. Filterspissen i samtlige brønner er 1 meter. Etter ønske fra Jernbaneverket om å innhente grunnvannsdata også fra den største skjæringen ble den i februar 2014 boret tre nye brønner (brønn #6 - #8). Disse ble boret med innleid borerigg fordi mektigheten av sandlaget var såpass stor at det var vanskelig å benytte skovlbor. Den første av disse (brønn #6) er etablert lengst nord i overkant av skjæringen mens brønn #7 og #8 ble etablert henholdsvis 100 og 250 meter i vestlig retning.

4.2.2. Grunnvannsloggere

Samtlige 8 brønner er utstyrt med loggere av typen OTT EcoLogg 500. Dette er en logger som måler trykket nede i brønnen, og dermed grunnvannstanden, i tillegg til temperaturen på grunnvannet. Etter lange leveringsforsinkelser ble loggerne endelig montert i brønnene i slutten av mars. Meningen var at disse loggerne skulle sende data automatisk over GSM-nettet, men denne løsningen har ikke leverandøren klart å levere.

4.2.3. Dataloggere

Dataloggere av typen OTT NetDL er brukt for å logge data fra sensorene som måler jordfukt og jordtemperatur. Disse loggerne kom også svært forsinket, og ble ikke plassert ut i felt før i midten av april. Det har imidlertid vært store problemer med strømforsyningen til disse loggerne, så for jordfukt og jordtemperatur finnes ikke data. Meningen var at også disse loggerne skulle sende data automatisk over GSM-nettet, men her har problemet vært det samme som med EcoLoggerne.



Figur 16. koblingskjema for loggere av typen NetDL, D/A-convertere, og ulike sensorer. Utstyret skulle komme ferdig koblet, men jeg endte opp med å koble alt selv. En eil i koblingskjemaet, som Per Morten Ørsleie fra NVE oppdaget, førte til at batteriene ble tømt i løpet av få timer.

4.2.4. Jordfuktsensorer

Fem jordfuktsensorer er gravd ned i øvre del av den minste skjæringen allerede i november 2013. Disse er av typen Delta-T Devices Ltd, Profile Probe type PR2, og måler jordfukt ned til 50 cm i fem ulike sjikt. Hvert sjikt legger beslag på én kanal inn til NetDL loggeren.

4.2.5. Temperatursensor

En temperatursensor av typen Th3 Soil Temperature Profile Probe er gravd ned ved grunnvannsbrønn #2. Denne måler jordtemperaturen i seks ulike dybder (5, 10, 20, 30, 50 og 100 cm). Målingsområdet er fra -20 til +50°C. Hver sjikt legger beslag på én kanal inn til NetDL loggeren.

4.3. Jordprøver og kornfordelingsanalyse

En jordarts egenskaper (som f.eks konduktivitet) er i høy grad avhengig av hvilke kornstørrelse den er sammensatt av. Det avgjørende for klassifiseringen er hvor stor del i vektprosent de forskjellige fraksjonene utgjør av den totale mengde materiale. Sikte- og slemmeanalyser er de vanligste metodene for bestemmelse av korngradering. Ved tørsikting helles jordprøven gjennom en rekke sikter med ulik maskevidde, og man får på den måten adskilt fraksjoner med ulik størrelse. På bakgrunn av dett kan man finne andelene av de forskjellige fraksjonene, basert på ekvivalente korndiametre (Statens Vegvesen 2010). Kornenes prosentvise fordeling i prøven angis ved en kurve i et diagram. Disse finnes under vedlegg. Kornstørrelse angis ved minste fri maskevidde i et maskesikt som kornet passerer ved sikting. d_x (for eksempel d_{10}) angir kornstørrelsen ved x % gjennomgang. Det vil si at ved d_{10} er 10%prosent av partiklene i en jordprøve finere og 90% grovere.

Korngradering kan i tillegg karakteriseres ved graderingstallet C_u .

$$C_u = d_{60}/d_{10} \text{ (alternativt } d_{75}/d_{25}).$$

Under boring av brønnene har det blitt tatt jordprøver fra ulike dybder, og det har blitt foretatt kornfordelingsanalyse av disse for å få en indikasjon på konduktivitet. Prøver med mindre enn 15% finstoff (<63 μm) har blitt tørrsiktet.

Sorteringen av et sediment sier noe om variasjonene til kornstørrelsen i en gitt avsetning. I et godt sortert sediment vil partiklene ha omtrentlig samme størrelse. Sortering kan bestemmes rett fra kurven, der en slak kurve indikerer dårlig sortering mens en bratt kurve indikerer god

sortering (se kornfordelingskurver under vedlegg). Kornfordelingskurven forteller om spredning av kornstørrelse, og mengden av dem, i jordarten. Ut fra kornfordelingskurven kan sorteringsgrad og midlere kornstørrelse anslås.

På bakgrunn av kornfordelingsanalyse kan kunduktivitet estimeres ved hjelp av Hazens metode: $K_s = (d_{10})^2 / 100$

4.4. Sugtest (Horslev's metode)

Den 22.05.2014 ble det foretatt slugttester av brønn #6, #7 og #8. Alle rør har ytre diameter 63 mm og filterspiss på 100 cm (som inngår i den oppgitte totale lengden på røret).

Vi startet med å måle dybden fra toppen av brønnrøret og ned til grunnvannsspeilet (H).

Deretter tilføres vann (vi brukte rundt fem liter), og ny verdi for grunnvannsspeilet h_0 noteres ned. Deretter peiles endringer i grunnvannsnivået kontinuerlig. Den første tiden, hvor endringene skjer raskest ble grunnvannsnivået peilet hvert 10. sekund, mens etter hvert som senkningen avtar økte intervallene for avlesning gradvis.

Røret i brønn #6 er totalt 804 cm langt (inkludert 1 meter filterspiss), hvorav 143 cm befinner seg over bakkenivå. Det gir en brønndybde $H=661$ cm. Dybden til grunnvannsnivået, målt fra toppen av røret var -693 cm, når vi trekker fra 143 cm over bakken gir dette et grunnvannsnivå på -550 cm. Vannsøylen i røret bli dermed 111 cm.

Røret i brønn #7 er totalt 804 cm langt (inkludert 1 meter filterspiss), hvorav 152 cm befinner seg over bakkenivå. Det gir en brønndybde på 652 cm. Dybden til grunnvannsnivået, målt fra toppen av røret var -676 cm, når vi trekker fra 152 cm over bakken gir dette et grunnvannsnivå på -524 cm. Vannsøylen i røret bli dermed 120 cm (8cm leire i bunnen er trukket fra). Filterspissen på dette røret går delvis ned i leirlaget, og leire og silt har trengt inn i nedre del av filterspissen. Målt fra toppen av røret og ned til leire i røret er det 796 cm, det vil si at de nederste 8 cm er tett med leire.

Røret i brønn #8 er totalt 504 cm langt (inkludert 1 meter filterspiss), hvorav 117 cm befinner seg over bakkenivå. Det gir en brønndybde på 387 cm. Dybden til grunnvannsnivået, målt fra toppen av røret var -292 cm, når vi trekker fra 117 cm over bakken gir dette et grunnvannsnivå på -175 cm. Vannsøylen i røret bli dermed 200 cm (12 cm leire i bunnen er

trukket fra). Filterspissen på dette røret går delvis ned i leirlaget, og leire og silt har trengt inn i nedre del av filterspissen. Målt fra toppen av røret og ned til leire i røret er det 792 cm, det vil si at de nederste 12 cm er tettet med leire.

Hydraulisk konduktivitet K regnes ut med formelen under.

Formelen forutsetter at lengden av piezometeret er mer enn 8 ganger så langt som radiusen til filterspissen ($L_e/R > 8$) (Fetter 2001).

$$K = \frac{r^2 \ln(L_e/R)}{2L_e t_{37}}$$

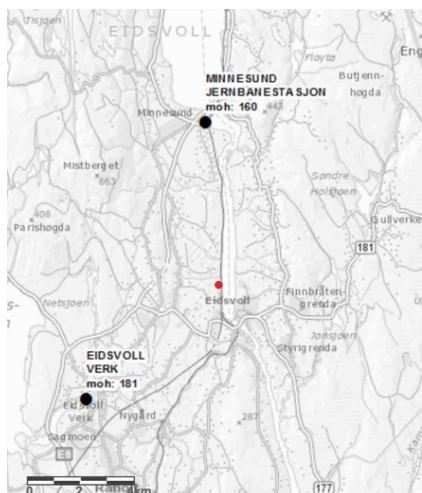
Hvor:

- K = hydraulisk konduktivitet (m/s)
- r = indre radius på piezometer (m)
- L_e = lengden av filterspiss (m)
- t_{37} = tiden det tar før grunnvannsnivået faller tilbake til 37% av startnivået, etter tilføring vann (sek).
- R = filter radius

4.5. Hydrologi/nedbørsdata

Nord for skjæringene ved Eidsvoll stasjon ligger Minnesund målestasjon som befinner seg 160 m.o.h. Denne har vært i drift siden 2012. I sørvestlig retning finner vi målestasjonen ved Eidsvoll Verk som befinner seg 181 m.o.h. Denne har vært i drift helt siden 1957.

For å få nedbørsdata for området hvor skjæringene ligger er nedbørsdata fra disse stasjonene er innhentet for perioden juni 2012 til juni 2014. En middelvei av disse målingene vil bli brukt for å estimere nedbørsmengde Geir Kjærnli ved Meteorologisk Institutt (personlig meddelelse i epost den 23.04.2014).



Figur 16. Rødt punkt viser plasseringen til skjæringene. Som vi ser er avstandene til målestasjonene på Minnesund og Eidsvoll Verk ganske like.

4.6. Visual MODFLOW

Visual MODFLOW er et modelleringsprogram som er i stand til å simulere tredimensjonal strømning ved bruk av endelig differansemetode. I dag er MODFLOW etablert som en bransjestandard for modellering av grunnvannstrømninger i mettet sone (Schwartz 2002). Når man skal lage en grunnvannsmodell i MODFLOW er det nødvendig å dele inn område som skal modelleres i celler som organiseres lagvis i rader og kolonner.

4.7. Kartstudier for vurdering av skredhendelser og lokale stabilitetsforhold.

Karttjenester fra NGU (Arealis) og NVE (Skrednet) har vært benyttet for å kartlegge tidligere skredhendelser i området. Det har, både i nyere tid og tilbake til 1800-tallet, forekommet en rekke skredhendelser langs Vorma, på strekningen Eidsvoll-Minnesund. Jeg skal her se nærmere på noen av skredhendelsene som ligger nord for Eidsvoll på vestsiden av Vorma.

4.8. Vurdering av konsulentrapporter opp mot Statens Vegvesens håndbøker

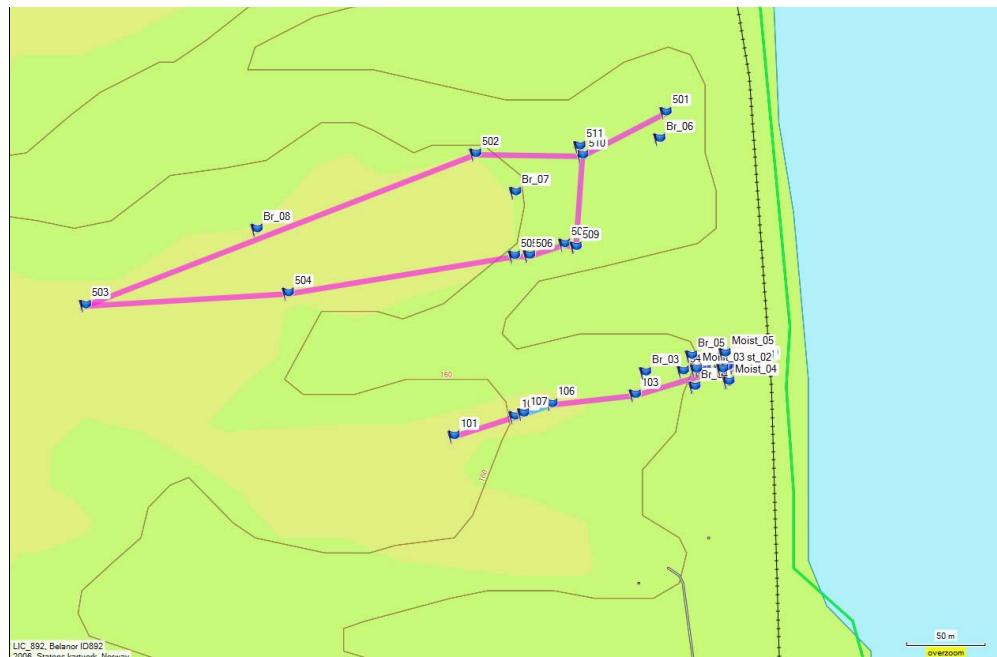
Jernbaneverket (JBV) har ikke lenger noen egen geoteknisk avdeling. Det har derimot Statens Vegvesen (SVV). SVV sitter på stor kompetanse og har utgitt en rekke håndbøker som omhandler alt fra de geotekniske sidene ved veibygging og annen infrastruktur, til retningslinjer for forvaltning og kontrakter.

I tilfeller hvor JBV's egne retningslinjer ikke er dekkende, er derfor JBV pålagt å følge retningslinjer i henhold til SVV sine håndbøker. Dette gjelder også konsulenter og entreprenører som i henhold til kontrakter inngått med JBV er forpliktet til å overholde råd og retningslinjer i henhold til SVV's håndbøker (Rasdal, A. 2014).

5. Resultater

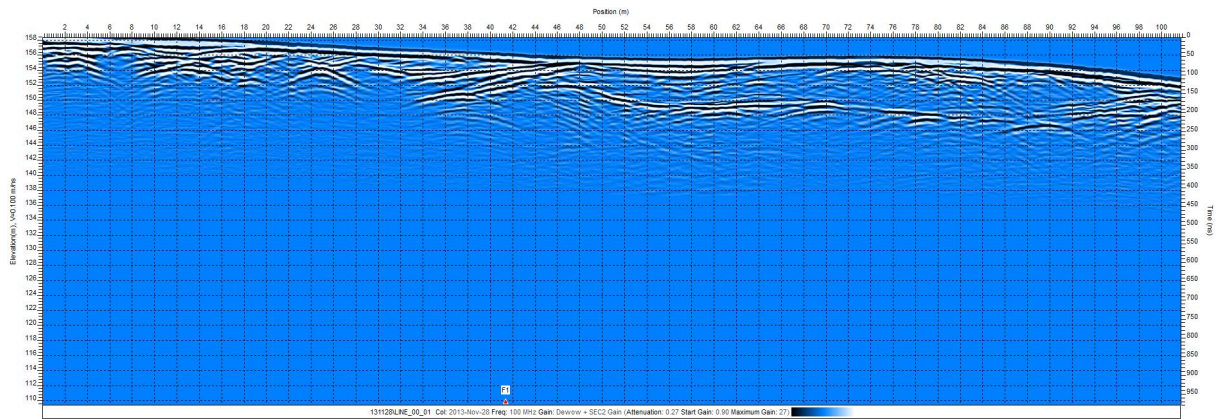
5.1. Geofysiske metoder

5.1.1. GPR

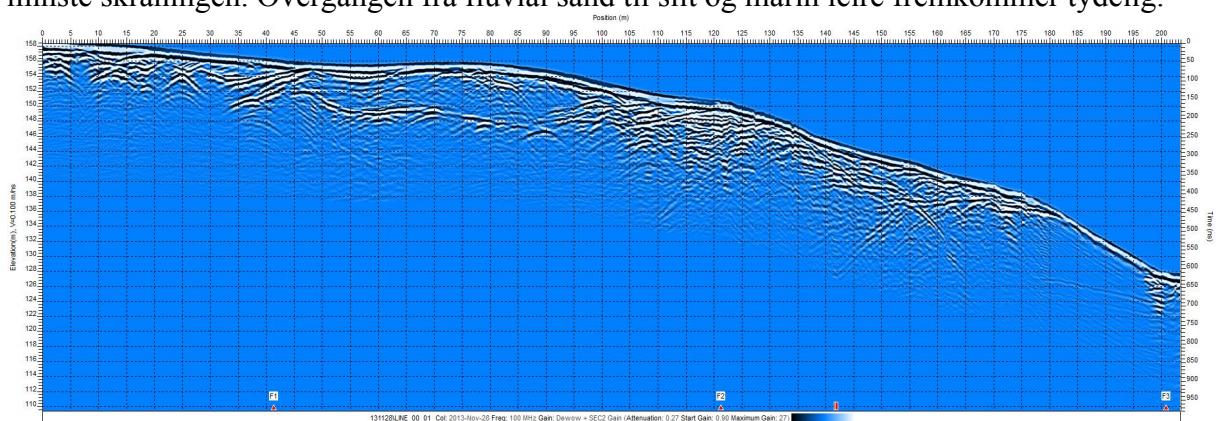


Figur 17. Linjene viser profiler kartlagt med georadar.

Profiler fra liten skjæring

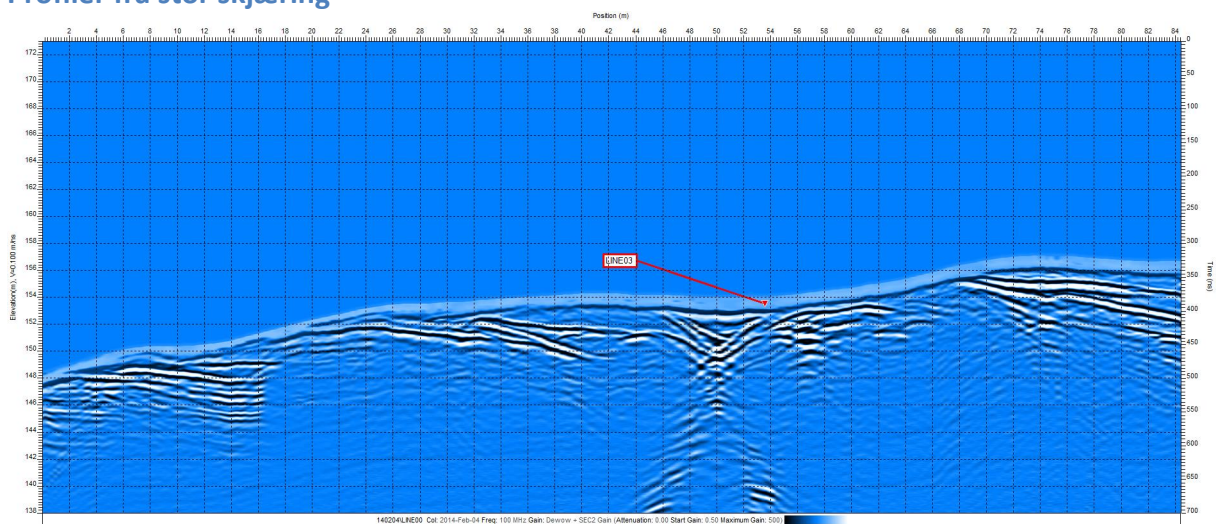


Figur 18. (20131128_A_LINE_00_01) Profil fra jordbruksarealet som ligger vest for den minste skråningen. Overgangen fra fluvial sand til silt og marin leire fremkommer tydelig.

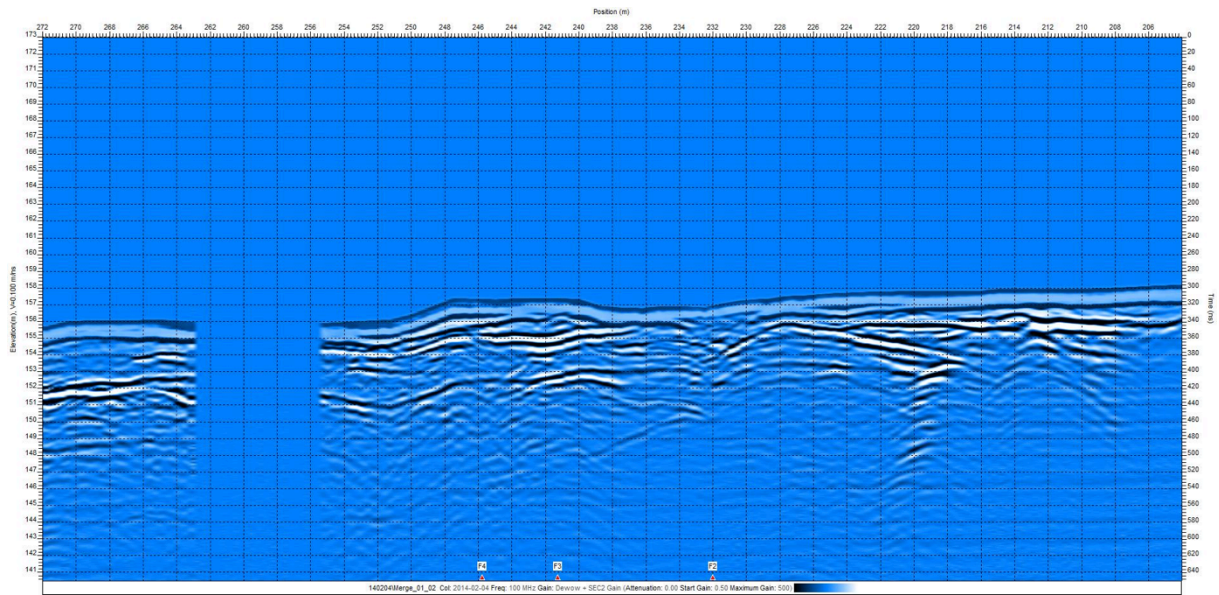


Figur 19. (20131128_LINE_00_01) Profil fra bunnen av den lille skråningen og videre opp i skogen.

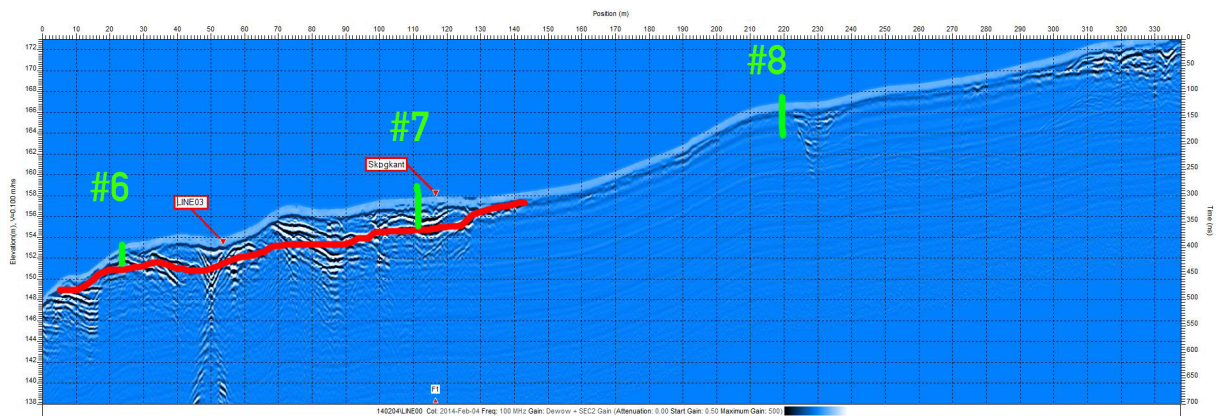
Profiler fra stor skjæring



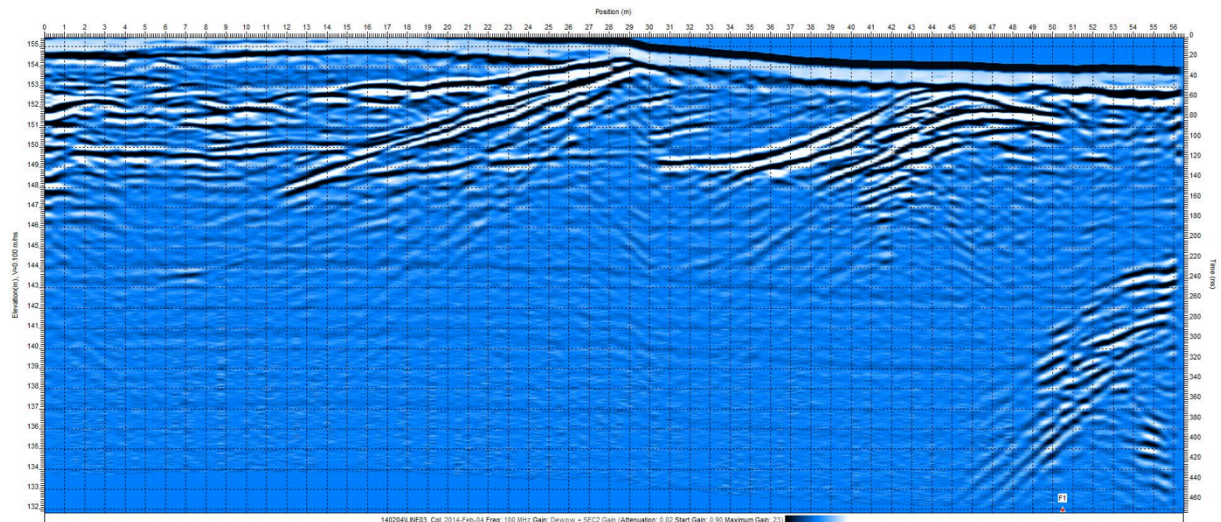
Figur 20. 20140204_A_LINE00



Figur 21. (20140204_A_Merge_01_02) Profil som viser overgangen fra skog til landbruksareal vest for den store skjæringen. Legg merke til at mektigheten til sandlaget reduseres betraktelig omtrent midt i profilet hvor skogen slutter og jordet begynner.

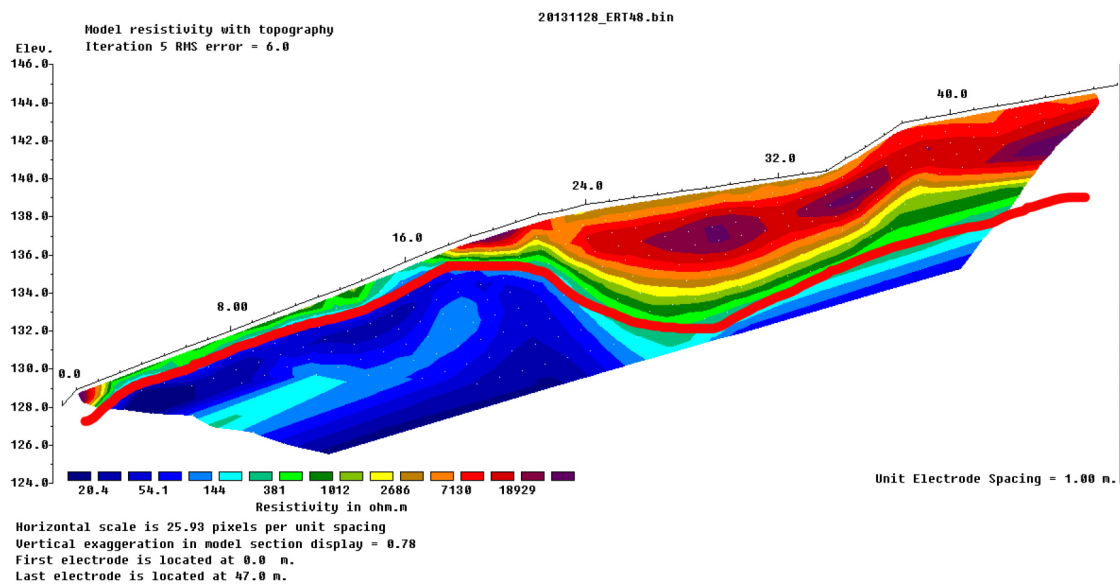


Figur 22. (20140204_LINE00) Langt profil fra pukklaget i stor skjæring og vestover gjennom skog og videre inn i landbruksarealer. Antatt grunnvannsspeil markert med rød linje. Brønn #6-#8 markert med grønt.



Figur 23. 20140204_LINE03

5.1.2. ERT



Figur 24. ERT profil fra den lille skråningen. Antatt grunnvannsspeil merkert med rød linje. Blå/turkise områder indikerer leire (høyt vanninnhold – lav resistivitet), mens røde/orange områder indikerer sand (lavt vanninnhold – høy resistivitet)

5.2. Grunnvannsnivåer

Se vedlegg

5.3. Jordfukt

Ingen data.

5.4. Jordtemperatur

Ingen data.

5.5. Kornfordelingsanalyse og fastsettelse av konduktivitet

Boreprofilene viser godt sortert og relativt finkornet sand i form av fluviale avsetninger, ned til dybder fra ca. 2 til 7m. Etter sandlaget følger et siltlag på 30-40 cm, før vi kommer ned til lag av marin leire med stor mektighet (10-tals meter).

Tabell 1. Resultater av konduktivetsberegninger ved hjelp av Hazens metode:

$K_s = (d_{10})^2 / 100$. Se vedlegg for ytterligere resultater vedrørende kornfordelingsanalyse og konduktivitet utledet av denne.

Prøvenr:	Brønn nr:	Koordinater:	Jorddybde:	Konduktivitet
#6.1.	6	11.2455204,60.33922027	1 m	$4 \cdot 10^{-4}$
#6.2.	6	11.2455204,60.33922027	2 m	$5,47 \cdot 10^{-5}$
#7.1.	7	11.24384274,60.33891682	1 m	$2,47 \cdot 10^{-4}$
#7.2.	7	11.24384274,60.33891682	2 m	$2,25 \cdot 10^{-4}$
#7.3.	7	11.24384274,60.33891682	4 m	$3,96 \cdot 10^{-4}$

5.6. Slugtest og fastsettelse av konduktivitet

Resultater fra slugtest viser endring i grunnvannsnivået over tid, etter at det er tilført vann til brønnen ($h-H/h_0-H$). Total dybde, H, måles fra toppen av peilerøret og ned til grunnvannsnivået. Se vedlegg for tabeller med verdier som ligger til grunn for utregningene.

Hydraulisk konduktivitet K regnes ut med formelen (Fetter 2001). Formelen forutsetter at lengden av piezometeret er mer enn 8 ganger så langt som radiusen til filterspissen ($L_e/R > 8$)

$$K = \frac{r^2 \ln(L_e/R)}{2L_e t_{37}}$$

Hvor:

- K = hydraulisk konduktivitet (m/s)
- r = indre radius på piezometer (m)
- L_e = lengden av filterspiss (m)
- t_{37} = tiden det tar før grunnvannsnivået faller tilbake til 37% av startnivået, etter tilføring vann (sek).
- R = filter radius

Dette gir følgende resultater for beregning av konduktivitet:

Brønn #6

$$K = (6,3^2 \ln(100/6,3)) / (2 * 100 * 720) = 1,1E^{-3}$$

Brønn #7

$$K = (6,3^2 \ln(100/6,3)) / (2 * 100 * 500) = 7,6E^{-4}$$

Brønn #8

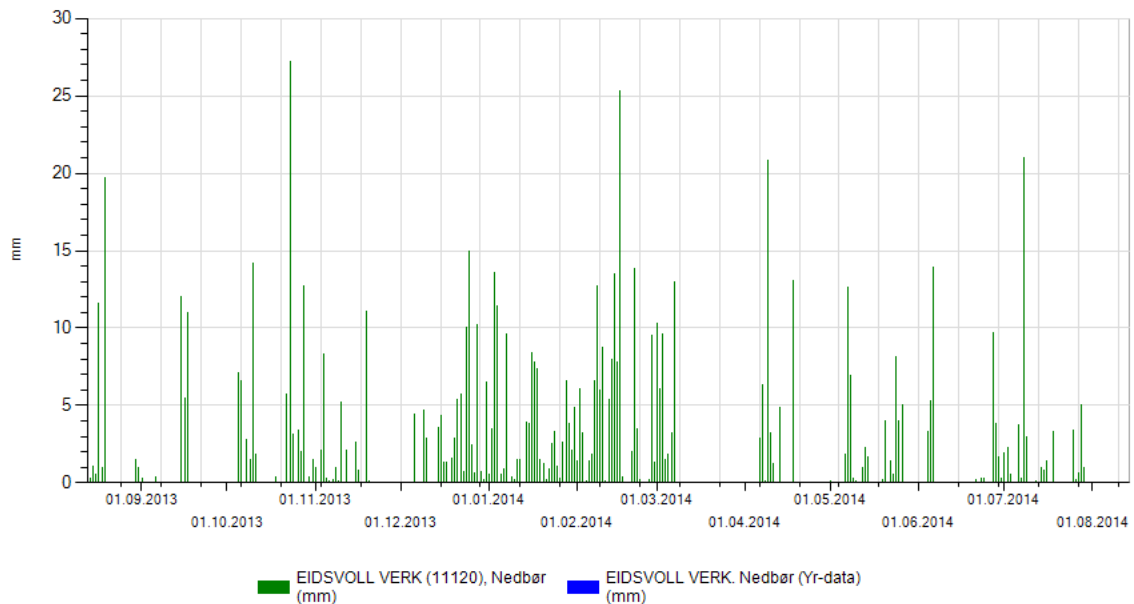
$$K = (6,3^2 \ln(100/6,3)) / (2 * 100 * 840) = 6,5E^{-4}$$

5.7. Analyse av nedbørsdata

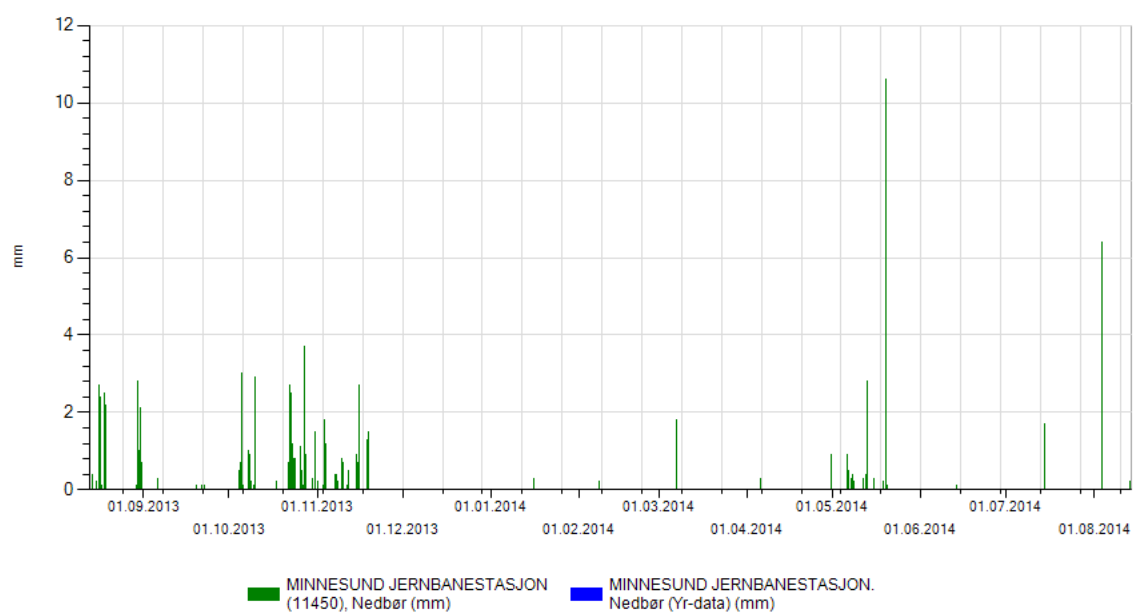
Infiltrasjonsarealet som påvirker den store skjæringen er beregnet til 20.000 m². Dette ble gjort ved hjelp at verktøy for arealberegning i karttjenesten norgebilder.no.



Figur 25. Infiltrasjonsarealet ble beregnet til 20.000 m² (www.norgebilder.no)

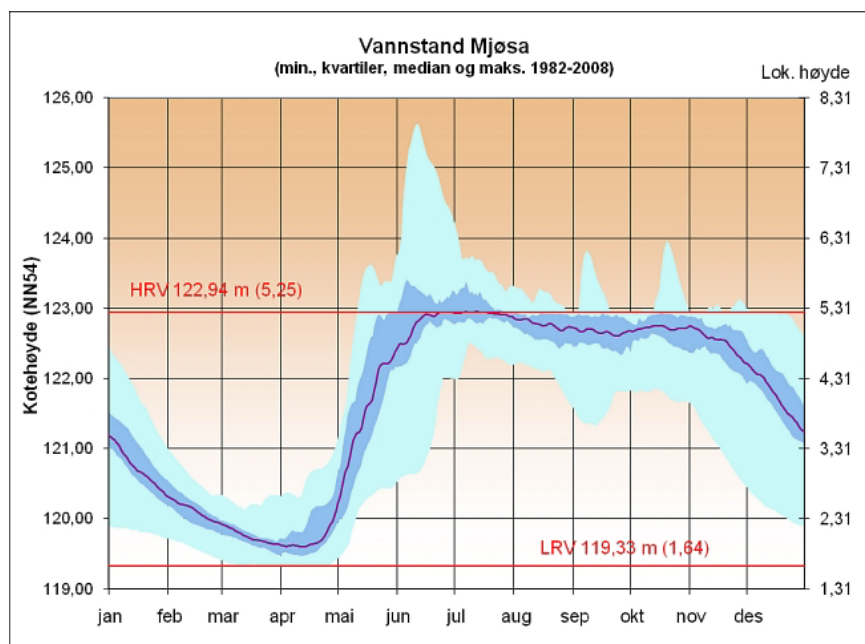


Figur 26. Nedbørsdata for Eidsvoll Verk målestasjon. Årlig nedbørsmengde: 693 mm (Meteorologisk Institutt, www.eklima.no, 2014).



Figur 27. Nedbørsdata for Minnesund målestasjon. Årlig nedbørsmengde: 742 mm (Meteorologisk Institutt, www.eklima.no, 2014).

Vannstanden i Vorma følger reguleringen av Mjøsa med høyeste regulerte vannstand på 122,94 og laveste regulerte vannstand på 119,33. Over året varierer vannstanden (Geovita AS 2012).



Figur 28. Vannstand i Mjøsa (Glommens og Laagens Brukseierforening)

5.8. Sammenlikning av konsulentenes råd med Vegvesenets håndbøker

Jeg vil her ta for meg utdrag fra Vegvesenets håndbøker, og sammenlikne disse med råd og anbefalinger gitt i ulike konsulentrapporter. Hensikten med dette er å se om rådene i rapportene er i samsvar med retningslinjene gitt i håndbøkene. Informasjonen jeg anser som mest betydningsfull er understøttet med gult, mens den viktigste informasjonen i tabeller er markert med røde rammer. Bemerk at figurer det henvises til i den kursive teksten er figurnavn fra Vegvesenets håndbøker. Jeg har gitt figurene nye navn for kontinuerlig nummerering av figurene i oppgaven, men har i tillegg beholdt de originale figurnavnene i perantes.

5.8.1. Statens Vegvesens håndbøker

Relevante utdrag fra Håndbok 018 (HB018)

Skrånninger og skjæringer i jord (kap. 24. i HB018)

Skjæringsmasser i jord skal kartlegges tidlig i planleggingen, senest på reguleringsplanstadiet, slik at:

- *skjæringsprofilenes konsekvenser for grunnverv og tilstøtende bebyggelse kan vurderes*
- *trasé og skjæringsprofil kan utformes med sikte på å utnytte eksisterende masser på beste måte samtidig som en god terreng- tilpasning sikres*

I tilfeller hvor det kan oppstå fare for utglidning av skjæringsskrånninger, skal det utføres spesielle stabilitetsundersøkelser.

Funksjonskrav (241. i HB018).

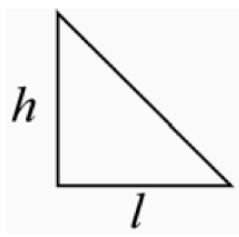
Skrånninger skal planlegges og bygges slik at det ikke forventes at sig og glidninger forekommer i løpet av de første 20 år. I løpet av denne tiden skal det ikke være nødvendig med grøfterensk som følge av sig og glidninger. Dette utelukker ikke generelt grøfterensk forårsaket av erosjon o.l.

Utforming av skjæringsprofil (242. i HB018)

Skråningshelning i jord skal tilpasses jordartens stabilitetsegenskaper og erosjonsforholdene. Det skal foretas geotekniske undersøkelser for å fastsette stabilitetsforholdene og

skråningshelningen. Skjæringstoppen bør gis en avrundning. Stabilitet mot dyperegående glidninger i leire og silt skal undersøkes.

Grunnforhold	Største skråningshelning (h : l)	
		Spesielle overflatetiltak må planlegges
Stein	1:1,5	1:1,25
Grus	1:2	1:1,5
Sand $C_u \geq 5$	1:2	1:1,5
Finsand/silt <ul style="list-style-type: none"> tørr lagdelt vannmettet 	1:3 ¹⁾	1:2 ¹⁾
Leire <ul style="list-style-type: none"> skjæringsdybde 0-10 m skjæringsdybde > 10 m 	1:3 1:3 ²⁾	1:2 ²⁾



1) Ved lagdelt og/eller vannmettet finsand/silt bør skråningshelning vurderes spesielt. Profilet skal da vurderes i sammenheng med sikringstiltak. 2) Stabilitet mot dyperegående glidninger skal undersøkes.

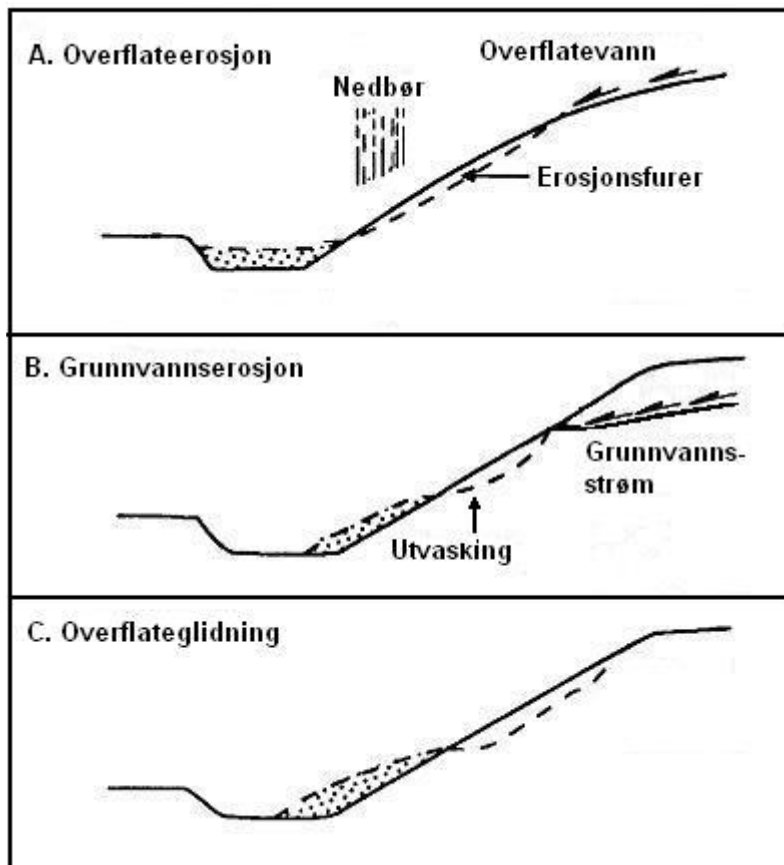
Figur 29. (Figur 242.1 i HB018) angir bratteste skråningshelning avhengig av jordart, geometri og topografi. Ved lagdelt og/eller vannmettet finsand/silt skal skråningshelningen vurderes spesielt. Profilet skal da vurderes i sammenheng med sikringstiltak.

Skråninger i jord og skadetyper (245. i HB018)

Med skader på skråninger i jord forstås en skader som skyldes ustabilitet i de øvre sjikt i grunnen.

Skråningsskader i jord deles vanligvis i følgende tre hovedtyper:

- overflateerosjon
- grunnvannserosjon
- overflateglidning



Figur 30. (Figur 245.1 i HB018) Typer av skråningsskader i jord.

Valg av sikringsmetode (245.2 i HB018)

Grunnforhold, klima og værforhold skal være retningsgivende for valg av sikringsmetode og skråningshelning. Lokale erfaringer når det gjelder omfanget av skråningsskader bør også tas med i vurderingsgrunnlaget.

Vanlige forhold (Ikke spesielt erosjonsømfintlig grunn. Ingen spesielle grunnvannsproblemer. Lite nedbør. Lokale erfaringer viser små skråningsproblemer)	Vanskelige forhold (Mer erosjonsømfintlig grunn og muligheter for glidninger. Konsentrerte uttrekk av grunnvann. Lokale erfaringer viser at skråningsskader er vanlig.)	Ekstreme forhold (Erosjonsømfintlige masser som vannmettet silt og/eller leirige masser som er utsatt for overflateglidninger. Konsentrert uttrekk av grunnvann. Betydelig nedbør og overflatevann. Lokale erfaringer viser at skråningsskader er meget omfattende.)
<ul style="list-style-type: none"> • Grasdekke • Terrenggrøft 	<ul style="list-style-type: none"> • Grasdekke • Midlertidig sikring • Terrenggrøft • Skråningsdren 	<ul style="list-style-type: none"> • Grasdekke • Midlertidig sikring (duk, nett, osv.) • Skråningsdren • Masseutskifting med grus- eller puklag

Figur 31. (Figur 245.2 i HB018) Tiltak mot skråningsskader.

Drenering av vegskråninger (245.4 i HB018)

Ved drenering av en skråning tas det sikte på å motvirke:

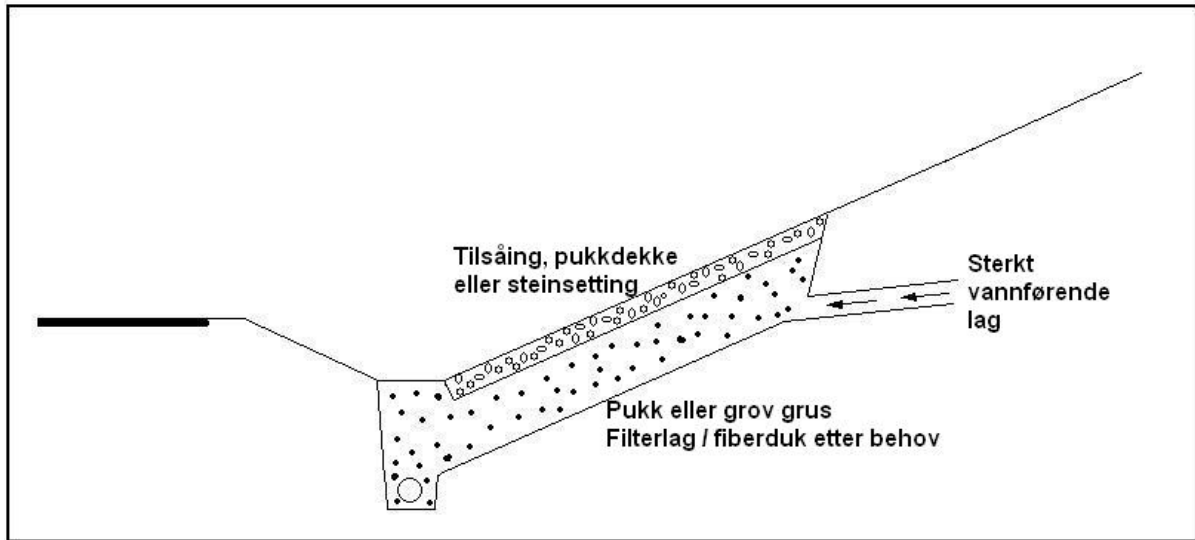
- overflateerosjon ved å avskjære vann som ellers vil renne ut over skråningsflaten
- grunnvannserosjon og overflateglidninger ved å ta vare på vann som kommer ut av grunnen i skråningen

Overflatedrenering av skjæringer (245.41 i HB018)

I tilfeller der overflatevann ventes å forårsake skadelig erosjon bør det graves en avskjærende terrenggrøft som vist i kap. 41.

Grunnvannsdrenering (245.42 i HB018)

I de fleste tilfeller er den drenerende virkningen av drensgrøft ved foten av skråningen tilstrekkelig for å sikre skråningen.



Figur 32. (figur 245.3 i HB018) Drensgrøft for vannførende sjikt med stor vannføring.

Der det er jevnt vannsig i skråningen og fare for overflateglidninger, kan det være nødvendig med skråningsdren vinkelrett på vegggrøften, se figur 245.4.



Figur 33. (figure 245.4 i HB018) Skråningsdren vinkelrett på vegggrøft (Rv 120, Nannestad. Foto: Arvid Sagbakken, SVV)

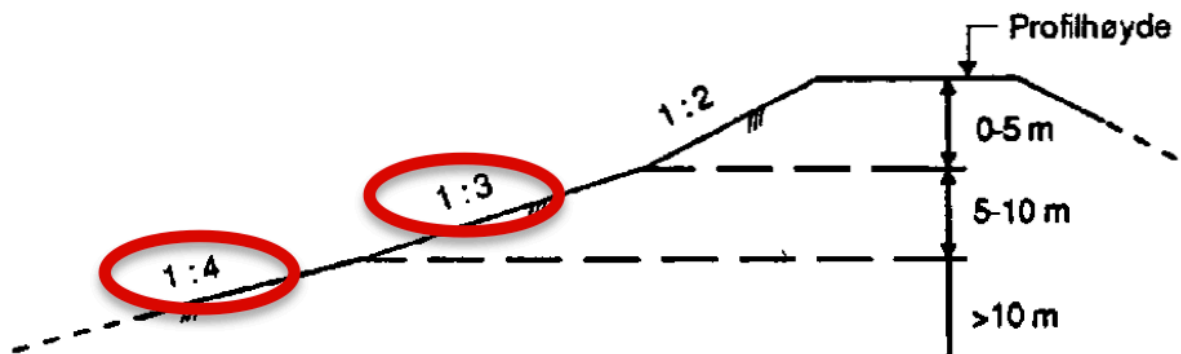
Relevante utdrag fra Håndbok 274

Generelt (3.2.1 i HB274)

Skjærings- og fyllingskrånninger i jord forutsettes utformet med helning som samsvarer med kravene i håndbok 018, kapittel 2 (se figur 3-2- 3).

Materialer	Største skråningshelning
Stein	1: 1,25 ¹⁾
Grus	1:1,5
Sand	1:1,5
Finsand/silt	1:2
Leire	Se Figur 3-2- 3

Figur 34. (figure 3-2- 2 i HB274) Største skråningshelning for vegfyllinger



Figur 35. (figur 3-2- 3 i HB274) Største tillatte skråningshelning for leirfylling

Ved geotekniske undersøkelser og vurderinger skal skråninger anlegges slik at de har tilfredsstillende stabilitet mot større utglidninger og ras. Men de skal også være sikret mot skader i form av erosjon og overflateglidning. Slike skader kan ofte være begynnelsen til større skader og stabilitetsproblemer.

Dimensjoneringsgrunnlag og forundersøkelser (3.2.2 i HB274)

På grunnlag av forundersøkelser kan sikringstiltak prosjekteres.

PROBLEM	VURDERINGSGRUNNLAG	UNDERSØKELSESMETODER
Overflateerosjon	Korngradering Permeabilitet Skråningshelning	Størrelse av nedslagsfelt Vurdering av overvannsstrømning Sondering Prøvetaking
Grunnvanns-erosjon	Lagdeling og lagtykkelse Korngradering Grunnvannstand Permeabilitet Vannmengde	Vurdering av grunnvannsstrømning Grunnvannstandsmåling Sondering CPTU Prøvetaking
Overflateglidning	Grunnvannstand Permeabilitet Vannmengde Telefarlighetsklasse	Grunnvannstandsmåling Poretrykkmåling Sondering Prøvetaking

Figur 36.

Grunnvannsforholdene endres ved uttaking av skjæringer. I mange tilfeller vil det være vanskelig å bedømme mulighetene for skader på skråningene på planstadiet. Endelig valg av sikringstiltak må da utføres eller justeres under anleggets gang.

Skadetyper (3.2.2.2 i HB274)

Med skader på skråninger i jord forstår man skader som skyldes ustabilitet i de øvre sjikt i grunnen. Skråningsskader i jord deles vanligvis i følgende tre hovedtyper:

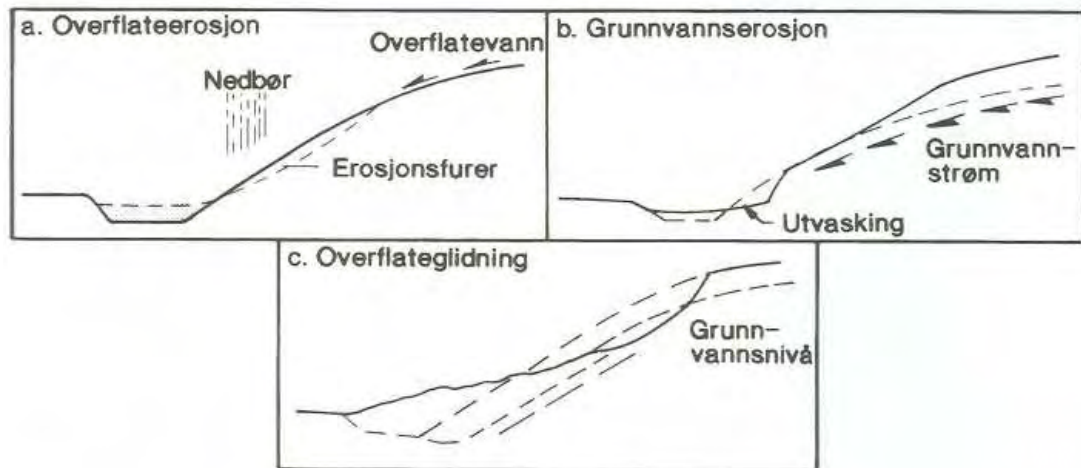
a. Overflateerosjon. Overflateerosjon er masseforflytning nedover skråninger ved at mineralkorn eller jordklumper rives løs og transporteres med rennende vann. Mest utsatt for erosjon er finkornige jordarter med høyt siltinnhold. Er skråningen lang og/eller vann kommer til fra store nedslagsfelt, kan overflateerosjon gå over i konsentrert erosjon og danne grøfter og furer.

b. Grunnvannserosjon. Grunnvannserosjon kan oppstå når grunnvannet trekker ut i en vegskråning. Særlig i siltige jordarter vil vannet kunne føre til en bakovergripende utvasking. Årsaken til at det oppstår konsentrert uttrekk av vann, er som regel at lagdelt grunn blir gjennomskåret.

c. Overflateglidning. Overflateglidning er glidning i et sjikt omtrent parallelt med skråningens overflate. Oftest ligger glideflaten 0,1-0,5 m under overflaten.

Overflateglidninger forekommer i leirige materialer når disse blir oppbløtt ved f.eks. kraftig

høstregn. Glidninger vil også lett oppstå i teleløsningen ved at det øverste jordlaget tiner og får et overskudd av vann som hindres i å sige ned i jorda pga. dypere liggende tele.



Figur 37. (figur 3-2- 5 i HB274)Typer av skråningsskader i jord.



Figur 38. Til venstre et bilde fra HB274,eksempel på overflateerosjon (Foto: Flesjø K., SVV). Til høyre; bilde fra søndre del av stor skråning ved Eidsvoll (Foto: Aavatsmark, E.)



Figur 39. Til venstre et bilde fra HB274, eksempel på grunnvannserosjon (Foto: Hansen, T., SVV). Til høyre; bilde 4-5 meter fra toppen av stor skråning ved Eidsvoll (Foto: Jernbaneverket, 2013)



Figur 40. Til venstre et bilde fra HB274, eksempel på overflateglidning (Foto: Dolva, B., SVV). Til høyre; bilde av overflateglidning i liten skråning ved Eidsvoll (Foto: Aavatsmark, E.).

3.2.2.3 Sikringsmetoder

Sikringsmetoden avhenger av grunnforhold, klima og værforhold. Figur 3-2- 9 vil være retningsgivende for valg av sikringsmetode. Lokale erfaringer når det gjelder omfanget av skråningsskader bør også tas med i vurderingsgrunnlaget ved valg av sikringsmetode. For å oppnå harmonisk tilpasning vil det være gunstig å benytte naturens egne materialer.

Grasdekke vil hindre overflateerosjon mens trær og busker har røtter som vil binde sammen massene under overflaten. Slakere skråninger bør tilstrebes der dette er mulig. Bruk av vegetasjon (grasdekke, busker og trær) gir oftest den beste landskapstilpasningen.

		----- TILTAK -----		
Skadetype	Skadeårsak	Gunstige forhold. Ikke spesielt erosjonsømfintlig grunn. Ingen spesielle grunnvannsproblem er Lite nedbør. Lokale erfaringer viser små skråningsproblemer.	Vanskelige forhold. Mer erosjonsømfintlig grunn og mulighet for glidninger. Konsentrerte uttrekk av grunnvann. Lokale erfaringer viser at skrånings-skader er vanlig.	Ekstreme forhold. Erosjonsømfintlige masser og/eller leirige masser som er utsatt for overflate glidninger. Konsentrerte uttrekk av grunnvann. Betydelig nedbør og overflatevann. Lokale erfaringer viser at skrånings-skader er meget omfattende
Overflate-erosjon	Overflatevann og nedbør som renner ned skråningene.	Vegetasjonsdekke Terrenggrøft	Vegetasjonsdekke Barkdekke Erosjonsnett Terrenggrøft Utslaking av skråning	Vegetasjonsdekke Erosjonsnett Terrenggrøft Grus- eller pukklag Utslaking av skråning
Grunnvanns-erosjon	Uttrekk av Grunnvann konsentrert i laggrenser evt fra avbrutt jordbruksdren eller grøfter.	Vegetasjonsdekke Terrenggrøft	Vegetasjonsdekke Erosjonsnett Terrenggrøft Skråningsdren	Vegetasjonsdekke Erosjonsnett Terrenggrøft Skråningsdren Grus- eller pukklag
Overflateglidning	Nedsatt fasthet i sjikt parallelt med skråningen. Oppbløtt pga. tining av tele og nedbør.	Vegetasjonsdekke Terrenggrøft	Vegetasjonsdekke Armeringsnett Terrenggrøft Skråningsdren	Vegetasjonsdekke Armeringsnett Terrenggrøft Slakere skråningshelninger Skråningsdren Drensgrøft Kombinert pukklag og drensgroft

Figur 41. (figure 3-2- 9 i HB274) Skadetype – tiltak.

Grus eller pukklag er ingen heldig løsning landskapsmessig sett. Flatene må eventuelt tilføres vekstjord og tilsås. Tiltaket bør om mulig begrenses til området nærmest vegen (3 - 5 m) som uansett vil bestå av grasbakke.

3.2.4 SPESIELLE FORHOLD

3.2.4.1 Bakkeplanering

Vegvesenet og kommunale etater stilles ofte overfor spørsmål om samordning av

bakkeplaneringstiltak. I mange tilfeller er interessene helt sammenfallende fordi planeringen normalt gir bedre stabilitetsforhold, og fordi avplanerte topplag kan nyttes som fyllmasse. En skal imidlertid være oppmerksom på at større arbeider med bakkeplanering også kan ha negative virkninger. På erosjonssiden ligger det en fare for at dreneringsforholdene endres radikalt, og store avdekkede områder nær veglinjen medfører en erosjon og transport av jordmaterialer som kan tilstoppe vegens drencsystem. Utvaskede masser kan også gi betydelige forurensninger i tilstøtende vassdrag. Ved bakkeplaneringens avslutning mot eksisterende veger kan det ofte bli etablert for bratte skråninger, med den følge at materialer raser ut i grøft og vegbane.

Grunnforhold (Materialer, grunnvanns- forhold, skrånings- høyde)	Stein	Grus	Sand		Finsand/silt		Leire				
			Tørr	Vann- mettet	Tørr	Lagdelt Vann- mettet	Skjæringsdybde		Fyllingshøyde **		
							0-10m	>10 m	0-5m	5-10m	10-15m
Anbef. bratt- este helning	1:1,25	1:1,5	1:1,5	1:2	1:2	1:2 – 1:3	1:2 *	1:3 *	1:2 *	1:3 *	1:4 *
Vegetasjons- dekke		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ekstra sikr- ing kan være nødvendig	X		(X)	X	X		X	X			(X)

* Stabilitet mot dyperegående glidninger må undersøkes. ** Figuren gir høydeintervaller fra vegbane.

Eks.: Skråningsdel ned til 5 m under vegbane skal ha helning 1 :2, intervallet 5-10 m under vegbane helning 1:3.

Figur 42. (Figur 3-2- 10 I HB 274) Anbefalt største skråningshelning.

5.8.2. Relevante utdrag fra konsulentrapporter

Rapport UEH-10-A-55212_04A, Geoteknisk fagrapport Utfylling og skjæring langs Vorma
Rapport produsert av Aas-Jakobsen/Geovita, datert den 25.10.2012.

På strekningen vil det ved et par partier, nord for Eidsvoll stasjon og nord for Julsruddalsevja, bli utført skjæring inn i ravineskråningene. I disse områdene vil helningen på skråningene bli redusert til 1:2. Det vil ikke bli utført topografiske endringer ved de bratte ravineskråningene i områder uten skjæringer da disse har vist seg å være stabile over mange år og at det ikke kan medføre fare for den nye toglinjen.

3.4 Overflatestabilitet/erosjon

Jernbaneverket har siden åpning av banen hatt problemer med overflatestabilitet av skjæringene. **Dagens skjæringer er gjennomgående bratte. Dette i kombinasjon med vannførende horisonter i løsmasseavsetningene har gitt problemer.** De bratte jordskråningene ned mot jernbanen i dagens situasjon antas å være stabile under "normale" forhold og med tanke på dypgående monolittiske skred. Rasfare oppstår primært når jordmassene blir overmettet med vann og/eller utsatt for erosjon, og er størst i nedbørtunge perioder, vår og høst.

Opp gjennom årene har det gått en rekke overflateglidninger i de bratte jordskråningene ned mot sporet ved store nedbørsmengder. Det vises til rapport utarbeidet av BanePartner 01.02.01; "Stabilitetsproblematikk Dovrebanen Oslo – Hamar, km. 69-71. Rapport med beskrivelse av eksisterende forhold".

Det finnes i dag et omfattende dreneringsystem i eksisterende skråninger ovenfor jernbanen. Man bør derfor unngå å grave seg inn i eksisterende skjæringer. Det ble i en tidligere planfase gjort vurderinger på om det nye dobbeltsporet burde ligge på innsiden eller utsiden av dagens sportrase hvor dagens trase ble anleggsveg/driftsveg. Det ble her bestemt at man burde legge sporet på utsiden for å slippe store inngrep i naturen. I tillegg til at man da kan tillate noe erosjon av skråningene ved store nedbørsmengder uten at det vil påvirke sporet.

I forbindelse med etableringen av nytt dobbeltspor bør det likevel vurderes om overflatestabiliteten på de eksisterende skjæringene skal forbedres. Dette kan gjøres ved en kombinasjon av mindre tiltak som ikke innebærer topografiendring:

- Etablere avskjærende drenggrøfter
- Plastre med puk/stein

En utgraving som vist under ved tverrprofil km. 73,000 må det tas hensyn til erosjon samt stabilitet av utfylling i Vorma. **For å hindre erosjon av masser i skråningen settes helning på graveskråningen til 1:2 sammen med erosjonstiltak som beplantning og etablering av avskjærende drenggrøfter.** (Aas-Jakobsen / Geovita 2012).

5.8.3. Notat fra møte/befaring 14.03.2014, Eidsvoll Vending, Eidsvoll, Sweco 26.03.2014

Prosjektert utførelse av skjæringene

Begge skjæringene er prosjektert med samme utforming som vist på tegningene URH-84-V60281 (plan) og URH-84-F-60232 (snitt). Skråningshelningen er 1:2. I toppen av skjæringene er det angitt en avskjærende terrenggrøft. Skjæringene er angitt med erosjonssikring i form av vekstjord fra opprinnelig vegetasjonsdekke og med erosjonsduk over vekstjorden. I tillegg er det beskrevet erosjonssikring i form av sprengstein og separasjonsduk på de nederste 5 m av skråningen.

Liten skjæring Km. 68.725-68.790 (Km. 68.725 er avstanden Oslo S, some er definer som nullpunktet på det norske jernbanenettet).

Den minste skjæringen ligger lengst syd. Det er ikke foretatt noen bearbeiding av skråningsoverflaten, og det er heller ingen tegn til vegetasjon på skjæringsoverflaten som ble ferdigstilt i fjor sommer (2013). Det ble registrert noe sig i overflaten som antakelig er et resultat av tining av vannmettede toppmasser. Kraftig regnvær kan også være medvirkende årsak til disse «skadene».

Stor skjæring Km 68.800-68.980

Arbeidet ble utført i fjor sommer (2013). I forbindelse med utgraving av skråningen, erfarte man raskt at det var problemer med grunnvannserosjon enkelte steder i skråningen. Dette gjorde at man valgte å legge erosjonssikringen, som opprinnelig var tenkt for skråningsfoten, også lenger opp i skråningen. Duk ble lagt ut på de naturlige massene og det ble fylt opp et lag med ensgradert grovpukk (stein) i en tykkelse på ca. 0,5 m. Vi har fått opplyst at laget kan være noe tykkere i nederst og noe tynnere i overkant. Vedlagte bilder viser utbredelsen av erosjonssikringen/pukklaget.

De bløte partiene der det syntes å komme ut mye vann i overflaten, skyldes trolig grunnvannserosjon og er et resultat av at man har lagskiller i skråningen med silt og leire i nedre parti og ensgradert sand i øvre parti av skråningen. Grenseskillet mellom disse lagene kan variere bortover i skråningen, og mengden av grunnvann kan også variere. Det er grunn til å tro at grunnvann presses ut i overgangen mellom det øvre sand/siltlaget og det underliggende tette leirlaget. Dette gjør at man får erosjon i skråningen og dermed «hull i

bakken». For å avhjelpe dette har man lagt ut duk og pukk. Pukklaget synes å ligge stabilt på mesteparten av skråningen. På enkelte steder har man imidlertid registrert forsenkninger (groper) i pukklaget (opptil ca. 50-60 cm). Dette tyder på at vannet har gravet ut løsmasser under duken og ført massene nedover på undersiden av duken. Vann med noe finstoff synes å komme frem langs foten av skråningen.

På øvre del av den store skjæringen er det ikke foretatt noen bearbeiding av skråningsoverflaten. På den midtre og øvre delen av skråningen ligger det løs sand i overflaten som man synker ned i ved å gå på vanlig måte. Det er ikke tegn til noen vegetasjon på dette ubehandlede arealet.

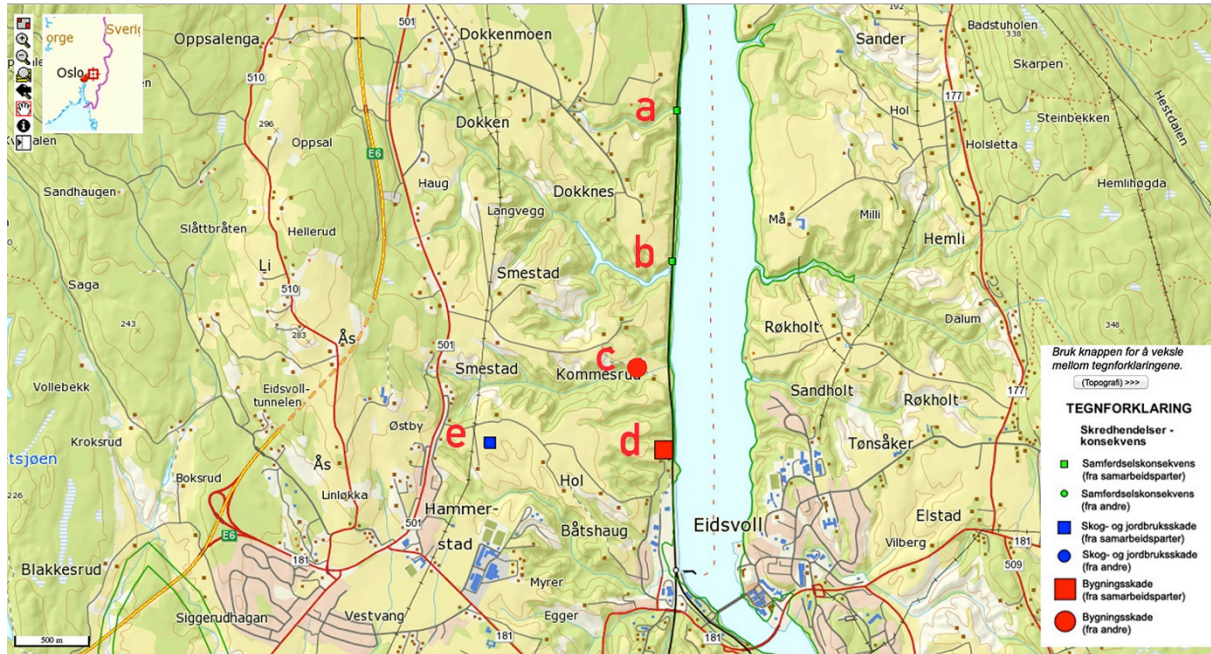
5.9. Skredhendelser



Figur 43. Kartutsnitt som viser samtlige kartlagte skredhendelser på strekningen Eidsvoll-Minnesund. Totalt er det kartlagt 18 skredhendelser på denne strekningen (NGU-Arealis, 2014).

Som det fremgår av NGU's kart har det forekommet en rekke skredhendelser langs Vorma, på strekningen Eidsvoll-Minnesund. Jeg skal her se nærmere på noen av skredhendelsene som ligger nord for Eidsvoll på vestsiden av Vorma. På Vormas østlige side, like sør for

Minnesund, ved Fremmin er det kartlagt relativt store skredhendelser i både 1870 og 1926, men disse vil jeg ikke komme nærmere inn på her.

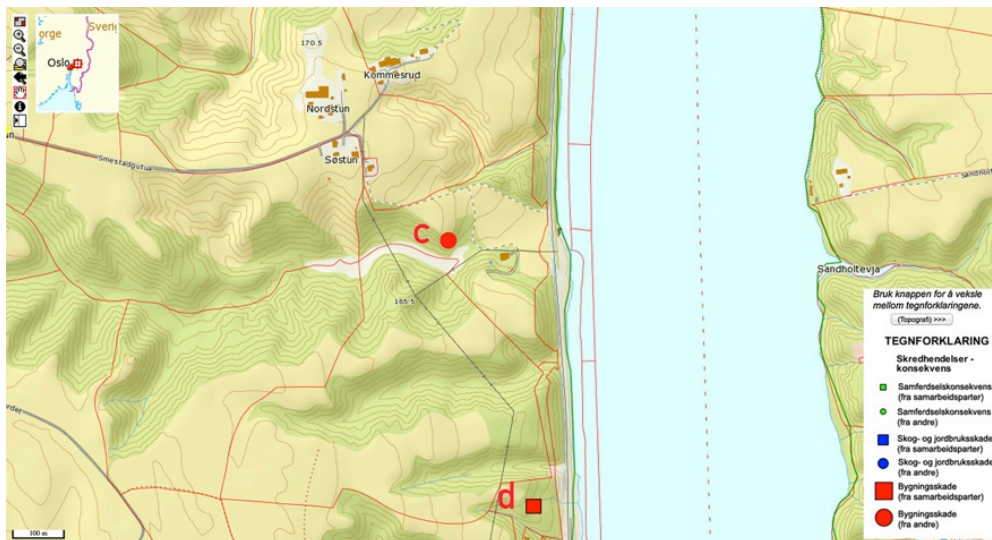


Figur 44. Kartutsnitt som viser tidligere skredhendelser i området langs det nye vendesporet, som blir nærmere beskrevet nedenfor (NGU-Arealis, 2014).

- a) Skrednavn: Eidsvoll – Minnesund 2. Skredtidspunkt: 28.04.2009, kl 12:00. Skredtype: løsmasseskred, uspesifisert. Beskrivelse: utglidning av fylling mot Vorma etter at stikkrenne ikke tok unna smeltevann. (vann gikk gjennom fylling og vasket ut løsmasser). Saktekjøring 30 km/t ble etablert. Fylling mot Vorma ble reetablert. Drift Hamar m/bistand fra entreprenør Bjørn Frenning (Norges geologiske undersøkelse 2014).
- b) Skrednavn: Eidsvoll – Minnesund 1. Skredtidspunkt: 08.01.2007, kl 09:02. Skredtype: løsmasseskred, uspesifisert. Beskrivelse: Rasfarlige masser ble fjernet, fiberduk lagt på og fylt på med steinmasser. Overvannsgrøfter ble rehabilitert i området. Disse var muligens medvirkende årsak til raset.
- c) Dette er den riktige stedsreferansen for Båtshaugskredet (se punkt d). Den 29.07.2014 var jeg på befaring i området med bonde Håvard Gundersen fra Kommesrud gård. Gundersen er i dag 80 år, men husket godt skredhendelsen fra 1962 den gang han var 52 år. Gundersen kunne med stor nøyaktighet kunne peke ut stedet skredet gikk,

ovenfor det gamle teglverket (Gundersen 2014). Dette stedet ligger om lag 650 meter nord for punktet som er angitt i NGU sine kart.

- d) Skrednavn: Båtshaug. Skredtidspunkt: 29.04.1962. Skredtype: leirskred. Registrert av: Astor Furseth. Beskrivelse: Eidsvoll. Båtshaug. Den 29. (eller 28.) april 1962 kom eit leirskred som knuste eit bustadhus som låg eit stykke ovanfor Baadshaug Teglverk ved Vorma. Skredet losna i ein ca. 30 meter høg skrent, tok krattskogen og rasa nedover bustadhuset til Ingeborg Dyrhagen. Ho var ikkje heime akkurat på denne tida, slik at det berre vart materielle skadar. Også eit uthus vart knust. Kartreferansen er omtrentleg.
- e) Skrednavn: Hol vestre. Skredtidspunkt: 15.07.1759. Skredtype: leirskred. Registrert av: Astor Furseth. Beskrivelse: Eidsvoll. Hol vestre, gnr. 58, ligg 170 m o.h. på eit leirplatå frå Holvevja i Vorma mot Nordaust til Trondheimsvegen. Hausten 1795 var det synfaring etter eit leirskred i Apalenga på sørsida av husa. Kirkejordet rasa ut i Holvevja, og det kom fleire skred berre 20 skritt frå husa. 16 skpd. høyland vart tatt, ei slåtteli vart også øydelagt, og det rasa heilt ned til Kvernbecken. Det største skredet var på 200x180 skritt. Eit hus vart øydelagt, dei andre husa måtte flyttast. Kartreferansen er omtrentleg.



Figur 45. Punkt d) markerer omtrentlig posisjon for Båtshaugskredet i 1962, mens punkt c) markerer posisjon for Båtshaugskredet i henhold til bonde Håvard Gundersen på Kommensrud gård.

6. Diskusjon

Som det framgår av resultatene forekommer det klare avvik mellom flere av rådene i konsulentrapportene, og retningslinjene i Vegvesenets håndbøker. Dette går både på anbefalt helningsgrad, sikringstiltak og drenering.

Jeg har vært noe tvilende til om forholdene i skjæringene kvalifiserer til klassifiseringen ”vanskelige forhold” eller ”ekstreme forhold” i henhold til Håndbok 274. Det er i alle fall hevet over tvil at vi ikke har å gjøre med ”gunstige forhold”.

I følge HB018 er dette definisjonen på ”ekstreme forhold” i skråninger:

- a) Erosjonsømfintlige masser som vannmettet silt og/eller leirige masser som er utsatt for overflateglidninger.
- b) Konsentrert uttrekk av grunnvann.
- c) Betydelig nedbør og overflatevann.
- d) Lokale erfaringen viser at skråningsskader er meget omfattende.

Punkt a) mener jeg klart oppfylles i den lille skjæringen. Se figur 40. Det hadde muligens forekommet overflateglidninger også i den store skjæringen, om denne ikke hadde vært dekket med pukk. Punkt b) er definitivt oppfylt i begge skjæringer. Se figur 39. Det er nok nedbør og overflatevann til å forårsake betydelig overflateerosjon, så jeg mener også punkt c) er oppfylt. Se figur 38. Når vi ser tilbake på skredhendelsene dokumentert under avsnitt 5.9., oppfyller også kriteriene i henhold til punkt d).

Vann i form av grunnvann og overflateavrenning står for 95% av problemene knyttet til stabilitet og erosjon i skråninger i løsmasser langs vei og jernbane (muntlig meddelelse, Vaslestad 2014). Med dette som utgangspunkt er det påfallende å se i hvor liten grad grunnvann er nevnt i de ulike geotekniske rapporter som har blitt utarbeidet i forbindelse med utbyggingen av nytt vendespor ved Eidsvoll stasjon.

I følge Vegvesenets Håndbok 018 skal “skråninger planlegges og bygges slik at det ikke forventes at sig og glidninger forekommer i løpet av de første 20 år”. Vi kan slå fast at så ikke har vært tilfelle med skjæringene nord for Eidsvoll stasjon. Grunnvannsforholdene endres ved uttaking av skjæringer. I mange tilfeller vil det være vanskelig å bedømme muligheten for

skader skråningene på planstadiet. Endelige valg av sikringstiltak må da utføres eller justeres under anleggets gang (Statens Vegvesen 2012)

I rapporten UEH-10-A-55212_04A, Geoteknisk fagrapport Utfylling og skjæring langs Vorma, står følgende: *Opp gjennom årene har det gått en rekke overflateglidninger i de bratte jordskråningene ned mot sporet ved store nedbørsmengder. Det vises til rapport utarbeidet av BanePartner 01.02.01; "Stabilitetsproblematikk Dovrebanen Oslo – Hamar, km. 69-71. Rapport med beskrivelse av eksisterende forhold".*

Skredhendelsene beskrevet under avsnitt 5.9. i resultater omfatter ikke kun overflateglidninger. Flere av hendelsene (Bådshaug og Fremmin) er relativt alvorlige og omfattende skredhendelser. I Bådshaugskredet ble et bolighus knust, og her kunne det fort ha medført både personskade og tap av menneskeliv om beboeren hadde vært hjemme på skredtidspunktet.

Investering i permanent sikring av skråninger vil på sikt redusere kostnadene for omfattende inspeksjoner (Norges vassdrags- og energidirektorat 2012).

Den store skjæringen har i løpet av august 2014 fått tilført ytterligere mengder pukk oppå det eksisterende pukklaget. I tillegg er det gravd en ca 2 meter dyp grøft mellom foten og skjæringen og bort til jernbanesporet (ca 4 meter). Denne har blitt fylt med sprengstein i bunnen og pukk på toppen. Øvre del av skjæringen har blitt dekket med kokosmatter og det har blitt sådd med lokale plantearter.

Den lolle skjæringen har i løpet av august 2014 blitt dekket med kokosmatter og sådd med lokale plantearter.

Hvorvidt utbedringene som nå er foretatt vil vise seg holdbare over tid gjenstår å se. Under relativt normale klimatiske forhold vil det nok ikke oppstå problemer av vesentlig art.

Hvordan skjæringene vil klare seg under ekstreme klimatiske forhold med for eksempel hurtig smelting av store snømengder, kombinert med store nedbørsmengder og tele i ovre jordsjikt gjenstår å se.

7. Konklusjon

Retningslinjene i SVVs håndbøker er ikke fulgt konsekvent. Om disse hadde vært fulgt opp allerede tidlig i planleggingsfasen tror jeg mange av problemene som har oppstått i forbindelse med skjæringene kunne vært unngått.

Til tross for at det er utarbeidet mange og grundige rapporter i forbindelse med prosjektet er mitt inntrykk at utfordringer knyttet til grunnvann ikke har vært tillagt stor nok vekt når arbeidet med planering av skråningene ble utredet. De hydrogeologiske, kvartærgeologiske og topografiske forholdene på stedet gir etter mitt syn klare indikasjoner på at grunnvann kunne komme til å bli en utfordring.

Det undrer meg at SWECO som har noen av landets fremste eksperter innen hydrogeologi ansatt, ikke har involvert disse i utarbeidelsen av de geotekniske rapportene som vedrører skråningene/skjæringene. Jeg stiller meg enda mer undrende til at hydrogeologene ikke ble involvert på et senere tidspunkt, da det hadde viset seg at de opprinnelige forslagere som var ment å forbedre stabilitet og erosjonsproblemer i skjæringene, hadde vist seg ikke å fungere som antatt.

8. Anbefalinger om videre arbeid

Når det gjelder videre arbeid har Helen French et samarbeid på gang med en masterstudent fra Universitetet i Oslo. Det er mye som kan følges opp og studeres videre, og det blir spennende å følge eventuelle endringer i skjæringenes overflate i årene som kommer.

I etterpåklokskapens lys er det lett å se at mye kunne og burde vært gjort annerledes. Jeg har i løpet av arbeid med oppgaven tilegnet meg mange erfaringer, og det er mye jeg ville ha gjort annerledes om jeg skulle gå i gang med oppgaven på nytt.

Her følger en kort oppsummering, som jeg tror kan inneholde nyttige erfaringer for de someventuelt innvolverer seg i nye prosjekter i samme område.

Den første feilen som ble begått var, etter mitt syn, at det ble bestilt utstyr (sensorer og loggere) fra ulike leverandører (ITAS og Scanmatic). Utsyret ble lever svært forsinket, og når det endelig kom viste det seg an sensorer og loggere ikke var kompatible. Dette til tross for forsikringer fra leverandør om at de faktisk var kompatible. Hadde én leverandør stått for hele utstyrsleveransen hadd det vært lettere å fordele ansvar.

For videre arbeid med utstyret er det avgjørende at det innledes et samarbeid med noen som kan bistå med den tekniske delen, slik av data logges og samles inn som planlagt. Jeg hadde opprinnelig et samarbeid med instrumentavdelingen hos NVE, men de var overarbeidet med egne prosjekter og det viste seg at utfordringene med det bestilte utstyret var større enn først antatt. Da det viste seg at loggerne måtte modifiseres (det var ikke samsvar mellom antall antall sensorer med analogt signal og antall analoge inngangep på loggerne av typen NetDL), ble utstyret derfor sendt tilbake til en av leverandørene (Scanmatic) for ombygging. Når utsyret endelig kom tilbake fra leverandøren var det lite som fungerte som det skulle. Dett er noen av problemene:

- Trådløs sending av data over GSM-nettet har aldri fungert.
- Serverløsningen OTT NetView, har aldri fungert.
- Koblingsskjena til NetDL loggerne var feil, slik at batteriene ble tømte i løpet av få timer.

Jeg har etter råd fra leverandøren vært gjentatte ganger i felt for å endre konfigurasjonen av utstyret, uten at dette har hjulpet.

8. Referanser

- Beres, M. H., F.P. (1991). Application of ground-penetrating-radar methods in hydrogeological studies. *Groundwater* 29, 3: 375-386.
- Dimakis, P. (2013). Grunnvannsanalyser av skråninger. Norges vassdrags- og energidirektorat: Norges vassdrags- og energidirektorat. 98 s.
- Erikstad, L. H., G. (1992). Områder med nasjonal og internasjonal naturverdi ved Hauerseter-trinnet, Akershus fylke. Norsk institutt for naturforskning: Norsk institutt for naturforskning. 31 s.
- Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology*. University of Wisconsin - Oshkosh: Merrill Publishing Company.
- Forrester, K. (2001). *Subsurface Drainage for Slope Stabilization*: ASCE Press. 208 s.
- Geovita AS. (2012). Geoteknisk datarapport Eidsvoll -Langset. Jernbaneverket: Jernbaneverket. 320 s.
- Gundersen, H. (2014). (29.07.2014).
- Lawrence, D., Hisdal, H. (2011). Hydrological projections for floods in Norway under a future climate: Norges Vasdrags og Energidirektorat.
- Mamen, J. & A., I. K. (2010). *ANALYSE AV KORTTIDSNEDBØR I NORGE 1967-2009*. Institutt, M. Oslo: Meteorologisk Institutt. 46 s.
- Miljøverndepartementet. (2005). Rapport om sårbarhet for og tilpasning til klimaendringer i sektorer i Norge. Miljøverndepartementet: Miljøverndepartementet.
- Noregs offentlege utgreingar. (2010). *Tilpassing til eit klima i endring*. Miljøverndepartementet: Servicesenteret for departementa Informasjonsforvaltning.
- Norges geologiske undersøkelse. (2014). *ngu.no*. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/arealisNGU/>.
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2010). Klimatilpasning innen NVE's ansvarsområder, Strategi 2010-2014. I: energidirektorat, N. v.-o. (red.). Norges vassdrags- og energidirektorat: Norges vassdrags- og energidirektorat. 69 s.
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2012). Programplan 2012-2015 for etatsprogrammet "NATURFARE – infrastruktur, flom og skred» (NIFS). I: Dolva, K. D., Haakensen, M. (red.). Norges vassdrags- og energidirektorat: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Norsk geoteknisk forening. (1982). Veiledning for måling av grunnvannstand og poretrykk. Norsk geoteknisk forening: Norsk geoteknisk forening,. 40 s.
- Ramberg, I. B. e. a. (2007). *Landet blir til, Norges geologi*, b. 2. Trondheim: Norsk Geologisk Forening. 607 s.
- Rasdal, A. (2014).
- Rasdal, A. (2014). *Muntlig meddelelse*.
- Schwartz, F. W., Zhang, H. (2002). *Fundamentals of groundwater*: Wiley.
- Statens Vegvesen. (2010). *Håndbok 016, Geoteknikk i vegbygging*.
- Statens Vegvesen. (2012). *Håndbok 274, Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger*.
- Aas-Jakobsen / Geovita. (2012). Dovrebanen (Eidsvoll) - Hamar Eidsvoll - Langset km 67,860 – 76,420 Geoteknisk fagrapport Utfylling/skjæring langs Vorma, UEH-10-A-55212. Jernbaneverket. 12 s.

9. Vedlegg

9.1. Grunnvannsdata

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Målinger av grunnvannstand i brønner ved Eidsvoll stasjon. Alle målinger utført med klokkelodd. Måleverdier angitt i meter. Erik Aavatsmark, NMBU.										
2											
3	Dato: 03.12.2013										
4	Brønn nr.	M.o.h.	Koordinater	Total rør-dybde	Rør over bakken	Brønndybde (rør under bakken)	Fra topp av rør til GV	Grunnvannsnivå*:	Vannstand i brønn	(vannstand over leirlag):	
5	#1	138,31	11.24624775,60.33792044	3,04	1,35	1,69	3,04	-1,69	0		
6	#2	141,58	11.2459447,60.33791486	6,04	1,61	4,43	6,04	-4,43	0		
7	#3	150,61	11.24535648,60.33789211	8,04	1,86	6,18	8,04	-6,18	0		
8	#4	140,69	11.24592914,60.33781094	6,04	1,47	4,57	5,89	-4,42	0,15		
9	#5	137,26	11.24589088,60.33798711	7,04	1,15	5,89	7,04	-5,89	0		
10											
11	Dato: 24.12.2013										
12	Brønn nr.	M.o.h.	Koordinater	Total rør-dybde	Rør over bakken	Brønndybde (rør under bakken)	Fra topp av rør til GV	Grunnvannsnivå*:	Vannstand i brønn	(vannstand over leirlag):	
13	#1	138,31	11.24624775,60.33792044	3,04	1,35	1,69	3,04	-1,69	0		
14	#2	141,58	11.2459447,60.33791486	6,04	1,61	4,43	6,04	-4,43	0		
15	#3	150,61	11.24535648,60.33789211	8,04	1,86	6,18	8,04	-6,18	0		
16	#4	140,69	11.24592914,60.33781094	6,04	1,47	4,57	5,63	-4,16	0,41		
17	#5	137,26	11.24589088,60.33798711	7,04	1,15	5,89	7,04	-5,89	0		
18											
19	Dato: 24.01.2014										
20	Brønn nr.	M.o.h.	Koordinater	Total rør-dybde	Rør over bakken	Brønndybde (rør under bakken)	Fra topp av rør til GV	Grunnvannsnivå*:	Vannstand i brønn	(vannstand over leirlag):	
21	#1	138,31	11.24624775,60.33792044	3,04	1,35	1,69	3,04	-1,69	0		
22	#2	141,58	11.2459447,60.33791486	6,04	1,61	4,43	6,04	-4,43	0		
23	#3	150,61	11.24535648,60.33789211	8,04	1,86	6,18	8,04	-6,18	0		
24	#4	140,69	11.24592914,60.33781094	6,04	1,47	4,57	5,76	-4,29	0,28		
25	#5	137,26	11.24589088,60.33798711	7,04	1,15	5,89	7,04	-5,89	0		
26											
27	Dato: 05.02.2014, tre nye brønner bores.										
28	Brønn nr.	M.o.h.	Koordinater	Total rør-dybde	Rør over bakken	Brønndybde (rør under bakken)	Fra topp av rør til GV	Grunnvannsnivå*:	Vannstand i brønn	(vannstand over leirlag):	
29	#1	138,31	11.24624775,60.33792044	3,04	1,35	1,69	3,04	-1,69	0		
30	#2	141,58	11.2459447,60.33791486	6,04	1,61	4,43	6,04	-4,43	0		
31	#3	150,61	11.24535648,60.33789211	8,04	1,86	6,18	8,04	-6,18	0		
32	#4	140,69	11.24592914,60.33781094	6,04	1,47	4,57	5,2	-3,73	0,84		
33	#5	137,26	11.24589088,60.33798711	7,04	1,15	5,89	7,04	-5,89	0		
34	#6	151,14	11.2455204,60.33922027	8,04	1,43	6,61	6,87	-5,44	1,17		
35	#7	158,39	11.24384274,60.33891682	8,04	1,52	6,52	6,21	-4,69	1,83		
36	#8	167,65	11.2408353,60.33870651	5,04	1,17	3,87	2,29	-1,12	2,75		
37											
38	Dato: 18.02.2014										
39	Brønn nr.	M.o.h.	Koordinater	Total rør-dybde	Rør over bakken	Brønndybde (rør under bakken)	Fra topp av rør til GV	Grunnvannsnivå*:	Vannstand i brønn	(vannstand over leirlag):	
40	#1	138,31	11.24624775,60.33792044	3,04	1,35	1,69	3,04	-1,69	0		
41	#2	141,58	11.2459447,60.33791486	6,04	1,61	4,43	6,04	-4,43	0		
42	#3	150,61	11.24535648,60.33789211	8,04	1,86	6,18	8,04	-6,18	0		
43	#4	140,69	11.24592914,60.33781094	6,04	1,47	4,57	5,37	-3,9	0,67		
44	#5	137,26	11.24589088,60.33798711	7,04	1,15	5,89	7,04	-5,89	0		
45	#6	151,14	11.2455204,60.33922027	8,04	1,43	6,61	7,05	-5,62	0,99		
46	#7	158,39	11.24384274,60.33891682	8,04	1,52	6,52	6,39	-4,87	1,65		
47	#8	167,65	11.2408353,60.33870651	5,04	1,17	3,87	2,43	-1,26	2,61		
48											
49	*Leirlaget er antatt som mettet sone, og oppgitt grunnvannsnivå må derfor sees i sammenheng med vannstand i brønn.										
50	Oppgitt grunnvannsnivå er med andre ord avstanden fra overflaten til grunnvannsoeilet, eller avstanden fra overflaten til bunn av brønn dersom det ikke er observert vann i brønn.										

9.2. Kornfordelingsanalyser

Jordprøve #1, jorddybde:1m, 138,30 moh., posisjon: 11.24624775,60.33792044

Total vekt (etter sikting): **449,00**
 Kontrollvekt (før sikting): **450,00**

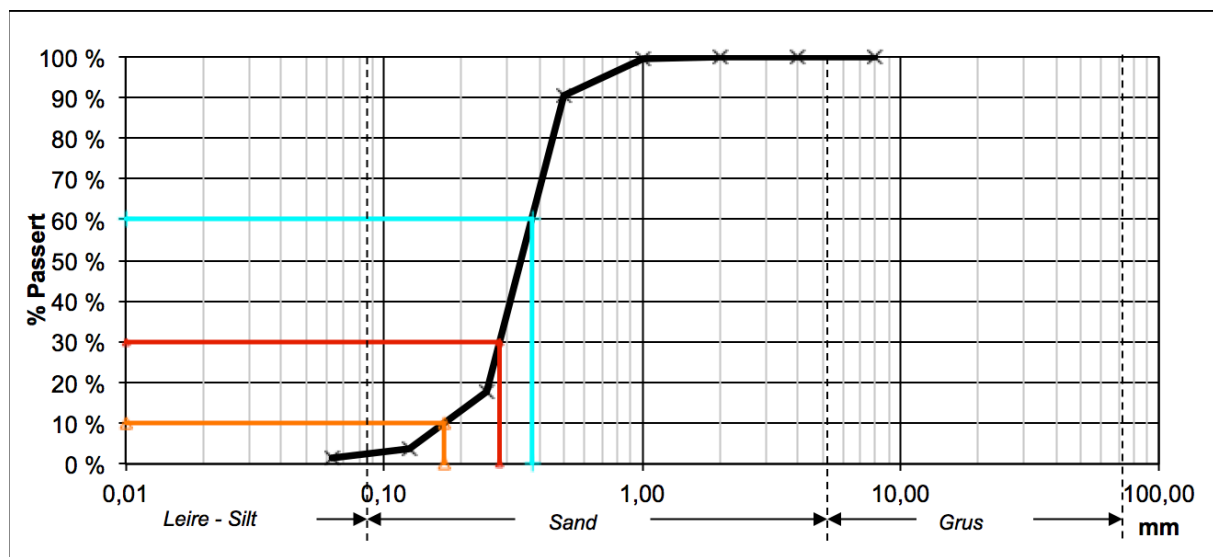
Tap: **0,22 %**

Sikt	Diameter (mm)	vekt på sikt	% på sikt	% passert
800 μm	8,000	0,00	0,00 %	100,00 %
400 μm	4,000	0,00	0,00 %	100,00 %
200 μm	2,000	0,00	0,00 %	100,00 %
100 μm	1,000	3,00	0,67 %	99,33 %
500 μm	0,500	40,50	9,02 %	90,31 %
250 μm	0,250	326,00	72,61 %	17,71 %
125 μm	0,125	63,00	14,03 %	3,67 %
63 μm	0,063	10,50	2,34 %	1,34 %
<63 μm	<0,063	6,00	1,34 %	

$D_{10}(\text{mm})=$ **0,171**
 $D_{30}(\text{mm})=$ **0,281**
 $D_{60}(\text{mm})=$ **0,374**

Grus (%)= **0,00 %**
 Sand (%)= **98,66 %**
 Leire/silt (%)= **1,34 %**

$C_u=$ **2,19**
 $C_c=$ **1,24**



Forsøksfelt JBV/NIFS, Eidsvoll vendespor

Jordprøve #2, jorddybde:1m, 141,58 moh., posisjon: 11.24624775,60.33792044

Total vekt (etter sikting): **309,60**
 Kontrollvekt (før sikting): **313,00**

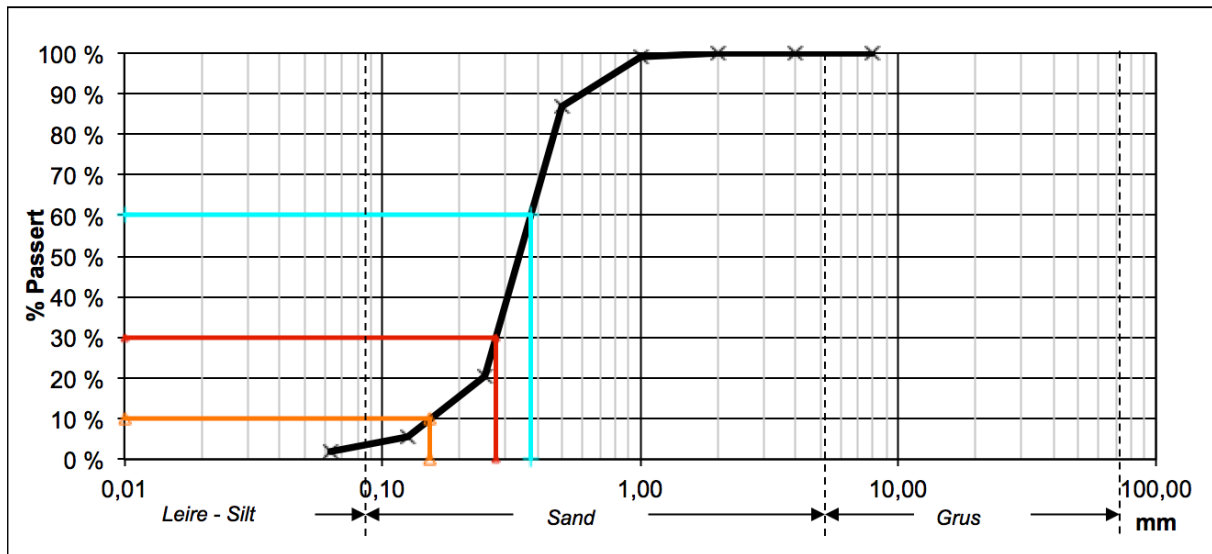
Tap: **1,09 %**

Sikt	Diameter (mm)	vekt på sikt	% på sikt	% passert
800 μm	8,000	0,00	0,00 %	100,00 %
400 μm	4,000	0,00	0,00 %	100,00 %
200 μm	2,000	0,00	0,00 %	100,00 %
100 μm	1,000	2,60	0,84 %	99,16 %
500 μm	0,500	38,00	12,27 %	86,89 %
250 μm	0,250	206,00	66,54 %	20,35 %
125 μm	0,125	45,50	14,70 %	5,65 %
63 μm	0,063	12,00	3,88 %	1,78 %
<63 μm	<0,063	5,50	1,78 %	

$D_{10}(\text{mm})=$ **0,153**
 $D_{30}(\text{mm})=$ **0,276**
 $D_{60}(\text{mm})=$ **0,378**

Grus (%)= **0,00 %**
 Sand (%)= **98,22 %**
 Leire/silt (%)= **1,78 %**

$C_u=$ **2,46**
 $C_c=$ **1,32**



Forsøksfelt JBV/NIFS, Eidsvoll vendespor

Jordprøve #5.1., jorddybde:1m, 142,28 moh., posisjon: 11.24589088,60.33798711

Total vekt (etter sikting): **401,50**
 Kontrollvekt (før sikting): **403,00**

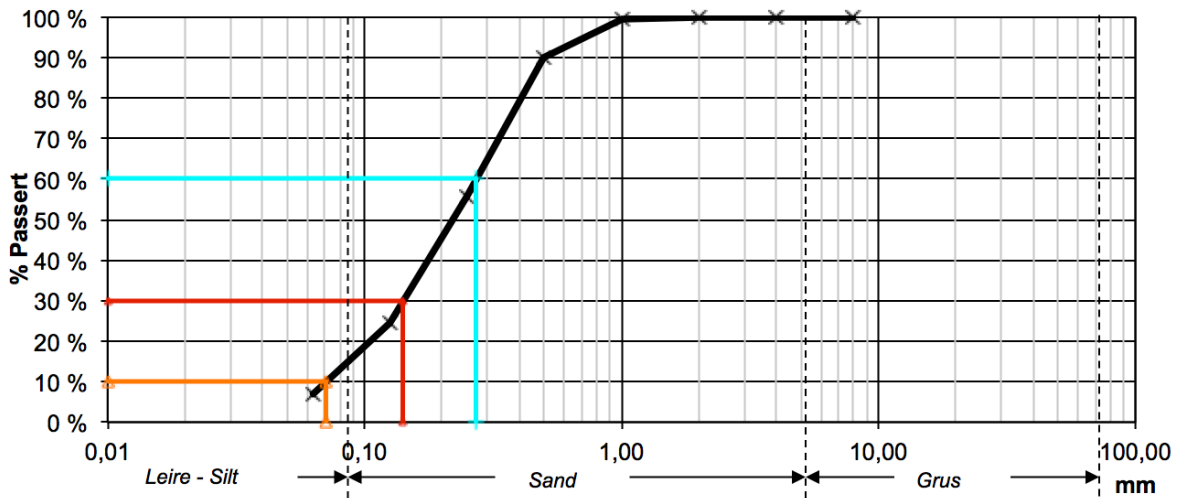
Tap: **0,37 %**

Sikt	Diameter (mm)	vekt på sikt	% på sikt	% passert
800 μm	8,000	0,00	0,00 %	100,00 %
400 μm	4,000	0,00	0,00 %	100,00 %
200 μm	2,000	0,00	0,00 %	100,00 %
100 μm	1,000	2,50	0,62 %	99,38 %
500 μm	0,500	0,00	38,00	9,46 %
250 μm	0,250	0,00	137,00	34,12 %
125 μm	0,125	0,00	125,00	31,13 %
63 μm	0,063	0,00	71,00	17,68 %
<63 μm	<0,063	0,00	28,00	6,97 %

$D_{10}(\text{mm})=$ **0,071**
 $D_{30}(\text{mm})=$ **0,141**
 $D_{60}(\text{mm})=$ **0,272**

Grus (%)= **0,00 %**
 Sand (%)= **93,03 %**
 Leire/silt (%)= **6,97 %**

$C_u=$ **3,84**
 $C_c=$ **1,03**



Forsøksfelt JBV/NIFS, Eidsvoll vendespor

Jordprøve #6.1, jorddybde:1m, 151,14 moh., posisjon: 11.2455204,60.33922027

Total vekt (etter sikting): **374,00**
 Kontrollvekt (før sikting): **378,00**

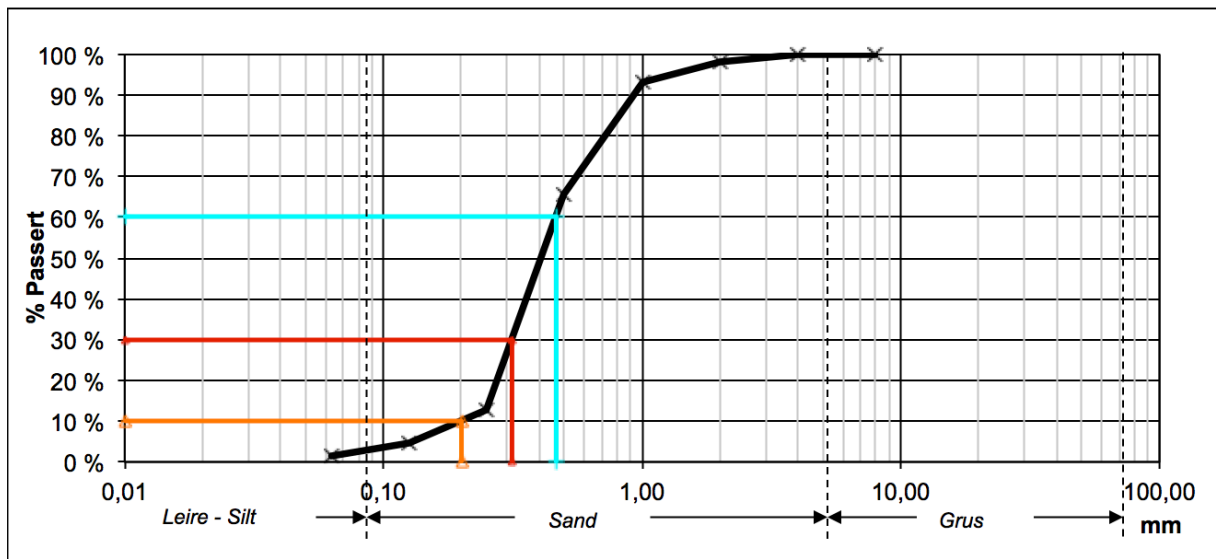
Tap: **1,06 %**

Sikt	Diameter (mm)		vekt på sikt	% på sikt	% passert
800 μm	8,000	0,00	0,00	0,00 %	100,00 %
400 μm	4,000	0,00	0,00	0,00 %	100,00 %
200 μm	2,000	0,00	6,00	1,60 %	98,40 %
100 μm	1,000	0,00	19,00	5,08 %	93,32 %
500 μm	0,500	0,00	104,00	27,81 %	65,51 %
250 μm	0,250	0,00	198,00	52,94 %	12,57 %
125 μm	0,125	0,00	30,00	8,02 %	4,55 %
63 μm	0,063	0,00	12,00	3,21 %	1,34 %
<63 μm	<0,063	0,00	5,00	1,34 %	

$D_{10}(\text{mm})=$ **0,200**
 $D_{30}(\text{mm})=$ **0,314**
 $D_{60}(\text{mm})=$ **0,465**

Grus (%)= **1,60 %**
 Sand (%)= **97,06 %**
 Leire/silt (%)= **1,34 %**

$C_u=$ **2,32**
 $C_c=$ **1,06**



Forsøksfelt JBV/NIFS, Eidsvoll vendespor

Jordprøve #6.2, jorddybde:3m, 151,14 moh., posisjon: 11.2455204,60.33922027

Total vekt (etter sikting): **439,00**
 Kontrollvekt (før sikting): **445,00**

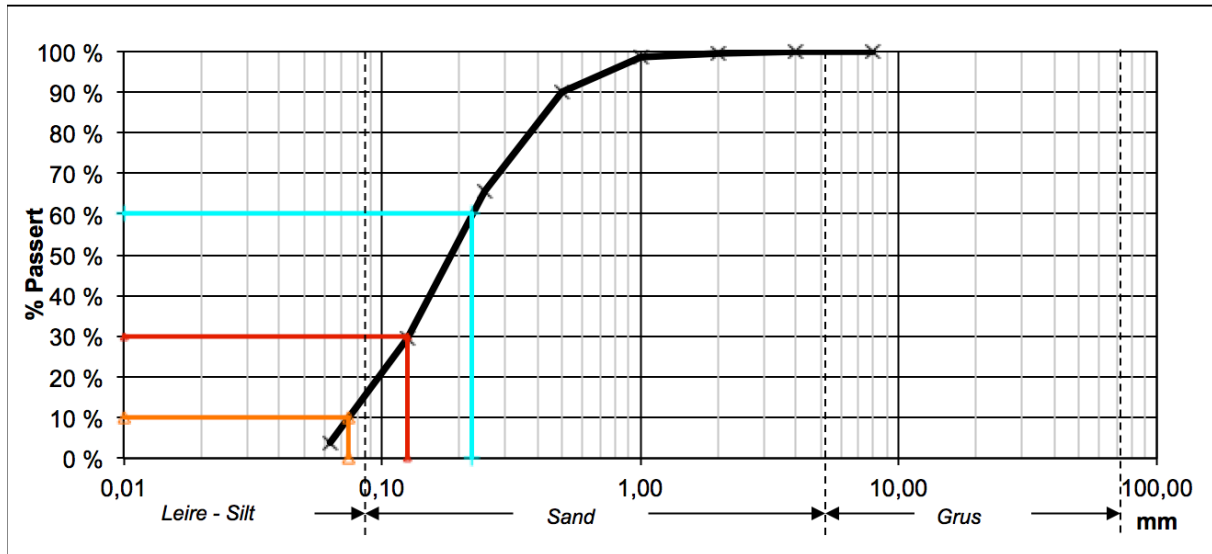
Tap: **1,35 %**

Sikt	Diameter (mm)	vekt på sikt	% på sikt	% passert
800 μm	8,000	0,00	0,00 %	100,00 %
400 μm	4,000	0,00	0,00 %	100,00 %
200 μm	2,000	0,00	1,00	99,77 %
100 μm	1,000	0,00	5,00	98,63 %
500 μm	0,500	0,00	37,00	90,21 %
250 μm	0,250	0,00	107,00	65,83 %
125 μm	0,125	0,00	159,00	29,61 %
63 μm	0,063	0,00	113,00	3,87 %
<63 μm	<0,063	0,00	17,00	3,87 %

$D_{10}(\text{mm})=$ **0,074**
 $D_{30}(\text{mm})=$ **0,126**
 $D_{60}(\text{mm})=$ **0,224**

Grus (%)= **0,23 %**
 Sand (%)= **95,90 %**
 Leire/silt (%)= **3,87 %**

$C_u=$ **3,02**
 $C_c=$ **0,96**



Forsøksfelt JBV/NIFS, Eidsvoll vendespor

Jordprøve #7.1., jorddybde:1m, 158,40 moh., posisjon: 11.24384274,60.33891682

Total vekt (etter sikting): **356,00**
 Kontrollvekt (før sikting): **360,00**

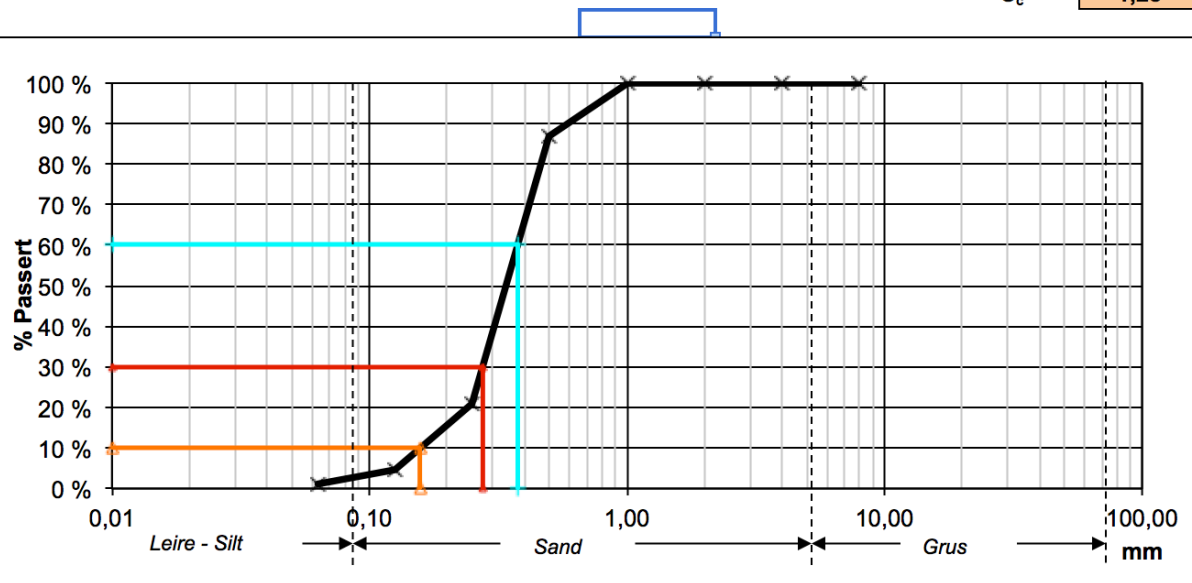
Tap: **1,11 %**

Sikt	Diameter (mm)	vekt på sikt	% på sikt	% passert
800 μm	8,000	0,00	0,00 %	100,00 %
400 μm	4,000	0,00	0,00 %	100,00 %
200 μm	2,000	0,00	0,00 %	100,00 %
100 μm	1,000	0,00	0,00 %	100,00 %
500 μm	0,500	0,00	47,00	13,20 %
250 μm	0,250	0,00	235,00	66,01 %
125 μm	0,125	0,00	57,00	16,01 %
63 μm	0,063	0,00	13,00	3,65 %
<63 μm	<0,063	0,00	4,00	1,12 %

$D_{10}(\text{mm})=$ **0,157**
 $D_{30}(\text{mm})=$ **0,275**
 $D_{60}(\text{mm})=$ **0,377**

Grus (%)= **0,00 %**
 Sand (%)= **98,88 %**
 Leire/silt (%)= **1,12 %**

$C_u=$ **2,41**
 $C_c=$ **1,28**



Forsøksfelt JBV/NIFS, Eidsvoll vendespor

Jordprøve #7.2., jorddybde:2m, 158,40 moh., posisjon: 11.24384274,60.33891682

Total vekt (etter sikting): **330,00**
 Kontrollvekt (før sikting): **360,00**

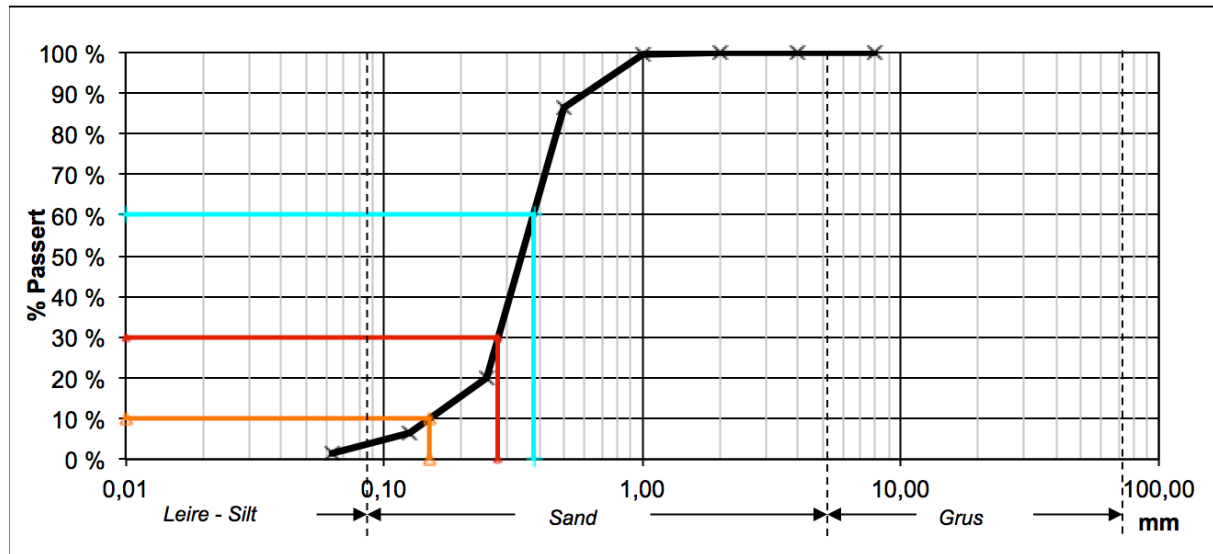
Tap: **8,33 %**

Sikt	Diameter (mm)	vekt på sikt	% på sikt	% passert	
800 μm	8,000	0,00	0,00 %	100,00 %	
400 μm	4,000	0,00	0,00 %	100,00 %	
200 μm	2,000	0,00	0,00 %	100,00 %	
100 μm	1,000	1,50	0,45 %	99,55 %	
500 μm	0,500	0,00	43,00	13,03 %	86,52 %
250 μm	0,250	0,00	220,00	66,67 %	19,85 %
125 μm	0,125	0,00	44,00	13,33 %	6,52 %
63 μm	0,063	0,00	17,00	5,15 %	1,36 %
<63 μm	<0,063	0,00	4,50	1,36 %	

$D_{10}(\text{mm})=$ **0,150**
 $D_{30}(\text{mm})=$ **0,278**
 $D_{60}(\text{mm})=$ **0,380**

Grus (%)= **0,00 %**
 Sand (%)= **98,64 %**
 Leire/silt (%)= **1,36 %**

$C_u=$ **2,53**
 $C_c=$ **1,36**



Forsøksfelt JBV/NIFS, Eidsvoll vendespor

Jordprøve #7.3., jorddybde:4m, 158,40 moh., posisjon: 11.24384274,60.33891682

Total vekt (etter sikting): **304,00**
 Kontrollvekt (før sikting): **305,00**

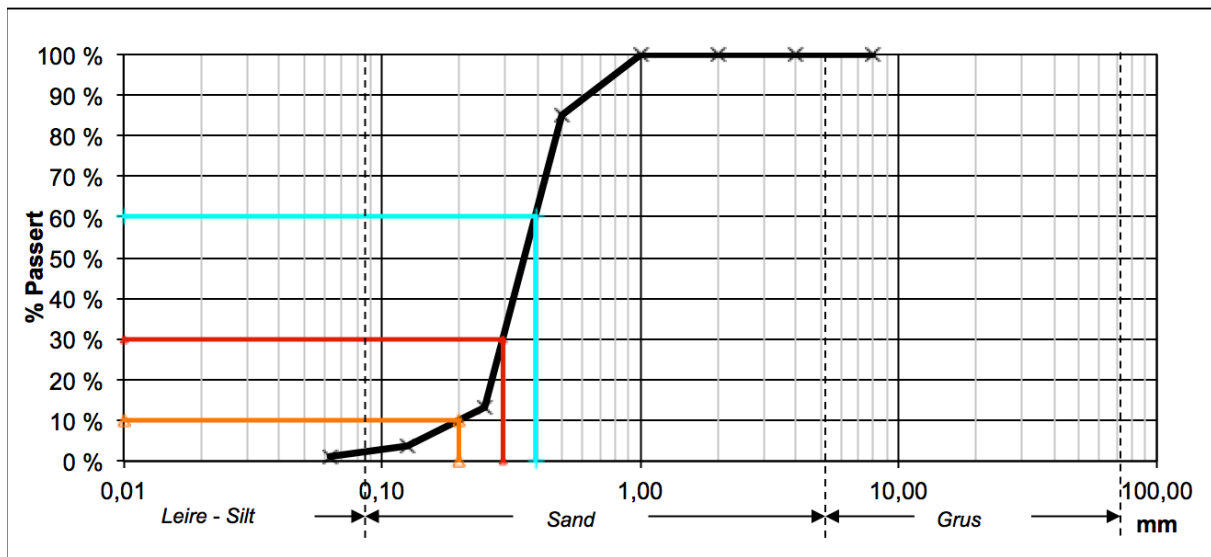
Tap: **0,33 %**

Sikt	Diameter (mm)	vekt på sikt	% på sikt	% passert
800 μm	8,000	0,00	0,00 %	100,00 %
400 μm	4,000	0,00	0,00 %	100,00 %
200 μm	2,000	0,00	0,00 %	100,00 %
100 μm	1,000	0,00	0,00 %	100,00 %
500 μm	0,500	0,00	15,13 %	84,87 %
250 μm	0,250	0,00	71,71 %	13,16 %
125 μm	0,125	0,00	29,00 %	9,54 %
63 μm	0,063	0,00	7,50 %	2,47 %
<63 μm	<0,063	0,00	3,50 %	1,15 %

$D_{10}(\text{mm})=$ **0,199**
 $D_{30}(\text{mm})=$ **0,294**
 $D_{60}(\text{mm})=$ **0,393**

Grus (%)= **0,00 %**
 Sand (%)= **98,85 %**
 Leire/silt (%)= **1,15 %**

$C_u=$ **1,98**
 $C_c=$ **1,11**



Forsøksfelt JBV/NIFS, Eidsvoll vendespor

9.3. Slugtest

Slugtest, Hvorslevs metode, 22.05.2014			
Brønn#6			
Tid (s)	GV niv. (m)	Δ GV (cm)	$h-H/h_0-H$
Startnivå	693		
0	569	0	1
10	573	4	0,967741935
20	580	7	0,911290323
30	584	4	0,879032258
40	588	4	0,875
50	592	4	0,841666667
60	594	2	0,825

90	598	4	0,791666667
120	605	7	0,733333333
180	612	7	0,675
240	619	7	0,616666667
300	628	9	0,541666667
360	637	9	0,466666667
420	643	6	0,416666667
480	646	3	0,391666667
540	653	7	0,333333333
600	655	2	0,316666667
720	661	6	0,266666667
840	664	3	0,241666667
960	666	2	0,225
1080	669	3	0,2
1200	671	2	0,183333333
1320	674	3	0,158333333
1440	675	1	0,15
1680	678	3	0,125
1920	680	2	0,108333333
2280	682	2	0,091666667

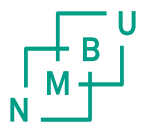
Slugtest, Hvorslevs metode. 22.05.2014			
Brønn#7			
Tid (s)	GV niv. (m)	Δ GV (cm)	h-H/h0-H
Startnivå	676		
0	461	0	1
30	499	38	0,823255814
60	511	12	0,76744186
90	522	11	0,71627907
120	535	13	0,655813953
180	542	7	0,623255814
240	550	8	0,586046512
300	558	8	0,548837209
360	565	7	0,51627907
420	570	5	0,493023256
480	575	5	0,469767442
540	580	5	0,446511628
600	589	9	0,404651163
660	593	4	0,386046512
720	596	3	0,372093023

780	599	3	0,358139535
840	603	4	0,339534884
900	605	2	0,330232558
960	608	3	0,31627907
1020	611	3	0,302325581
1080	613	2	0,293023256
1140	615	2	0,28372093
1200	618	3	0,269767442
1260	620	2	0,260465116
1320	622	2	0,251162791
1380	624	2	0,241860465
1440	626	2	0,23255814
1500	628	2	0,223255814
1560	629	1	0,218604651
1620	631	2	0,209302326
1680	632	1	0,204651163
1740	633	1	0,2
1800	634	1	0,195348837
1860	635	1	0,190697674
1920	636	1	0,186046512
1980	637	1	0,181395349
2040	638	1	0,176744186
2100	639	1	0,172093023
2160	640	1	0,16744186
2220	641	1	0,162790698

Slugtest, Hvorslevs metode. 22.05.2014			
Brønn#8			
Tid (s)	GV niv. (m)	Δ GV (cm)	h-H/h0-H
Startnivå	292		
0	187	0	1
30	199	12	0,885714 286
60	206	7	0,819047 619
120	214	8	0,742857 143
180	223	9	0,657142 857
240	230	7	0,590476 19
300	235	5	0,542857 143

			360	238	3	0,514285 714
			420	241	3	0,485714 286
			480	245	4	0,447619 048
			540	246	1	0,438095 238
		600	24 8		2	0,419047 619
		720	25 1		3	0,390476 19
840	25 3				2	0,371428 571
720	25 6				3	0,342857 143
960	25 8				2	0,323809 524
108 0	26 0				2	0,304761 905
120 0	26 1				1	0,295238 095
132 0	26 2				1	0,285714 286
144 0	26 3				1	0,276190 476
156 0	26 4				1	0,266666 667
168 0	26 5				1	0,257142 857
180 0	26 6				1	0,247619 048
192 0	26 7				1	0,238095 238
204 0	26 8				1	0,228571 429
216 0	26 9				1	0,219047 619
228 0	27 0				1	0,209523 81
240 0	27 0				0	0,209523 81
252 0	27 1				1	0,2
264 0	27 1				0	0,2

276	27		0,190476
0	2	1	19



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

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