# ØSTFOLDBANEN ØSTRE LINJE, (SKI) - (SARPSBORG) ØSTRE LINJE, Langnes PLO, km 24,993 – km 25,703, Geoteknisk vurderingsnotat inkl. vedlegg

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 00A | Første gangs utgivelse | 19.04.2024 | NOMAFA | NOJURE | NOINGS |
| Rev. | Revisjonen gjelder | Dato | Utarb. av | Kontr. av | Godkj. av |

| | | |
|---|---|---|
| **ØSTFOLDBANEN ØSTRE LINJE, (SKI) – (SARPSBORG) ØSTRE LINJE, LANGNES PLO, KM 24,993 – KM 25,703, Geoteknisk vurderingsnotat inkl. vedlegg** | Ant. sider **42** | |
| | Produsent | Sweco |
| | Prod. dok. nr. | 10223223_G01 |
| | Erstatning for | |
| | Erstattet av | |
| **Prosjekt: 60046537 SIK Planovergang Stor-Oslo 26-27 Parsell: 00 Generelt** | Dokument nr. **MIP-00-Q-04116** | Rev. **00A** |
| BANE NOR | Dokument nr. | Rev. |

INTERN

**1 INNLEDNING ... 3**

**2 PROSJEKTFORUTSETNINGER ... 4**

2.1 STYRENDE DOKUMENTER ... 4
2.2 KLASSER OG KATEGORIER ... 4
*2.2.1 Geoteknisk kategori ... 4*
*2.2.2 Konsekvens- /pålitelighetsklasse (CC/RC) ... 4*
*2.2.3 Prosjekterings- og utførselskontroll (PKK/ UKK) ... 5*
*2.2.4 Tiltakskategori ... 5*
*2.2.5 Teknisk Regelverk (Bane NOR) ... 5*
*2.2.6 Oppsummering av kategorier og klasser ... 7*

**3 GRUNNLAG ... 8**

3.1 GRUNN- OG TERRENGFORHOLD ... 8
*3.1.1 Dagens situasjon ... 8*
*3.1.2 Nasjonal kartdatabase ... 8*
*3.1.3 Grunnundersøkelser ... 9*
3.1.3.1 Sonderinger ... 9
3.1.3.2 Laboratorieundersøkelser ... 10

**4 GEOTEKNISK VURDERING ... 11**

4.1 INNLEDENDE VURDERING ... 11
4.2 OMRÅDESTABILITETSVURDERING ... 11
4.3 LOKAL STABILITET ... 12
4.4 SETNINGER ... 13
4.5 BRO ... 15

**5 KONKLUSJON ... 16**

**6 REFERANSER ... 17**

**7 VEDLEGG ... 18**

**A) VEDLEGG 1: BEREGNINGSHEFTE FOR SKRÅNINGSSTABILITET VED LANGNES PLO ... 19**

INNLEDNING ... 19
STABILITETSBEREGNINGER VED PROFIL 1 ... 19
STABILITETSBEREGNINGER VED PROFIL 2 ... 21
STABILITETSBEREGNINGER VED PROFIL 3 ... 24
STABILITETSBEREGNINGER VED PROFIL 4 ... 26

**B) VEDLEGG 2: BEREGNINGSHEFTE FOR SETNINGER VED LANGNES PLO ... 28**

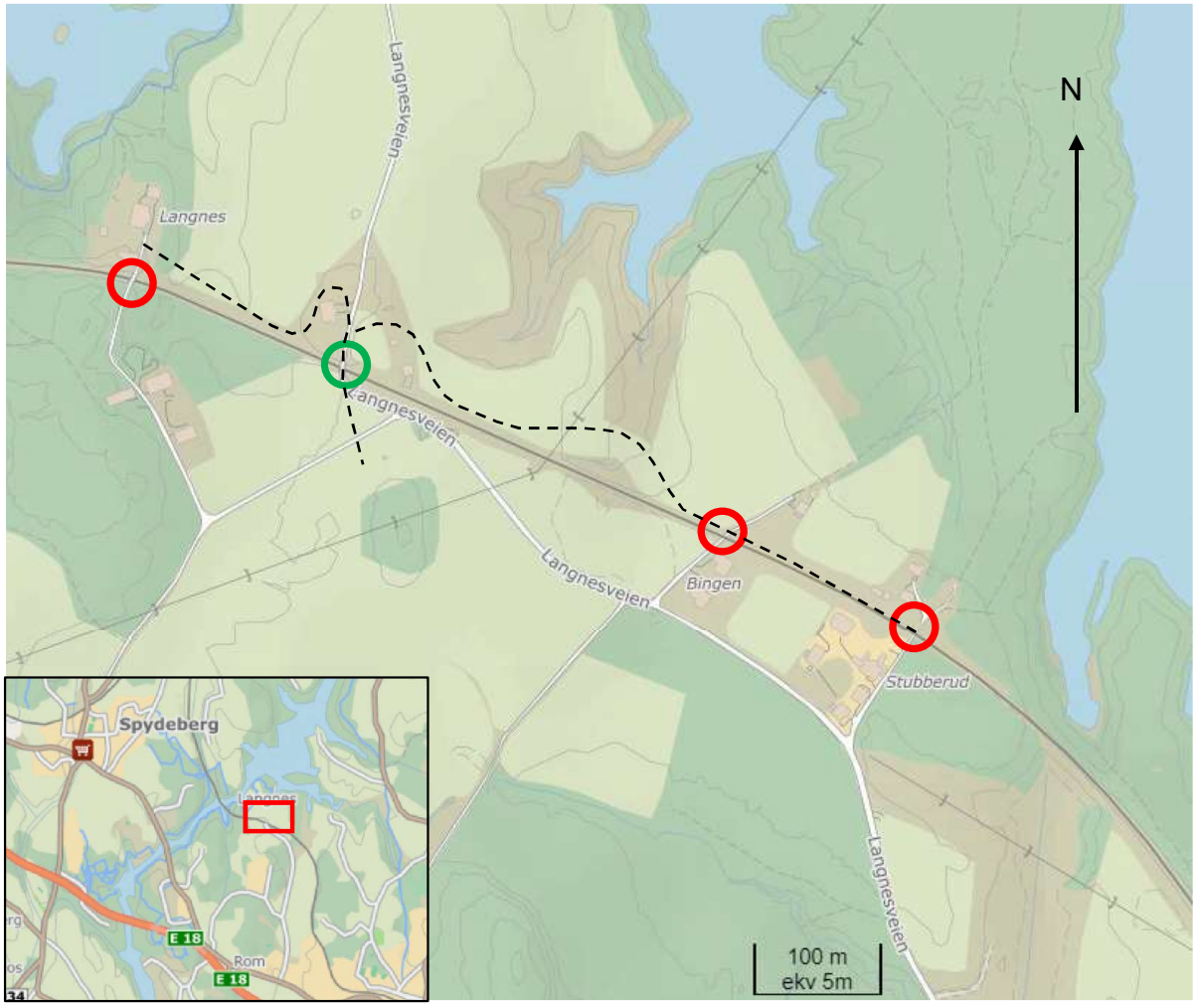
INNLEDNING ... 28
SETNINGER VED PROFIL 1 ... 28
SETNINGER VED PROFIL 3 ... 32

**C) VEDLEGG 3: BEREGNINGER AV SETNINGER MED PLAXIS, LANGNES PLO ... 35**

INNLEDNING ... 35
PARAMETERVALGT FOR LØSMASSEMODELL (HARDENING SOIL) ... 35
PARAMETERVALG FOR LØSMASSEMODELLEN MOHR COULOMB. ... 36
PARAMETERVALG FOR FYLLINGER ... 36
KJØRING AV MODELL ... 37

# 1 INNLEDNING

Sweco Norge AS er blitt engasjert av Bane NOR til å gjennomføre en geoteknisk vurdering for sanering av tre planoverganger og utbytte av eksisterende bro. Det blir i tillegg etablert veiforbindelse med landbruksvei fra de sanerte planovergangene til ny bro, se Figur 1-1 for oversiktskart. Dette medfører veifylling og graving i område ved siden av jernbanesporet.




*Figur 1-1: Oversiktskart over planlagt tiltak. Stiplet linje indikerer planlagt vei. Rød sirkler indikerer planoverganger som skal saneres. Grønn sirkel indikerer plassering av planovergang som skal utbedres med ny bro.*

# 2 PROSJEKTFORUTSETNINGER

## 2.1 Styrende dokumenter

Følgende dokumenter er gjeldende for geoteknisk prosjektering:

- NS-EN-1990:2002+NA:2008: Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
- NS-EN-1997-1: 2004+A12013+NA:2016: Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering, Del 1: Allmenne regler
- Teknisk Regelverk, Bane NOR

I tillegg, i den grad de er relevante, anbefales følgende veiledninger og håndbøker:

- NVE Kvikkleireveileder Nr.1/2019
- SVV Håndbok V220, Geoteknikk i veibygging

## 2.2 Klasser og kategorier

### 2.2.1 Geoteknisk kategori

Eurokode 7 stiller krav til prosjektering fra 3 ulike kategorier. Planlagt tiltak innebærer større veifyllinger for etablering av landbruksvei. Øvrig tiltak innebærer at eksisterende bro skal saneres og skiftes ut.

Basert på utførte grunnundersøkelser i området, består løsmassene i området av et topplag med varierende innhold av løsmasser, men ofte tørrskorpe. Berg påtreffes mellom 0,5 og 22 meter. Grunnforholdene er godt kartlagt og oversiktlige. Det er påtruffet sprøbruddsmateriale. Det velges Geoteknisk kategori 2 for landbruksvei og Geoteknisk kategori 2 for bro over jernbanen.

### 2.2.2 Konsekvens- /pålitelighetsklasse (CC/RC)

Konsekvensklassen må vurderes iht. Bane NOR sitt Tekniske regelverk, i tillegg til Eurokode 0. Store deler av tiltaket vil ligge nærmere enn 30 meter til jernbanen.
For etablering av bro over jernbane vil det medføre arbeid i nærheten av jernbanen. Arbeidet faller innenfor «veg- og jernbanebruer» (Figur 2-1) og faller følgelig i klasse CC/RC 3.

Siden tiltakene ligger innenfor 30 m sone spor midten og det er gjort funn av kvikkleire, og at veifyllingene enkelte steder er betydelige, settes vei og påfølgende veifyllinger til CC/RC 3.

| Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler | Pålitelighetsklasse [2] (CC/RC) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Atomreaktorer, lager for radioaktivt avfall | | | | x |
| Dammer | | | x | (x) |
| Marine konstruksjoner for petroleumsindustrien | | | x | (x) |
| Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i kompliserte tilfeller [1] | | (x) | x | (x) |
| Veg- og jernbanebruer | | | x | |
| Byggverk med store ansamlinger av mennesker (tribuner, kinosaler, sportshaller, kjøpesentre, forsamlingslokaler, osv.) | | (x) | x | |
| Kai- og havneanlegg | | x | (x) | |
| Tårn, master, skorsteiner, siloer | | x | (x) | |
| Industrianlegg | | x | (x) | |
| Kontor- og forretningsbygg, skoler, institusjonsbygg, boligbygg osv. | | x | (x) | |
| Oppdrettsanlegg | | x | (x) | |
| Landbruksbygg | (x) | x | | |
| Feste av kledninger, taktekking og lignende komponenter | x | (x) | | |
| Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg ved enkle og oversiktlige grunnforhold [1] | x | (x) | | |
| Småhus, rekkehus, mindre lagerhus osv. | x | | | |
| Kaier og fortøyningsanlegg for sport og fritid | x | | | |

[1] Ved vurdering av pålitelighetsklasse for grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg skal det også tas hensyn til omkringliggende områder og byggverk.
[2] Kryss uten parentes angir normalt valg av pålitelighetsklasse.

*Figur 2-1: Veileder for valg av pålitelighetsklasse. Tiltaket er markert med rødt.*

### 2.2.3 Prosjekterings- og utførselskontroll (PKK/ UKK)

Eurokode 0 gir føringer for krav til omfang av prosjektering- og utførelseskontroll avhengig av pålitelighetsklasse. Dette betyr at det i henhold til tabell NA. A1 (902) og NA. A1 (903) at det skal forutsettes en prosjekteringskontrollklasse og utførselskontrollklasse PKK/UKK 3 for etablering av ny bro. For landbruksvei betyr dette PKK/UKK 3. Dette innebærer at det utføres egenkontroll, systematisk kontroll og utvidet kontroll.

### 2.2.4 Tiltakskategori

I henhold til Kvikkleireveileder 1/2019 settes fyllingsarbeid til K2.

### 2.2.5 Teknisk Regelverk (Bane NOR)

Teknisk regelverk krever at konstruksjoner som berører bane i drift settes i CC/RC3 ihht. TRV:08148. Dette vil være gjeldende for bro som skal krysse jernbanen.

Kravet til stabilitet knyttes til CC/RC og bruddmekanisme for løsmassene i TRV:01975. I dette tilfellet vil det for mottaksgropen være en sprø bruddmekanisme og CC/RC3. Dette medfører at det må oppnås en sikkerhetsfaktor på 1,6. Se Tabell 1 for inndeling.

*Tabell 1: Valg av partialfaktor for tiltak nær jernbane ved bruk av ADP- og effektivspenningsmetoden.*

**Tabell: Partialfaktor $\gamma_M$ ved stabilitets- og bæreevneberegninger med ADP-metoden**

| Analysetype | Konsekvensklasse | Bruddmekanisme | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Seigt | Nøytralt | Sprøtt |
| Totalspenningsanalyse, ADP-metoden | CC1 Mindre alvorlig | 1,40 | 1,40 | 1,40 |
| | CC2 Alvorlig | 1,40 | 1,40 | 1,50 |
| | CC3 Meget alvorlig | 1,40 | 1,50 | 1,60 |

**Tabell: Partialfaktor $\gamma_M$ ved stabilitets- og bæreevneberegninger med effektivspenningsmetoden**

| Analysetype | Konsekvensklasse | Bruddmekanisme | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Seigt | Nøytralt | Sprøtt |
| Effektivspenningsanalyse, aφ-metoden | CC1 Mindre alvorlig | 1,25 | 1,30 | 1,40 |
| | CC2 Alvorlig | 1,30 | 1,40 | 1,50 |
| | CC3 Meget alvorlig | 1,40 | 1,50 | 1,60 |

Det er videre krav til tillatte ujevnheter med tanke på setninger som oppstår pga. tiltaket. Det vurderes at det er riktig å forholde seg til toleransekrav for 3 kriterier:

- Ujevnheter i høyden
- Ujevnheter i overhøyden
- Vindskjevheter

Kvalitetsklassen i området ligger på Q3. Grenser som gjelder for ujevnheter i høyde finner man i Tabell 2:

*Tabell 2: Tabell over grenser for ujevnheter ved jernbanespor. Merket i rødt finner man benyttede grenser ved dette tiltaket*

**Tabell: Tillatte ujevnheter i høyde - bølgelengdeområde D1 (3-25 meter)**

| Kvalitetsklasse | Hastighet (km/h) | Ujevnheter i høyden av hver skinnestreng (+/- mm) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Nytt spor | Nyjustert spor | Vedlikeholdsgrense | Tiltaksgrense | Umiddelbar grense |
| Q0 | 230 < V ≤ 300 | 2 | 2 | 6 | 8 | 16 |
| Q1 | 160 < V ≤ 230 | 2 | 2 | 6 | 9 | 20 |
| Q2 | 120 < V ≤ 160 | 2 | 2 | 10 | 12 | 23 |
| Q3 | 80 < V ≤ 120 | 3 | 4 | 13 | 16 | 26 |
| Q4 | 40 < V ≤ 80 | 3 | 5 | 15 | 19 | 28 |
| Q5 | V ≤ 40 | 3 | 6 | 17 | 21 | 28 |

- Ujevnheter i høyde i hht. toleransene i Tabell: Tillatte ujevnheter i høyde kan kun måles med målevogn.
- **Nivellement** av hver skinnestreng kan imidlertid gi verdifull informasjon om vertikal beliggenhet til sporet og dermed vertikale ujevnheter for øvrig.

For ujevnheter i overhøyde finner man grenser i Tabell 3. Valgte grenser finner man markert i samme tabell.

*Tabell 3: Tabell over grenser for ujevnheter i overhøyde ved jernbanespor. Merket i rødt finner man benyttede grenser ved dette tiltaket.*

Tabell: Tillatte ujevnheter i overhøyde

| Kvalitetsklasse | Hastighet (km/h) | Ujevnheter i overhøyde (+/- mm) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Nyjustert spor | Vedlikeholdsgrense | Tiltaksgrense |
| Q0 | 230 < V ≤ 300 | 3 | 6 | 8 |
| Q1 | 160 < V ≤ 230 | 3 | 6 | 8 |
| Q2 | 120 < V ≤ 160 | 4 | 6 | 9 |
| Q3 | 80 < V ≤ 120 | 4 | 8 | 11 |
| Q4 | 40 < V ≤ 80 | 5 | 10 | 13 |
| Q5 | V ≤ 40 | 5 | 10 | 15 |

Grenser for tillatte vindskjevheter finner man i Tabell 4. Valgte grenser er markert i samme tabell.

*Tabell 4: Tabell over grenser for tillatte vindskjevheter. Benyttede grenser finner man markert med rødt.*

Tabell: Tillatte vindskjevheter med 2 meter målebasis

| Kvalitetsklasse | Hastighet (km/h) | Vindskjevhet (+/- mm) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Nytt spor | Nyjustert spor | Vedlikeholdsgrense | Tiltaksgrense | Umiddelbar grense | |
| | | | | | | R ≥ 400 m 1) | R < 400 m 1) |
| Q0 | 230 < V ≤ 300 | 2 | 2 | 6 | 7 | 10 | - |
| Q1 | 160 < V ≤ 230 | 2 | 2 | 6 | 7 | 10 | - |
| Q2 | 120 < V ≤ 160 | 2 | 2 | 7 | 10 | 14 | - |
| Q3 | 80 < V ≤ 120 | 3 | 3 | 7 | 10 | 14 | 12 |
| Q4 | 40 < V ≤ 80 | 4 | 4 | 7 | 10 | 14 | 12 |
| Q5 | V ≤ 40 | 5 | 5 | 7 | 10 | 14 | 12 |

### 2.2.6 Oppsummering av kategorier og klasser

I Tabell 5 finner man alle valg av klasser og kategorier oppsummert.

*Tabell 5: Valg av klasser og kategorier for tiltak for planlagt tiltak ved Langnes*

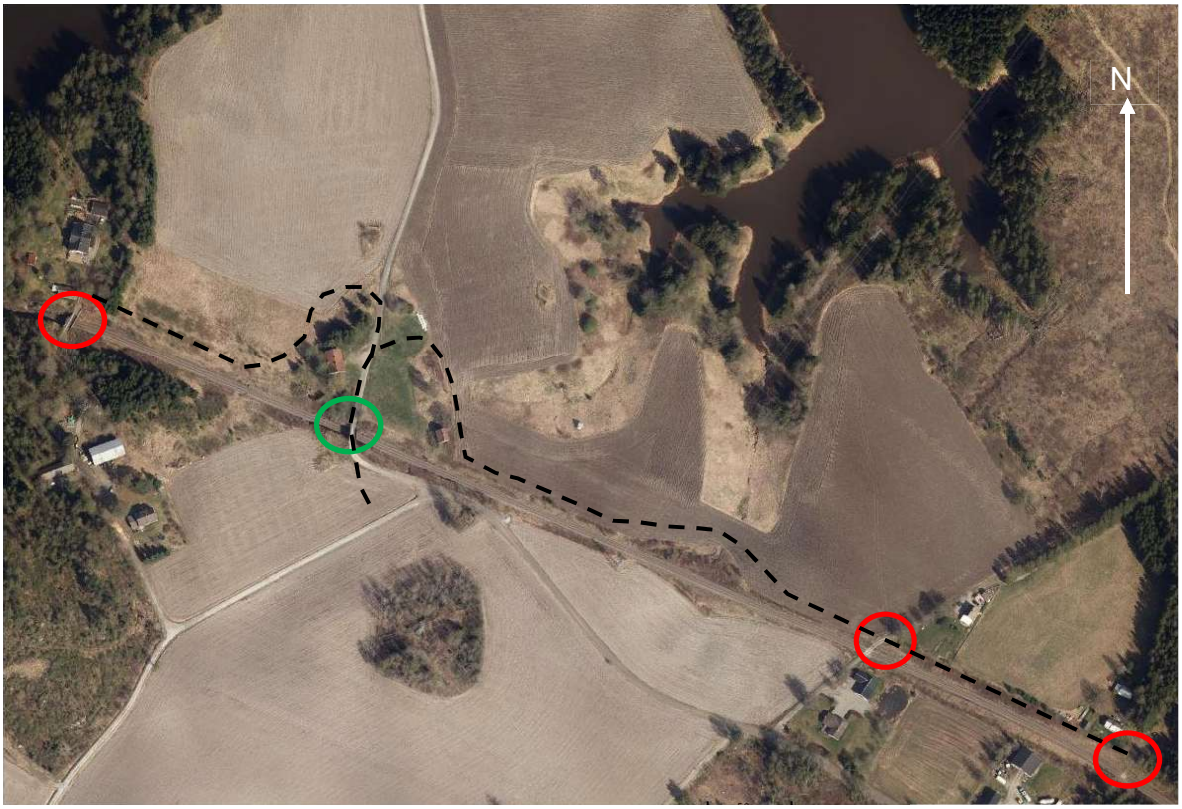
| | |
|---|---|
| **Konsekvens-/pålitelighetsklasse (CC/RC) I henhold til Eurokode 0 og Teknisk Regelverk** | |
| Konsekvens-/ pålitelighetsklasse for bro | CC/RC 3 |
| Konsekvens-/ pålitelighetsklasse for fylling til landbruksvei | CC/RC 3 |
| **Prosjekteringskontroll og utførelseskontrollklasse (PKK/UKK)** | |
| Prosjekteringskontroll og utførelseskontrollklasse for bro | PKK/UKK 3 |
| Prosjekteringskontroll og utførelseskontrollklasse for fylling til landbruksvei | PKK/UKK 3 |
| **Geoteknisk Kategori i henhold til Eurokode 7** | |
| Geoteknisk Kategori for bro | 2 |
| Geoteknisk kategori for landbruksvei | 2 |
| **Kvikkleireveileder 1/2019** | |
| Landbruksvei og veifylling | K2 |

# 3 GRUNNLAG

## 3.1 Grunn- og terrengforhold

### 3.1.1 Dagens situasjon

Området ligger i dag i nærheten av dyrket mark, fjell i dagen og skog ved siden av Østfoldbanen. Mot nord heller terrenget ned i raviner ned mot Glomma. Det er fire planoverganger, to planoverganger med bro og to på nivå med banen. Planovergangene med bro er fundamentert på fjell. Tre planoverganger skal saneres og det etableres landbruksveier til en felles planovergang som går i bro over jernbane. Se Figur 3-1 for flyfoto over området og skisse av tiltak.

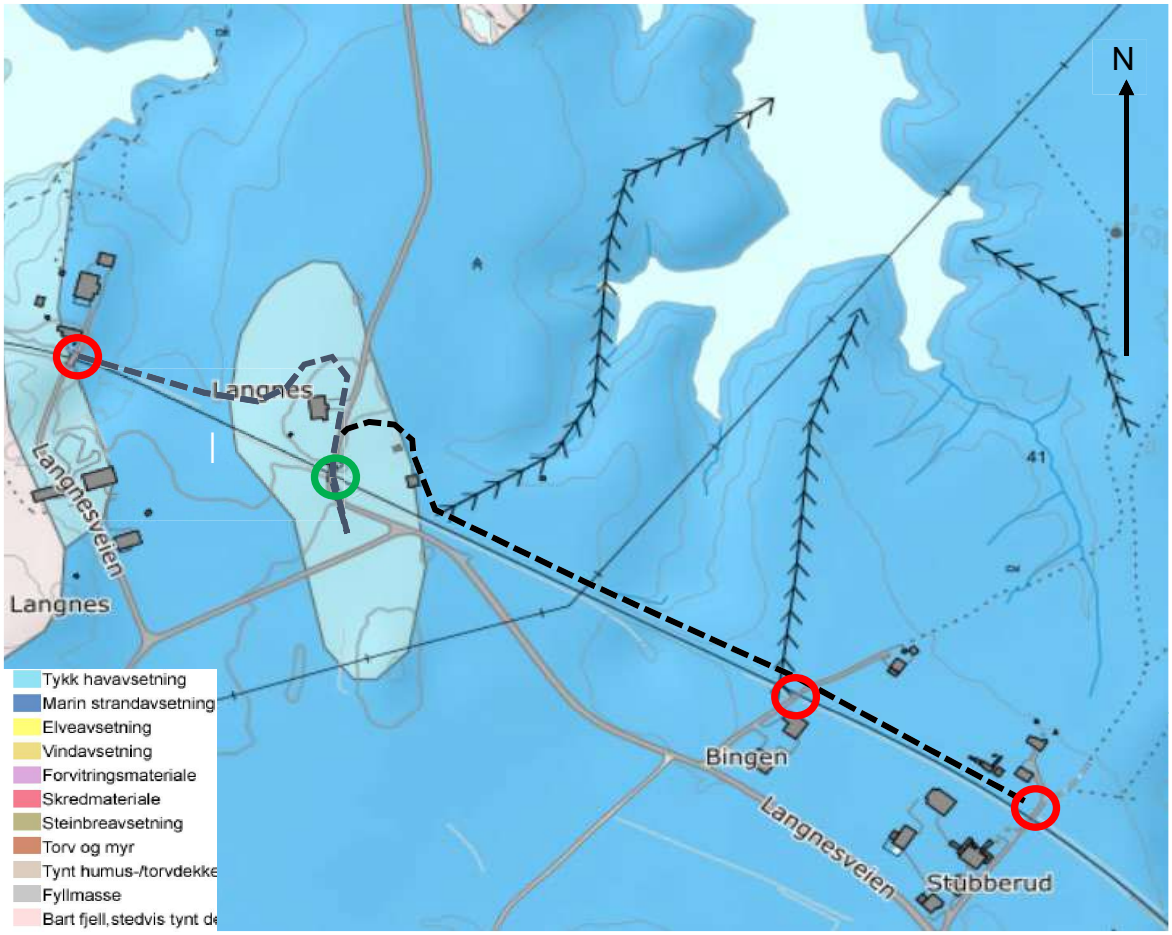



*Figur 3-1: Flyfoto fra 2018 over området. Stiplet linje indikerer ca. posisjon for planlagt landbruksvei. Røde sirkler indikerer planoverganger som skal saneres. Grønn sirkel indikerer bro som skal utskiftes.*

### 3.1.2 Nasjonal kartdatabase

Fra løsmassekartet til NGU kan man se at området er preget av hovedsakelig tykke havavsetninger. Enkelte områder har tynne havavsetninger og i vest er det synlig fjell i dagen, se Figur 3-2.

I henhold til NVE sitt aktsomhetskart faller område innunder «Mulighet for sammengende forekomster marin leire» (MML). Videre er området under marin grense.




*Figur 3-2: Løsmassekart fra NGU over området. Planlagt vei er indikert med stiplet linje. Planoverganger er indikert med sirkler, der rød sirkel indikerer overganger som skal saneres og grønn indikerer bro som skal utskiftes.*

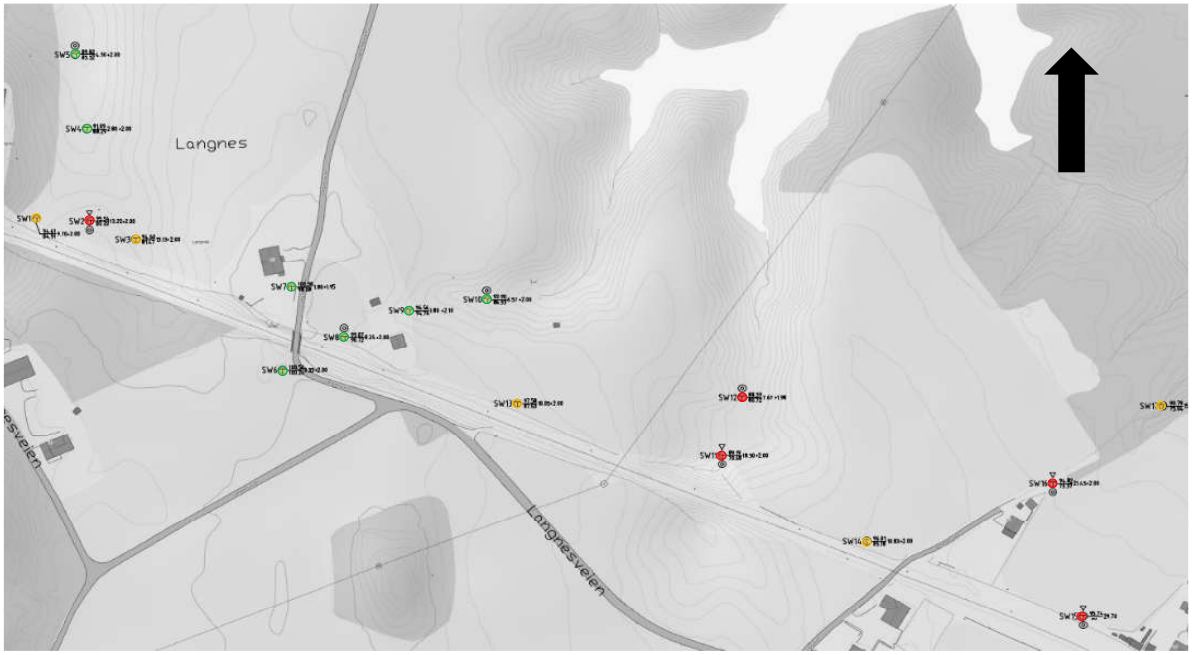
### 3.1.3 Grunnundersøkelser

Det ble utført grunnundersøkelser i perioden august, 2021 av Sweco Norge AS. Se Figur 3-3 for posisjon til borhull og hvilke borhull som har påvist sprøbruddsmateriale. Dybdene varierte fra 0,32 - 21,45 m til berg. Det ble totalt utført 17 totalsonderinger og tatt 8 prøveserier (35 sylinderprøver totalt) samt utført 4 trykksonderinger. Sylinderprøver ble sendt til NGI. Det ble utført rutineforsøk på 33 prøver og WpWI på 23 prøver. Det ble utført totalt 4 ødometertester fordelt på SW11 og SW16.

#### 3.1.3.1 Sonderinger

Totalsonderingene viser stabilt lave sonderingsmotstander i SW1-SW5. Dybden til fjell varierer fra 2,5 til 13 meter. I SW2 indikerer CPTu middels fast – fast leire hele veien ned til 13 meter.
Sonderingene SW6, SW7 og SW9 indikerer < 2 meter tykt løsmasselag over fjell. Nærliggende bro er fundamentert på berg.
SW8 og SW10 indikerer et topplag på tre meter med middels høy til lav sonderingsmotstand. Under dette finner man et svakere lag over berg som befinner seg på 6-8 meter. Nærmest fjell ser man at sonderingsmotstanden varierer noe og er stedvis høy.

I SW13 er sonderingsmotstanden lav til middels høy ned til ca. 3,5 meter. Herfra synker sonderingsmotstanden ned til avsluttet boring på 10 meter.
SW 11 og SW 12 indikerer et topplag på 1-2 meter med middels høy sonderingsmotstand. Det går deretter over i et lag med lav sonderingsmotstand som synker ned til fjell på omtrent 18 meter. CPTu i SW11 indikerer en bløt – middels fast leire ned til fjell.
SW14 indikerer en middels høy sonderingsmotstand ned til 11 meter. Det er noen tynnere lag med lav sonderingsmotstand.
SW 15 og SW 16 indikerer begge en synkende sonderingsmotstand med dybden fra omtrent 6 meter. Sonderingsmotstanden er lavere i SW15. I SW15 ble boring avsluttet på 30 meter, men nådde ikke ned til fjell. CPTu i SW16 indikerer en middels fast leire ned til avsluttet sondering på 18 meter.




*Figur 3-3: Oversikt over undersøkelser utført i område. Rød sirkler indikerer påvist/sannsynlig sprøbruddsmateriale. Oransje sirkler indikerer potensielt sprøbruddsmateriale. Grønne sirkler indikerer at det ikke er påtruffet/usannsynlig sprøbruddsmateriale.*

#### 3.1.3.2 Laboratorieundersøkelser

Resultater fra rutineundersøkelsene er sammenfattet i vedlegg til datarapporten [1]. Det ble i hovedsak påvist leire med innslag av silt i prøvene. Det ble påvist sprøbruddsmateriale i SW2, SW11, SW12, SW15 og SW16.

# 4 GEOTEKNISK VURDERING

## 4.1 Innledende vurdering

Det er planlagt å etablere landbruksvei som går fra de sanerte planovergangene og deretter langs jernbanen, til ny bro over jernbanen. Dette medfører stedvis høye veifyllinger for å slake ut veibanen. Avstanden fra veimidt til spormidt vil på det nærmeste være 9 meter. De er gjort vurdering av lokal- og områdestabilitet fra veifyllingen og ned de nærliggende ravinedalene. Det er i tillegg blitt gjort en vurdering på setningspåvirkningen til veifyllingene på jernbanen. Setningspåvirkningen er vurdert å være størst ved pel 230 på vestsiden av eksisterende bro og ved pel 375 på østsiden. Se veitegning B001, samt profil 1 og profil 3 i Figur 4-1.

## 4.2 Områdestabilitetsvurdering

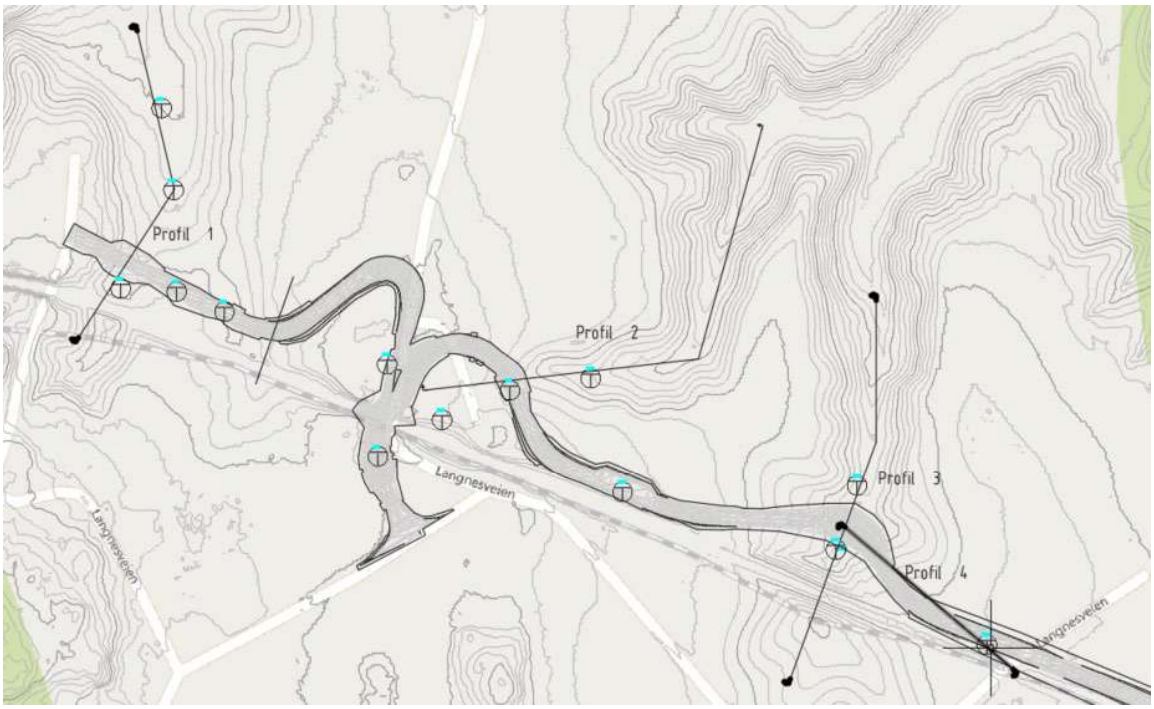
Området befinner seg under marin grense og skal vurderes etter kvikkleireveileder 1/2019. Området vurderes innledningsvis etter steg 1-4 i veileder for profilene:

*1. Undersøk om det finnes registrerte faresoner i området*
Det er ikke registrerte faresoner i området

*2. Avgrens områder med mulig marin leire.*
Området befinner seg innenfor aktsomhetsområde for mulig sammenhengende lag med marin leire (MML).

*3. Avgrens områder med terreng som kan være utsatt for områdeskred.*
Raviner i område er brattere enn 1:20. Det er foreslått større veifyllinger i nærheten av disse.

*4. Bestem tiltakskategori*
Jernbanebro er vurdert til å falle innunder K4. Broen kommer derimot til å være fundamentert på berg og det er derfor ikke behov for videre utredning av dette tiltaket. Broen ligger heller ikke i et utløpsområde for evt. områdeskred.
Veifyllingene er vurdert til å være K2. I henhold til punkt 4 i prosedyren for utredning av områdeskredfare skal tiltak i K2 dokumentere tilstrekkelig sikkerhet iht. kapittel 3.3.5. For tiltak kategorisert til K2 er kravet til sikkerhet oppfylt hvis tiltaket ikke forverrer stabiliteten. Dersom stabiliteten forverres kreves en absolutt sikkerhet på $F>1,61$ og $F\varphi>1,25$. Det er ikke behov for soneutredning.
Det er gjort en vurdering med tanke på valg av kritiske profiler, knyttet til tiltakets påvirkning, grunnforhold og skråningshelning. Det er valgt ut 4 profiler som trenger videre utredning, som er alle knyttet til ravinene som går ned til Glomma og Gudimevja (Figur 4-1). Ved Profil 3 er det kun vurdert lokal stabilitet, siden helningen i bunn av ravinen er slakere enn 1:15. Ved Profil 4 gjøres det en vurdering av dagens stabilitet og stabiliteten etter tiltak er gjennomført.




*Figur 4-1: Valgte kritiske profiler ved tiltaksområdet.*

Det er blitt utført grunnundersøkelser i området som man finner i egen rapport [1].
Ved Profil 1 er det vurdert at tiltaket vil kunne forverre stabiliteten. Helningen er stedvis brattere enn 1:15 i ravinen. Stabiliteten er beregnet til å være F=1,67 og Fφ=1,65, som er tilstrekkelig. Se Vedlegg 1 for beregninger.
Det er ikke gjort funn av sprøbruddsmateriale ved Profil 2 og det er følgelig ikke mulighet for områdeskred her. Det er også registrert kort avstand til berg ved borpunkt SW9, som befinner seg under veifyllingen. Det er gjort beregninger av lokal stabilitet.
Ved Profil 3 er helningen i bunn av ravinen for slak til å utløse områdeskred som følge av påkjenning mot grunnen fra veifyllingen. Det er gjort beregninger av lokal stabilitet.
Ved Profil 4 er det vurdert at tiltaket vil forbedre stabiliteten, i og med at det fylles inn i bunn av ravinen. Dette bekreftes fra beregning av stabiliteten i begge tilstander. Sikkerheten ligger på Fc=1,47 før tiltak og Fc= 2,36 etter tiltak. Se Vedlegg 1 for beregninger.
Stabilitetsberegninger er dokumentert i vedlegg 1.

## 4.3 Lokal stabilitet

Det er utført beregning av lokal stabilitet for vegfylling ved 3 profiler som er tidligere nevnt i områdestabilitetsberegningene. Beregningene for alle profilene finner man i Vedlegg 1. Ved Profil 1 er sikkerheten lavest i skråningen til veifyllingen og ligger på F=1,65. Ved dypere bruddsirkler øker sikkerheten til Fc=1,99.
For Profil 2 er sikkerheten beregnet til å være F=2,10 og Fφ=1,84, som er tilstrekkelig. Den reelle stabiliteten er antageligvis høyere fordi det er gjort en meget forsiktig antagelse hvor dybden til berg faller umiddelbart etter SW9 og går deretter gradvis ned til bergdybde ved SW10. Tykkelsen av det svakeste laget er også antatt å være tykt.
For Profil 3 er dagens situasjon funnet til å ha en sikkerhetsfaktor på Fc=1,23. Den planlagte vegfyllingen ligger ca. 30 meter unna jernbanefyllingen. Helningen i bunn

av ravinen er slakere enn 1:20, så det vurderes kun lokal stabilitet av vegfyllingen. Tiltaket ligger helt i grensen av 30-meterssonen og det vurderes at det bør oppnås en sikkerhetsfaktor på minst F=1,6. Denne sikkerheten ble oppnådd ved å slake ut skråningen som heller mot bunn av ravinedalen til 1:3. Sikkerhetsfaktor ble beregnet til å være minimum F=1,62 og Fφ =2,48. Det er kontrollert bruddsirkel i begge skråningene på veifyllingen. Skråningen som er vendt mot jernbanen oppnår en sikkerhet på F=1,63, med en helning på 1:2.
Det er vurdert at sikkerheten er tilstrekkelig for alle tiltakene. For veifyllingen ved Profil 3 er det funnet at skråningshelningen på fyllingen kan være 1:2 på den sørlige siden og må slakes ut til 1:3 på den nordlige siden.
Stabilitetsberegninger er dokumentert i vedlegg 1.

## 4.4 Setninger

Det har tidligere vært et ønske om å legge veifyllingen nærmest mulig jernbanen for å beslaglegge minst mulig dyrkbart areal. Området har derimot en del bløt leire, som vil kunne sette seg relativt mye ved tilleggsbelastning. Det ble innledningsvis sett på en løsning hvor veifyllingen er så nærme som reglene tillater det. Selv om stabiliteten mot jernbanen var tilstrekkelig, og i enkelttilfelle ble forbedret, så viste det seg at setningene som oppstod på jernbanen var utenfor tillatt grense (3-5 cm). I henhold til Teknisk Regelverk så ligger vedlikeholdskravet for totalsetninger på 1 centimeter og krav for maksimum vindskjevhet på 7 mm. Det ble derfor vurdert å flytte de største veifyllingene vekk fra sporet.

Ved Profil 1 så er det et område mellom jordet og jernbanen som ikke blir benyttet til jordbruk. Veifyllingen kunne derfor vurdert å kunne flyttes mot nordøst uten å beslaglegge jordbruksarealet som benyttes. Se Figur 4-2 for oversiktskart over området dette angjelder.

*Figur 4-2: Rød stiplet felt indikerer hvor det anses at veifyllingen kan flyttes fritt innenfor, uten konflikt med jordbruksareal.*

Setningene som oppstår ved sporet til jernbane som følge av veifyllingen flyttes 18 meter unna er beregnet til å ligge på omtrent 5 mm, som vurderes som akseptabelt. Se Vedlegg 2 for beregninger.
Ved profil 3 er det også gjort en beregning for setninger ved jernbanefyllingen som går over ravinedalen. I de innledende beregningene, hvor veifyllingen lå på jernbanefyllingen, var det beregnet setninger på 3-5 cm. Det ble derfor vurdert at man må flytte veien lengre mot nordøst. Dette området består derimot i dag av et belte med dyrkbar jord som også er en passasje mellom to større jordlapper. Se Figur 4-3 for oversiktskart over gjeldende område.

*Figur 4-3: Oversiktskart over veifyllingens utstrekning med tanke på jernbanen og jorder.*

Foten av veifyllingen ligger med denne endringen 28 meter unna spormidt. Setningene ligger på omtrent 5 mm. Dette anses som akseptabelt.
Begge fyllingene er vurdert til å være sikre både med tanke på setningspåvirkning av jernbanen og stabilitet.
Det er videre gjort beregninger i PLAXIS. Med PLAXIS får man også bedre kontroll over tidsutviklingen av setninger. Høyden på veifyllingen er redusert og er flyttet til å ligge direkte på jernbanefyllingen. Det er gjort beregninger både med og uten lette masser. Se Vedlegg 3 for beregningshefte. Det er beregnet at terrenget under jernbanen vil sette seg 13 mm etter 4 år. Etter 14 år er totalsetningene omtrent 26 mm. Setningene flater ut vil ikke overstige 4 cm. Med lette masser oppnås 13 mm setninger etter ca. 16 år. Etter 27 år er totalsetningene 16 mm.
Det er vurdert at slike setninger er håndterbare med pakking/baksing av jernbanesporet. Det er også gjort stabilitetsberegning med den nye fyllingen. Fyllingen er vurdert å øke totalstabiliteten for jernbanefyllingen. Stabiliteten på fyllingene selv er også vurdert å være tilstrekkelig (Vedlegg 3).

I en eventuell anleggsfase må det vurderes å installere setningsmålere i terrenget og på jernbanesporet.

## 4.5 Bro

*Broen som skal skiftes ut er tidligere vært fundamentert på berg. Det ble også fra grunnundersøkelsene bekreftet at dybden til berg var beskjedne. Det er ikke knyttet. Berget bør kontrolleres av ingeniørgeolog, mtp. sprekker eller bergart som kan påvirke prosjekteringen.*

# 5 KONKLUSJON

Grunnundersøkelsene avdekket stedvis tykke avsetninger med leire. Det er påvist kvikkleire. Ved eksisterende broer er det påvist berg i dagen.
Det er vurdert at det foreslåtte tiltaket har tilstrekkelig område- og lokal stabilitet.
Den lokale stabiliteten er tilstrekkelig ved alle de største veifyllingene. Ved profil 3 må veiskråningen ha helning 1:3 for å oppnå tilstrekkelig stabilitet.
Innledningsvis var veifyllingene plassert nære jernbanen for å forhindre beslaglegning av unødvendig mye areal. Det ble derimot vurdert at setningene i dette tilfellet ble for store og de største veifyllingene måtte flyttes lengre vekk. Ved profil 1 er fyllingsfoten flyttet >15m meter unna spormidt, og ved profil 3 er fyllingsfoten >25 meter unna. Dette ga setninger ved jernbanen på ca. 5 mm. Det ble videre utført beregninger i PLAXIS, og veifyllingen ble nok en plassert nær jernbanen og høyden redusert så mye som mulig. Setningsutviklingen med vanlig fyllmasser ble funnet til å ligge på omtrent 13 mm etter 4 år, 16 mm etter 6 år og 26 mm etter 14 år.
Totalsetningene ser ikke ut til å overstige 4 cm. Med lette fyllmasser ligger setningen på 13mm etter 16 år. Totalsetningene ligger på ca. 1,8 cm.
Setningene er vurdert etter beregningene i PLAXIS vurdert til å være håndterbare med pakking/baksing. Det vil være et kost/nytte-dilemma om hvorvidt det er behov for lette masser eller ikke. Stabiliteten med den reduserte fyllingen er vurdert til å være tilstrekkelig, både knyttet til jernbanen og veifyllingen selv.
Ved planlagt nyetablert bro består grunnen i hovedsak av friksjonsmasser over berg. Berg er påtruffet <0,5 meter terreng.

# 6 REFERANSER


- [1] Sweco Norge AS, «10223223-001 RIG_R01_A01 Datarapport Grunnundersøkelser. Langnes PLO - Reguleringsplan», 23.11.2021

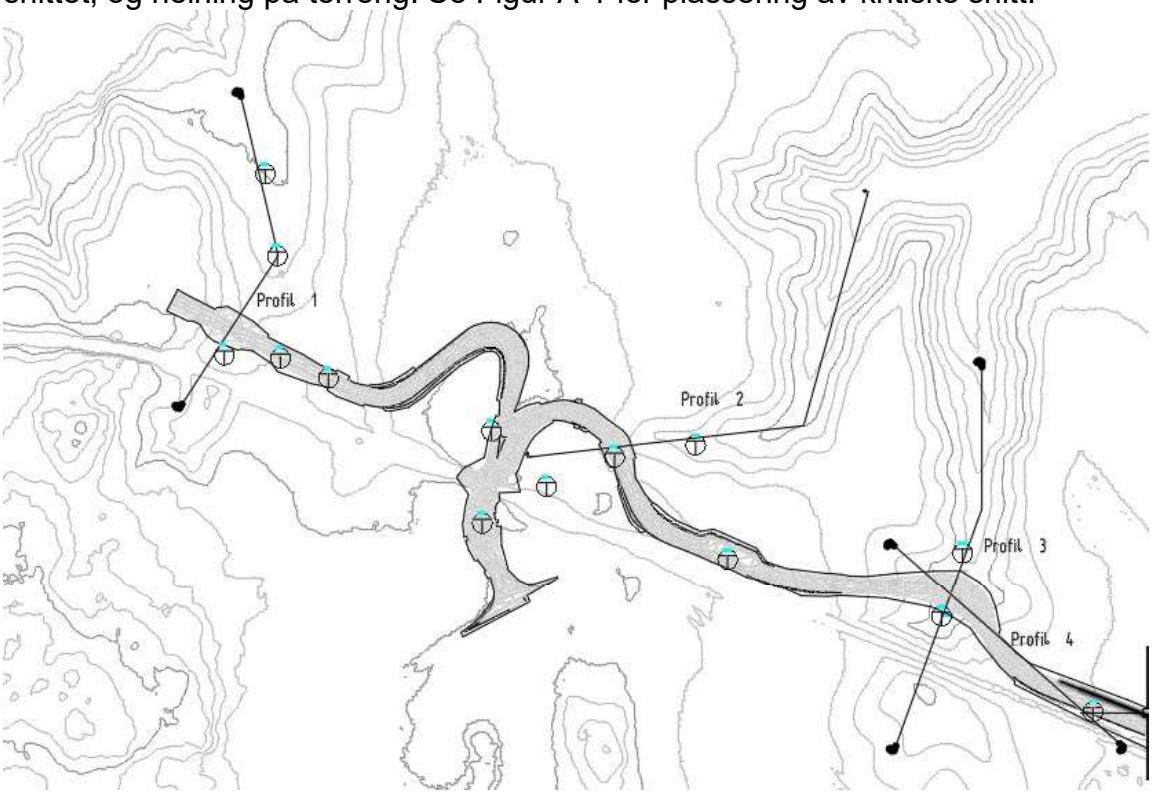
# 7 VEDLEGG

Vedlegg 1 Beregningshefte for skråningsstabilitet ved Langnes PLO
Vedlegg 2 Beregningshefte for setninger ved Langnes PLO
Vedlegg 3 Beregninger av setninger med Plaxis, Langnes PLO

# A) VEDLEGG 1: BEREGNINGSHEFTE FOR SKRÅNINGSSTABILITET VED LANGNES PLO

## Innledning

Det er beregnet 4 kritiske profiler ved Langnes knyttet til foreslått tiltak. Kritiske snitt er valgt ut ifra en kombinasjon av ugunstige grunnforhold, størrelse på veifylling ved snittet, og helning på terreng. Se Figur A-1 for plassering av kritiske snitt.

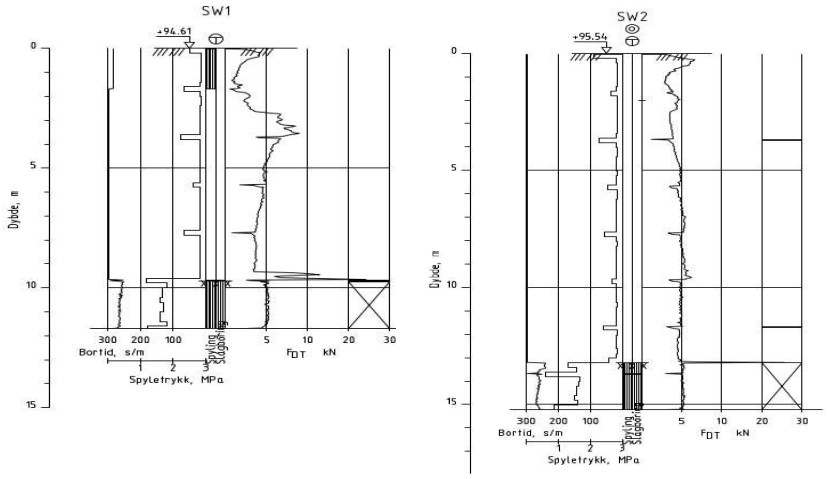



*Figur A-1: Oversiktskart med terrengmodell og utbredelse til planlagt tiltak. De sorte linjene representerer valgte kritiske profiler.*

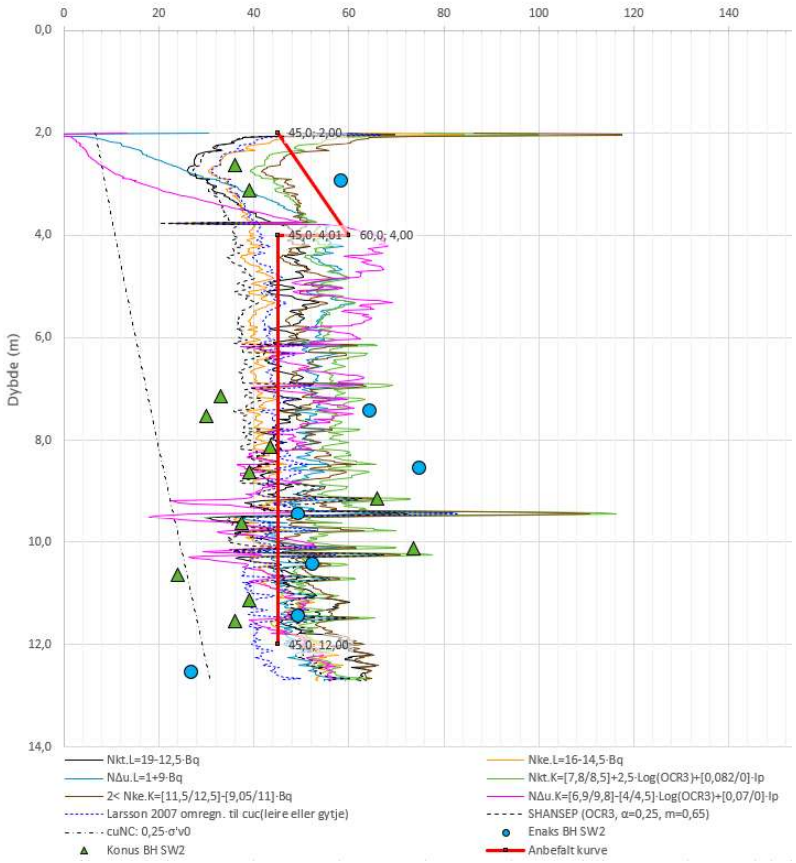
Det benyttes generelt en trafikklast på 19,5 kPa ved veifyllingen og 57 kPa ved jernbanen. Grunnvannet settes i grensen mellom tørrskorpeleire og bløtere leire. Jernbane- og veifyllingen er vurdert til å ha en friksjonsvinkel på henholdsvis 38 og 42 grader. Det er i tillegg benyttet en kohesjon på 3 kPa for jernbanefyllingen. Tyngdetettheten er satt til 19 kN/m^3.

## Stabilitetsberegninger ved profil 1

Profil 1 går igjennom borehullene SW1, SW4 og SW5. Dette profilet er valgt fordi det er her vegfyllingen vil være på sitt høyeste. Det er ikke utført CPTu i SW1, men det benyttes styrkeprofil fra SW2, hvor det er utført både prøvetaking og trykksondering. Se Figur A-2 for totalsonderinger for begge borhull. Fra CPTu og laboratorieundersøkelser er skjærfastheten tolket til å være 45 kPa ved 2 meter og økende til 60 kPa ved 4 meter. Fra 4 meter og ned til berg er fastheten deretter tolket til å være konstant 45 kPa (Figur A-3).
Videre nedover i terrenget blir dybden til berg noe kortere og skjærfastheten høyere, jamfør totalsonderinsprofiler i SW4 og SW5, samt prøvetaking i SW5. Prøvetakingen i SW5 indikerer en uforstyrret skjærfasthet mellom 55 kPa og 93 kPa.




*Figur A-2: Totalsonderinger ved SW1 og SW2 ved Langnes.*



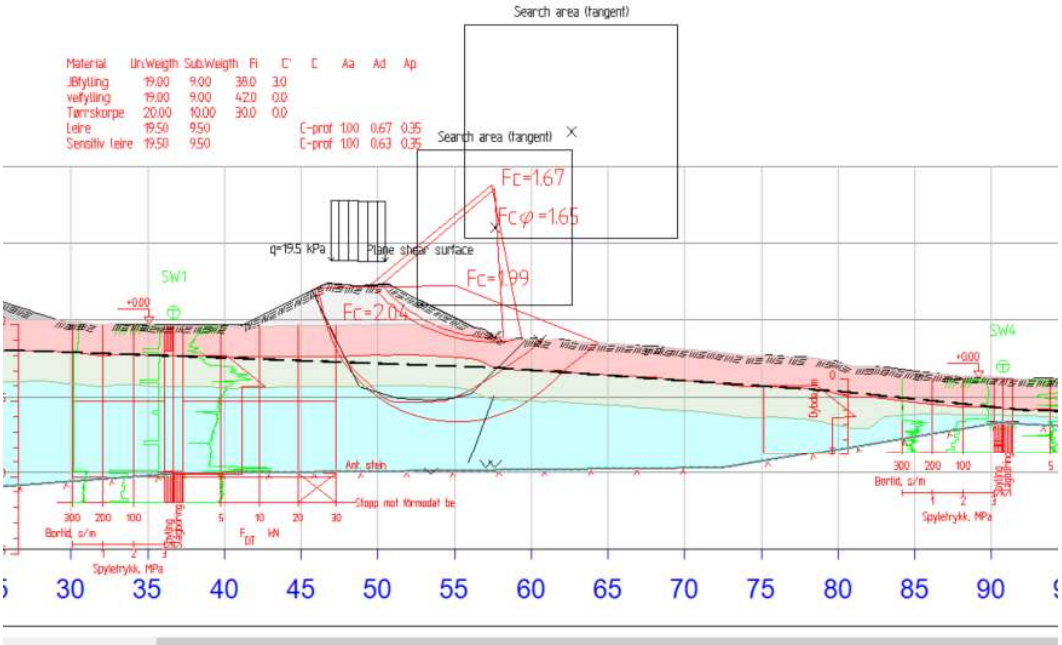

*Figur A-3: Tolket skjærfasthetsprofil fra CPTu i SW2.*

Inngangsparametere for beregningene er bestemt fra erfaringsdata og CPTu/prøvetaking. Se Figur A-4 for inndata. ADP-faktorene er bestemt for hvert lag med bakgrunn i tilgjengelig plastisitetsindeks.

| Name | CAD | Color | p [kN/m³] | p' [kN/m³] | Drained | Ø [°] | C' [kPa] | C' in % | C [kPa] | Add | Aa | Ad | Ap |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| JBfylling | Geometry < | | 19,00 | 9,00 | ☑ | 38,0 | 3,0 | ☐ | | ☐ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| veifylling | Geometry < | | 19,00 | 9,00 | ☑ | 42,0 | 0,0 | ☐ | | ☐ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Tørrskorpe | Geometry < | | 20,00 | 10,00 | ☑ | 30,0 | 0,0 | ☐ | | ☐ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Leire | Geometry < | | 19,50 | 9,50 | ☐ | | | ☐ | 0,0 | ☑ | 1,00 | 0,67 | 0,35 |
| Sensitiv leire | Geometry < | | 19,50 | 9,50 | ☐ | | | ☐ | 0,0 | ☑ | 1,00 | 0,63 | 0,35 |

*Figur A-4:Inngangsparametere for løsmassene ved profilet.*

Beregningene ble utført med Beast 2003 med «optimize» og «tangent». Det ble i tillegg kjørt en beregning i drenert tilstand for leiren, hvor friksjonsvinkelen ble satt til 25 grader, som er konservativt tolket fra CPTu. Sikkerhetsfaktoren ble funnet til å være 1,67 i udrenert tilstand og 1,65 i drenert. Se Figur A-5 for resultater. Sikkerheten er vurdert til å være tilstrekkelig.

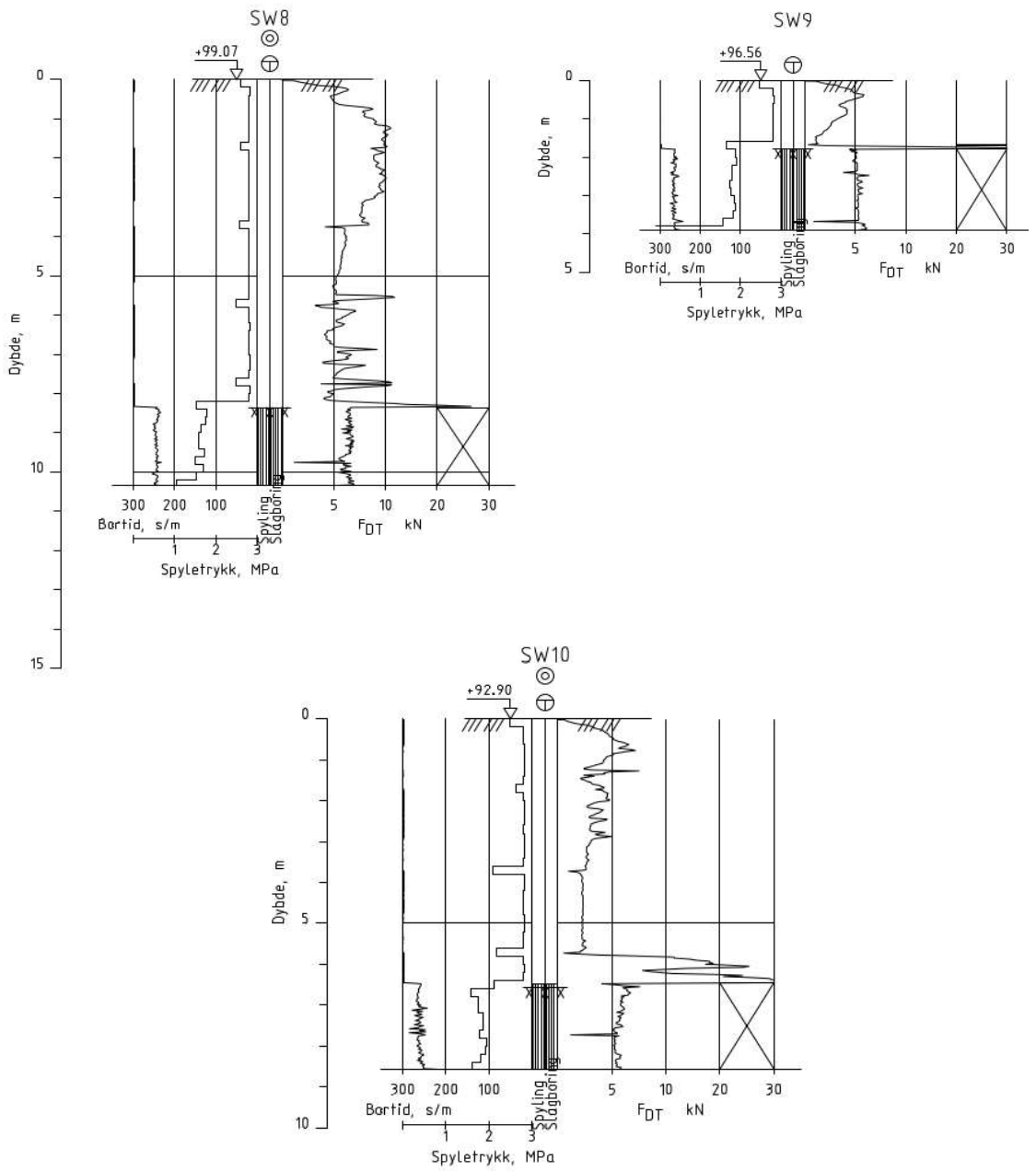



*Figur A-5: Resultater fra beregninger av stabilitet ved profil 1.*

## Stabilitetsberegninger ved profil 2

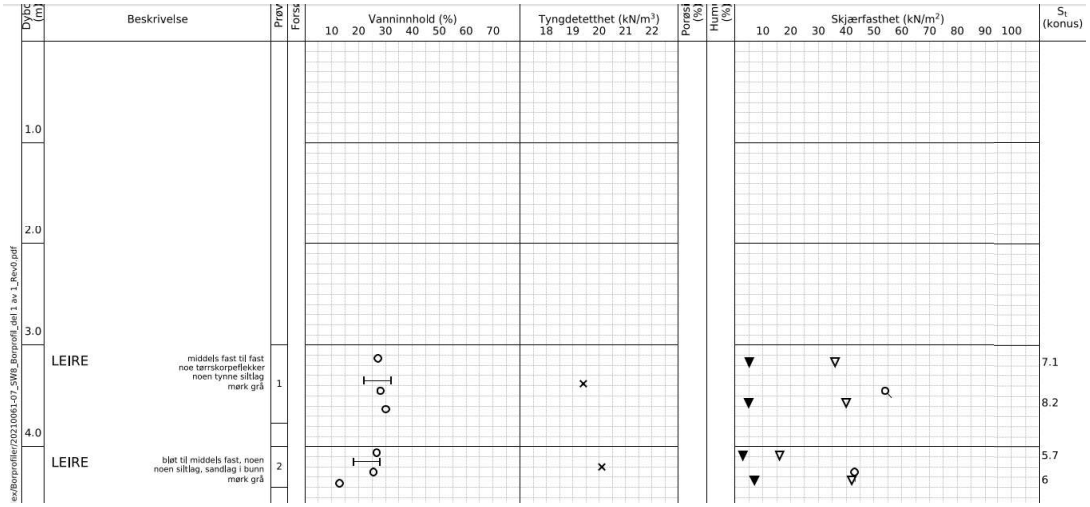
Ved profil 2 er det ikke påvist sprøbruddsmateriale. Leiren tolkes til å være bløt til middels fast. Det er ikke fare for å initiere områdeskred, men det gjøres en vurdering av den lokale stabiliteten.

Dybden til fjell under veifyllingen er omtrent 2 meter (SW9), men berg går dypere ned mot ravinen (SW10). Se Figur A-6 for totalsonderingsprofiler langs profilet.
Det er ikke utført trykksonderinger langs profilet og inngangsparametere er bestemt ut fra laboratorieresultater. Ved SW8 er skjærfastheten funnet til å være mellom 35-55 kPa. I SW10 er skjærfastheten noe lavere og ligger mellom 25-38 kPa. Laboratorieundersøkelsene finner direkte skjærstyrke og det må derfor justeres til aktiv skjærstyrke.



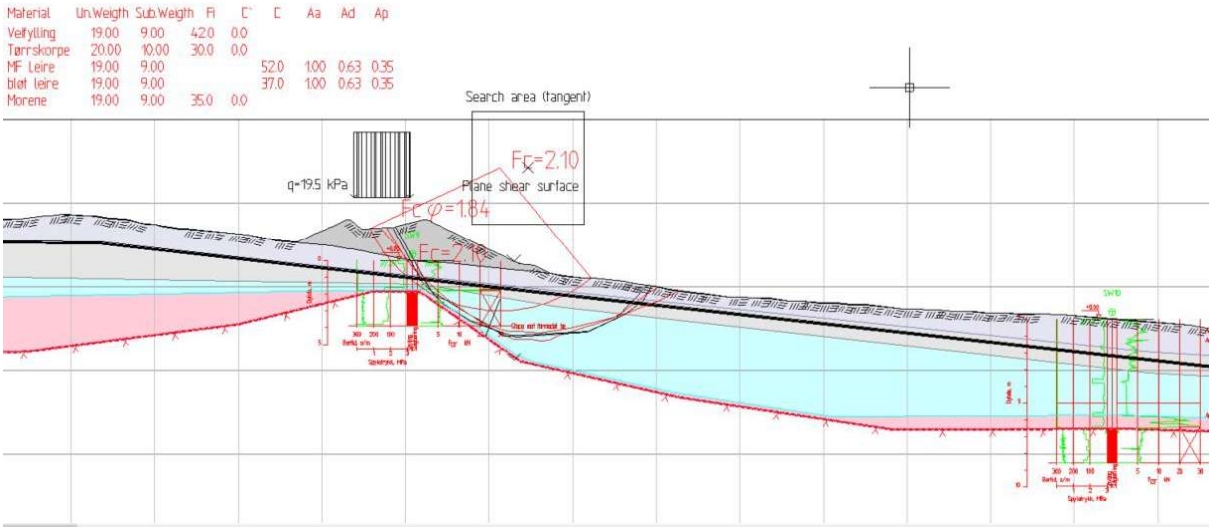

*Figur A-6: Totalsonderinger langs profil 2.*

Inngangsparametere for beregningene er bestemt fra erfaringsdata og prøvetaking. Se Figur A-7 for laboratorieresultater fra SW8. Det benyttes minimum ADP-faktorer for leiren.




*Figur A-7: Inngangsparametere for beregning av stabilitet for profil 2.*

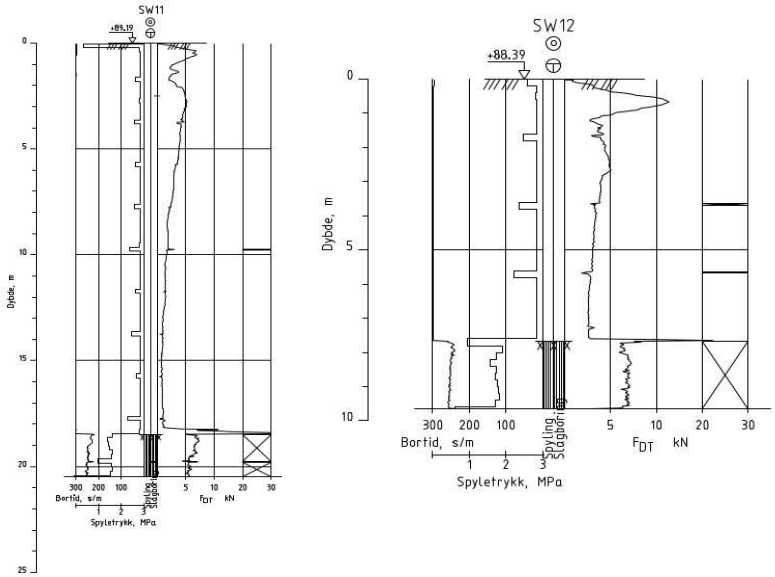
Beregningene ble kjørt med Beast 2003 «optimize» og «tangent». Det ble i tillegg kjørt en beregning i drenert tilstand for leiren, hvor friksjonsvinkelen ble satt til 25 grader. Sikkerhetsfaktoren ble funnet til lavest å være F= 2,10 i udrenert tilstand. Ved beregninger av samme bruddsirkel, men da for drenert tilstand, finner man en sikkerhetsfaktor på Fø=1,84. Se Figur A-8 for resultater. Sikkerheten er derfor vurdert til å være tilstrekkelig.



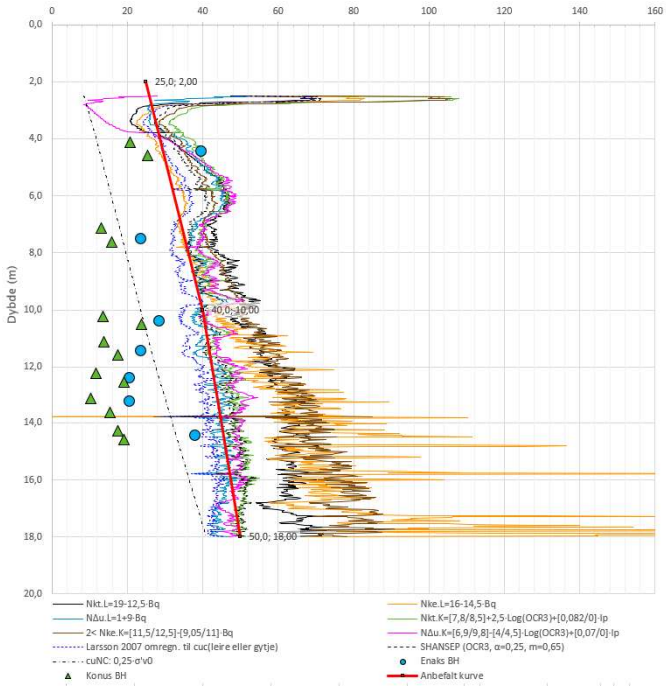

*Figur A-8: Resultater fra beregninger av stabilitet ved profil 2.*

## Stabilitetsberegninger ved profil 3

Det er påvist kvikkleire langs profil 3 ved begge borpunktene (SW11, SW12).
Dette profilet er valgt fordi det er her vegfyllingen er på det høyeste. Fjell er tolket til å ligge på 18 meter nærmest jernbanen og 8 meter i SW12. Se Figur A-9 for totalsonderinger langs profilet. Fra CPTu og laboratorieundersøkelser er skjærfastheten tolket til å være 25 kPa ved 2 meter og økende til 40 kPa ved 10 meter. Fra 10 meter og ned til avsluttet sondering på 18 meter øker skjærfastheten til 50 kPa. Se Figur A-10 for styrkeprofil.




*Figur A-9: Totalsonderinger langs profil 3.*



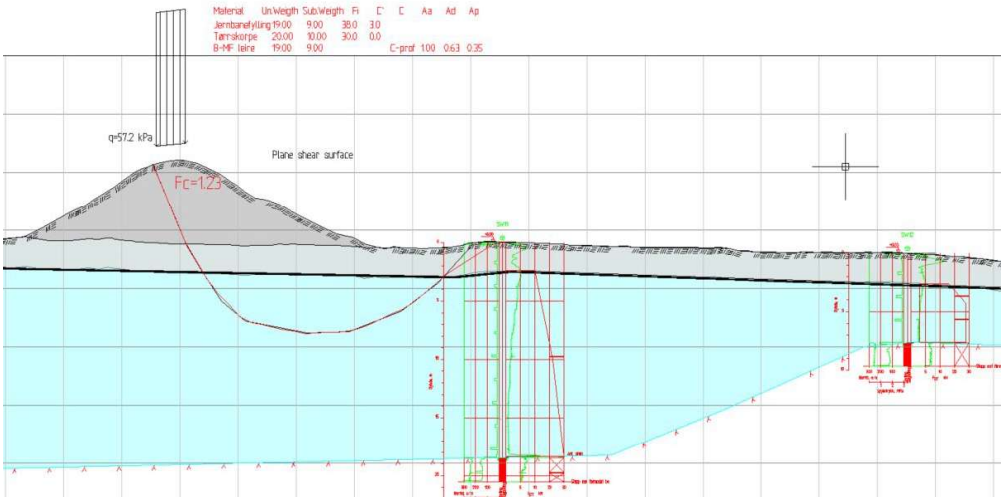

*Figur A-10: Styrkeprofil med laboratorieforsøk markert for hver dybde.*

Det utføres først en stabilitetsberegning av dagens situasjon. Inngangsparametere er bestemt etter CPTu / prøvetaking i SW11. Se Figur A-11 for inndata til modell.

| Name | CAD | Color | ρ [kN/m³] | ρ' [kN/m³] | Drained | Ø [°] | C' [kPa] | C' in % | C [kPa] | Add | Aa | Ad | Ap |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jernbanefylling | Geometry < | | 19,00 | 9,00 | ☑ | 38,0 | 3,0 | ☐ | | ☐ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Tørrskorpe | Geometry < | | 20,00 | 10,00 | ☑ | 30,0 | 0,0 | ☐ | | ☐ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| ▶ B-MF leire | Geometry < | | 19,00 | 9,00 | ☐ | | | ☐ | 0,0 | ☑ | 1,00 | 0,63 | 0,35 |

*Figur A-11: Inngangsparametere for beregning av stabilitet for dagens situasjon.*

Dagens situasjon indikerer at sikkerheten er F=1,23, ved å benytte «optimize». Dette er nok lavere enn realiteten, siden leiren under fyllingen er mer komprimert enn leiren ved SW11. Sikkerhetsfaktoren er uansett ansett som noe lav. Se Figur A-12 for resultater. Det er ikke benyttet 3D-effekt for denne beregningen.



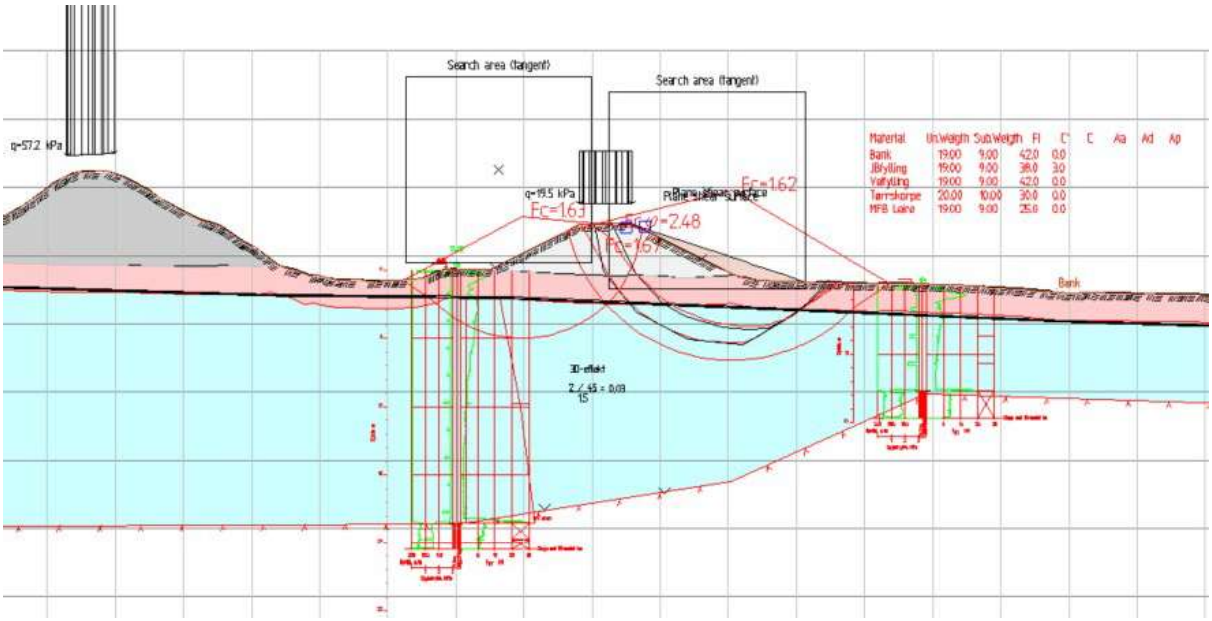

*Figur A-12: Resultater fra beregning av stabilitet av dagens situasjon.*

Veifyllingen vil legges på nordsiden av jernbanefyllingen, med skråninghelning på 1:2. I og med at terrenget i bunn av skråningen er relativt flatt, vil man kunne anta at veifyllingen kun vil bidra positivt til stabiliteten. Det er uansett et krav på at lokal stabilitet må være F>1,6. Dette var ikke mulig med skråning på 1:2 på veifyllingen. Det ble derfor lagt til et lag «bank» hvor man legger til motfylling. Det ble i dette tilfellet benyttet til å teste andre helninger på veifyllingen. Se Figur A-13 for inndata.

| Name | CAD | Color | ρ [kN/m³] | ρ' [kN/m³] | Drained | Ø [°] | C' [kPa] | C' in % | C [kPa] | Add | Aa | Ad | Ap |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bank | Geometry < | | 19,00 | 9,00 | ☑ | 42,0 | 0,0 | ☐ | | ☐ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Fylling | Geometry < | | 19,00 | 9,00 | ☑ | 42,0 | 0,0 | ☐ | | ☐ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Jernbanefylling | Geometry < | | 19,00 | 9,00 | ☑ | 38,0 | 3,0 | ☐ | | ☐ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Tørrskorpe | Geometry < | | 20,00 | 10,00 | ☑ | 30,0 | 0,0 | ☐ | | ☐ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| ▶ MF-B Leire | Geometry < | | 19,00 | 9,00 | ☐ | | | ☐ | 0,0 | ☑ | 1,00 | 0,63 | 0,35 |

*Figur A-13: Inndata for beregning av stabilitet etter etablering av veifylling.*

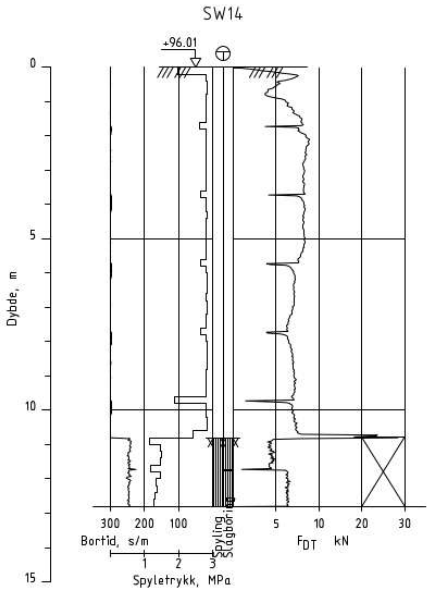
Ved å øke helningen på veifyllingen til 1:3, oppnådde man tilstrekkelig sikkerhet på 1,62 (Figur A-14). Det er kun nordsiden av fyllingen som har behov for 1:3-helning. Sørsiden kan beholde helning på 1:2. Det er benyttet en 3D-effekt på profilet, hvor det antas en lengde på 45 meter. 3D-effekten skal benyttes med forsiktighet og er redusert med en faktor på 1,5.




*Figur A-14: Resultater fra beregning avstabilitet med slakere skråningshelning i nord.*

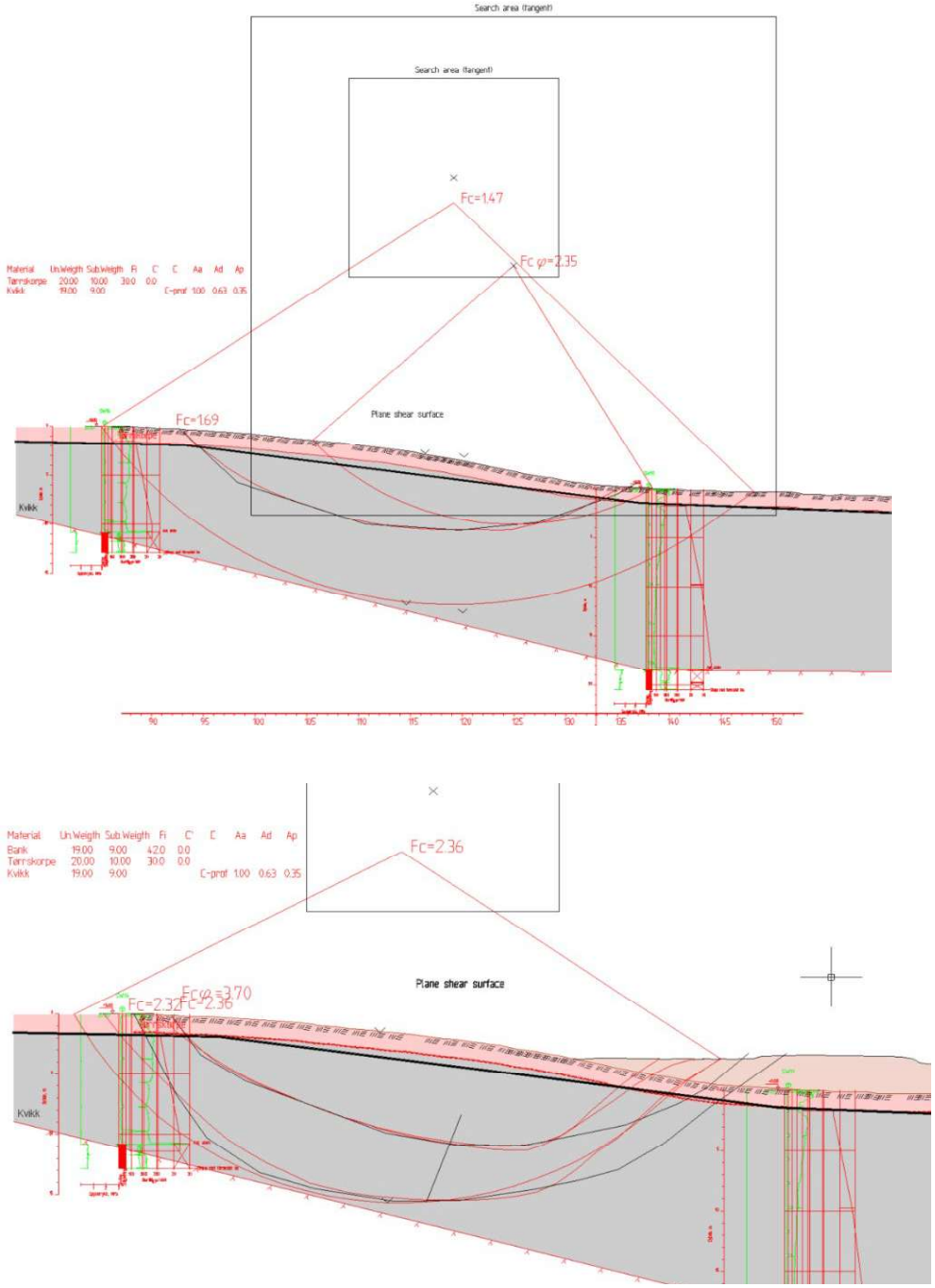
## Stabilitetsberegninger ved profil 4

Det er også sett på dagens stabilitet av ravinen ved på tvers av profil 3. Styrkeprofilet fra CPTu i SW11 benyttes også her. I tillegg benyttes SW14 til å bestemme dybden til berg ved toppen av skråningen. Se Figur A-15 for totalsondering til SW14.




*Figur A-15: Totalsondering SW 14, som ligger nærmest starten av profil 4.*

Beregninger indikerer en sikkerhet på Fc=1,47 (Figur A-16) i dagens situasjon. Tiltaket er deretter skisset inn omtrentlig for å se effekten av det planlagte tiltaket. Sikkerheten øker til F=2,36 i udrenert tilstand. Sikkerheten er videre høyere i drenert tilstand.

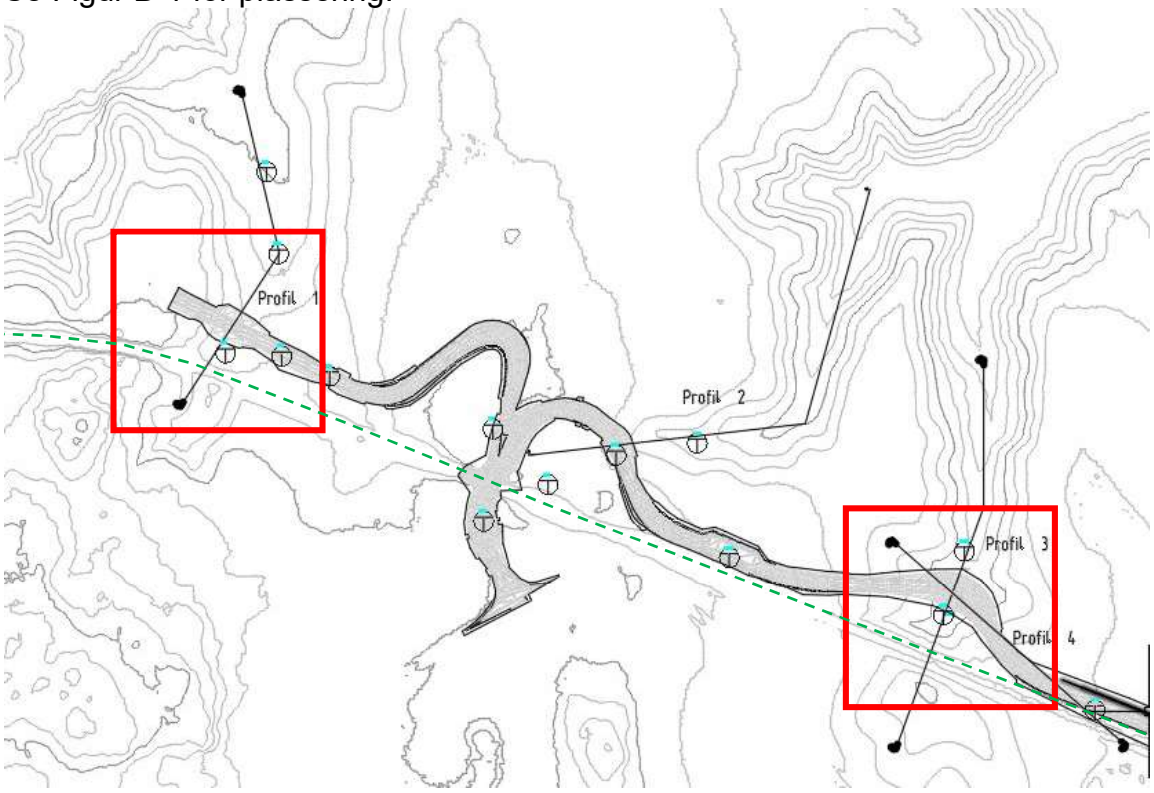



*Figur A-16: Resultat for beregning av sikkerheten til dagens skråning for profil 4 som ligger på tvers av profil 3. Figur øverst er dagens terreng og figur nederst har en ca. utbredelse på fylling.*

# B) VEDLEGG 2: BEREGNINGSHEFTE FOR SETNINGER VED LANGNES PLO

## Innledning

Det er gjort en vurdering på om hvorvidt planlagt veifylling vil kunne påføre jernbanen setninger. Det er sett på to kritiske profiler der hvor fyllingen er av betydelig størrelse. Se Figur B-1 for plassering.

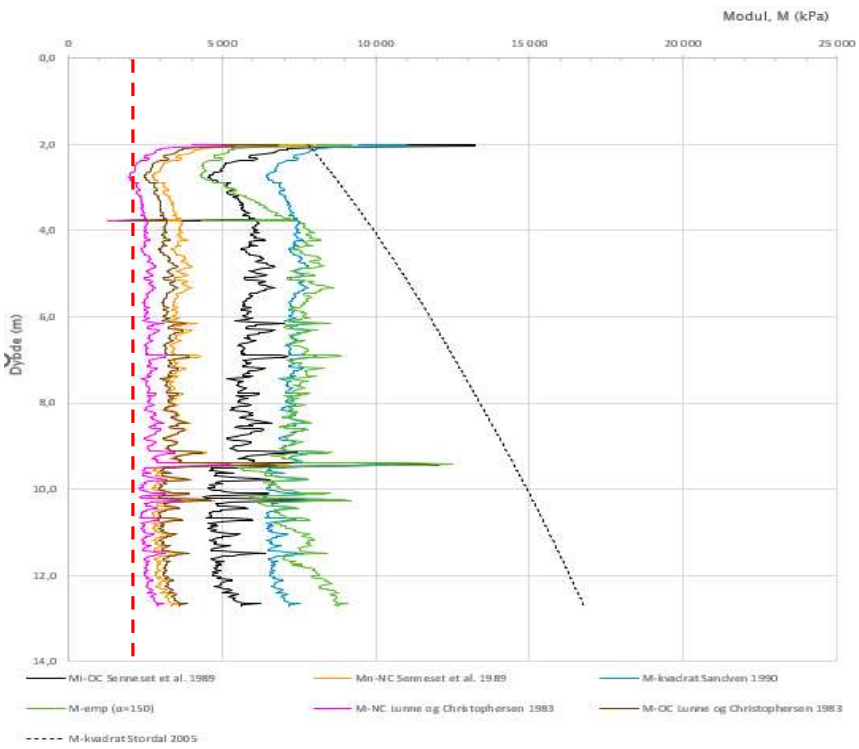



*Figur B-1: Oversiktskart over utstrekning av veifylling og terreng ved tiltaksområdet. Grønn stiplet linje er spormidtlinje. De aktuelle profilene som vurderes er Profil 1 og Profil 3.*

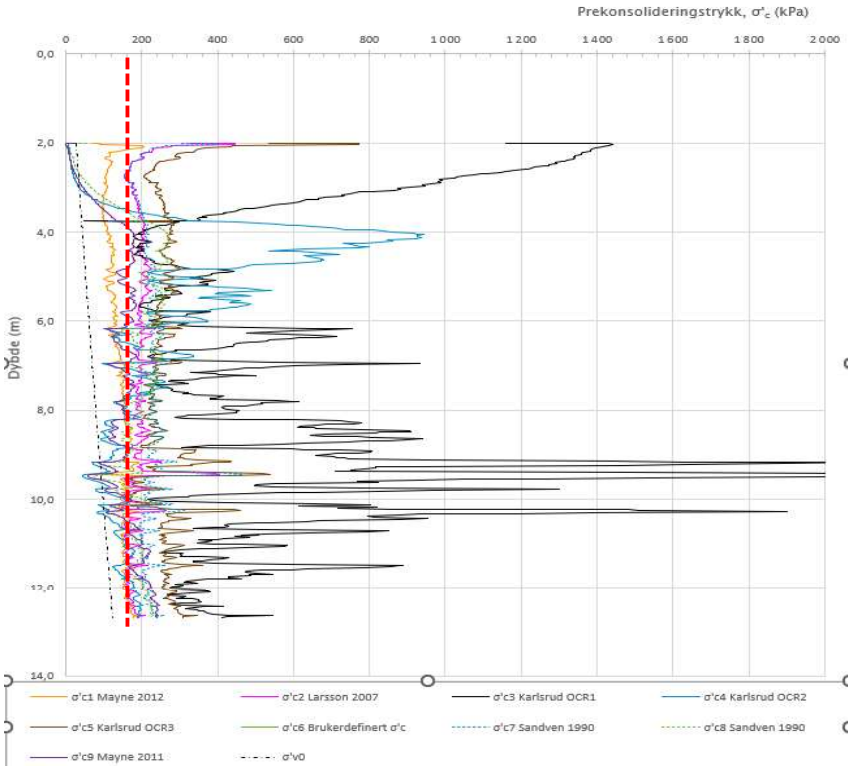
## Setninger ved Profil 1

Dybden til fjell ved profil er anslått fra totalsondering og ligger i SW2 på omtrent 13-14 meter. Man påtreffer et topplag av friksjonsmasser og tørrskorpe og går deretter over til leire, som blir kvikk ved 12 meters dybde. Foten til veifyllingen ligger omtrent 18 meter unna spormidt. Fyllingshøyden er omtrent 3 meter.
Parametere som benyttes til å beregne setningene hentes fra CPTu i SW2 og fra ødometer i SW11.

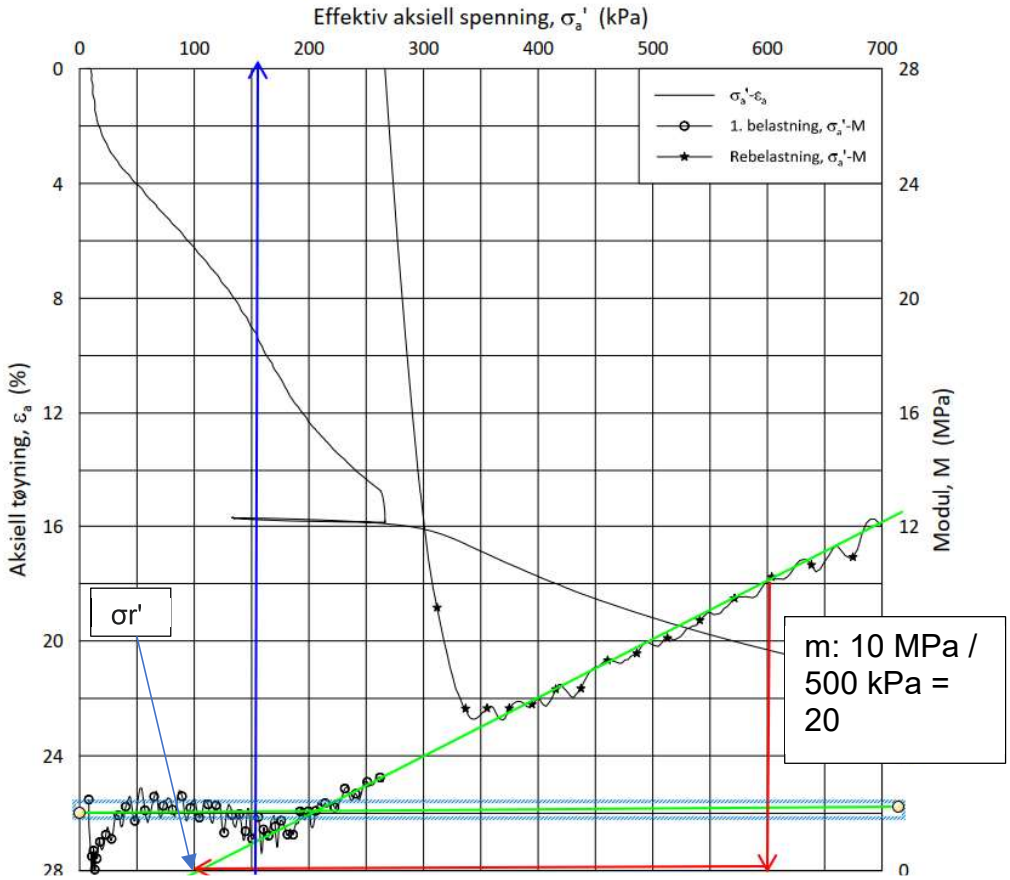
M er anslått til å ligge på omtrent 2000 for leirelaget. Dette er vurdert ut ifra CPTu-tolkning (Figur B-2) og ødometer (Figur B-4). Prekonsolideringstrykk anslås til å ligge på omtrent 150-160 kPa. Dette er anslått fra CPTu-tolkning (Figur B-3) og Ødometer (Figur B-4).




*Figur B-2: Plot over dybde mot anslått modultall M. Stiplet rød strek anslår M til 2 MPa.*




*Figur B-3: Plot over prekonsolideringspenning mot dybde. Fra rød stiplet linje er Pc anslått til rundt 150-165 kPa.*




*Figur B-4: Plot over spenningstien mot aksial tøyning. Blå strek anslår Prekonsolideringsspenning til 150-160 kPa. Fra den horisontale grønne streken er modultallet M anslått til 2 MPa. «m»-tallet er anslått til å være 20. Verdien «σr'» er anslått til 100 kPa*

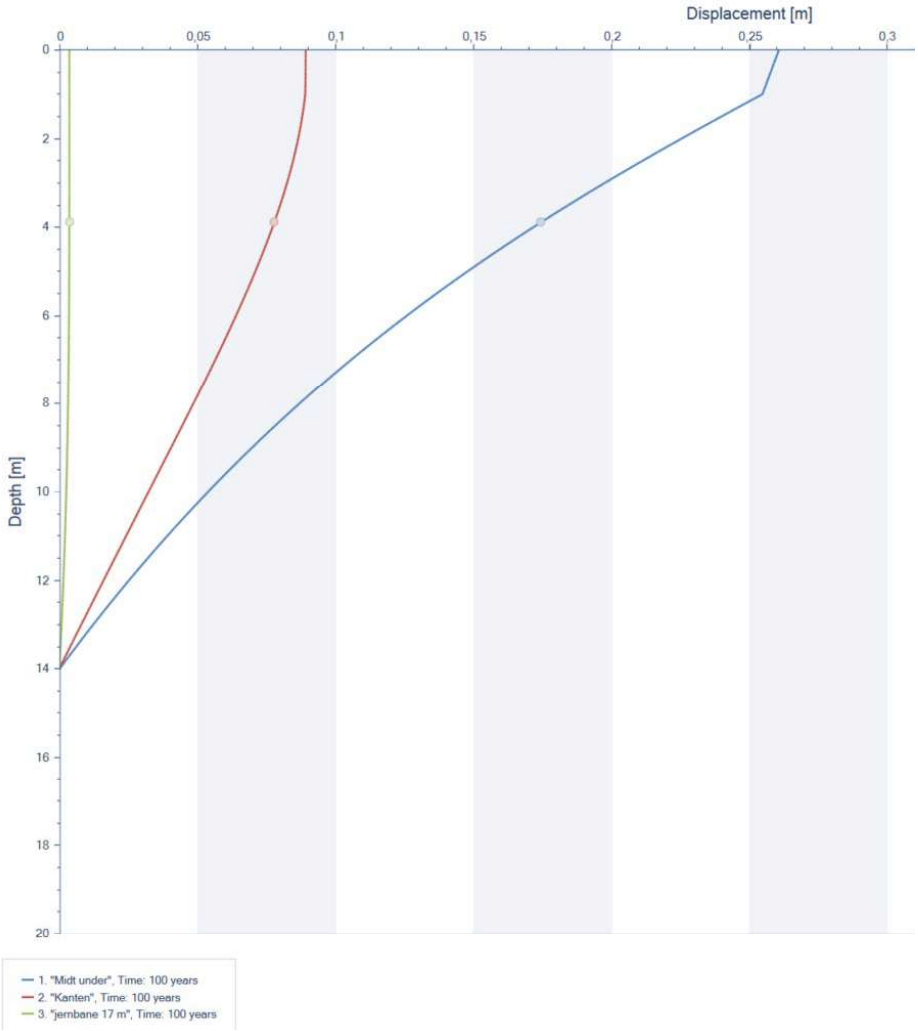
Inndataen for beregningene av setninger finner man i Figur B-5. Modultallet M og m-tallet er tidligere bestemt for leirelaget. Det er valgt forsiktige verdier for topplaget, men det er vurdert at bidraget her blir lite også på grunn av begrenset tykkelse. Verdiene «Kinit» og «Bk» er knyttet til hastigheten til setningene og vurderes ut ifra plot fra permeabiliteskoeffisent mot tøyning, som man får ved ødometer-tester. Beregninger ble kjørt med anslåtte verdier fra dette plottet, men resultatene fremstod som urealistiske fordi de ville påløpe i over 100 år. Det ble derfor benyttet verdier som sikret at alle setningene var påløpt innen rimelig tid.

| Name | Soil Model | Permeability Model | Depth | Sub Layers | Soil Weight [kN/m3] | $M_{OC}$ [kN/m²] | m [-] | $\sigma'_r$ [kN/m²] | $\sigma'_c$ [kN/m²] | $k_{init}$ [m/years] | $\beta_k$ [-] | Color |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Layer 1 | Janbu | Log based (strain) | 0,00 | 10 | 20,0 | 10000,00 | 30,00 | 100,00 | 500,00 | 100,0000 | 1,00 | DimGray |
| | | | 1,00 | | 20,0 | 10000,00 | 30,00 | 100,00 | 500,00 | 100,0000 | 1,00 | |
| Layer 2 | Janbu | Log based (strain) | 1,00 | 130 | 19,0 | 2000,00 | 20,00 | 100,00 | 160,00 | 1,0000 | 0,30 | SkyBlue |
| | | | 14,00 | | 19,0 | 2000,00 | 20,00 | 100,00 | 160,00 | 1,0000 | 0,30 | |

*Figur B-5: Innparametere for beregning av setninger på jernbanesporet ved profil 1.*

Stressdistribusjonsmodellen «infinite Boussinesq» ble benyttet til å anslå setningspåvirkningen for et punkt som ligger 18 meter unna en fylling. Som navnet tilsier så antas det at fyllingen er uendelig lang, som kan gi noe høyere setninger for et slikt punkt. Man har derimot mer kontroll på geometrien til fylling, som i dette tilfellet er 15 meter bred i bunn og 4 meter på toppen. Det antas at lasten fra fyllingen er 60 kN hvor den er høyest.

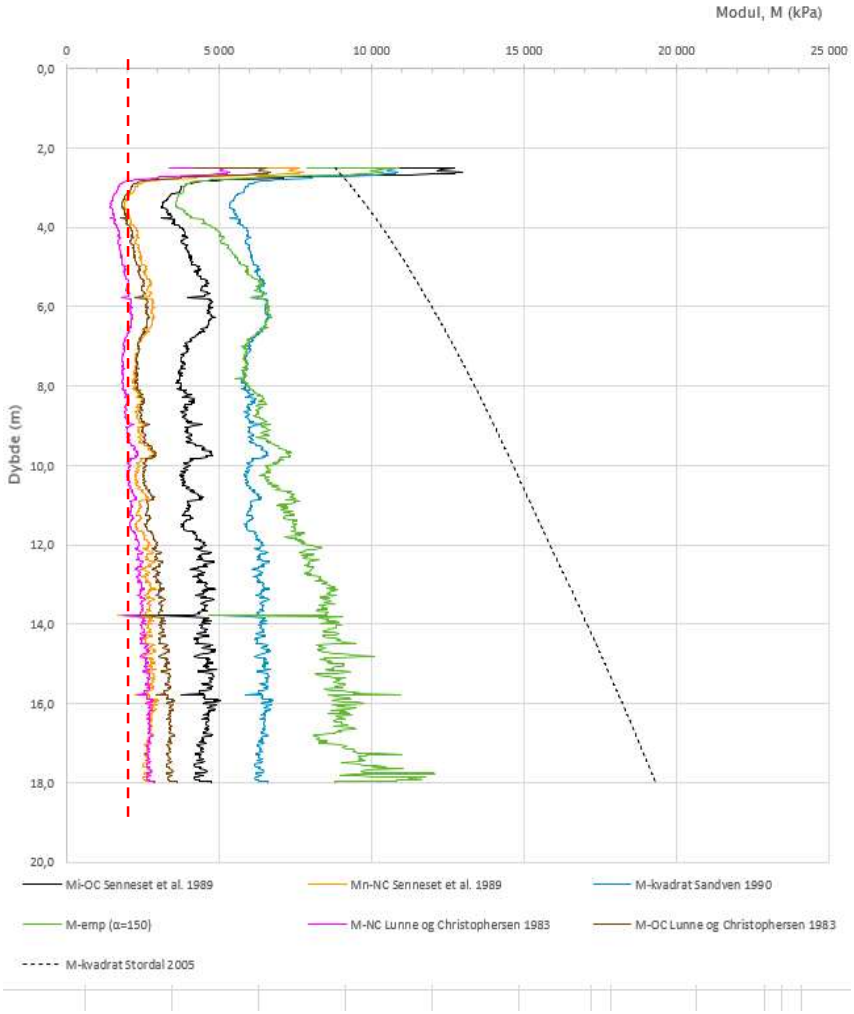
Resultatene fra beregningene indikerer at setningene blir i størrelsen 25 cm direkte under fyllingen og avtar til <5mm ved jernbanesporet. Se Figur B-6 for resultater.



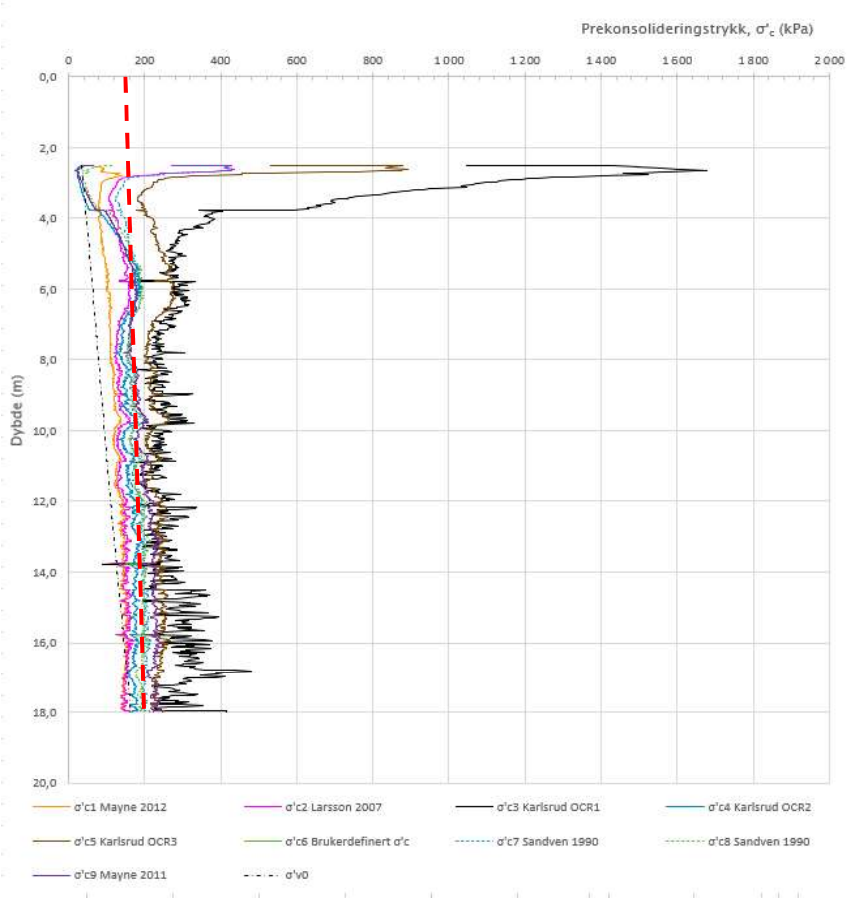

*Figur B-6: Resultater for beregninger av setninger ved profil 1.*

## Setninger ved Profil 3

Dybden til fjell ved profil er anslått fra totalsondering og ligger i SW11 på omtrent 18 meter. Man påtreffer et topplag av friksjonsmasser og tørrskorpe og går deretter over til leire, som blir kvikk ved 4 meters dybde. Foten til veifyllingen ligger omtrent 18 meter unna spormidt. Fyllingshøyden er omtrent 4 meter.
Parametere som benyttes til å beregne setningene hentes fra CPTu og ødometer i SW11.
M er anslått til å ligge på omtrent 2000 for leirelaget. Dette er vurdert ut ifra CPTu-tolkning (Figur B-7) og ødometer (Figur B-4). Prekonsolideringstrykk anslås til å ligge på omtrent 150 kPa og økende til 180kpa til 18 meter. Dette er anslått fra CPTu-tolkning (Figur B-8) og ødometer (Figur B-4).




*Figur B-7: Plot over modultallet M mot dybde. Stiplet rød strek indikerer valgt verdi på 2 MPa.*




*Figur B-8: Plot over prekonsolideringstrykk mot dybde ved SW11. Stiplet rød linje indikerer valgt Pc' på ca. 150 kPa som øker til 180 ved 18 meter.*

Inndataen for beregningene av setninger finner man i Figur B-9. Modultallet M og m-tallet er tidligere bestemt for leirelaget. Det er også her valgt forsiktige verdier for topplaget. Verdiene «Kinit» og «Bk» er satt til verdier som gjør at setningene skjer innen rimelig tid.

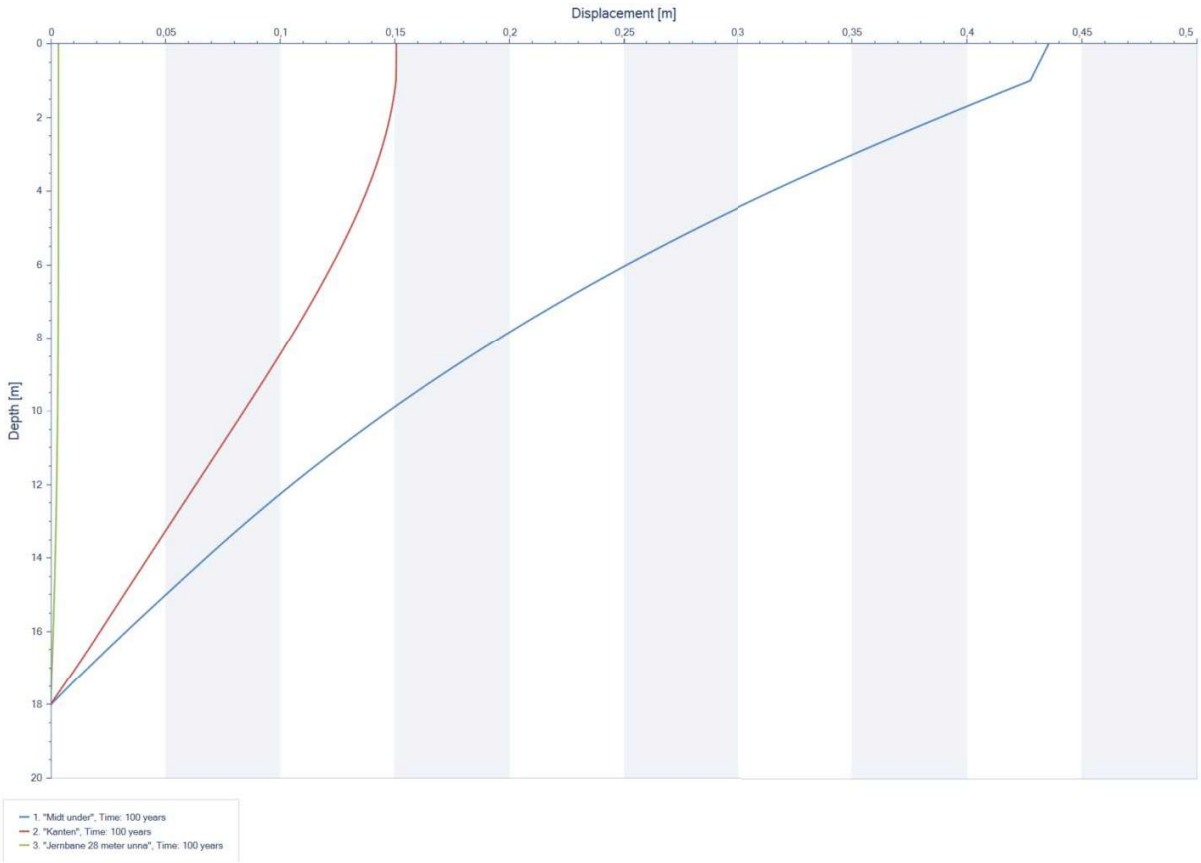
Soil Layers

| Name | Soil Model | Permeability Model | Depth | Sub Layers | Soil Weight [kN/m3] | $M_{OC}$ [kN/m²] | m [-] | $\sigma'_r$ [kN/m²] | $\sigma'_c$ [kN/m²] | $k_{init}$ [m/years] | $\beta_k$ [-] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Layer 2 | Janbu | Log based (strain) | 0,00 | 10 | 20,0 | 10000,00 | 20,00 | 100,00 | 500,00 | 100,0000 | 1,00 |
| | | | 1,00 | | 20,0 | 10000,00 | 20,00 | 100,00 | 500,00 | 100,0000 | 1,00 |
| Layer 3 | Janbu | Log based (strain) | 1,00 | 170 | 19,0 | 2000,00 | 20,00 | 100,00 | 150,00 | 1,0000 | 0,30 |
| | | | 18,00 | | 19,0 | 2000,00 | 20,00 | 100,00 | 180,00 | 1,0000 | 0,30 |

*Figur B-9: Innparametere for beregning av setninger på jernbanesporet ved profil 3.*

Stressdistribusjonsmodellen « infinite Boussinesq» ble benyttet til å anslå setningspåvirkningen for et punkt som ligger 28 meter unna fyllingsfoten. Det antas at lasten fra fyllingen er 80 kN hvor den er høyest. Setningene under jernbanen anslås til å ligge på <5mm. Rett under fyllingen vil setningene være 44 cm.

Resultatene fra beregningene indikerer at setningene blir i størrelsen 25 cm direkte under fyllingen og avtar til <5mm ved jernbanesporet. Se Figur B-10 for resultater.




*Figur B-10: Resultater fra beregninger av setninger ved profil 3.*

# C) VEDLEGG 3: BEREGNINGER AV SETNINGER MED PLAXIS, LANGNES PLO

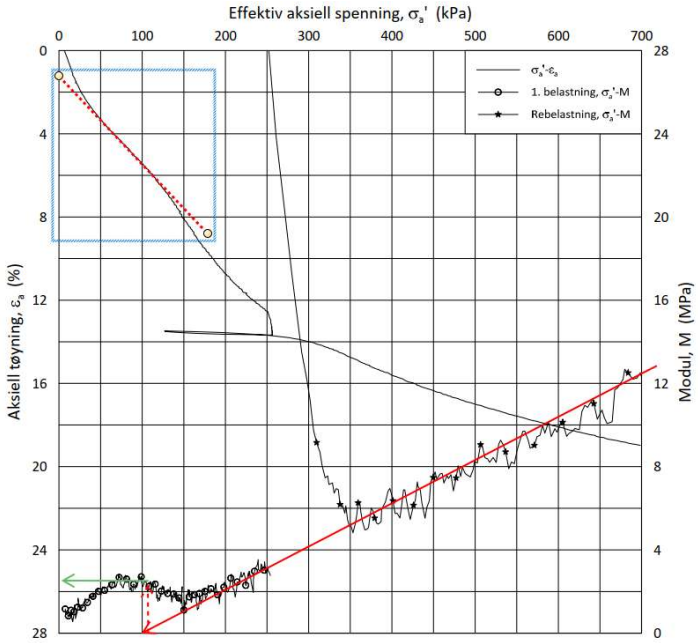
## Innledning

For å kunne beregne setningsforløp og omfang for foreslått veifylling på mest mulig nøyaktig måte, er det blitt gjort beregninger av setninger i PLAXIS.
Innledningsvis ble det lagd en jordmodell over området. Modellen gjelder er forenklet til å gjelde uendelig utstrekning og til å ha flatt terreng. Fra CPTu og laboratorieundersøkelser med CRS i SW11,har det blitt laget én løsmassemodell for de to kritiske snittene som ble beregnet i Vedlegg 2. Forskjellen på de to snittene er dybden til berg, som blir lagt inn i modellen

## Parametervalgt for Løsmassemodell (Hardening Soil)

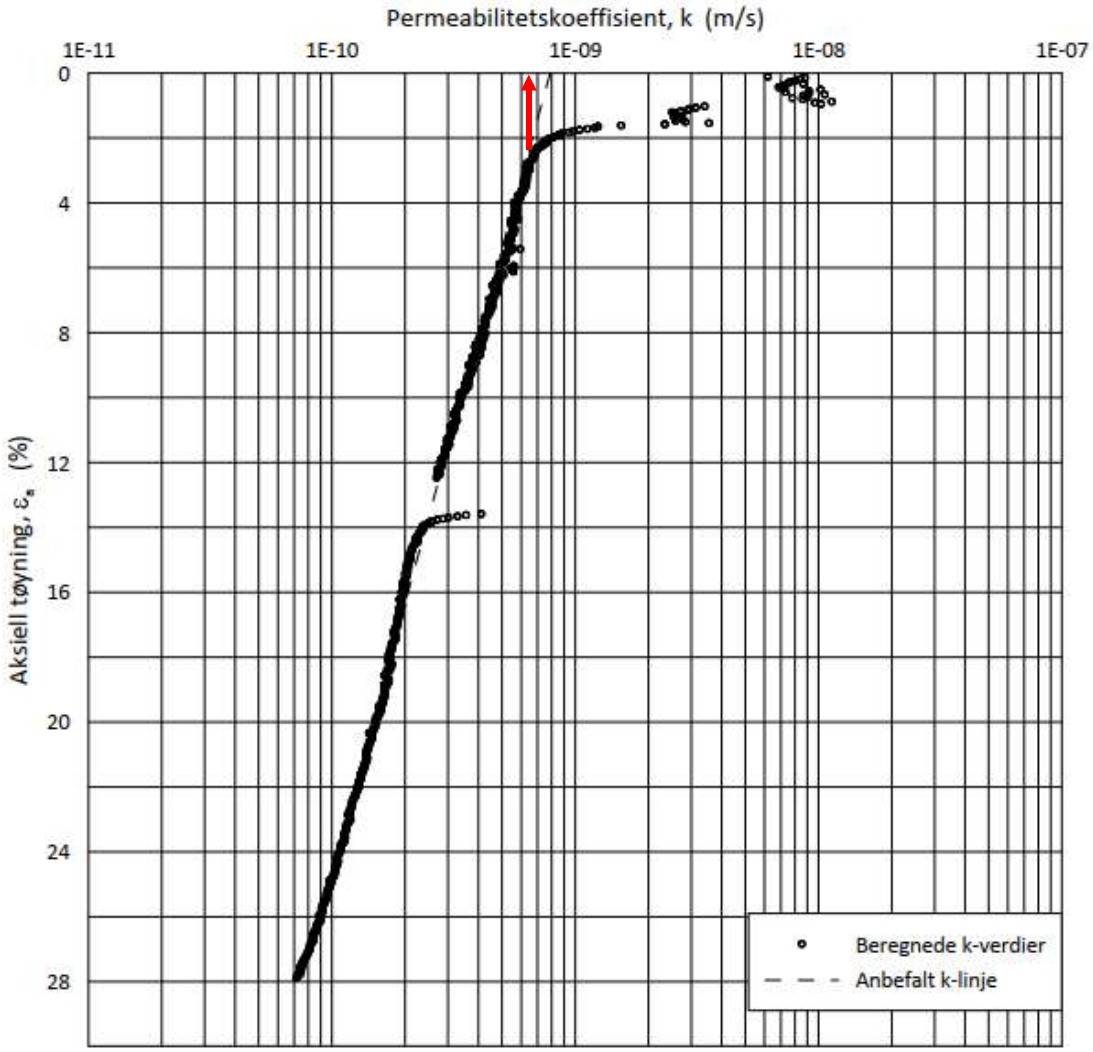
Grunnlaget for valget av parametere er i hovedsak fra ødometertest i SW11 og test 5-A-1. Denne er valgt, fordi dette er den dypeste testen og det vil være fra denne dybden at en ny fylling vil påvirke leiren.

- $E_{oed}^{ref}$ er anslått til 2500 kN/m$^2$ ved å lese av tøyningskurven for ødometer. Se Figur C-1 under for de 2 metodene som er brukt for avlesning.




*Figur C-1: Spenning-tøyningsdiagram for SW11 på 11,3 m.*

- $E_{50}^{ref}$ er beregnet ved å bruke en estimering av forholdet med $E_{oed}^{ref}$. Fra kursmateriell til PLAXIS er det anslått av at $E_{50}^{ref}$ for NC-leire er omtrent 2* $E_{oed}^{ref}$.
- $E_{ur}^{oed}$ er estimert til å være mellom 15-20 * $E_{oed}^{ref}$
- $V_{ur}$ settes til 0,2
- «m» settes vanligvis til 1 når det dreier seg om leire. Pref settes til 100 kPa
- Valget av «k» er blitt bestemt utfra en konservativ vurdering av forventet tøyning, og deretter avlest fra graf under. For en 3 meter fylling er det maks forventet omtrent 4% tøyning. Koeffisienten justeres deretter til å være meter per dag. Se Figur C-2.




*Figur C-2: Tøyning-permeabilitetsdiagram. Valgt permeabilitet er indikert med rød pil, der hvor tøyningen er 4%.*

## Parametervalg for løsmassemodellen Mohr Coulomb.

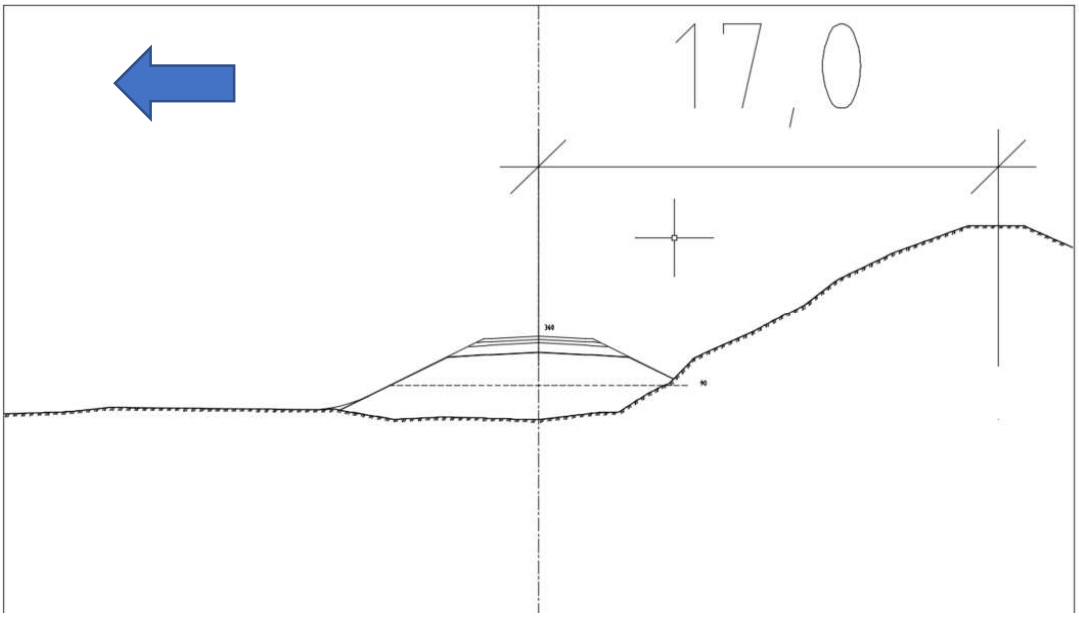
For topplaget, som består av sand og tørrskorpe, er det valgt en E'ref=10000 kPa. Poisson-rato, V(nu) settes til 0,3.

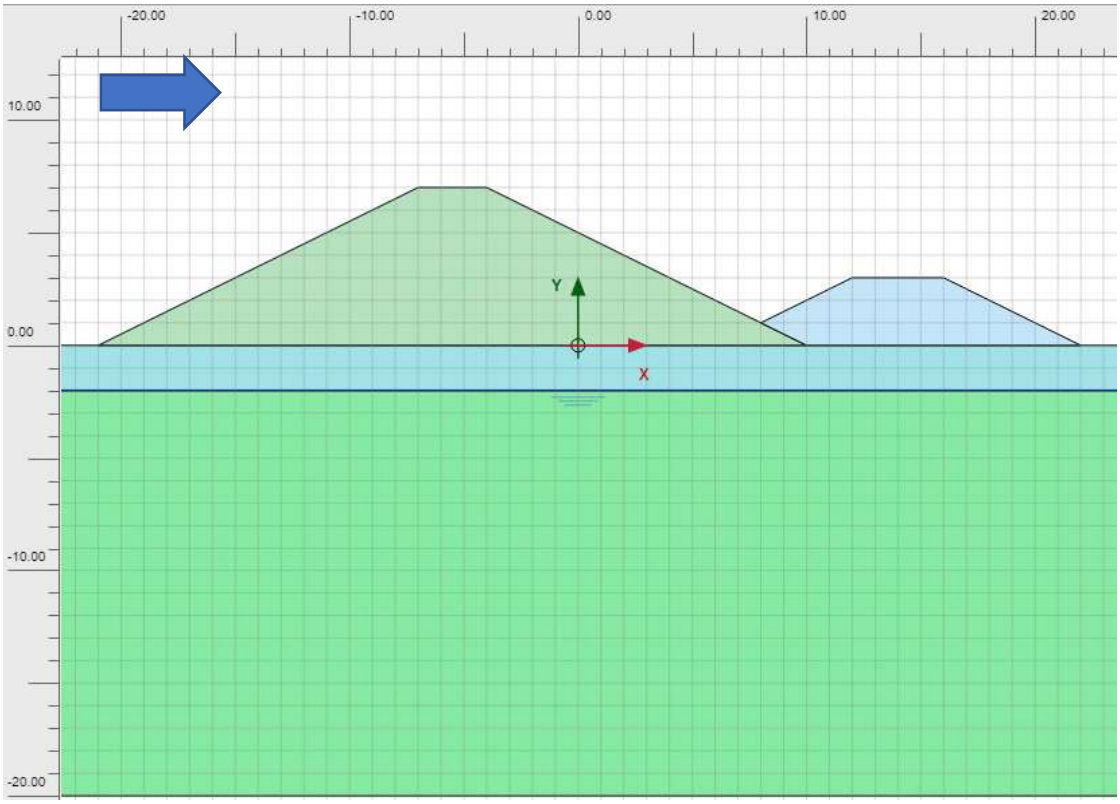
## Parametervalg for fyllinger

Det forventes at fyllingene ikke setter selv av seg selv og parametrene settes høyt for å ikke oppnå betydelige setninger. Også friksjonsvinkelen og kohesjonen settes høyt, slik skråningen ikke deformeres, og dimensjonene forandres. Tyngdetettheten settes til 20 kN/m^3. For veifyllingen vil tyngdetettheten reduseres når det skal vurderes å skifte ut deler av fyllingen med letter masser.

## Kjøring av modell

Dimensjonene til jernbanefyllingen og veifyllingen settes i 2D og profilet der hvor fyllingshøyden er størst. Dimensjonene er målt fra kritisk profil, som er utarbeidet av RiVei (Figur C-3). Fra tegninger settes jernbanefyllingsbredden på 31 meter og høyden til 7 meter. Veifyllingen vil ha en makshøyde på 3 meter og har en bredde på 14 meter. Fyllingskråningene settes til 1:2. Fyllingene overlapper med omtrent 2 meter i x-retning. Se Figur C-3 for benyttet dimensjoner.




*Figur C-3: Tegning av tverrsnitt av kritisk profil ved jernbanefylling fra RiVEI over. Benyttede dimensjoner i Plaxis under.*

Dybden fra terreng og ned til fjell er satt til 20 meter, selv om totalsondering indikerer 18 meter til berg. Dette er gjøres for å få en ekstra margin ved at det eventuelt er dypere til berg under jernbane.
Initialfase innebærer å generere effektivstress, poretrykk o.l. Se Figur C-4.

| | |
|---|---|
| ID | Etablering av jordprofil [Init |
| Calculation type | K0 procedure |
| Loading type | Staged construction |
| $\Sigma M_{weight}$ | 1,000 |
| Pore pressure calculation t | Phreatic |
| Thermal calculation type | Ignore temperature |
| First step | 0 |
| Last step | 0 |
| Design approach | (None) |
| Special option | 0 |
| **Deformation control parameters** | |
| Updated water pressure | ☐ |
| Ignore suction | ☑ |
| **Numerical control parameters** | |
| Use compression for result | ☐ |

*Figur C-4: Initialfase for modellen. Det velges K0-prosedyre.*

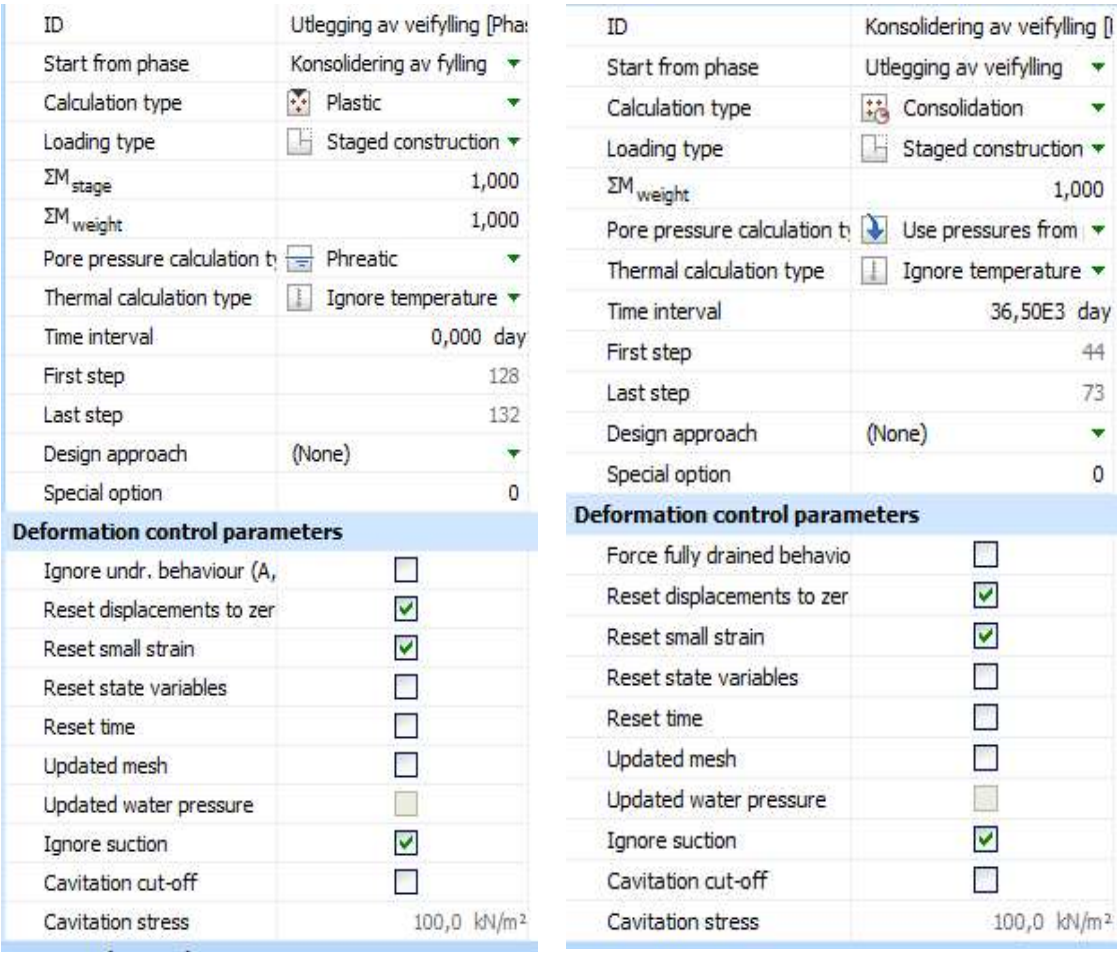
Jernbanefyllingen etableres deretter i ravinen. Det etableres en fase hvor man lar poretrykket bygge seg opp under fyllingen umiddelbart. Det opprettes deretter en konsolideringsfase under fyllingen som man lar pågå nesten 60 år, og setningene opphører. Setningene på slutten av denne perioden resettes til 0. Se Figur C-5 for valg av parametere for Fase 1 og 2.

| | |
|---|---|
| ID | Utlegging av fylling [Phase_ |
| Start from phase | Etablering av jordprofil |
| Calculation type | Plastic |
| Loading type | Staged construction |
| $\Sigma M_{stage}$ | 1,000 |
| $\Sigma M_{weight}$ | 1,000 |
| Pore pressure calculation ty | Phreatic |
| Thermal calculation type | Ignore temperature |
| Time interval | 0,000 day |
| First step | 1 |
| Last step | 24 |
| Design approach | (None) |
| Special option | 0 |
| **Deformation control parameters** | |
| Ignore undr. behaviour (A, | ☐ |
| Reset displacements to zer | ☑ |
| Reset small strain | ☑ |
| Reset state variables | ☐ |
| Reset time | ☐ |
| Updated mesh | ☐ |
| Updated water pressure | |
| Ignore suction | ☑ |
| Cavitation cut-off | ☐ |
| Cavitation stress | 100,0 kN/m² |

| | |
|---|---|
| ID | Konsolidering av fylling [Pha |
| Start from phase | Utlegging av fylling |
| Calculation type | Consolidation |
| Loading type | Staged construction |
| $\Sigma M_{weight}$ | 1,000 |
| Pore pressure calculation ty | Use pressures from |
| Thermal calculation type | Ignore temperature |
| Time interval | 20,00E3 day |
| First step | 133 |
| Last step | 235 |
| Design approach | (None) |
| Special option | 0 |
| **Deformation control parameters** | |
| Force fully drained behavio | ☑ |
| Reset displacements to zer | ☑ |
| Reset small strain | ☑ |
| Reset state variables | ☐ |
| Reset time | ☐ |
| Updated mesh | ☐ |
| Updated water pressure | |
| Ignore suction | ☑ |
| Cavitation cut-off | ☐ |
| Cavitation stress | 100,0 kN/m² |

*Figur C-5: Fase 1 og 2 av modelleringen. Jernbanefyllingen etableres og konsoliderer leiren i ca. 55 år.*

I siste fase så etableres veifyllingen og man lar poretrykket bygge seg opp med umiddelbar virkning. Det etableres deretter en konsolideringsfase. Her er konsolideringsintervallet satt til 100 år for få med store hele setningsforløpet. Se Figur C-6 for valg av parametere for de 2 siste fasene.




*Figur C-6: Fase 3 og 4 av modelleringen. Veifyllingen etableres. Setningene på toppen av jernbanefyllingen og veifyllingen måles over hele perioden. Begge fyllingene vil påvirke setningen på banene*

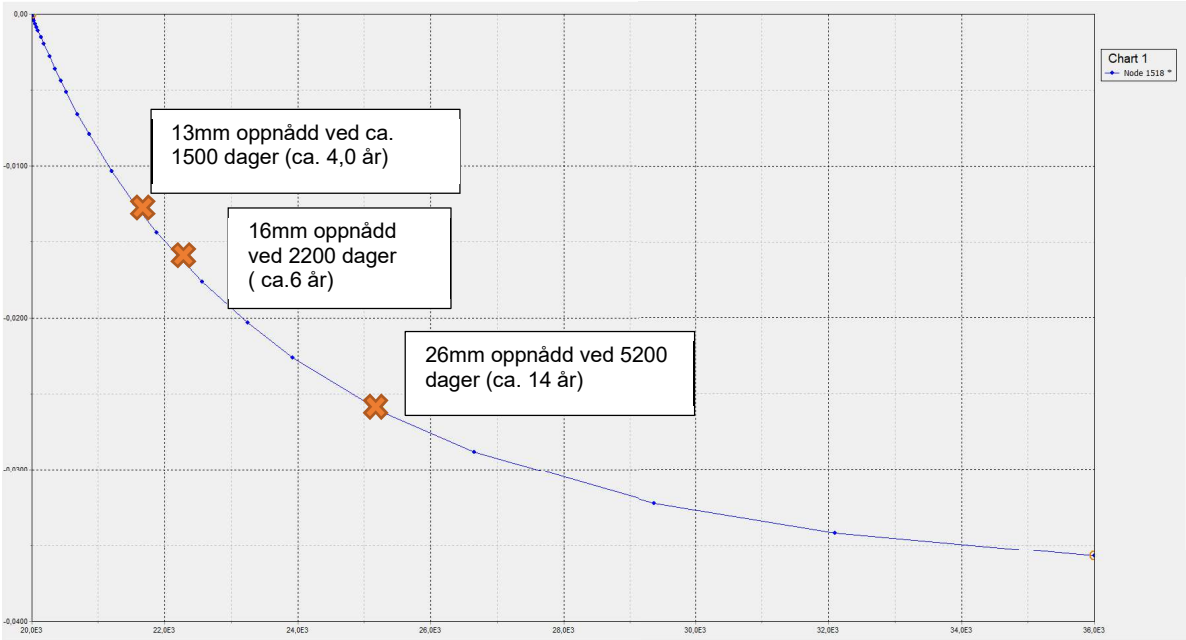
Det er iht. teknisk regelverk fra Bane NOR forskjellige grenser for tillatte ujevnheter på skinnestrengene (Figur C-7). Disse grensene markeres på setningsplottet.

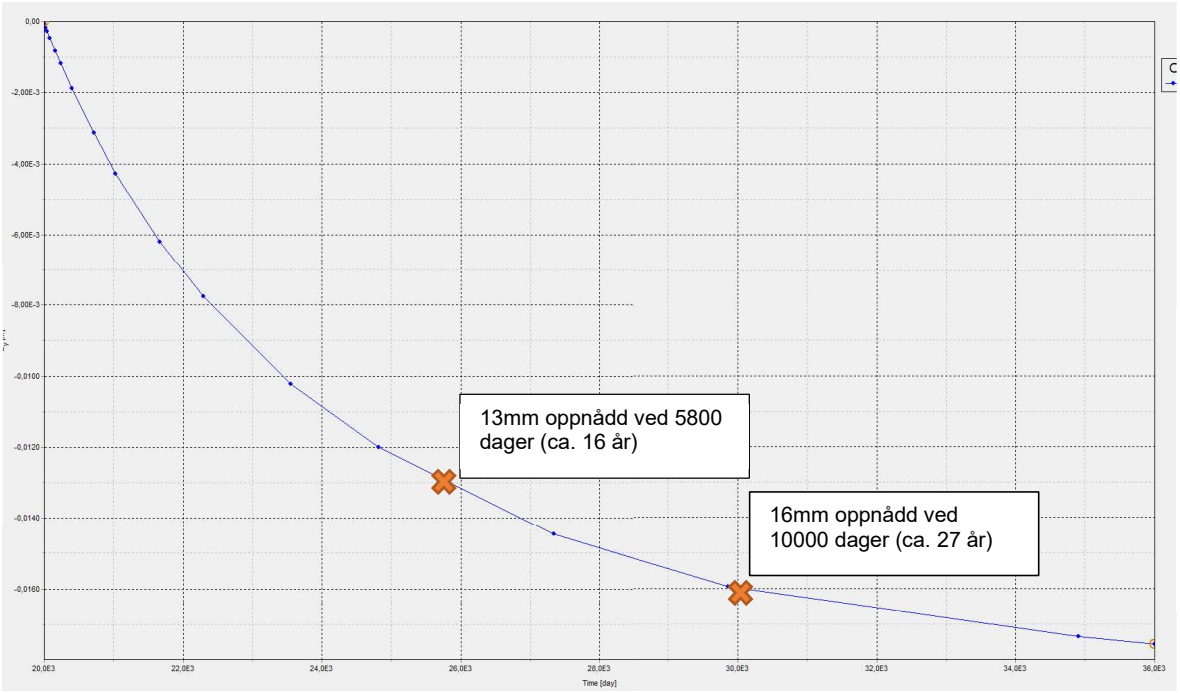
**Tabell: Tillatte ujevnheter i høyde - bølgelengdeområde D1 (3-25 meter)**

| Kvalitetsklasse | Hastighet (km/h) | Ujevnheter i høyden av hver skinnestreng (+/- mm) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Nytt spor | Nyjustert spor | Vedlikeholdsgrense | Tiltaksgrense | Umiddelbar grense |
| Q0 | 230 < V ≤ 300 | 2 | 2 | 6 | 8 | 16 |
| Q1 | 160 < V ≤ 230 | 2 | 2 | 6 | 9 | 20 |
| Q2 | 120 < V ≤ 160 | 2 | 2 | 10 | 12 | 23 |
| Q3 | 80 < V ≤ 120 | 3 | 4 | 13 | 16 | 26 |
| Q4 | 40 < V ≤ 80 | 3 | 5 | 15 | 19 | 28 |
| Q5 | V ≤ 40 | 3 | 6 | 17 | 21 | 28 |

*Figur C-7: Tabell over tillatte ujevnheter ved hver kvalitetsklasse. Hentet fra TRV for Bane NOR.*

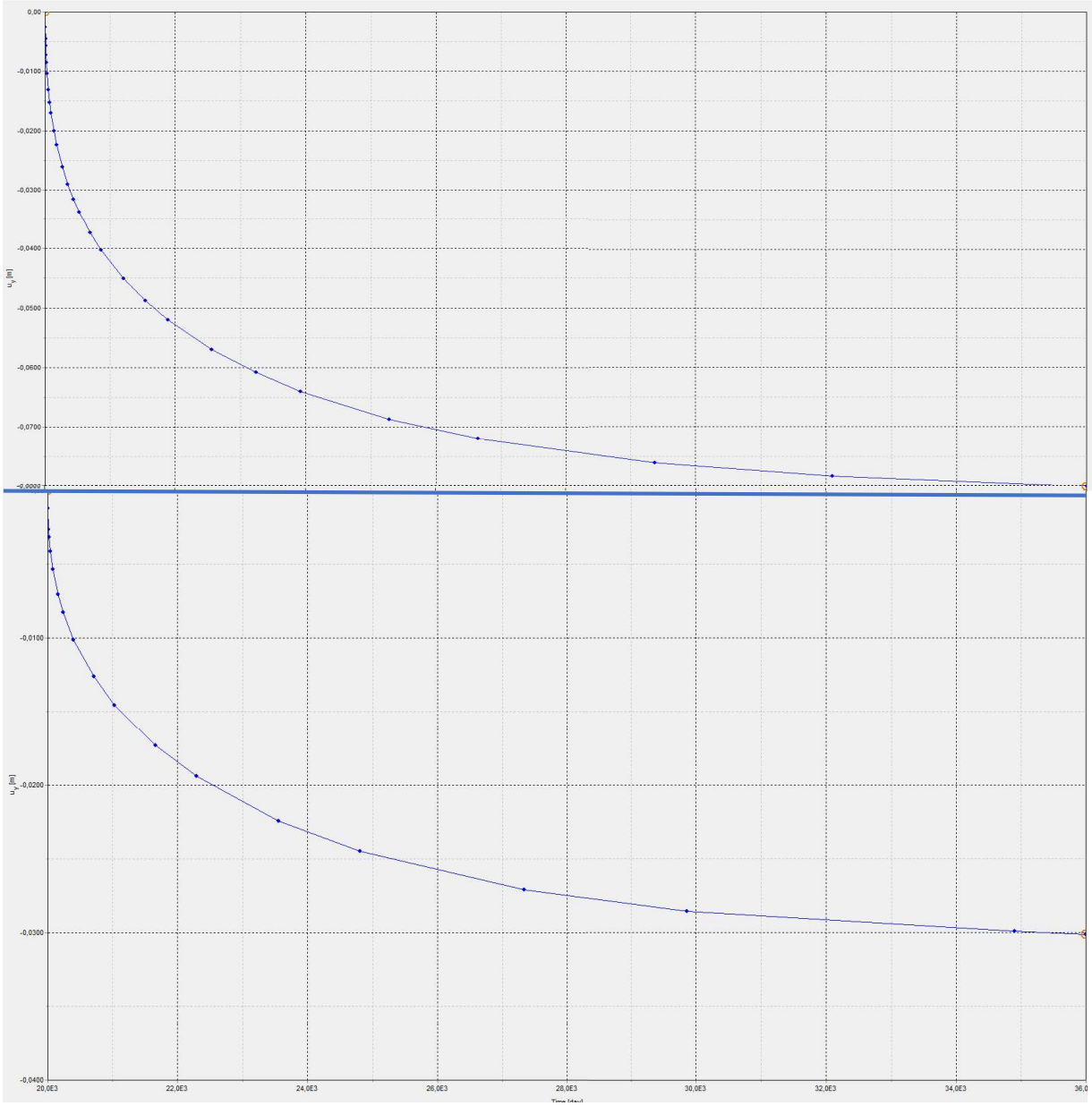
Resultatene fra modelleringene oppsummeres med plot over setninger over tid på jernbanesporet. Setninger er beregnet både med og uten utskifting med lette masser. Se Figur C-8. Totale setninger uten masseutskiftning vil være omtrent 4 cm. Totalsetninger fra veifylling med masseutskifting på jernbanesporet vil være omtrent 1,8 cm.




*Figur C-8: Plott over setninger per tid (dager).*

Setninger på veifyllingen er anslått til å maks ligge på omtrent 8 cm uten masseutskifting og 3 cm med masseutskifting. Se Figur C-9 for utvikling av setninger over tid.




*Figur C-9: Setninger på veifylling. Øverst er setninger uten masseutskifting. Nederst er setninger med 2 meter massutskifting.*