

## Beskrivelse av pilotprosjekt Jernbanedirektoratet/Bane NOR

### Skredvarsling basert på instrumentering

#### 1. Målsetningen med pilotprosjektet<sup>1</sup>

Bane NOR har ansvaret for bygging, drift og vedlikehold av jernbanens infrastruktur. Jernbanenettet går gjennom skiftende topografiske, geologiske og klimatiske forhold, hvor overvanns- og skredrelaterte hendelser tidvis inntreffer og forårsaker trafikkforstyrrelser. Slike hendelser medfører også betydelig risiko for personskade og materielle tap. Vannrelaterte hendelser spenner over et vidt spekter, fra regulær flom, "bortvasking" av jernbanelegemet som resultat av underkapasitet på stikkrenner, kollaps av jernbanefyllinger (uten "bidrag" fra underdimensjonerte stikkrenner) flomskred/sørpeskred (evt. i kombinasjon), jordskred fra sideterreng, steinsprang osv.

For enkelte av problemstillingene nevnt over kan fysisk baserte varslingsmetoder, i kombinasjon med instrumentering, være aktuelle. Slike angrepsmåter kan gi økt forståelse av mekanismene involvert i hendelsene, og gi mulighet for redusert sannsynlighet for uhell. Gjennom et pilotprosjekt i Klima 2050 ønskes slike angrepsmåter videreutviklet i et samarbeid mellom Bane NOR og NGI og evt. andre partnere i Klima 2050 (Leca, Multiconsult, SVV?).

Målsetningen med pilotprosjektet er å teste ut muligheten for varsling av økt fare for jordskred og kollaps av jernbanefyllinger basert på instrumentering og fysisk modellering av stabilitetsforholdene for skråninger evt. fyllinger. Dette søkes gjennomført for to lokasjoner:

- Bodø stasjon, der det planlegges enklere instrumentering i form av poretrykksmålere, jordfuktighet og nedbørs- og temperaturmålere langs en lang skråning hvor det gjennom årene har vært flere utglidninger.
- IC Venjar-Eidsvoll, hvor en eksisterende overvåking med in situ instrumentering for jordskråning opp til Wergelandslunden ved Eidsvoll kirke videreføres.

Denne beskrivelsen gir en omforent forståelse av intensjonene med pilotprosjektet og prosjektets status i Klima 2050. Organisering og gjennomføring av Klima 2050 samt rettigheter og plikter mellom konsortiedeltakerne er regulert gjennom konsortieavtalen.

---

<sup>1</sup> Om pilotprosjekter i Klima 2050 og generelle retningslinjer for etablering, se Time, B (Ed.) *SFI Klima 2050 / Pilotprosjekter - Retningslinjer for etablering*. Klima 2050 Note 17. Trondheim, 2016.

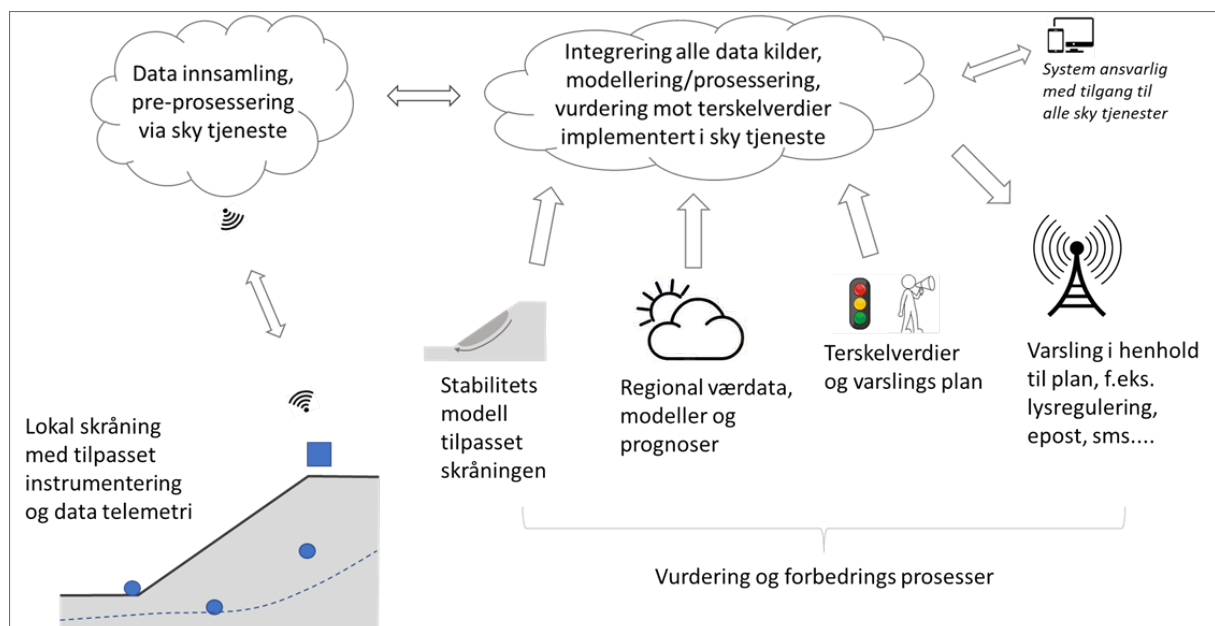
## 2. Innovasjonspotensialet

Store deler av eksisterende jernbanenett har utfordringer knyttet til vannrelaterte skredhendelser. Det finnes også punkter hvor eksisterende jernbanefyllinger antas å ha dårlig stabilitet.

På kort sikt er det ikke trolig at alle potensielle skredhendelser kan forebygges, selv om en del typiske "hot spots" kan utbedres, for eksempel ved utbedring av stikkrenner og andre drenerende tiltak. Alternative metoder for risikohåndtering, som varsling, er derfor ønskelig.

Jordskredvarsling i Norge er i dag empirisk, og i hovedsak basert på varslet nedbør og estimerte hydrologiske parametere, historiske værdata og data fra et begrenset antall markvannstasjoner. For regional varsling kan dette være tilfredsstillende, men for den enkelte skråning eller fylling er en slik tilnærming lite presis.

Utløsning av skred er en komplisert og sammensatt fysisk (mekanisk) prosess. Skråningers stabilitet er avhengig av en rekke faktorer, som type jordarter, lagdeling, terrenghelning, strømningsforhold osv. Hydrologisk respons og resulterende stabilitet av en skråning eller fylling er derfor et lokalt fenomen. En instrumentert og fysisk basert varsling vil kunne gi en bedre vurdering av reell skredfare i kritiske områder. Slike løsninger er imidlertid ikke "hylleware", og krever utvikling, testing og verifikasjon. Gangen i en slik automatisert varsling er skissert i **Figur 1**.



Figur 1 Skredvarsling basert på web-casting av in situ data med automatisert stabilitetsberegning

Dersom slike varslingsløsninger viser seg å fungere for rådende klimatiske forhold, vil også effekt av fremtidige klimaendringer kunne vurderes, ved at f.eks. økte vannmengder tilgjengelig som nedbør vil kunne inkluderes i beregningsmodeller.

Innovasjonspotensialet i pilotprosjektet ligger således i:

- Kobling av værdata, topografiske, hydrologiske og geologiske data med sensorteknologi for å gi økt forståelse av hydrologisk respons i naturlige skråninger og jernbanefyllinger.

- Benytte numeriske modeller for bedre vurdering av reell skredfare for utsatte strekninger (WP3.2). Herunder inngår kobling til utvikling av numeriske metoder (WP3.1) og varsling (WP3.3).
- Uttesting av en databasert varsling basert på web-casting av data med automatisert datahåndtering og stabilitetsberegning. I første omgang vil denne baseres på enkle teoretiske stabilitetsmodeller for skråningsstabilitet, men hvor hydrologiske parametere inngår (målt poretrykk og jordfuktighet i grunnen).
- Uttesting av innovative drenerende tiltak for å kunne redusere oppbygging av poretrykk langs strekninger der målinger viser økt poretrykk og jordfuktighet grunnet nedbør.

NGI har tidligere, på vegne av Statens Vegvesen og i samarbeid med NIFS-prosjektet, utviklet et trådløst skredvarslingssystem, hvor geofoner (rystelsesmålere) er sammenkoblet i et nettverk av "målenoder". Instrumentene er fordelt over et større område. Et slikt system er installert langs en fylkesvei i Sandnesslia i Nordland, og tatt i bruk av Vegvesenet for varsling av snøskred mot veg.

Når varslingssystemet trigges, vil trafikken på vegen stoppes. En kan også for jordskred tenke seg tilsvarende system, da andre typer sensorer enn geofoner også kan tilknyttes et slikt nettverk (poretrykksmålere, jordfuktighetsmålere osv.). For varsling av jordskred på et tilfeldig sted i en skråning må en basere seg på målte parametere som indikatorer på skredfaren mot f.eks. veg eller bane, og gjøre en vurdering ut fra dette (stans i trafikken, redusert hastighet, økt hyppighet av visitasjon osv.).

### **3. Forskningsspørsmål og forskningsinnsatsen**

Klima 2050 vil bruke pilotprosjektet til å teste ut varsling av skred basert på in situ instrumentering tilpasset den enkelte lokalitet. Felldata og laboratoriedata vil kombineres for å etablere modeller som vil legges til grunn for vurdering av skråningsstabiliteten.

Arbeidet sorterer under arbeidspakke WP3. Det vil være aktuelt å kombinere arbeidet med studentoppgaver ved NTNU og/eller UiO, samt forskerinnsetts ved NGI.

### **4. Piloteier og deltakernes roller**

Piloteier er Jernbanedirektoratet/Bane NOR, mens NGI (og evt. andre partnere) er aktive deltagere i pilotprosjektet. Øvrige partnere i Klima 2050 vil bli involvert gjennom temasamlinger og/eller andre møter for å diskutere resultater og erfaringer oppnådd i pilotprosjektet.

Forskningspartnerne i Klima 2050 har ansvar for forskningsaktivitetene tilknyttet pilotprosjektet. Det er viktig at forskerne respekterer prosjektets betingelser mht. fremdrift og beslutningsprosedyrer, men også at andre prosjektdeltakere involverer forskerne i beslutninger som kan påvirke forskningsaktivitetene og målsetningene knyttet til Klima 2050.

Piloteier har ansvar for anskaffelseskostnader samt anleggskostnader for installasjon av overvåkingsutstyr som benyttes i pilotprosjektet. Ved ferdigstilling av systemet overtar piloteier eierskap og driftsansvar for leverte utstyr.

## **5. Finansielle implikasjoner og ansvar**

Klima 2050 dekker forskerinnnsatsen knyttet til pilotprosjektet (timekostnader). Risiko ut over kvaliteten på forskningsresultatene ligger hos eier av pilotprosjektet.

Ved behov for særskilt utstyr og instrumentering må finansiering for dette klargjøres i egne avtaler før arbeidet igangsettes. For dette pilotprosjektet søkes det etablert instrumentering med kontinuerlig dataoverføring på Bodø stasjon, og oppgradering av instrumenteringen på Eidsvoll-Venjar til å muliggjøre kontinuerlig dataoverføring. Nærmere beskrivelser samt kostnadsoverslag presenteres i vedlegget.

BaneNor har sendt en søknad om interne FoU midler, og har fått positiv muntlig tilbakemelding, men venter fortsatt på skriftlig bekreftelse (pr. 11 juli, 2019). Den interne FoU finansieringen fra BaneNor beløper seg til totalt 698 000, fordelt over årene 2019, 2020 og 2021, med den største utgiftyn i 2019 (426 000). Dette vil dekke grunnboringer og mye av installasjonen i lokaliteten i Bodø. Søknaden dekker også bruk av interne ressurser i BaneNor til arbeid med piloten, gjennom de tre årene.

## **6. Spesielle publiseringsønsker**

Det er en forutsetning at FoU-resultater knyttet til pilotprosjektene publiseres bredt i henhold til konsortieavtalen og til Klima 2050s Kommunikasjonsplan<sup>2</sup>. Det vil være aktuelt å publisere både akademiske forskningsartikler og fagrettede populærvitenskapelige magasiner.

## **7. Varighet**

Pilotprosjektet vil starte opp i 2019 og vil følge Klima2050 til og med 2022, men instrumenteringen og bruken av den er ment å fortsette utover Klima 2050 perioden, og vil da eventuelt være i form av et bilateralt samarbeid mellom piloteier og NGI.

---

<sup>2</sup> Kvande, T, Time, B, Henriksen, R: *SFI Klima 2050 | Kommunikasjonsplan versjon 2*. Klima 2050 Note 27. Trondheim, 2017

## Vedlegg A – Detaljert beskrivelse – overvåkingsystem

### Konsept

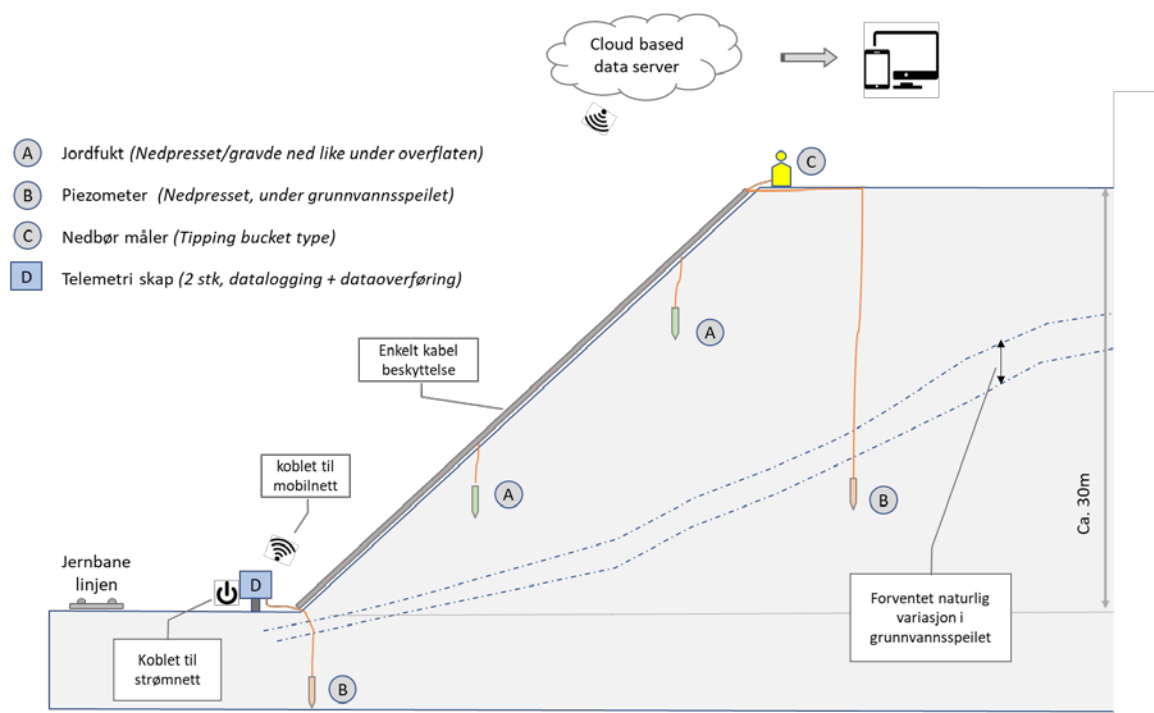
Formålet med systemet er å overvåke parametere som knyttes til skråningsstabilitet som påvirkes av lokal nedbør. De viktigste parameterne er

- variasjoner i nivå på grunnvannsspeilet
- endringer i fuktighetsgrad i øvre jordlag
- mengde og intensitet av nedbør lokalt

I tillegg vil nedbørsdata fra nasjonale metrologiske målinger benyttes for å sammenkoble lokale målinger til regionale målinger og prognoser.

Data samles inn med en passende hyppighet (noen ganger i løpet av dagen, eventuelt mer hyppig i utsatte perioder).

Ved Bodø stasjon foreslås systemet illustrert i Figur 2. Endelig plassering av sensorer og annet utstyr tilpasses grunnforholdene. Systemet forutsetter lokal mobildekning. Det er fordelaktig med tilknytning til strøm, men systemet kan også benytte batterier. Installasjonsarbeidet forutsetter tilgang til en geoteknisk borerigg til installasjon av sensorene samt en enkel grunnundersøkelse.



Figur 2 System skisse, Bodø stasjon

Ved Eidsvoll-Venjar foreslås at eksisterende system utvides ved tilkobling av et telemetriskap slik at kontinuerlig dataoverføring blir mulig.

## Geotekniske undersøkelser

Grunnforholdene må kartlegges slik at sensorene kan plasseres i riktig dybde, samt stabilitetsvurderinger kan gjennomføres. Dersom eksisterende geotekniske data ikke er tilstrekkelig, vil dette kreve orienterende geotekniske undersøkelser, for eksempel CPTU sonderinger og evt. noen prøvetaking og lab forsøk.

Bodø: Behov for grunnundersøkelser antas i første rekke å være aktuelt for lokaliteten i Bodø. Det antas imidlertid også å kunne eksistere eldre data fra grunnundersøkelser ved Bodø stasjon som kan gi nyttige bakgrunnsdata for denne lokaliteten.

Eidsvoll: Grunnforholdene er allerede godt kartlagt på Eidsvoll i forbindelse med IC-prosjektet. Det vurderes p.t. ikke å være behov for supplerende grunnundersøkelser her.

## Kostnadsoverslag

Kostnadsoverslag er omtrentlig og tilstrekkelig nøyaktig for overordnet budsjettering og planlegging (kostnadsanslag er gitt eks. MVA).

### Utstyr (anskaffelse/innkjøp, inkluderer ikke installasjonsarbeid)

- Telemetriskap ca. 15 000 NOK pr stykk.
  - Et skap kan tilkobles inntil 4 analoge sensorer og flere serielle (digitale) sensorer.
  - Nedbørmåler kobles til eget skap
- Sensorer ca. 10 000 NOK per målepunkt, med kabel
  - Kostnader varierer litt utfra sensor type, kabel lengde osv.
  - For enkelhetsskyld estimeres kostnader med enhetspris per punkt.
- Nedbørmåler ca. 12 000 NOK, med kabel

Anskaffelseskostnader for systemet skissert i Figur 2 estimeres til  $4*(10\ 000) + 1*(12\ 000) + 2*(15\ 000) = 82\ 000$  NOK

Tilkobling av ett enkelt telemetri skap til eksisterende utstyr i Eidsvoll-Venjar estimeres til 15 000 NOK pluss eventuelle tilpasninger til kabler, og eventuelt implementering av batteridrift.

### Feltarbeid

En enkel grunnundersøkelse og installasjonsarbeid for sensorer i bakken vil antageligvis ta 1-2 dager. Kostnad for geotekniske boretjenester kan variere mye basert på piloteierens lokale avtaler. Grovt estimeres kostnad for leie av borerigg med mannskap til ca. 75 000 NOK.

Parallelt med feltarbeid med borerigg, vil installasjon av instrumentering utføres med eget personell. Disse kostnadene kommer i tillegg til borekostnadene (dekkes av Klima 2050?).

### Drift og vedlikehold

- Drift og vedlikeholdsavtalen for telemetri-systemet er ca. 3 000 NOK per skap per måned. Avtalen dekker overføring av data via en skytjeneste samt vedlikehold og reparasjoner ved systemfeil.

## Tidsplan

### Høst 2019:

- Befaring i studieområdene
- Detaljert system plan og innkjøp av utstyr
- Grunnundersøkelse og systeminstallasjon. Igangkjøring i løpet av høsten.

### Fra tidlig 2020 og ut prosjektperiode for Klima2050

- Overvåkingssystemene driftes i forskningsøyemed; data-innsamling
- Forskningsaktiviteter med data
  - a. Utvikling av algoritmer og metoder ut fra datagrunnlag
  - b. Sammenkobling av lokale og regionale nedbørs data.
  - c. vurdering av varslingspotensiale
- Varslingsrutiner implementeres (hvis berettiget)
- Uttesting av innovative drenaseløsninger
- Publisering og disseminering

Etter at Klima2050-prosjektet er avsluttet, vil videre drift av systemet være opp til systemeiers ønsker og behov.