



Skred

Skredsikringstiltak fv. 868 Pollfjellet Sør - SVV September 2019

FV 868 hp 3, meter 540, Lyngen kommune

Ressursavdelingen

51035-SKRED-1



Ole Andre Helgaas



Statens vegvesen

Region nord

Ressursavdelingen

Geo og lab

Postadr. Postboks 1403

8002 BODØ

Telefon 22073000

www.vegvesen.no



Oppdragsrapport

Nr. 51035-SKRED-1

Labsysnr.

Skred

Skredsikringstiltak fv. 868 Pollfjellet Sør - SVV September 2019

Denne rapport beskriver 6 ulike skredsikringsalternativer for Pollfjelltunnelen Fv868 HP3, Km0,5.

UTM-sone	Euref89 Ø-N	Oppdragsgiver:	Antall sider:
33	701942 - 7713219	Statens vegvesen, Region Nord, Troms Vegavdeling	17
Kommune nr.	Kommune	Dato:	Antall vedlegg:
1938	Lyngen	2019-08-19	2
		Utarbeidet av (navn, sign.)	Antall tegninger:
		Andreas Persson	
Prosjektnummer	Oppdragsnummer	Seksjonsleder (navn, sign.)	Kontrollert
	51035	Viggo Aronsen	F. Sandersen NGI
Sammendrag			O.A Helgaas SVV

Troms Fylkeskommune har bedt Statens Vegvesen om å utrede ulike skredsikringsalternativer for Pollfjelltunnelens sørlige portalområde på fv. 868 hp3, km0,5. Området er utsatt for skred og skredfare. Denne rapport beskriver 6 ulike skredsikringsalternativer som inkluderer tradisjonelt skredoverbygg av betong, skredoverbygg av stål eller såkalt RoadCap, aktiv skredkontroll med radar varsling av skred, kort skredoverbygg kombinert med radarvarsling og radarvarsling som alene tiltak. Kostnadsnivå antas å ligge på ca. +-25%.

Skredoverbygg er uten tvil det beste og sikreste alternativet for Pollfjellet isolert sett. Skredoverbygg gir en god passiv sikring som ikke trenger daglig oppfølging for å fungere. Bygger man 250meter er man sikker mot 100års skredet. Bygger man 150meter er man sikker mot 10-20års skredet (skal-krav). Gjennom å kombinere et kort skredoverbygg med aktive metoder kan man oppnå sikring mot 50års skredet (bør-krav).

Pollfjellet er også relativt godt egnet for aktivskredkontroll og varsling skredteknisk sett sammenlignet med andre skredpunkter i Troms. Det er forholdsvis begrenset skredområde med bare et skredløp, og tilstrekkelig varslingstid for bruk av radarvarsling. Gjennom å kombinere disse metodene kan sikring mot 20 års skredet oppnås (skal-krav).

Emneord

Skredsikring, Pollfjellet



Statens vegvesen
Region nord
Ressursavdelingen
Postboks 1403, 8002 BODØ
Tlf: 22073000
firmapost-nord@vegvesen.no

vegvesen.no

Trygt fram sammen

Innhold

1. Innledning:.....	2
2. Skredområde	2
3. Akseptkriterier og sikkerhetskrav på veg.	4
4. Sikringsalternativ	4
4.1 Skredoverbygg av betong	4
4.2 Skredoverbygg av stål - Roadcap	5
4.3 Aktiv skredkontroll (kontrollert nedsprenning av snøskred).....	6
4.4 Radarvarsling og automatisk vegstenging ved skred.	9
4.5 Aktiv skredkontroll (nedsprengingsanlegg) i kombinasjon med radarvarsling	11
4.6 Kort skredoverbygg i kombinasjon med aktiv skredkontroll eller radarvarsling	11
5. Oppsummering.....	12
5.1 Skredoverbygg	12
5.2 Road Cap.....	12
5.3 Aktiv skredkontroll	12
5.4 Radarvarsling	12
5.5 Aktiv skredkontroll i kombinasjon med radarvarsling.....	12
5.6 Kort skredoverbygg i kombinasjon med aktiv skredkontroll eller radarvarsling	13
6 Sammenstilling skredsikringstiltak i tabellform	13
7. Konklusjon og anbefaling	14
7.1 Pollfjellet isolert sett	14
7.2 Pollfjellet sett samlet med øvrige skredpunkter Troms	14

Vedlegg:

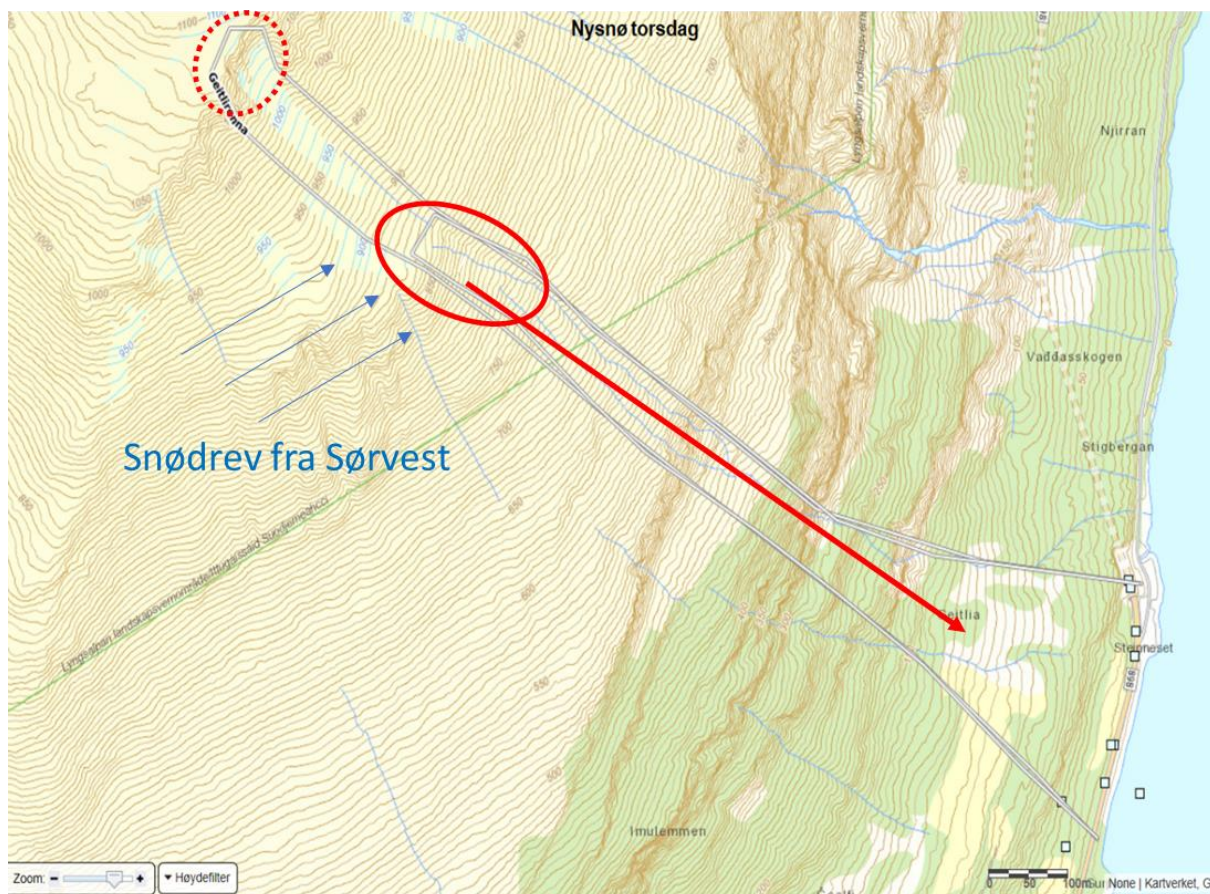
- Roadcap 2019 - Pollfjell snøskredsikring
- NGI 2019 - Befaringsrapport og trykk beregninger dok.nr. 20190580-01-r

1. Innledning:

Troms Fylkeskommune har bedt Statens Vegvesen om å utrede ulike skredsikringsalternativer for Pollfjelltunnelens sørlige portalområde på fv. 868 hp3, km0,5. Området er utsatt for skred og skredfare. Denne rapport beskriver 6 ulike skredsikringsalternativer som inkluderer tradisjonelt skredoverbygg av betong, skredoverbygg av stål eller såkalt RoadCap, aktiv skredkontroll med radar varsling av skred, kort skredoverbygg kombinert med radarvarsling og radarvarsling som alene tiltak. Kostnadsnivå antas å ligge på ca. +25%. I tillegg er sikring med støtteforebygginger også vurdert men ikke tatt med i rapporten ettersom kostnadene anses alt for store i forhold til den usikkerhet sikringen gir.

2. Skredområde

Skredløpet som truer vegen ved Pollfjelltunnelens sørlige portal kalles for Geitlirenna. Det er to kjente løснеområder, et i toppen på ca. 1050moh, og ett lengre ned i renna på ca. 800moh. Det er først og fremst det laveste løснеområdet på 800moh som er vanligste årsak til skred som treffer vegen, se **figur 1**.



Figur 1: Skredløpet som truer vegen ved Pollfjell sørlige portal kalles for Geitlirenna. Det er to løснеområder, et i toppen på ca. 1050moh (rød stiplet ring), og ett lengre ned i renna på ca. 800moh (rød heltrukket ring). Det er først og fremst det lavere løснеområdet som årsaker skred.

Den vanligste utløsningsårsaken er snø som driver in med vind fra V-SV og som blir akkumulert bak en NV-SØ ryggformasjon (krysslading). Det er vanligvis NV vinder som gir mest nedbør, men dette fører som regel ikke til like stor skredfare ettersom le effekten for ryggformasjonen på 800m da for en stor del da uteblir. En lengre kuldeperiode og dannelse av vedvarende svake lag etterfulgt av mye snø fra NV i kombinasjon med senere sterk vind fra SV er sannsynligvis den mest vanlige vær-situasjonen som fører til skred mot veg.

Skredregistreringer i NVDB tilsier en skredfrekvens på ca. hvert 3. år. Det antas noe underrapportering for mindre skred der det ikke er store mengder snø på vegen. Dette grunnet mørke, snøfokk og at eventuelle rester av skredet blir brøytet bort. Ifølge lokal kjentmann *Frode Hansen* er skredfrekvensen så ofte som ca. 2 eller flere ganger i året over veg. For de aller fleste skred er det bare skredvinden (støvsken) som går over vegen, mens de faste og mere destruktive massene som regel stopper før vegen eller går lengre nord for portalen. Hvor destruktiv skredvinden kan være er usikkert, men at skredvinden kan flytte kjøretøy ut på fjorden kan ikke utelukkes. De faste skredmassene når vegen ca. hvert 5. – 10. år og må da ryddes bort fra vegen med hjelp av hjullaster før man kan åpne igjen. Disse antas å være betydelig mer skadelige enn skredvinden. Dette synes også på enkelte eldre og større trær som har knekt og fått betydelige skader av skred. Anslagsvis treffer de faste massene 0-150m fra tunnelen når de først treffer, mens fra 150-250 meter er det nesten utelukkende snøskyen. Det vil derfor være de 150metrene nærmest tunnelen som vil ha størst behov for sikring.



Figur 2: Viser omtrent hvor skredene treffer vegen. Det er sjeldent at det kommer noen store avsetninger av skred masser på selve vegen, men det skjer årlig at støvsken går over vegen.

3. Akseptkriterier og sikkerhetskrav på veg.

Pollfjellet har ifølge NVDB (Nasjonal Veg Data Bank) en trafikkmengde på 625 kjøretøy i døgnet og i snitt går det ca. 2 skred per år på veg, (inkludert skred der bare skredvinden treffer). Dette er ikke tilfredsstillende skredsikkerhet i henhold til SVVs krav om skredsannsynlighet [*Statens Vegvesen 2018, N200 kap. 208 - Sikkerhetskrav mot skred*], se tabell 1. I henhold til kravet skal skred på veg ikke forekomme oftere enn maks hvert 10. år (1/10), og bør ikke forekomme oftere enn maks hvert 50. år (1/50).

Tabell 1: Sikkerhetskrav for skredsannsynlighet på veg. [ref. N200 2018, tab.208.1]

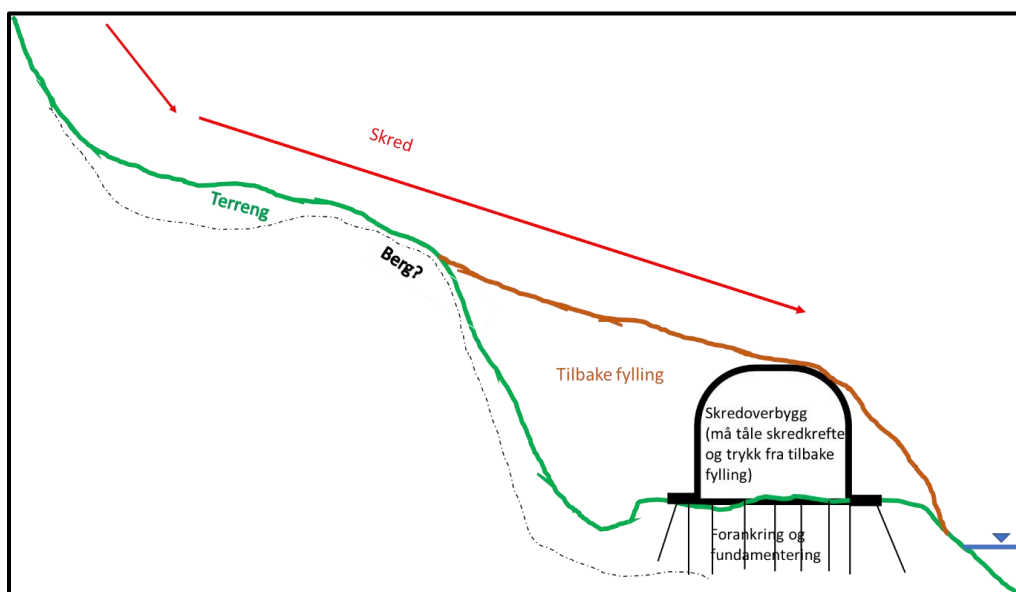
Dimensjonerende trafikkmengde	< 200	200 – 499	500 – 1499	1500 – 3999	4000 – 7999	> 8000
Skred-sannsynlighet						
Akseptabel skredsannsynlighet pr. km og år (bør-krav)	1/10	1/20	1/50	1/50	1/100	1/1000
Tolererbar skredsannsynlighet pr. km og år (skal-krav)	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100

4. Sikringsalternativ

4.1 Skredoverbygg av betong 250m

Metode

Sikring med tradisjonelt skredoverbygg antas å være den sikreste metoden, men også den desidert dyreste. Skredoverbygget må tilbakefylles med løsmasser slik at skredene kan passere lett over for å unngå store påkjenninger på konstruksjonen. Se prinsippskisse i **figur 3**. Det antas at nødvendig lengde er ca. 250 meter og at dette vil sikre opp imot > 100 års skredet (bør-krav 50 år), med forbehold om riktig dimensjonering i forhold til de virkende skredkreftene. Det vises også til vedlagt rapport fra NGI som omhandler skredsimuleringer og utførte trykk beregninger for et skredoverbygg [NGI 2019 - Befaringsrapport og trykk beregninger NGI rapport 20190580-01-R].



Figur 3: Prinsippskisse skredoverbygg

Antatte kostander og fremdrift

Kostnadsanslaget antas å ligge på ca. 135 millioner kroner inkl. moms og byggherrekostnader. Løpemeterkostnaden ligger på ca. 545 000 kr/m. Disse kostnader er basert på erfaring fra tidligere prosjekt. Anslaget antas i utgangspunkt ligge på ca. +25%, men også større avvik opp imot +40% kan ikke utelukkes. For et mere detaljert og sikkert kostnadsanslag må skredsikringen detaljprosjektertes.

Detaljprosjektering omfatter bla; grunnboringer/geotekniske vurderinger, vurdere utfylling i sjøen, tilbakefylling skredoverbygg, massetransport og tilgjengelige masser, linjeføring/krvatur, geometri/tverrsnitt, åpen eller lukket konstruksjon, nødutganger, nødvendig betongtykkelse, beregning mengder betong og armeringsjern, betongleveranser, produksjonssted, markedsvurdering entreprenører, belysning, ventilasjon, grunnnerverv m.m. Og ikke minst avkjøringsmuligheter til gamleveggen på yttersiden av Pollfjelltunnelen.

Dersom man går i gang med detaljprosjekteringen i løpet av 2019 så antas et mere nøyaktig kostnadsanslag på ca. +10% å kunne foreligge i slutten på 2020. Byggetid anslås til ca. 5-6 måneder, men må utføres i sommerstid uten skredfare. Sikring kan derfor i beste fall stå klar til vinteren 2021/2022.

4.2 Skredoverbygg av stål 250m- Roadcap

Metode

En av mulige typer skredsikring er RoadCap som er foldbare, transportable og ekspanderende tunnel moduler i galvanisert stål, som kan settes opp fra noen meter inn i tunnelen og sørover langs den 250 meter lange skredstrekningen [*Roadcap 2019 - Pollfjell snøskredsikring*]. Det har en anslått levetid på 40 år. RoadCap tunnel må også tilbakefylles inn mot fjellet slik at skredmassene går over, og uten for store påkjenninger på konstruksjonen. Det er da tenkt å trekke RoadCap tunnel så langt inn mot fjellet som mulig. Dette må undersøkes nærmere med tanke på krvtatur, spesielt når man kommer ut av Pollfjelltunnelen, og grunnforhold. For å få dekket lysåpning i Pollfjelltunnelen er det anbefalt en RoadCap modul strekning på 259,2m, med moduler på 10,8 meter.

RoadCap er ikke tidligere blitt bygd i fullskala, så man har ingen erfaringer med dette. Det er to prosjekter sørpå, hvor denne sikringen er vurdert, men det er ikke konkludert. Dette er i Rogaland på Fv117 ved Ørsdalstunnelen og på Fv520 ved Svandalsfossen. Det vises også til vedlagte rapport fra Roadcap (august 2019).

Antatte kostnader og fremdrift

Kostnadsanslaget antas å ligge på ca. 100 millioner kroner med usikkerhet på +/- 30%, for en T8,5 RoadCap tunnel. Detaljprosjektering og eventuell utarbeidelse av konkurransegrunnlag antas å kunne gjøres i 2020 og omfatter mye av de samme momentene som for skredoverbygg. Installasjonstiden er beregnet til så kort som 21 dager, men dette inkluderer ikke tilbake fyllingen.

4.3 Aktiv skredkontroll (kontrollert nedsprenning av snøskred)

Metode

Aktiv skredkontroll er en forholdsvis ny skredsikringsmetode som har lave investeringskostnader, men høyere restrisiko sammenlignet med tradisjonelle metoder som tunnel og skredoverbygg. Metoden baserer seg på at man stenger vegen når skredfaren er stor og sprenger ned de ustabile snømassene. Dette kan gjøres med både helikopter og faste installasjoner i fjellsiden. For Pollfjellet er det faste installasjoner som anses mest hensiktsmessig. Disse er ikke like væravhengige som bruk av helikopter. Hyppige sprenginger på riktig tidspunkt gjør at skredene ikke blir så store og sannsynlighet for at de når vegen er liten. Derfor må vegen sjelden ryddes etter utført sprenging. Et viktig mål med metoden er også å redusere stengetid på grunn av skredfare. Hvis man er usikker på skredfaren kan vegen stenges, og det foretas en sprenging istedenfor å stenge vegen over lengre tidsrom. Kommer snøen ned anses området sikret, og kommer det ikke ned så antas området stabilt og vegen kan holdes åpen med større sikkerhet. En enkel sprenging skal ikke trenge stenging i mer enn maks 10-20 minutter (under normale forhold), styrt inn mot gunstige tidspunkter i forhold til trafikkavvikling. Det understrekes at sikring med denne metoden forutsetter kontinuerlig oppfølging gjennom hele vinteren og døgnet. Dersom det ikke blir satt av tilstrekkelige ressurser i form av både mannskap og midler til daglig drift, vil sikringseffekten avta drastisk.

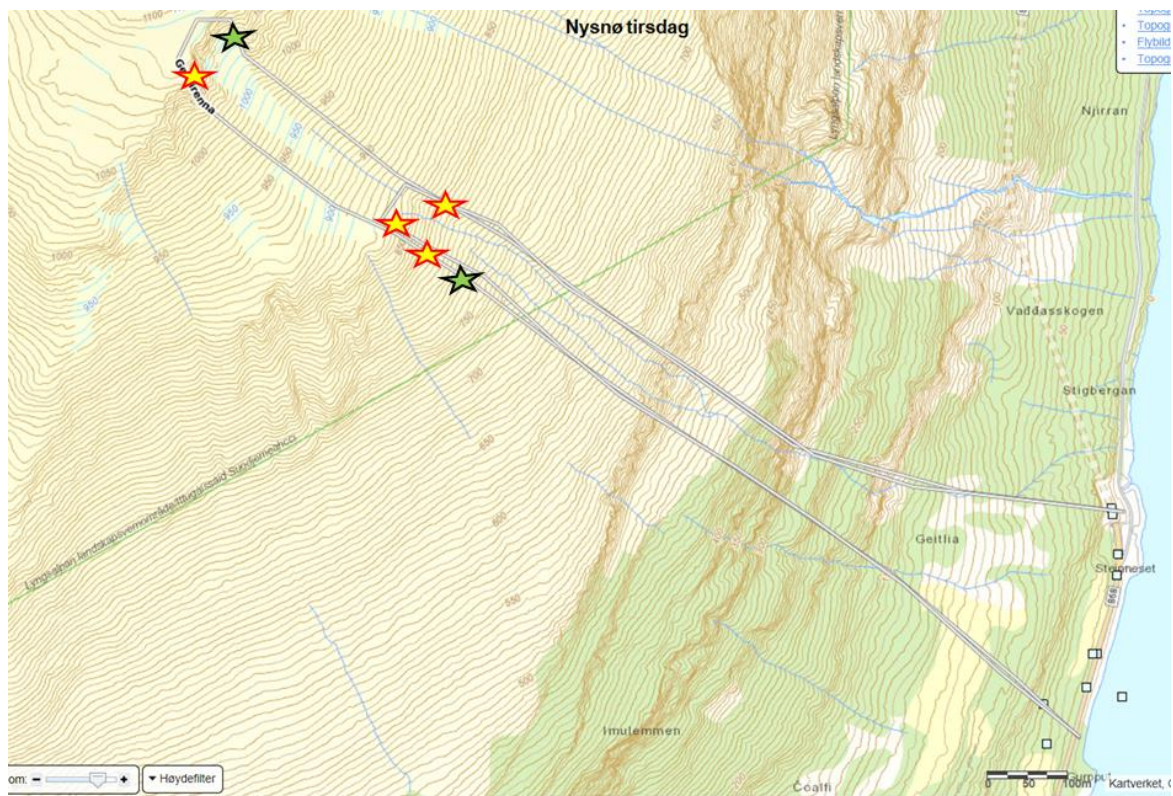
Geitlirenna

Geitlirenna antas som et relativt gunstig område for sikring med bruk av aktiv skredkontroll. Begrunnelsene er at det er et ganske begrenset område med bare et skredløp som vil kunne dekkes bra med relativt få sprengpunkter. Skredene når sjelden vegen og dermed antas behovet for å rydde etter hver skredutløsning som liten.

Utbygging anbefales først med 4 sprengningspunkter men med opsjon på å kunne flytte 2 av disse, og supplere med ytterligere 2 sprengningspunkter. Det er usikkert om det er behov for mer enn 4 sprengningspunkter men dette kan ikke utelukkes og vil vise seg først når man får erfaring. **Figur 4 og 5** viser forslag på sprengningspunkter. Endelig plassering må vurderes nærmere i en eventuell prosjekteringsfase.

Aktiv skredkontroll har imidlertid størst effekt på tørre flakskred, og erfaringsmessig viser det seg vanskelig å sprengne ned våte skred. I Geitlirenna er også våte vårscred noe som kan utgjøre en restrisiko. Selv om også gjentatte sprenginger i løpet av vinteren også minker risikoen for våte skred kan dette ikke utelukkes. Derfor må stenging pga. skredfare fortsatt kunne inntreffe når det er fare for våte snøskred. Men dersom man kombinerer aktiv skredkontroll med radarvarslings og automatisk vegstengning vil man ha en sikkerhet også mot de våte skredene, se mer om dette i kap 4,4.

I tillegg må faren for ukontrollerte skred mot bebyggelse vurderes, se neste avsnitt.



Figur 4: Utbygging anbefales først med 4 sprengningspunkter (gul stjerne) men med opsjon på å kunne flytte 2 av disse, og supplere med ytterligere 2 sprengningspunkter (grønn stjerne).



Figur 5: Det er usikkert om det er behov for mer enn 4 sprengningspunkter men dette kan ikke utelukkes og vil vise seg først når man får erfaring. Endelig plassering må vurderes nærmere i en eventuell prosjekteringsfase.

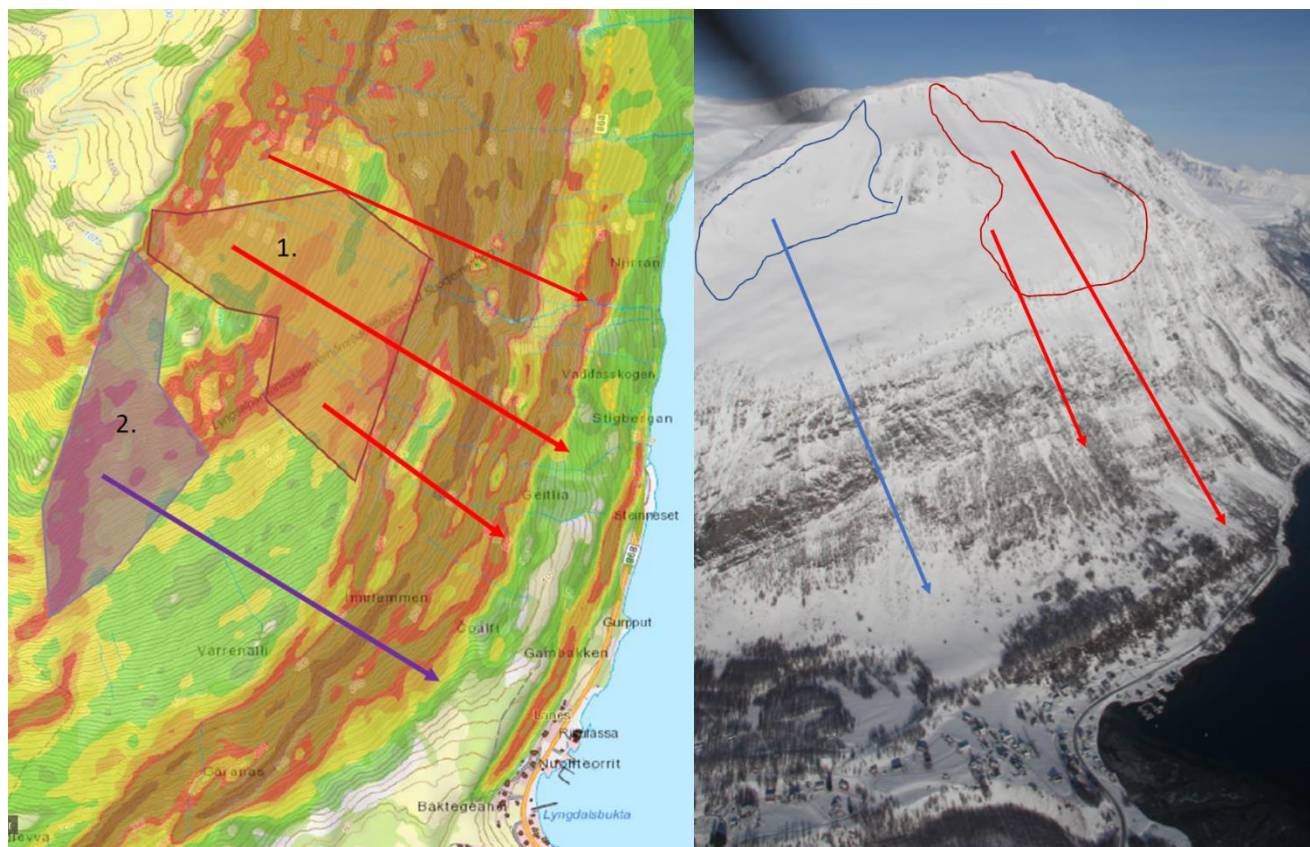
Risiko for ukontrollerte skred mot bebyggelse

Skredløpet Geitlirennan har tilstøtende skredløp på sørsiden som utfra helningen teoretisk sett kan fjern-utløses ved en sprenging og dermed kunne true bebyggelsen nord på Furuflaten. I praksis avgrenses imidlertid disse områder av fjellrygger som oftest er uten snø. Geitlirennan antas derfor under normale forhold å være et løснеområde som er helt uavhengig av løснеområdet lenger sør, og som kun under meget spesielle og sjeldne snøvintre med svært ustabil snødekke eventuelt kan true bebyggelsen, se **figur 6**. Når en sprenging skal utføres i Geitlirennan må likevel alltid faren for skred mot infrastruktur vurderes nøye før man kan utføre sprengingen. Dette inngår i standard prosedyre/instruks. Mange sprenginger i løpet av en vinter vil også føre til at snødekket stabiliseres i området hvor man sprenger, og dermed minker risikoen for store skred og bruddforplantning med fjernutløsning inn i sideområdene.

Konklusjonen er at det under normale snøforhold ikke vurderes som en fare for at man kan løse ut skred mot bebyggelse, men at i ekstreme og svært sjeldne snøforhold er dette en liten usikkerhet. Det må derfor utarbeides rutiner for å vurdere dette i den daglige driften. Det bør også i samarbeid med NVE/NGI utarbeides en evakueringsrutine i slike situasjoner, noe som også bør utarbeides uavhengig bruk av aktiv skredkontroll. Dette er NVEs ansvar.

Antatte kostnader og fremdrift

Se kapittel 4.5



Figur 6: Utfra helningen kan teoretisk sett en sprenging i Geitlirennan (rødt område) gi et så stort flaksred at dette kan kunne true bebyggelsen nord på Furuflaten (blått område). I praksis avgrenses imidlertid disse områder av fjellrygger som oftest er uten snø og antas dermed ikke være en problemstilling. Det må likevel alltid vurderes ved sprenging.

4.4 Radarvarsling og automatisk vegstenging ved skred.

Metode

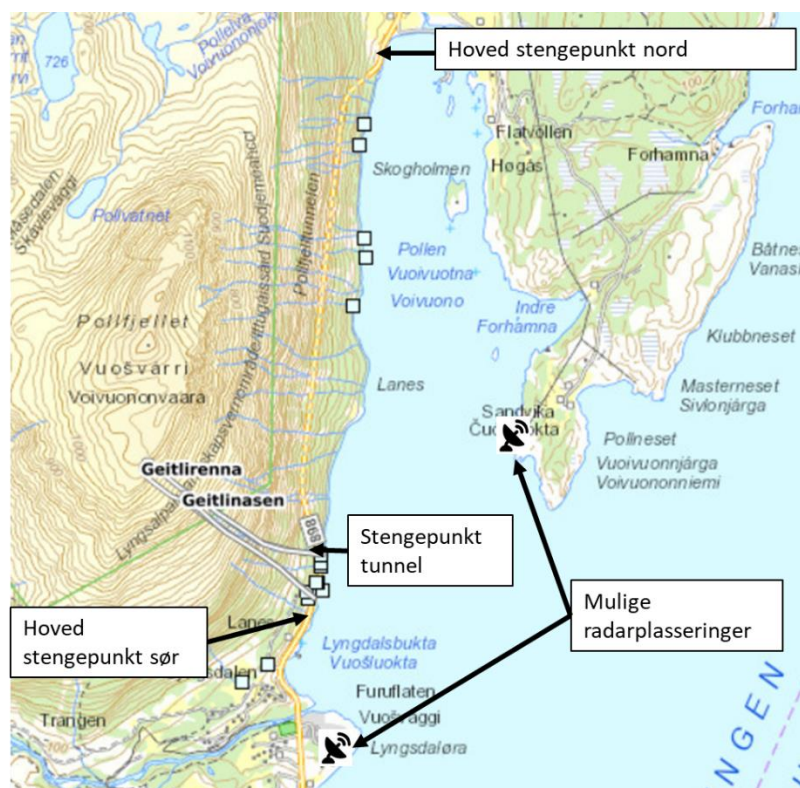
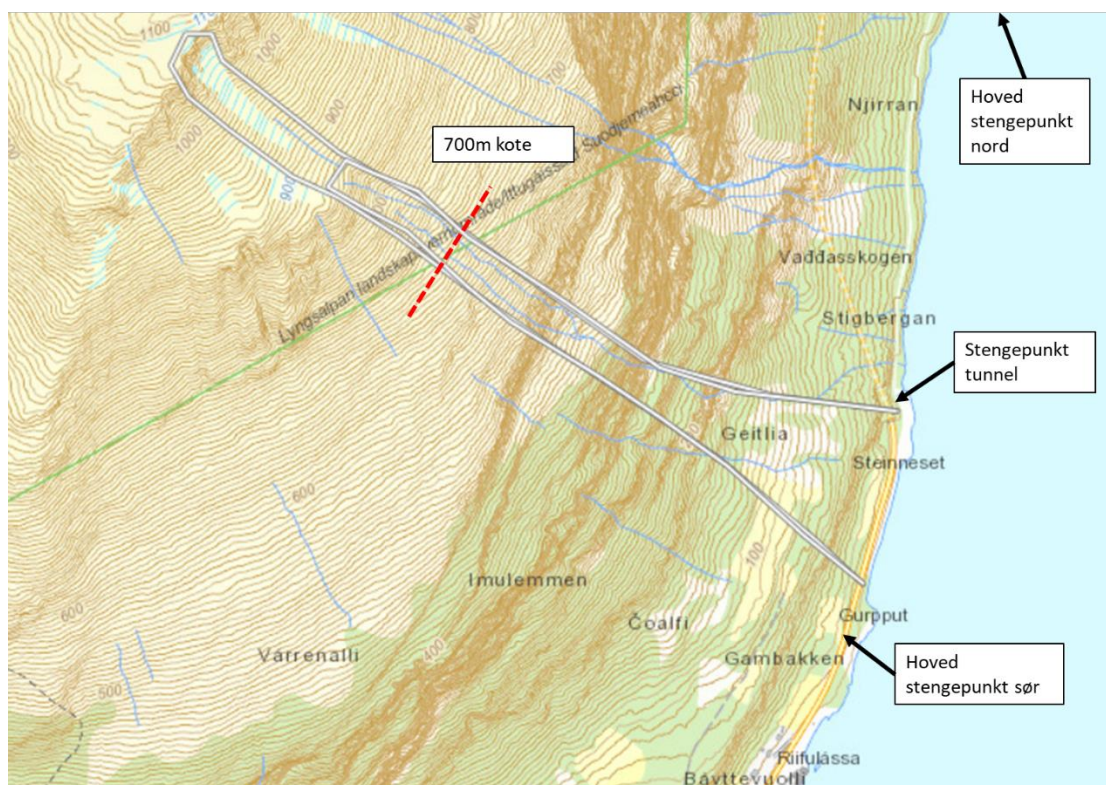
Radarvarsling av skred er på lik linje med aktiv skredkontroll en forholdsvis ny skredsikringsmetode med lave kostnader, men høyere restrisiko sammenlignet med tradisjonelle tiltak som tunnel og skredoverbygg. Metoden baserer seg på at en radar overvåker fjellsiden og stenger vegen automatisk når et skred løsner slik at all trafikk kan stanse før det når den utsatte vegstrekningen. Når det går et skred, kan signalene fra disse overvåkningsanleggene brukes som grunnlag for automatisk stengning av vegen ved hjelp av trafikklys og bommer. Varslingsanlegg kan brukes som sikring alene eller som et komplementerende og restrisikoreduserende tiltak til aktiv skredkontroll. Radarvarslingen fungerer i alle typer vær og sikt. Denne vil også gjøre nedsprenning i mørke og dårlig sikt i større grad mulig og gi en bedre sikringseffekt. Dersom varslingsanlegg brukes alene som skredsikringstiltak er det viktig at skredet bruker lengre tid på å komme ned til vegen, enn det et kjøretøy bruker på å passere den skredfarlige strekningen. Ellers vil et kjøretøy som nettopp har passert sperrebommen når skredet løsner, kunne risikere å bli tatt i skred. Sikring med varslingsanlegg er en passiv metode og så lenge systemet fungerer etter hensikt trenger dette ikke noen form for vurderinger. Det vil også kunne gjøre at strekninger som er mye stengt pga. skredfare kan holdes åpen i større grad.

Geitlirenn

Geitlirenn antas som et gunstig område for bruk av radarvarsling. Det antas ha tilstrekkelig lang varslingstid i forhold til skredstrekningen som skal passeres. Alle skred som passerer 700meters koten eller løsner under denne skal stenge vegen, se **figur 7**. Dette gir tilstrekkelig lang varslingstid på ca. 40 sekunder før skredet treffer vegen (*NGI 2019 - Befaringsrapport og trykkberegninger dok.nr. 20190580-01-r*). For å passere området mellom stengepunktene på ca. 350 meter trenger et kjøretøy som holder 50 km/t ca. 25 sekunder. Hastighetsgrense på strekningen er 60km/t. Stengningspunkter bør etableres minst 3 plasser, sør for skredområdet, nord for skredområdet (dvs. inne i tunnelen) og et stengepunkt nord for tunnelen. Stengningspunktet nord for tunnelen er slik at man i hovedsak stopper kjøretøyene utenfor tunnelen. Det må også vurderes om det bør opprettes flere stoppepunkter for å avlede og stanse trafikken etter ønske og der det er mulig å snu. Det er to mulige plasseringer for radaren begge med muligheter for strømtilkobling, se **figur 8**. Det må sannsynligvis påregnes ny trafo med tilgang på lav-spent. Fordelen i Pollfjellet er også at veldig få skred trenger å ryddes fra vegen og den nødvendige stengingstiden blir derfor mindre enn for områder der flere skred treffer vegen med masser som må ryddes med hjullaster. Men man må imidlertid påregne noen korte stenginger for mindre skred som passerer 700meters koten og ikke treffer vegen, ettersom man ikke vet dette i det øyeblikk de løsner og man trenger en varslingstid på minimum ca. 25-30 sekunder. Ved hjelp av automatisk åpning for skred som ikke når vegen vil de korte stengingene kunne minimeres til et par minutter. I tillegg må man påregne at stenginger kommer på mer tilfeldige tidspunkter, sammenlignet med bruk av aktiv skredkontroll, ettersom skredene da kan sprenges ned på mer eller mindre bestemte tider.

Antatte kostnader og fremdrift

Se kapittel 4.5



4.5 Aktiv skredkontroll (nedsprengingsanlegg) i kombinasjon med radarvarsling

Metode

Dersom en kombinerer aktiv skredkontroll med radarvarsling antas det å kunne oppnå en mere konkurransedyktig sikring sammenlignet med skredoverbygg. Primært brukes da nedsprenging av de ustabile snømassene for å sikre området. Sekundært og restrisikoreduserende brukes radarvarsling med automatisk stenging. Dersom et skred skulle løsne til tross for at det har vært utført sprenging, stenges vegen automatisk. Radarvarslingen fungerer i alle typer vær og sikt. Denne vil også gjøre nedsprenging i mørke og dårlig sikt i større grad mulig og gi en bedre sikringseffekt.

Fordelene med aktiv skredkontroll og varsling er også at utstyret forholdsvis enkelt kan flyttes til andre skredområder om behovene skulle endres og det på et senere tidspunkt er aktuelt å sikre med skredoverbygg eller forlengelse av eksisterende tunnel.

Antatte kostnader og fremdrift

Kostnader antas å havne på ca. 35 millioner kr +/- 25 %. For radarvarsling/aktivskredkontroll alene hver for seg ligger kostnadene ca. 18 millioner kr. Detaljprosjektering og utarbeidelse av konkurransegrunnlag antas å kunne gjøres i 2019/2020. Byggetid anslås til ca. 6 måneder og må gjøres i barmark-sesongen. Sikringen kan i beste fall stå klar til vinteren 2020/21. Innkjøringstid og optimalisering må påregnes ca. 1 - 3 år.

4.6 Kort skredoverbygg 150m

Dersom en bygger et skredoverbygg med 150 meters lengde antas dette å sikre for ca. 95% av skredene, dvs. dette alene gir en sikring mot ca. 10-20 års skredet (skal-krav). For antatt fremdrift se kapittel 4.1.

4.7 Kort skredoverbygg i kombinasjon med aktiv skredkontroll eller radarvarsling

Et 150 meter langt skredoverbygg i kombinasjon med enten radarvarsling eller aktiv skredkontroll antas å kunne gi sikring mot 50års skredet (bør-krav).

Fordelen med å kombinere overbygg med radarvarsling er at metoden er passiv og ikke trenger daglig oppfølging som aktivskredkontroll.

For antatte kostnader og fremdrift se kapittel 4.1 og 4.5

5. Oppsummering

5.1 Skredoverbygg

Et skredoverbygg av betong på ca. 250m gir en god passiv sikring som ikke trenger daglig aktiv oppfølging. Det antas å kunne oppnå en sikring mot > 100 års skredet som er godt innenfor bør-kravet på 50år [Statens Vegvesen 2018, N200 kap. 208 - Sikkerhetskrav mot skred]. Stengingstiden antas redusert med 99,9%. Kostnadene antas å ligge på ca. 135 millioner kr.

5.2 Road Cap

Et skredoverbygg av stål (Roadcap) er rimeligere å bygge enn et tradisjonelt i betong. Kostnadene antas å ligge på ca. 100 millioner kr, og det antas også å sikre mot 100års skredet, med forbehold av at konstruksjonen er tilstrekkelig stabil. Metoden er imidlertid ikke brukt tidligere og det er derfor knyttet usikkerheter til konstruksjon, levetid og kostnader. Det er i skrivende stund to andre prosjekter pågang i region vest og det anbefales derfor at man avventer til disse prosjekt er kommet lenger, eller at de koordineres slik at man får prøvd ut metoden. Den store fordelen med denne type sikring er den korte byggetiden sammenlignet med betongoverbygg. Dette er spesielt gunstig i områder med steinsprang ettersom det må utføres langvarige forskalingsarbeider i der man er utsatt for steinsprangfare. I Geitlirenna er det ikke rapportert om noen steinsprang og dette regnes ikke heller for å være en problemstilling. Også i snøskred-områder kan den korte byggetiden være en fordel ettersom dette kan medføre at en får tilstrekkelig tid å ferdigstille sikringen i den relativt korte barmark-sesongen på ca. 6 måneder, uten å må risikere bygging over to barmarks-sesonger.

5.3 Aktiv skredkontroll

Med bruk av aktiv skredkontroll antas det å kunne oppnås en sikring mot ca. 5 - 10 års skredet. Restrisikoen består fremst i manglende og/eller ukvalifisert oppfølging. Det må utarbeides spesielle rutiner for fare for skred mot infrastruktur. Våte snøskred vil sjeldent utløses med aktive metoder, og dette utgjør også en del av restrisikoen. Stengingstiden antas redusert med ca. 80 - 90%, ettersom både stenging pga. skredfare og behov for å rydde skred på veg antas å reduseres betydelig. Men stenging ved sprenging og ved fare for våte skred må fortsatt påregnes. Investerings-kostnadene antas å ligge på ca. 18 millioner kr +/- 25 %. Dette er basert på erfaring med kostnader fra nedsprengingsanlegg på Fv52 Tyin i Oppland.

5.4 Radarvarsling

Med bruk av radarvarsling antas det også å kunne oppnå en sikring mot ca. 5- 10 års skredet. Restrisikoen består fremst av eventuell teknisk svikt og/eller unormalt kjøremønster hos trafikantene. Stengingstiden antas redusert med 80-90%. Investeringskostnadene antas å ligge på ca. 18 millioner kr. Dette er baser på erfaring med kostnader fra radarvarslingsanlegg på Fv293 Holmbuktura i Troms.

5.5 Aktiv skredkontroll i kombinasjon med radarvarsling

Gjennom å kombinere aktiv skredkontroll med radarvarsling antas en å kunne oppnå sikring mot 20 års skredet eller bedre. Dette tilfredsstiller skal-kravet på 10 år, men ikke bør kravet på 50 år [Statens Vegvesen 2018, N200 kap. 208 - Sikkerhetskrav mot skred]. Stengingstiden antas redusert med 80 - 95%.

5.6 Kort skredoverbygg 150m

Et skredoverbygg på 150m gir en sikring mot ca. 10-20 års skredet (skal-krav). Kostnadene forventes å ligge på ca. 80miljkr.

5.7 Kort skredoverbygg i kombinasjon med aktiv skredkontroll eller radarvarsling

Et 150 m langt skredoverbygg som kombineres enten med aktivskredkontroll eller radarvarsling for skred antas å oppnå en sikring mot 50 års skredet. Dette tilfredsstiller børkravet på 50 år [Statens Vegvesen 2018, N200 kap. 208 - Sikkerhetskrav mot skred]. Stengingstiden antas redusert med 90 - 99%. Kostnadene antas å ligge på ca. 100 mill. kr.

6 Sammenstilling skredsikringstiltak i tabellform

Oversikt over de ulike skredsikringstiltakene og antatt sikringseffekt, kostnader, ferdigstillelse dato og forventet levetid:

Tabell 2: Sammenstilling skredsikringstiltak.

Sikringstiltak	Antatt skred-sannsynligh et etter sikring	Antatt reduksjon av stengetid	Investerings kostnader (inkl. moms og byggherre kostnader)	Drifts kostnader årlig (inkl. moms) [SVV rapport nr. 358 - EFFEKT 6.6]	Sikring tidligst klar	Forventet levetid (Usikre tal)
4.1 Skredoverbygg Betong 250m	1/100	99,9%	135 mill. kr	1000 000kr	2021/22	100år
4.2 Skredoverbygg Roadcap 250m	1/100	99,9%	100 mill kr (+- 30%)	???	2021/22	40år
4.3 Aktiv-skredkontroll	1/5 -1/10*	80-90%*	18 mill. kr	1 000 000kr	2020/21	50år
4.4 Radar varsling	1/5 -1/10*	80-90%*	18 mill. kr	500 000kr	2020/21	50år
4.5 Aktiv-skredkontroll og radar varsling	1/20*	80-95%*	35 mill. kr	1 500 000kr	2020/21	50år
4.6 Skredoverbygg 150m	1/10-1/20	95-97%	80 mill. kr	600 000kr	2021/22	100år
4.7 Skredoverbygg 150m og aktivskred-kontroll eller radarvarsling	1/50	95-99%	100 mill. kr	1000 000 kr	2021/22	100år/50år

*Noe lavere de første 3 årene

7. Konklusjon og anbefaling

7.1 Pollfjellet isolert sett

Skredoverbygg er uten tvil det beste og sikreste alternativet for Pollfjellet isolert sett. Skredoverbygg gir en god passiv sikring som ikke trenger daglig oppfølging for å fungere. Bygger man 250meter er man sikker mot 100års skredet. Bygger man 150meter er man sikker mot 10-20års skredet (skal-krav). Gjennom å kombinere et kort skredoverbygg med aktive metoder kan man oppnå sikring mot 50års skredet (bør-krav).

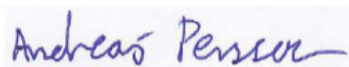
Pollfjellet er også relativt godt egnet for aktivskredkontroll og varsling skredteknisk sett sammenlignet med andre skredpunkter i Troms. Det er forholdsvis begrenset skredområde med bare et skredløp, og tilstrekkelig varslingstid for bruk av radarvarsling. Gjennom å kombinere disse metodene kan sikring mot 20 års skredet oppnås (skal-krav).

7.2 Pollfjellet sett samlet med øvrige skredpunkter Troms

Sikring med skredoverbygg vil imidlertid kunne bety at det ikke blir midler over til skredsikring andre plasser i Troms, og skal man se samlet på skredproblemene med et begrenset budsjett så anbefales derfor at man vurderer bruk av rimeligere tiltak som aktivskredkontroll/varsling. Selv om at restrisikoen for slike tiltak isolert sett er høyere, så gjør dette at man får mulighet å sikre flere skredpunkter og dermed oppnår man samlet og totalt sett en lavere restrisiko. Man må imidlertid også ha i baktankene at aktivskredkontroll/varsling er forholdsvis nye metoder som krever aktiv håndtering og drift. Dette er prosedyrer og rutiner som ikke finnes i dag i Norge og derfor anbefales det ikke at man starter med denne typ av sikring på for mange plasser med engang.

Med hilsen

Geo- og laboratorieseksjonen



Andreas Persson
Ingeniørgeolog



Statens vegvesen
Region nord
Ressursavdelingen
Postboks 1403, 8002 BODØ
Tlf: 22073000
firmapost-nord@vegvesen.no

vegvesen.no

Trygt fram sammen

RoadCap rapport

Pollfjell snøskredsikring Fv 868, Lyngen kommune, Troms Fylke

Oppdragsgiver Vegvesen Troms

Aug 2019



RoadCap -
midlertidig tunnel

1 Innledning

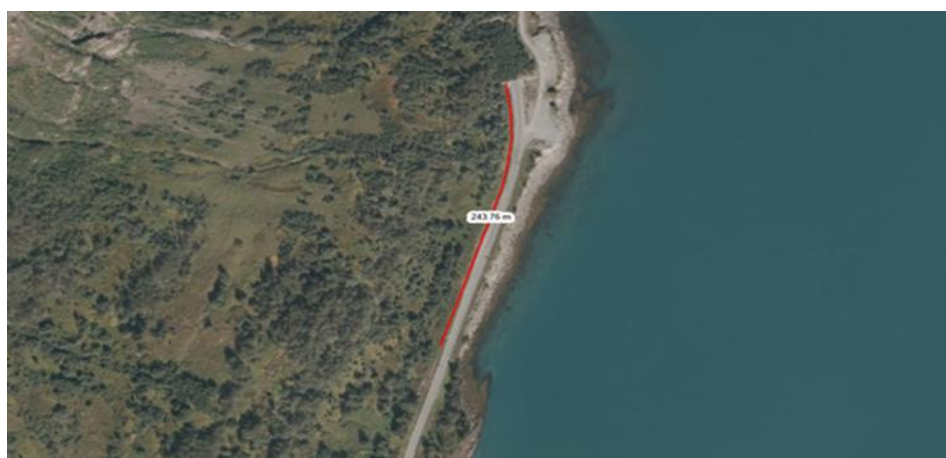
Vegvesen Troms har gitt RoadCap AS (medlemsbedrift i Norwegian Tunnel Safety Cluster, NTSC) i oppdrag å se på muligheten av å benytte RoadCap patenterte, foldbare, transportable og ekspanderende tunnel moduler for snøskredsikring på strekningen fra sør enden av Pollfjelltunnelen Fv 868 og 250m sørover.

RoadCap AS har kun hatt 12 dager tilgjengelig på dette Oppdraget pga sen oppstart og knapp tidsfrist. Det er ikke gitt noen kompensasjon til RoadCap AS for oppdraget.

RoadCap AS har ikke gjennomført befaring på stedet og det er begrenset med innhentede data fra området. Dette etter enighet med Vegvesen Troms i denne fasen.

Et budsjett estimat med 30% usikkerhet for en installasjon av RoadCap tunnel moduler på strekningen, er skissert.

Denne rapport er derfor basert på mange antagelser, og disse må avklares i prosjektet.



Illustrasjoner fra rasområdet ved Pollfjelltunnelen (Vegvesen Troms)

Annet

Det nevnes også at vi 15. Aug var i dialog mht endelig avklaring fra Vegvesen Rogaland/Stavanger om installasjon av RoadCap Pilot, Fv 520 ved Ørsdalstunnelen, vi forventer en rask avklaring.



Spesial transport til RoadCap Pilot ved Ørsdalstunnelen (3D visualisert)

RoadCap AS har i tillegg gjort en forstudie for RoadCap tunnel i Polykarbonat for Svandalsfossen ved Sauda. Dette er under vurdering som et av alternativene som Rogfk Samferdselsavdeling og Vegvesen Rogaland (Haugesund) nå ser på, se 3D illustrasjon under.



2 Forutsetninger

Følgende forutsetninger og antagelser angis:

- RoadCap 5000kJ versjon er lagt til grunn
- Kun %-vis oppskalering av Pilot til T8,5 og T9,5 er gjennomført
- RoadCap AS har ikke gjennomført nødvendig befaring
- Minimum forprosjektering er ikke gjennomført i denne fasen pga knapp tidsfrist
- Kurvatur horisontalt og vertikalt ikke tilgjengelig, ikke tatt hensyn til i denne omgang
- Grunnforhold ikke avklart fra Vegvesen
- Ingen veidata gitt av Vegvesen
- Krans bredde Pollfjell tunnelåpning sør antas 9m bred.
- Første del av Pollfjelltunnelen er oppgradert til T8.5 standard
- Klargjøring av utvidelse av veibredde samt påfylling av stabilisert, nivellert masse for RoadCap modulene ikke medregnet
- Arbeid for å fjerne, omplassere nedgravde kabler og rør er ikke medregnet
- Estimat for belysning evt styringssystem skal anslås
- Ventilasjon sees bort ifra i denne omgang
- Utgang fra RoadCap til sidevei på utsiden av Pollfjell, skal sees bort fra(ref. Vegvesen)
- 3D mobil scanning ikke gjennomført
- Boltelengder ikke kjent da løsmasse/grunnforhold er ukjent.
- Evt. kritisk transport strekning samt evt. kaiforhold ikke vurdert
- Oppfylling av masse for avledning av trykk antas nødvendig
- Fjerning evt flytting av løs masser antas, men er ikke medregnet
- Sykkelsti på utsiden er nevnt, men ikke tatt med i beregning.
- Kun 1 tlf møte gjennomført med Vegvesen Troms.
- Øvrige forutsetning, se de øvrige punkt i denne rapporten
- Alle overnevnte forutsetninger og evt. nye må avklares før endelig pris gis.

3 RoadCap konseptvurderinger

RoadCap AS anser T8,5 som optimal tunnel størrelse for en RoadCap installasjon på den nevnte ras strekning. Dette pga av at tunnelkrans er ca 9m bred på veinivå og ca 600m av den 3230m lange Pollfjelltunnelen er oppgradert til T8,5 m standard. Det muliggjør å få RoadCap innenfor eksisterende betong krans i tunnel åpning.

Veien på strekningen antas å variere mellom 7m bredde ved tunnelåpning, men stort sett 5m bredde sørover.

Det er fra vegvesen nevnt at det er ønskelig med en sykkelsti langs sjøsiden.

Disse forhold, samt resultat fra NGI's rasanalyse, gjør det sannsynlig med en utvidelse av veibredden inn i/mot løss massene på fjellsiden.

Rasanalysen indikerer behov for kompensierende tiltak (tilleggs barrierer) som avleder mye av kreftene som vil treffe RoadCap modulene, spesielt de første 150m fra tunnel åpningen.

Viktig også å få med seg at lokale folk, sier at raset oftest går over vei og lander i sjøen, uten å treffe veien direkte. Man ser ofte at det legger seg snøføyke i selve veibanen. Det er derfor viktig å avklare med Vegvesen Troms hva slags krefter man skal legge til grunn og frekvensen (1 gang/100 år? 1 gang/år etc)

Det blir uansett viktig å fokusere på trykk avlednings barrierer. En blanding av eksisterende rasmasse som allerede ligger der, kan utformes som en barriere de første 150m.

En mulig blanding med et lag med sement baserte Leca kuler kan være en mulighet. Dette er brukt som trykkabsorberende materiale i andre sammenhenger iflg. Leca Norge.

Dette må avklares nærmere som del av en forstudie. Leca Norge står klar til å bidra.

Andre mekaniske metoder for avledning av trykk krefter, vil bli vurdert.

Bardunering 90 grader på RoadCap tunnelene bør også vurderes, samt eventuelt langsgående vire gjennom RoadCap modulene.

Vi anser at veibredden kan utvides til 7m bredde hele 250m strekning, dvs totalbredden blir 10m bred inklusiv 3m bred sykkelvei langs strekningen.

Dette vil gjøre at mye av strekningen kan trekkes som en rett linje (unngår små kurveendringer), samt at det gir rom for sykkelsti (3m bred) på utsiden av RoadCap tunnelen.

Det er oppgitt fra Vegvesen Troms at det er tilgjengelig løsmasse fra veibane og 20m inn, samt 20 m høyde. Denne kan kan utformes og utnyttes som barriere/trykk avledning. Arbeidet med dette kan vi gjøre sammen med vår samarbeidspartner, Implenia Norge AS.

RoadCap tunnel vil derfor bli trukket så langt mot fjellsiden som mulig, dette vil også hjelpe mht avledning av trykk kreftene.

Første RoadCap modul vil bli installert ca 5 - 9m innenfor tunnelkransen slik at lysåpning dekkes og snøfokk hindres.

4 NGI rasanalyse data

Følgende info fra Vegvesen Troms/NGI ble sendt Roadcap AS 6. Aug:

Erfaringsmessig vil nærmeste 150 m fra portalen bli mest utsatt for snøskred, begge for våt- og tørr/blandet-skred. Videre ca. 100 m mot sør blir veien mindre utsatt.

Men også der kan faste skredmasser nå ned til veien.

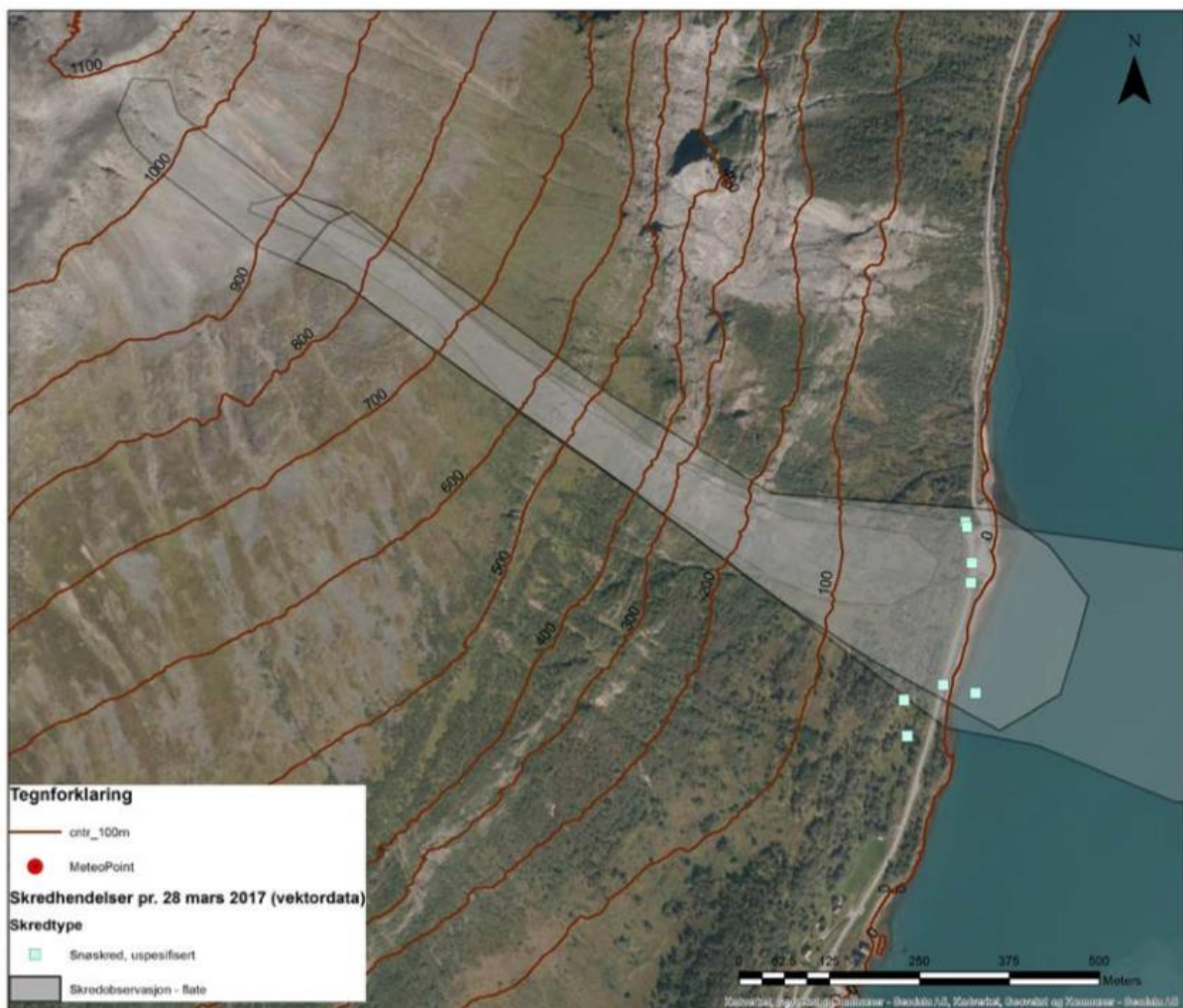
NGI har gjennomført simuleringer med snøskred med bruk av modellen RAMMS. Foreløpige anslag på skredtrykk for skred med returperiode rundt 100 år er som følger:

- 0 - 150 m: 150 kPa trykk fra faste skredmasser
-10 kPa undertrykk fra snøskyen
- 150 - 250 m: 50 kPa trykk fra faste skredmasser

Det må også tas hensyn til sug på bakveggen, anslått til 5 kPa.

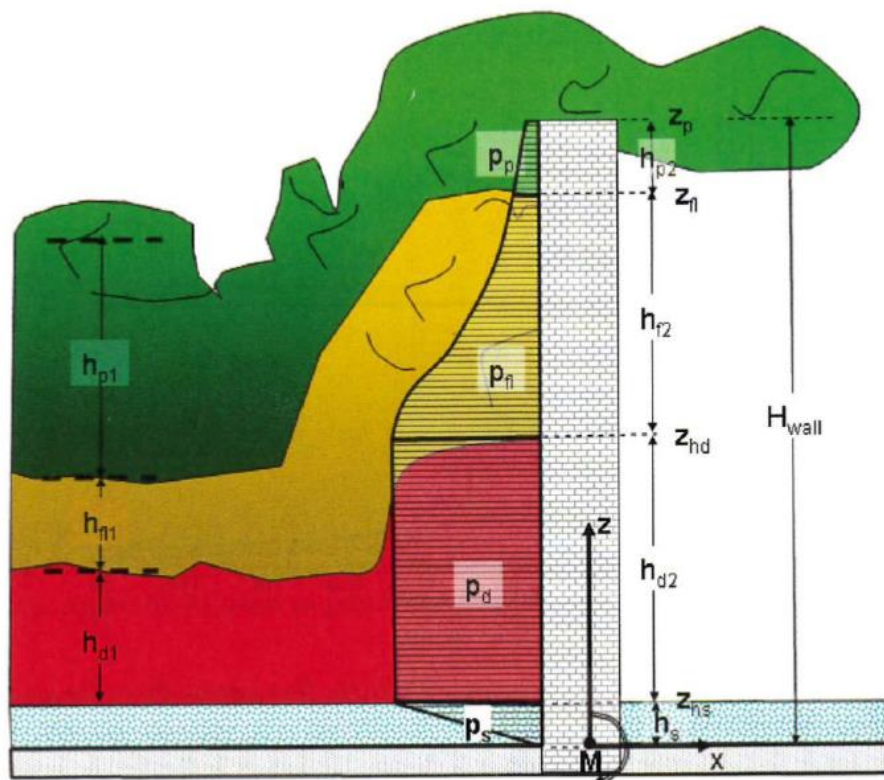
Rapporten fra NGI ble oversendt til RoadCap AS den 15. Aug. 2019.

Ras området statistisk er vist i følgende figur (tatt fra NGI rapport)



Figur 8 Skredhendelser registrert i den nasjonale skreddatabasen.

NGI sier i denne rapporten at de tar utgangspunkt i at trykk-bølgen treffer en vertikal vegg slik figuren (tatt fra NGI rapporten) viser.



Figur 17 Prinsippskisse for skredlast mot en vegg hvor snøskredet består av et lag av faste skredmasser (rødt) som strømmer langs bakken eller oppå snøen som ligger på bakken, deretter er det et fluidisert lag (gult) og øverst er snøskyaen (grønt).

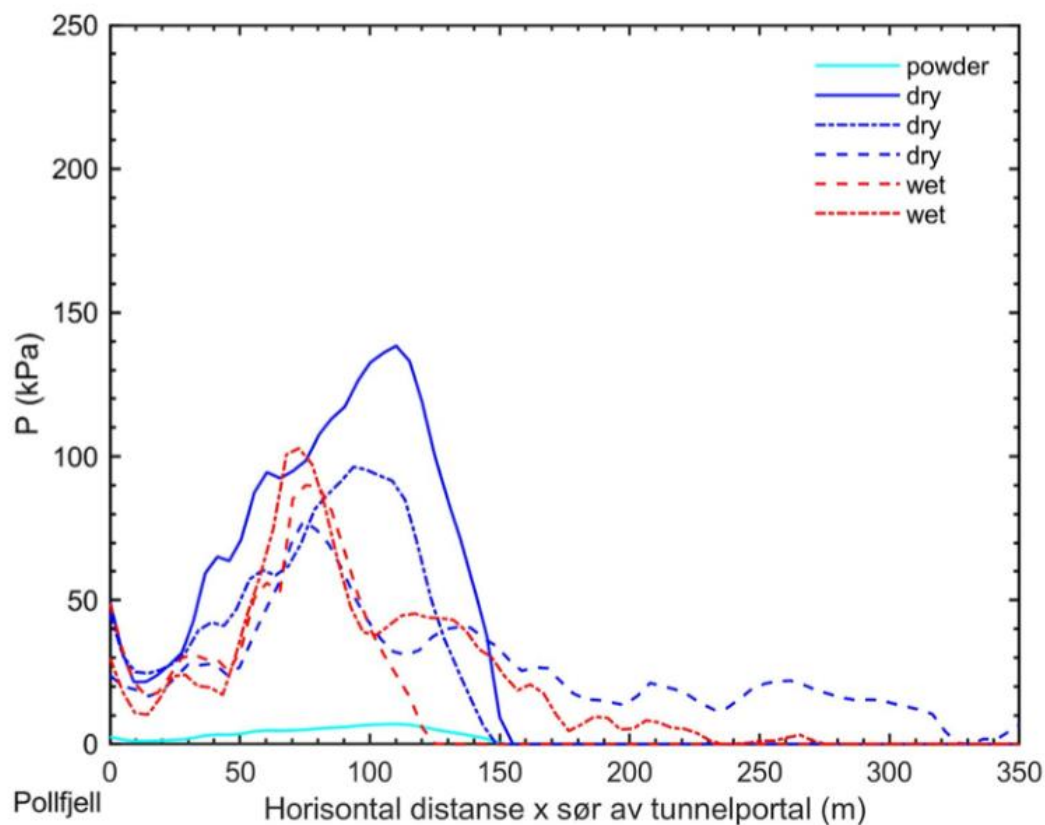
RoadCap AS kommentar

Dette mht vertikal vegg vil ikke være tilfellet, slik RoadCap ser på løsningen.

Det er greit nok som utgangspunkt for en prosess med simuleringer med mål om å designe avlednings barrieresystemet slik at kreftene fra snøskredet avledes ved at de går over RoadCap tunnel modulene. Løsningen blir å minimere trykk kreftene mot modulene.

Da disse simuleringene ikke er utført nå fra NGI, må vi komme tilbake til behovet for ytterligere simuleringer senere i prosjektet.

Fordeling av trykk kreften langs den 250m strekningen, er vist i følgende figur(tatt fra NGI rapporten)



Figur 20 Fordeling av trykk fra tunnelåpningen og mot Furuflaten i sørlig retning for ulike skredtyper, utløsningsområder og bruddhøyder mellom 1 m til 1.5 m.

RoadCap AS kommentar

Denne figur viser langt mindre trykk krefter fra 150m til 250m i retning Furuflaten(sørover).

For RoadCap modulene kan det bety at ekstra barrierer ikke nødvendigvis må etableres på de siste 100m, da modulene er sterke nok for disse kreftene.

Barriere system vil likevel bli utredet for denne strekningen (150m til 250m).

RoadCap AS vil i tillegg diskutere barriere system med Vegvesen Rogaland for vår Pilot v/ Ørsdalstunnelen, Fv 520 Bjerkreim kommune. Derved kan man få testet ut denne design av barriere.

5 Preliminær 3D visualisering

En preliminær visualisering av første del av en RoadCap installasjon er vist under

Rasstrekning før installasjon



3D visualisering – 2*10.8Meters moduler (Barriere system ikke 3D visualisert)



*3D visualisering – Før og etter plassering/installering av 2*10.8 Meters RoadCap moduler plassert ved sør-ende Pollfjelltunnelen.*

3D visualisering – 2*10.8Meters moduler (Barriere system ikke 3D visualisert)



*3D visualisering – 2*10.8 Meters RoadCap moduler plassert ved sør-ende Pollfjelltunnelen.*

6 Budsjett priser T8,5 og T9,5

Budsjett pris forutsetning:

- Minimum forprosjektering er ikke gjennomført, kun %-vis skalering
- Stål mengde kalkulasjon basert på %-vis oppskalering relativ til Pilot for Ørsdalstunnel.
- Ikke gitt nok tid for å sende ut anbud på fabrikasjon, sammenstilling og funksjons testing.
- Utvidelse av veibredde ikke medregnet
- Etterfylling/barrierer og etterfyllingsmateriale ikke medregnet
- Strekning klargjort med nivellering og fullt opp med nødvendig stabil masse, ikke medregnet
- Kurvatur horisontalt og vertikalt ikke vurdert, dvs mangler data, ikke beregnet.
- Antar T8,5 som optimal tunnel størrelse (pga 9m bredde på tunnelkrans i Pollfjelltunnel sørende).
- 3D scanning ikke utført
- 250 m rasstrekning
- 10,8m lange moduler
- 259,2m RoadCap modul strekning anbefaling (må dekke lysåpning i Pollfjelltunnel krans)

250m RoadCap moduler - Budsjett pris estimat

Tunnel standard (Ref. N500)	Budsjett pris (MNOK)	+ - % Usikkerhet	Antall moduler – 10,8m lengde pr modul
T8,5	98 MNOK	30%	24 stk
T9,5	120 MNOK	30%	24 stk

7 RoadCap tunnel belysning

Budsjett pris er innhentet av vår samarbeidspartner Roxel/Elcor



Prisestimat Pollfjelltunnelen, 250m sørover retning Furufalten

Prosjekt ref. RXI 2106

Dato: 06.08.2019

Summert:

kr 2 500 000

Fordelt slik:

Dok. Test,FAT	kr 250 000
RIG og oppstart	kr 200 000
Tavler	kr 275 000
Kabelstiger	kr 50 000
LED lys, ledelys	kr 350 000
Ventilator	kr 300 000
UPS	kr 75 000
Tlf, radio	kr 125 000
Skilt mek./LED	kr 75 000
PLS og styring, Kamera	kr 125 000
Kabel	kr 250 000
Tekniske bygg	kr 175 000
Sensorer, Nødskap	kr 250 000

Utstyr som ikke behøves (eks. ventiltorer, kamera) kan trekkes ut.

Spørsmål henv. Til

Sigve Sandvik, sigve.sandvik@roxel.no, mob. 90826541

8 RoadCap restverdi

RoadCap modulene lages med galvanisert utførelse, levetid er anslått til 40 år.

En eventuell beslutning fra Samferdselsutvalg i Troms Fylkeskommune og Vegvesen må ta hensyn til at RoadCap modulene vil ha en antatt god restverdi.

RoadCap modulene kan de-aktiveres og brukes andre steder.

De kan eventuelt benyttes på de gjenværende 2630m av Pollfjelltunnelen med lite tverrsnitt etter at en utstrossing for utvidelse av tverrsnitt er foretatt. Vi foreslår da en ekspansjon av RoadCap tunnelene innvendig i Pollfjelltunnelen. RoadCap modulene kan også benyttes på andre rasutsatte strekninger/tunneler i Troms.

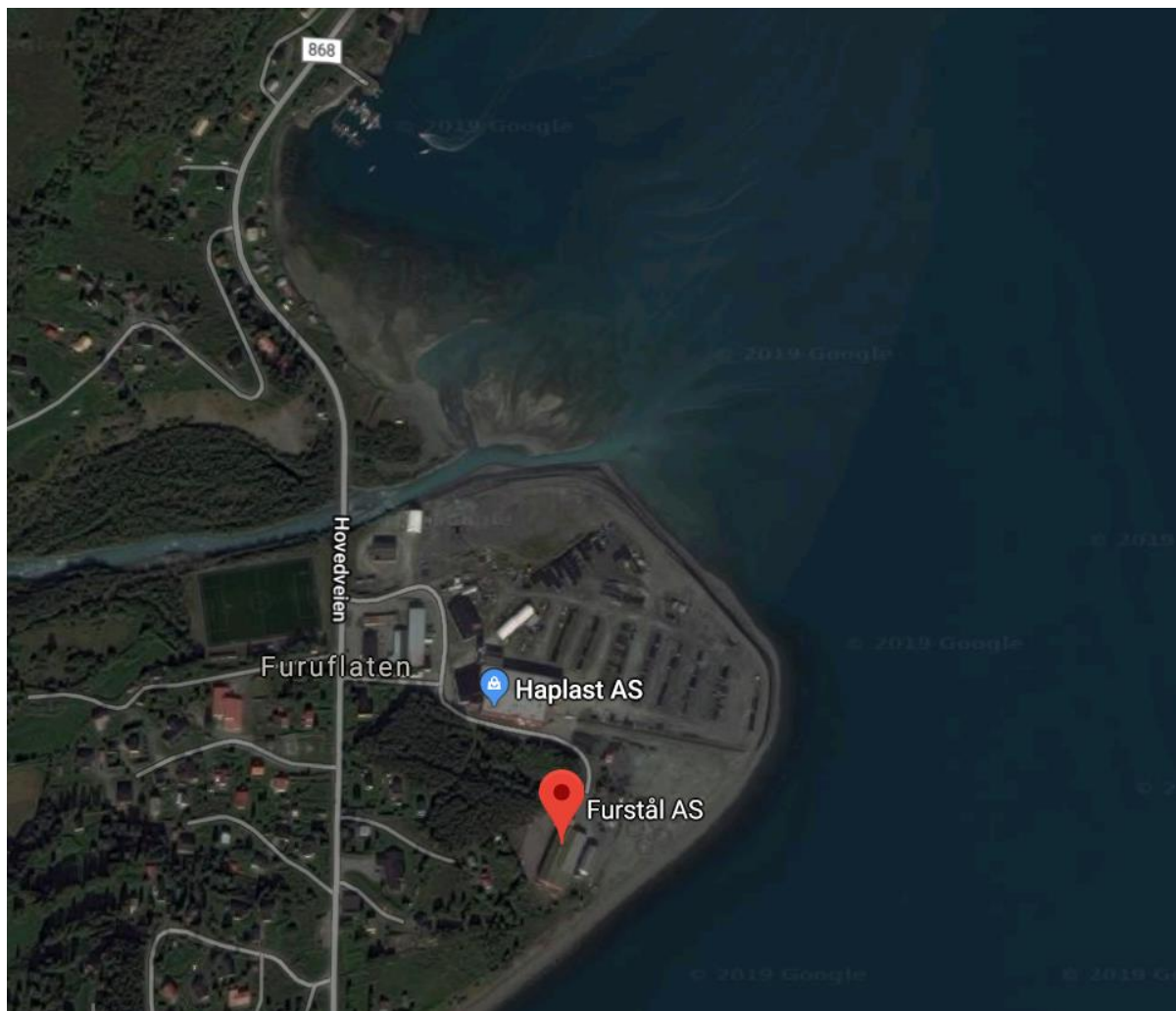


Visualisert illustrasjon med RoadCap tunnel moduler ekspandert innvendig i Pollfjelltunnelen.

9 Fabrikasjons-sted og tidsplan

RoadCap AS vil alltid prioritere lokalt bidrag eks i fabrikasjon og sammenstilling av modulene. Dette såfremt kompetanse, pris og fasiliteter er akseptable.

Det er ikke gitt anledning til å gå ut på anbud nå pga den korte tidsfristen, men RoadCap AS er i god dialog med lokalt verksted industri i Lyngen kommune/Troms, dvs Furstål AS på Furuflaten som ligger ca 1km fra rasstrekning hvor installasjon skal foregå. Dersom kriteriene er tilfredsstillende, vil Furstål AS bli prioritert.



Furstål AS, Furuflaten, 2 km fra Pollfjelltunnelen

Da anbud ikke er utsendt, anslår vi 6mnd (må verifiseres med anbud) for fabrikasjon, sammenstilling og funksjons testing av totalt 24 moduler.

10 Tidsplan for installasjon av RoadCap modulene

Forutsetning

- RoadCap befaring må gjennomføres
- Utvidelse av veibredde blir gjennomført før installasjon
- Løsmasse forberedelser som barriere, antas startes høst 2019
- Grunnforhold må klarlegges høst 2019 i samråd med Vegvesen Troms
- Grunnforhold er forberedt før installasjon dvs nivellert og tilgjengelig stabil masse

Installasjons estimat

Moduler Totalt (antall)	Moduler pr. natt (antall)	Installasjonstid (dager)	Trafikkstans pr. natt (timer)	Kommentar
24stk	2 stk	21	Perioder på 2x3 timer	Bolting delvis natt, delvis dag

Selve installasjonen kan skje i et tidsrom der faren for snøskred i sesongen 2020 er minimal, Mai 2020?

Dette må diskuteres nærmere med Vegvesen Troms.

RoadCap Preliminær Prosjekt plan (forslag)

- ✓ 1. Sept 2019:
Samarbeids-kontrakt etableres mellom
RoadCap AS/ Implenja Norge AS
Og
Vegvesen Troms.
- ✓ 20. Okt 2019: Start Fabrikasjon
- ✓ 1. Mai 2020: Start installasjon
- ✓ 25. mai 2020: 250m RoadCap tunnel ferdig installert

11 RoadCap AS' samarbeids partnere

- NM Teknokonsult AS – konsultentselskap stålkalkulasjon/styrkeberegning etc.
- Jostein Korneliussen Holding AS – stålkonstruksjon design
- D//Wellop AS – detalj kalkulasjoner/fabrikasjonsunderlag og deformasjons simulering
- Studio Slingshot AS – 2D/3D Animasjon/Visualisering, fotogrammetri & SFX
- **Implenia Norge AS/Brønnøysund (stor Europeisk entreprenør)**
Samarbeidsavtale signert 13. Aug 2019 med RoadCap AS.
- Visinor AS
- Klepp Spesialtransport AS – Spesialtransport av modulene
- Scan Survey AS – 3D mobil scanning og navigasjons bistand under installasjon
- Roxel/Elcor – tunnelbelysning/styringssystemer etc
- NGI – Rasanalyse (for Pollfjell var Vegvesen Troms oppdragsgiver for rasanalysen)
- Sensor teknologi selskap er under vurdering.
Vi ser på mulighetene for å overvåke RoadCap modulene mht bevegelses detektering og med direkte varsling på mobil

12 RoadCap anbefaling

Rasanalysen utført av NGI, viser at kreftene (150kPa) fra snøskred er store.

Avledningsbarriere-system vil bli en svært viktig del av totalkonseptet for snøskredsikring ved Pollfjell strekningen. Dette vil bli prioritert spesielt i anbefalt Forstudie.

Vi ser derfor for oss en form for avledning av kreftene, som da utgjør en nødvendig tilleggsbarriere for RoadCap tunnelen.

RoadCap vil da trekke inn nødvendige ressurser fra sine samarbeidspartnere, primært Implenias Norge AS.

RoadCap moduler kan være et godt alternativ pga rask installasjonstid og minimal stans av trafikk.

Dette i kombinasjon med avlednings barriere(r) vil kunne utgjøre et nytt og innovativt konsept for skredsikring i Norge.

Fabrikasjon, sammenstilling og funksjonstesting vurderes hos lokal industri på Furufjell, ca 2km fra rasområdet, dette vil ha en betydelig gevinst og kan samtidig gi ringvirkninger for Lyngen kommune og Troms Fylke.

Grunnundersøkelser og veiforberedelser, som diskutert med Vegvesen, **bør gjennomføres tidlig høst 2019**. Dette kan vi utføre i samråd med vår samarbeidspartner, Implenias Norge AS.

Det er også viktig å gjennomføre 3D scanning av strekningen **etter** veiutvidelse er gjennomført, helst før vinteren setter inn (kreves tørr asfalt).

RoadCap AS anbefaler at det etableres en Prosjekt-/Samarbeidskontrakt med

Roadcap AS/ Implenias Norge AS

og

Vegvesen Troms evt. Samferdselsavdeling Troms Fylkeskommune (vei eier), bestående av tre(3) faser;

- 1) Fase I: Forstudie
- 2) Fase II. Detalj prosjektering
- 3) Fase III: Gjennomføringsfase

Fabrikasjon og klargjøring vil da kunne gjøres gjennom vinteren slik at installasjon kan foregå etter at snøskredfaren vinter 2020 er over. Vi antar da at installasjon kan foregå i tidsrommet Mai - Juni 2020.

Implenias Norge AS har signert en Samarbeidsavtale med RoadCap AS, dette muliggjør at total prosjekter kan gjennomføres.

Det innebærer at hele prosjektet inkl. noe utvidelse av vei, tilrettelegging/masseflytting for barriereformål, maskinpark, resurser etc kan gjennomføres som et samarbeidsprosjekt med RoadCap AS og Implenias Norge AS.

RoadCap AS og samarbeidspartnere vil bestrebe et tett og godt samarbeid med Vegvesen Troms.

RoadCap AS med samarbeidspartner Implenia Norge AS kan bidra til at Troms Fylke, som et av de mest rasutsatte Fylkene, blir et foregangsfylke for innovative løsninger på snøskredsikring og rassikring.

Vi ser også dette i sammenheng med vårt samarbeid med Nasjonal Rassikringsgruppe, som sammen med Samferdselsdepartementet foreslår en storsatsning på rassikring på 4,1 Milliarder kroner pr. år over en periode på 12,5 år. Det gir 51 Milliarder på rassikring i Norge.

Stavanger 16.Aug 2019

Knut Pedersen (M.Sc.)/ RoadCap AS' Styreleder

Jens Myklebust(M.Sc.)/ RoadCap AS' Daglig Leder

RAPPORT

Skredsikring Pollfjelltunnelen, søndre tunnelåpning

BEFARINGSRAPPORT OG TRYKKBEREGNINGER

DOK.NR. 20190580-01-R

REV.NR. FORELØPIG / 2019-08-12

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Prosjekt

Prosjekttittel: Skredsikring Pollfjelltunnelen, søndre tunnelåpning
Dokumenttittel: Befarings rapport og første trykkberegninger
Dokumentnr.: 20190580-01-R
Dato: 2019-08-12
Rev.nr. / Rev.dato: FORELØPIG /

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Statens Vegvesen
Kontaktperson: Steinar Arnt Larsen
Kontrakthereferanse:

for NGI

Prosjektleder: Peter Gauer
Utarbeidet av: Frode Sandersen
Kontrollert av: Peter Gauer

Sammendrag

NGI har gjennomført en vurdering av forventede trykk fra snøskred mot søndre tunnelportal på Pollfjelltunnelen. Tunnelåpningen ligger utsatt for hyppige snøskred med både faste masser og for skredvind. Statens vegvesen ønsket at NGI skulle foreta beregningene i forbindelse med prosjektering av en portal for å bedre sikkerheten for trafikantene.

Beregningene er basert på observasjoner gjort under befaringen, skredhistorikk, fotodokumentasjon av skredhendelser, detaljert terrengmodell, klimastatistikk og simuleringer av snøskred blant annet med bruk av modellverktøyet RAMMS. For et skred med returperiode 50-100 år har vi beregnet dimensjonerende trykk:

- 150 kPa 0 - 150 m fra tunnelåpningen
- 50 kPa 150-250 m fra tunnelåpningen

I tillegg må det påregnes sugetrykk på (baksiden av) en tilbygg av portalen tilsvarende 5 til 10 kPa.

Innhold

1	Innledning	6
2	Klimaforhold	7
3	Terreng	9
4	Trykk beregninger	20
4.1	Dimensjonerende skredlast på en vegg	20
4.2	Dimensjonerende snøskred	22
5	Referanser	25

Vedlegg

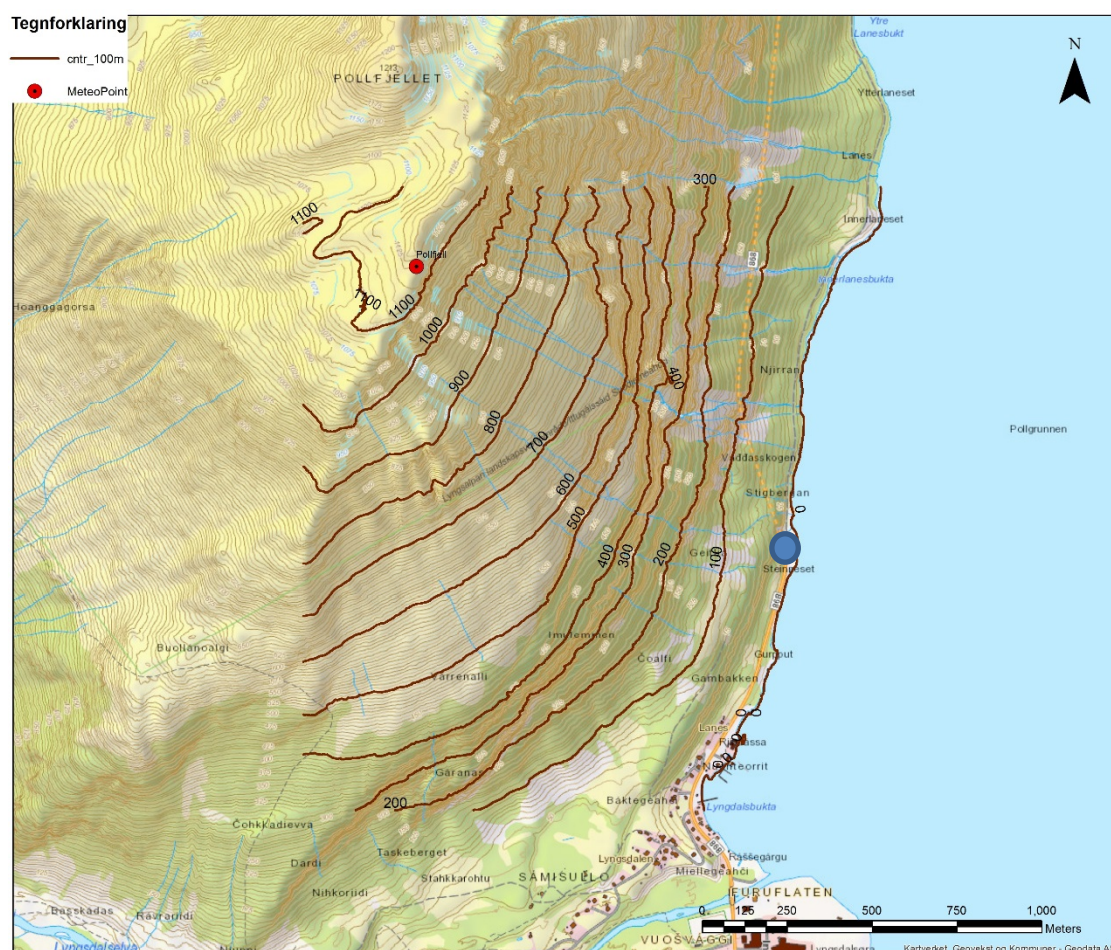
Vedlegg A	Beskrivelse av beregningsprogrammet RAMMS
-----------	---

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Statens vegvesen vurderer sikringstiltak mot snøskred ved søndre utløp av Pollfjelltunnelen, som er utsatt for snøskred fra en ca. 1000 m høy fjellside. Alternativer for sikring som vurderes er aktiv skredkontroll (sprengning eller "Daisy bell"), betongoverbygg eller portal fra RoadCap. I forbindelse med prosjektering av sistnevnte alternativ er det behov for dimensjonerende trykk fra skred, og NGI er anmodet om å bistå med å vurdere disse lastene. Statens vegvesen skal levere en rapport til Fylkeskommunen innen 1.9.2019, hvor en overordnet vurdering av de tre sikringsalternativene inngår.

Befaring ble gjennomført 2019-07-22 av Frode Sandersen, og Peter Gauer, NGI. Andreas Pärsson fra Statens vegvesen og kjentmann Frode Hansen deltok på befaringen. Figur 1 viser en oversikt over området.



Figur 1 Oversikt av området rundt søndre portal (blå sirkel) av Pollfjell-tunnelen.

Som bakgrunn for vurderingene har NGI benyttet:

- Helningskart og topografi (DTM og DOM med 1 m oppløsning)
- Foto

- Historiske opplysninger om skred (tilsendt dokumentasjon fra Statens vegvesen og Frode Hansen samt registreringer i den nasjonale skreddatabasen)
- Tidligere farevurderinger gjennomført av NGI
- Klimatiske data
- Befaring i felt
- Modeller for beregning av hastighet og utbredelsen av skred

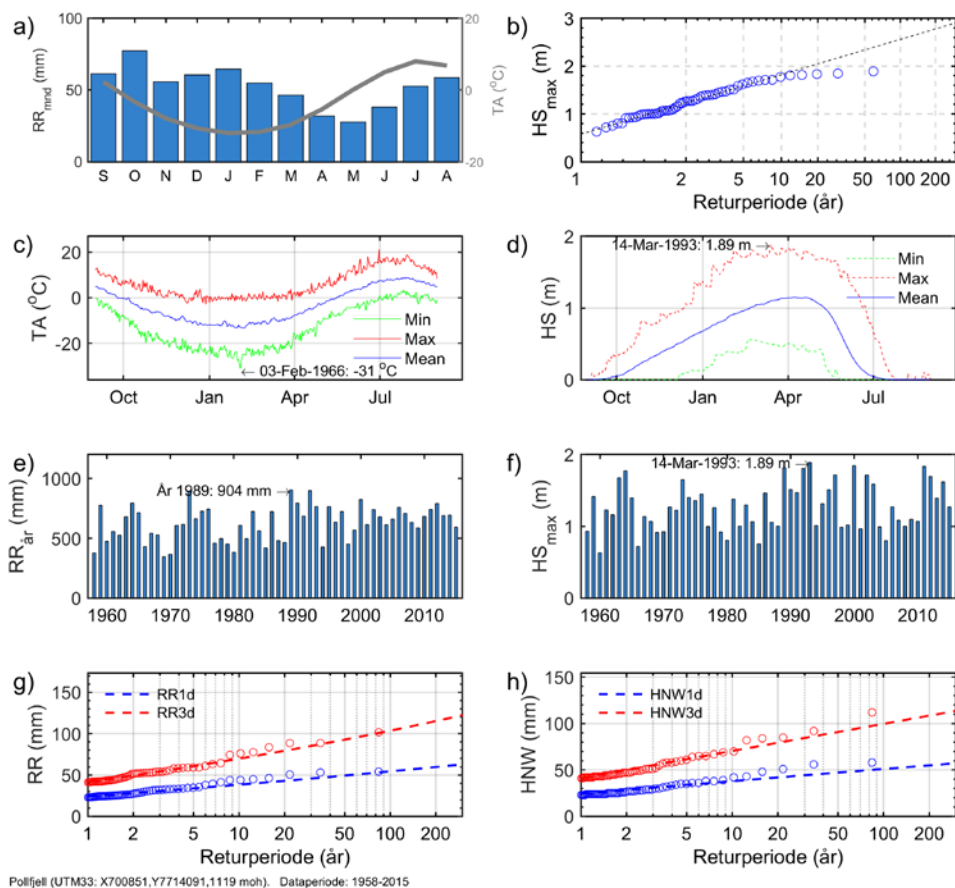
2 Klimaforhold

Figur 2 viser interpolerte klimadata fra SeNorge-datasettet (Lussana et al., 2016; Saloranta, 2014) for normalperioden 1981 – 2010 for et punkt 1120 moh (gridcelle) i terrenget ovenfor Pollfjell. Figuren viser bl.a.:

- Normal årsnedbør i det undersøkte området er ca. 630 mm, hvorav ca. 366 mm kommer om vinteren.
- Årsmiddeltemperatur i området er -3.2 °C og døgnmiddeltemperaturen varierer normalt fra -31 °C til 21 °C.
- Gjennomsnittlig maksimale snøhøyde er 1.1 m og maksimal snøhøyde siste 58 år er 1.9 m. Antall dager med snø på bakken er i gjennomsnitt 268.

Ved å bruke de maksimale nedbør- og snøhøydeverdiene i de interpolerte dataene kan man estimere forventet 100-års nedbør og 100-års snøhøyde for området. I dette området er 100-års nedbør beregnet til å være ca. 100 mm/3-døgn, og 100-års snøhøyde 2.5 meter. Estimatenes er basert på korte observasjonsperioder og statistiske usikkerheter.

Mesteparten av nedbøren kommer i forbindelse med vind fra sørvest til nordvest. De største snømengdene kommer i forbindelse med bygenedbør fra nordvest. Vind fra sørlig kant er også vanlig, men da med mindre nedbør (Figur 3). De potensielle utløsningområdene for skred som kan gå mot tunnelportalen vil først og fremst samle vindtransportert snø i situasjoner med vind fra sørvestlig retning, og da gjerne i etterkant av større snøfall med vind fra nordvest.



Figur 2 Punkt kote 1120 (modell høyde; se Figur 1) for dataperiode: 1958 – 2015. a) Månedsnedbør og –lufttemperatur, b) returverdier (Gumbel-fordeling) for årlig maks snøhøyde. Daglig minimum, maksimum og gjennomsnittlig lufttemperatur (c) og snøhøyde (d). Tidsserier av årsnedbør (e) og årlig maks snøhøyde (f). Returverdier (peak over threshold) for 1- og 3-døgns nedbør (g) og nysnøtilvekst (h).

Wind rose, frequency distribution of wind

Wind direction divided in sectors of 30°

Frequency distribution of wind speed in percent %

Wind speed (m/s)

- > 20.2
- 15.3-20.2
- 10.3-15.2
- 5.3-10.2
- 0.3-5.2

Calm (%)

6

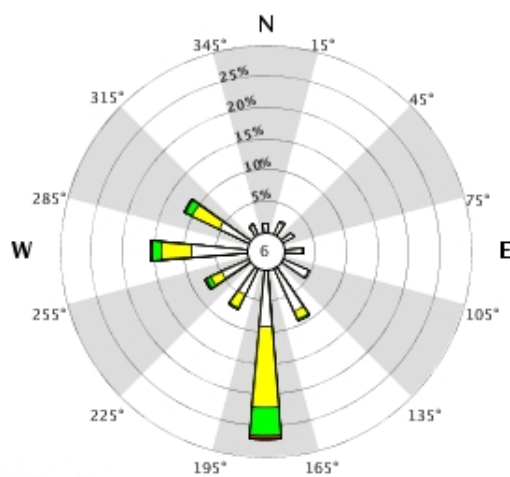


Year: 2013 - 2018

Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec

Hour: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)

91120 LYNGEN - GJERDELVDALEN

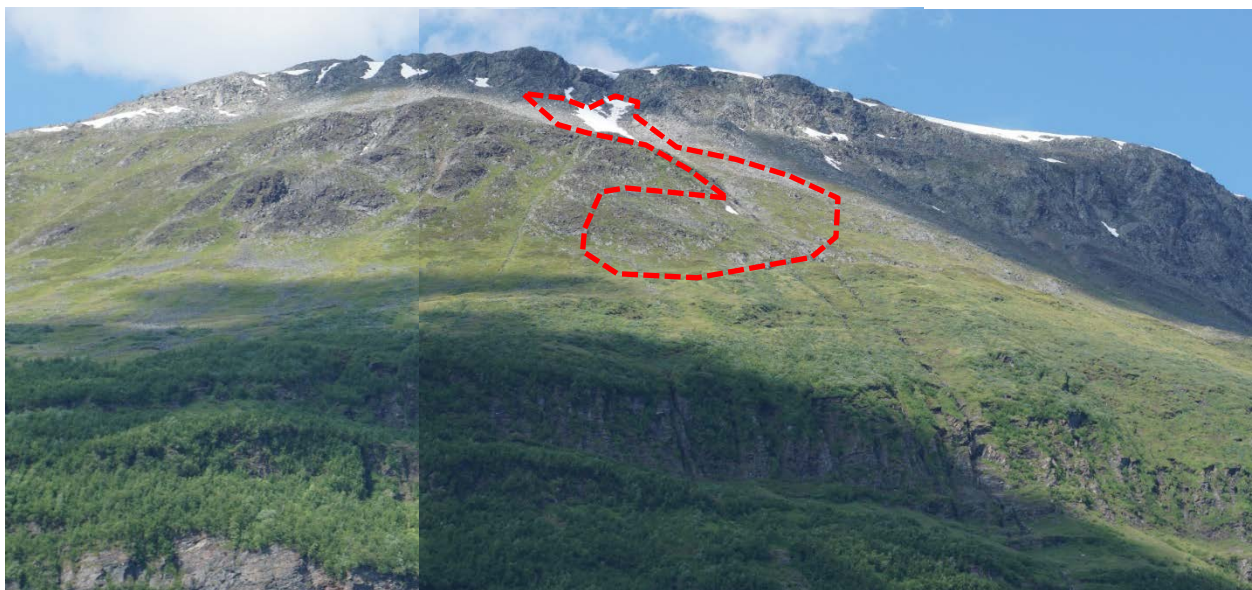


Figur 3 Vindrose fra Gjerdelvdalen (observasjonsperiode 2013-2019) 10 km nord for Pollfjellet.

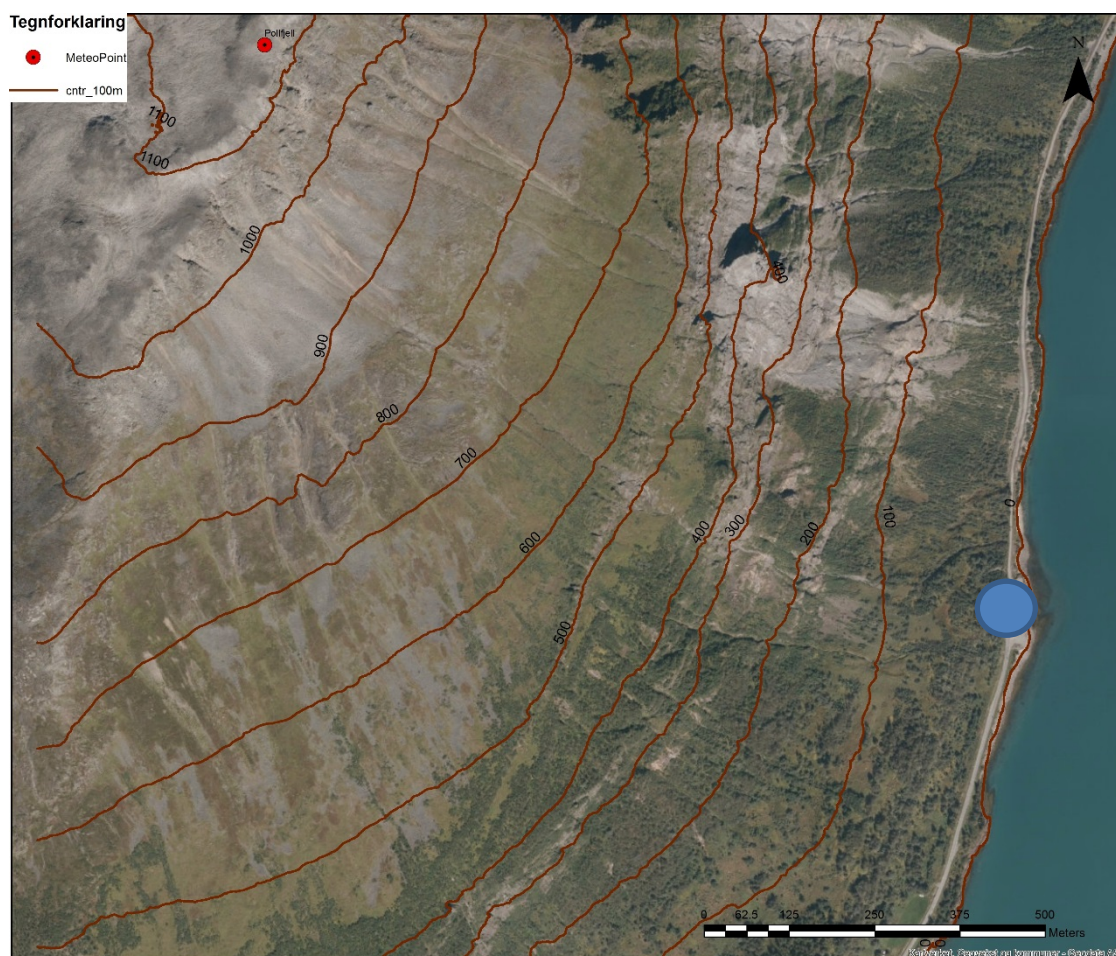
3 Terrengbeskrivelse

Fjellsiden er rundt 1100 m høy og ligger vendt mot sørøst. Det potensielle løснеområdet for skredene ligger like under toppen av Pollfjellet i ca. 1000 m høyde i form av en større flate med helningsvinkel 35-40° og bredde 300-400 m (Figur 3 og 4). Sannsynligvis forekommer det mindre, årvisse skred herfra, men disse skredene stopper normalt ovenfor kote 50 i et slakere parti i fjellsiden. Vanligvis vil bare deler av det potensielle området gå til brudd (Figur 5). Når større deler av løснеområdet blir utløst samtidig, kan det imidlertid også forekomme store skred som når til sjøen.

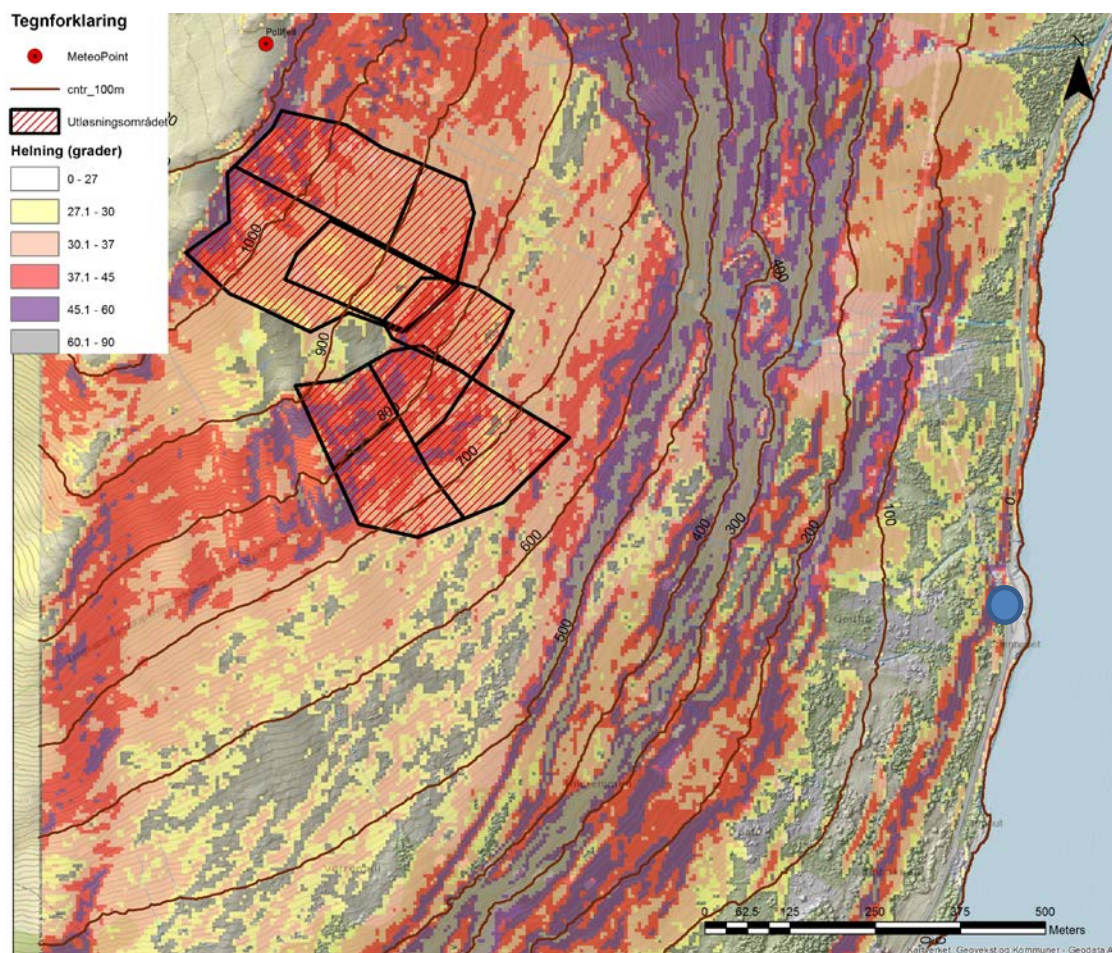
Eksakt maksimal utbredelse på veien er det vanskelig å uttale seg sikkert om, men sannsynligheten for skred på vegen avtar gradvis fra påhugget i retning mot Furuflaten.



Figur 4 Foto tatt fra Furuflaten av fjellsiden ovenfor søndre portal av Pollfjelltunnelen. Snøskred som når ned mot portalområdet kan bli utløst på forskjellige steder innenfor et stort område (rødt polygon viser det mest relevante området for tunnel portalen). Stort sett er fjellsiden mellom 28 til 40 grader bratt, men det ligger flere brattkanter i nedre del av fjellsiden.



Figur 5 Flybilde over området. Blå sirkel angir tunnelpåhugg.



Figur 6 Helningskart og potensielle utløsningsområder relevant for søndre portal av Pollfjelltunnelen.

Vinterbilde av fjellsiden er vist i Figur 7.



Figur 7 Vinterbilde av utløsningsområdet etter et ferske skred.

4 Skredhendelser

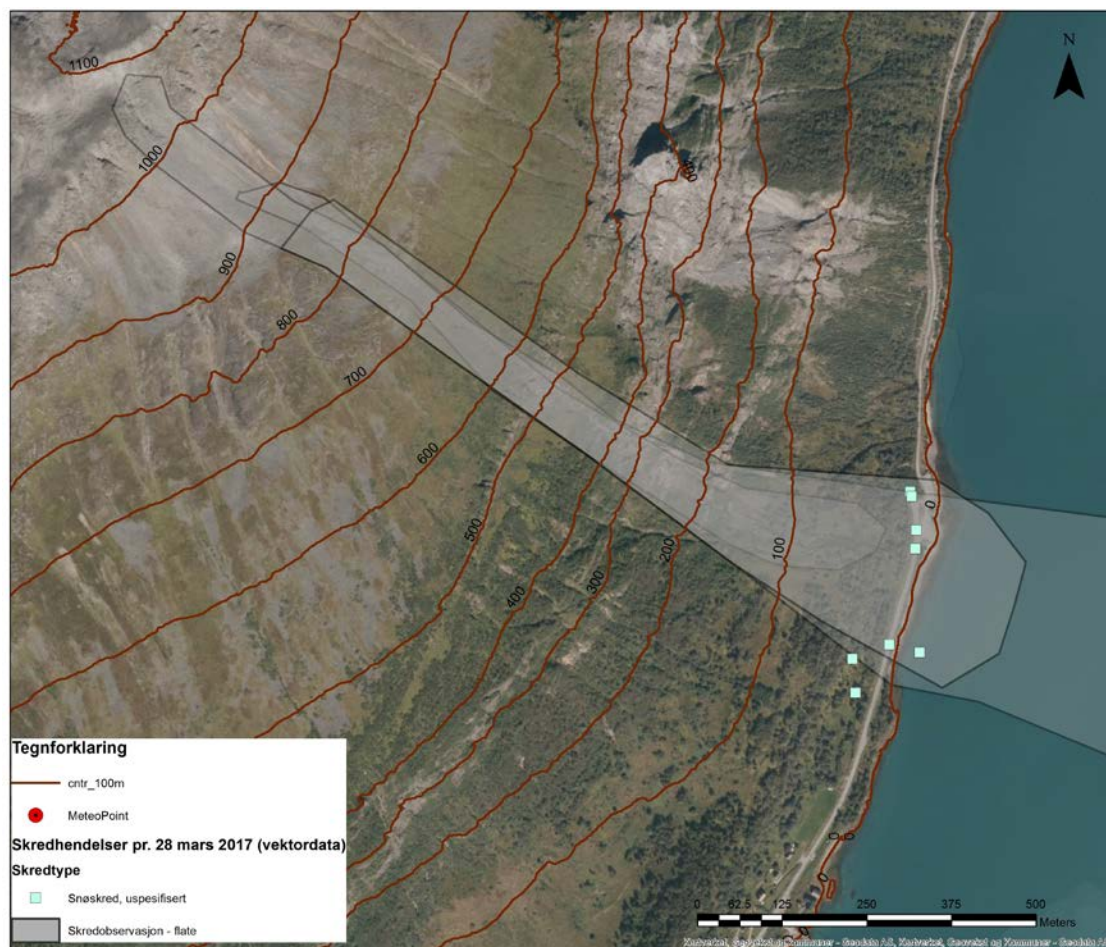
Opplysninger om tidligere skredhendelser er hentet fra flere kilder:

- Notat fra kjentmann og skredobservatør Frode Hansen
- Notat fra Statens vegvesen
- Den nasjonale skreddatabasen (Figur 8)
- NGI rapporter (NGI, 1981 a og b)

Ut fra disse opplysningene vurderer vi at det blir utløst nærmest årvisse skred i den aktuelle fjellsiden, og faste skredmasser når ned til veien rundt hvert 10. år. Både våte og tørre skred kan treffe veien. Typisk for tørrsnøskred er de blir utløst på sen vinteren når snødekket er så mektig at ujevnheter i fjellsiden er visket ut. Våtsnøskred kommer gjerne ned siste halvdel av mai måned. Skredmassene kommer ned i ca. 125 m bredde utenfor tunnelportalen.

Snøsky med kvister treffer veien med 2-3 års mellomrom i større bredde, typisk rundt 250 m ut fra tunnelportalen. Snøsky er mest vanlig i forbindelse tørrsnøskred, men det kan også oppstå ved våtsnøskred.

Figurene 9-16 viser bilder av skredhendelser som NGI har fått tilgang til.

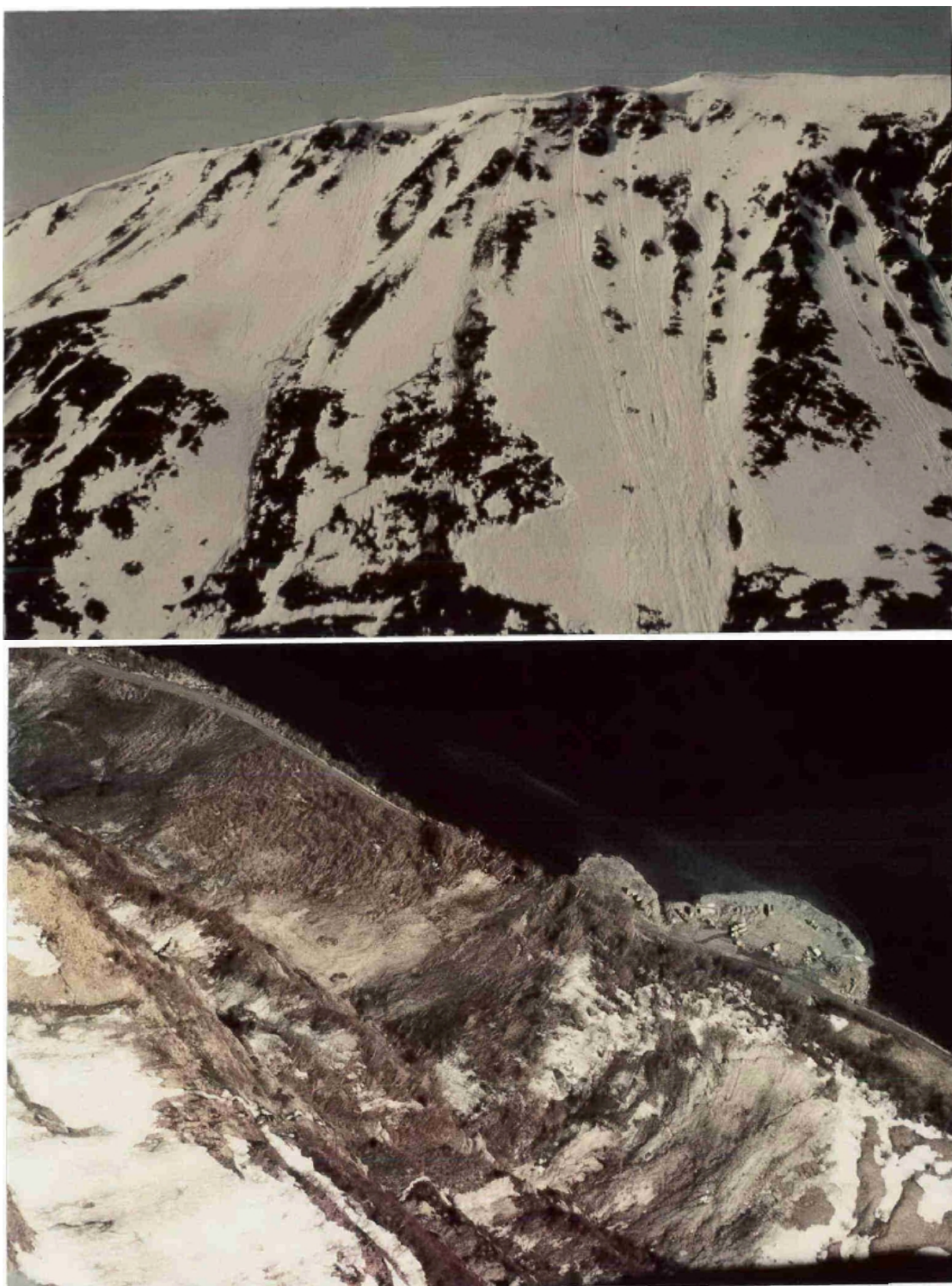


Figur 8 Skredhendelser registrert i den nasjonale skreddatabasen.



Figur 9 Bil tatt av (tørr-) snøskred under Pollfjell i 1935.

<https://digitaltmuseum.no/011014197124/et-skred-har-blast-en-bil-av-veien-under-pollfjellet-lyngen-avbildet-er/media?slide=0>



Figur 10 Våtsnøskred 1981-05-15 og 1981-05-16 med oversikt over løснеområdets øvre del (øverst). Videre nedover har snøskred løsnet i stor bredde på den gressklede fjellsiden (nederst) med oversikt over utløpsområdet til skredene (NGI, 1981 b).



Figur 11 Eksempel på skredmasser som har stengt sørlige tunnel-portal. (Bilde fra SVV)



Figur 12 Eksempel på tørrsnøskred fra Pollfjellet.



Figur 13 Tørt snøskred med snøsky 2014-03-09.



Figur 14 Skred 2014-03-09 16:00. "Skred løst ut etter kraftig vindtransport fra SV. Skredet gikk ned til vei, ble ikke snømasser, men kvister, snøfokk la seg på veibanen i noen cm tykkelse. Dette er vel det mest alvorlige skredet som har gått på 10-15 år" (fra Hansen, 2014)



Vått flaskred fra Pollfjellet. Gikk 19mai 2014. har vært stabilt vær med nattefrost forrige uke men natt til mandag 19.mai var det fravær av nattefrost og rask temperaturstigning opp til 16grader i tromsø. Registrert våt snø på 1000moh samme dag på Middagsaksla. Forventet høy skredaktivitet i hele regionen og det var det også. Vått flaskred løsnet antagelig som følge av solinnstråling i kombinasjon med høy temperatur.

Figur 15 Våtsnøskred 2014-05-19 (fra Hansen, 2014)

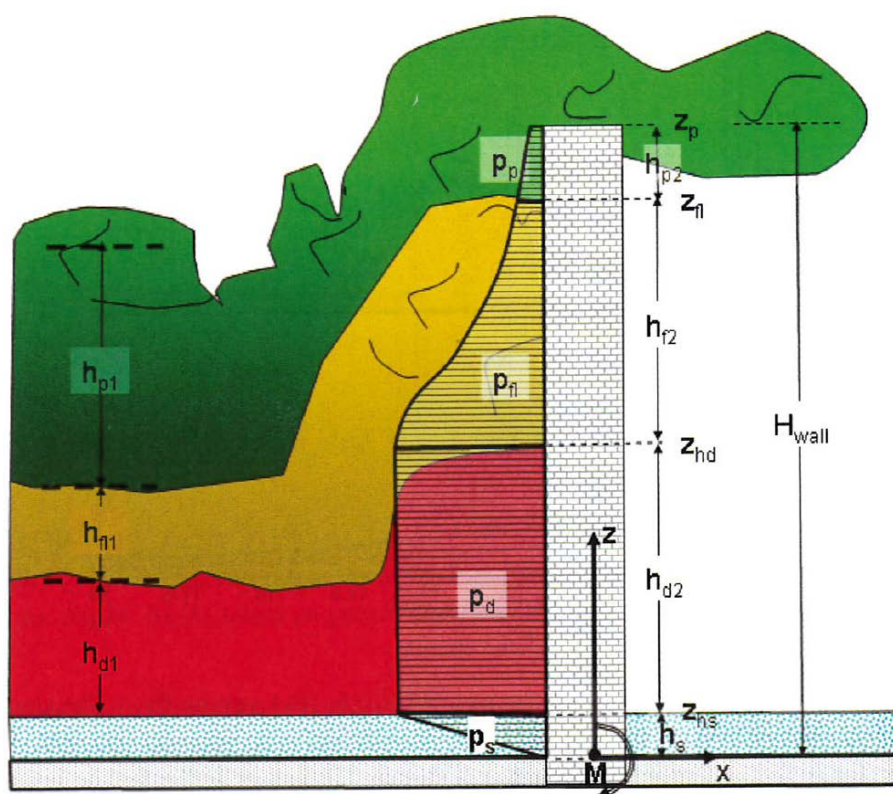


Figur 16 2019-03-30 Tørr snøskred med snøsky
(<https://www.framtidinord.no/nyheter/2019/03/30/G%C3%A5tt-skred-i-Pollfjellet-18768557.ece>).

5 Trykkberegninger

5.1 Dimensjonerende skredlast på en vegg

Et snøskred som treffer en bygning vil gi direkte last på veggen den støter mot. Figur 17 viser prinsippskisse for skredlast mot en vegg hvor snøskredet består av et lag av faste skredmasser (rødt) som strømmer langs bakken eller oppå snøen som ligger på bakken, deretter er det et fluidisert lag (gult) og øverst er snøskyaen (grønt). Tettheten av skredet er størst i de faste massene hvor det eksempelvis kan være mer enn 200 kg/m^3 mens det i snøskyaen eksempelvis kan være 10 kg/m^3 . Tettheten er avhengig av flytere regime, for eksempel tørt eller vått snøskred.

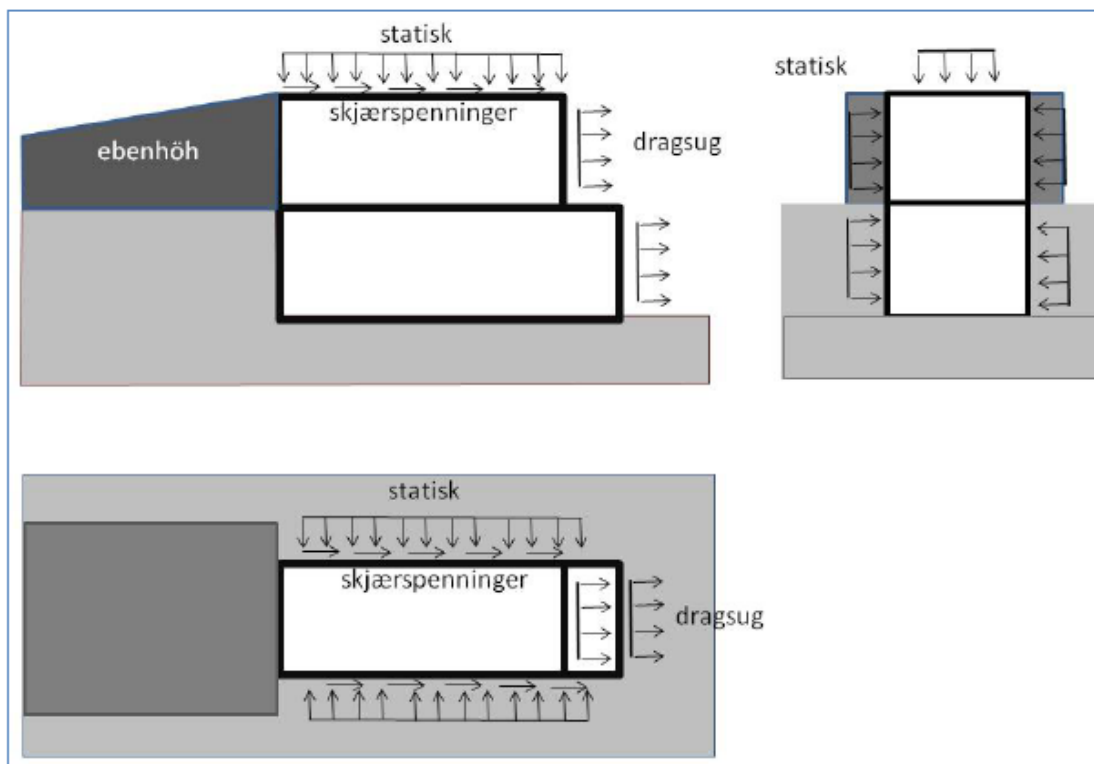


Figur 17 Prinsippskisse for skredlast mot en vegg hvor snøskredet består av et lag av faste skredmasser (rødt) som strømmer langs bakken eller oppå snøen som ligger på bakken, deretter er det et fluidisert lag (gult) og øverst er snøskyaen (grønt).

De faste skredmassene vil stuves opp langs vegg slik at skredtrykket påvirker et større areal. Utforming av konstruksjon vil også påvirke størrelse av trykk.

Figur 18 viser en prinsippskisse for skredlaster når skredet strømmer over og forbi en bygning. Prinsippskissen er vist for et bygg hvor bakveggen mot skredet er fylt opp med jord for å hindre direkte treff på veggen. Uavhengig om bakveggen er oppfylt eller ikke, så vil skredmasser kunne strømme over og forbi bygningen og påføre sidevegger og

yttertak trykk- og skjærspenninger, samt gi strekkspenninger (sug) på endeveggen på nedsiden.



Figur 18 Prinsippskisse med last på vegger og tak for bygning med oppfylt bakvegg (ebenhöh).

Utgangspunktet for å beregne trykk på et objekt er det dynamiske trykket, p_{dyn}

$$p_{dyn} = \rho_{av} \frac{u^2}{2} \quad (1)$$

hvor

u = Skredhastighet (m/s)
 ρ_{av} = Tetthet skred (kg/m³)

Trykket på et objekt er det dynamiske trykket multiplisert med en motstandsfaktor C_D :

$$p = C_D p_{dyn} \quad (2)$$

Motstandsfaktoren C_D varierer med objektets geometri og skredtype (tørt eller vått). Det bemerkes at våte snøskred kan ha vesentlig høyere C_D enn tørre skred, men våte snøskred har lavere hastighet enn tørre snøskred, og objekter må normalt dimensjoneres for både tørre og våte snøskred.

For snøskred som treffer direkte på en vegg er vanlig antatt $C_D \approx 2$. Dermed kan trykk beregnes lik

$$p = \rho_{av} u^2 \quad (1)$$

I noen tilfeller kan maksimalt trykk rett etter impakt bli høyere. Det samme gjelder også lokalt for trykk fra stein eller trær som følger skredmassene.

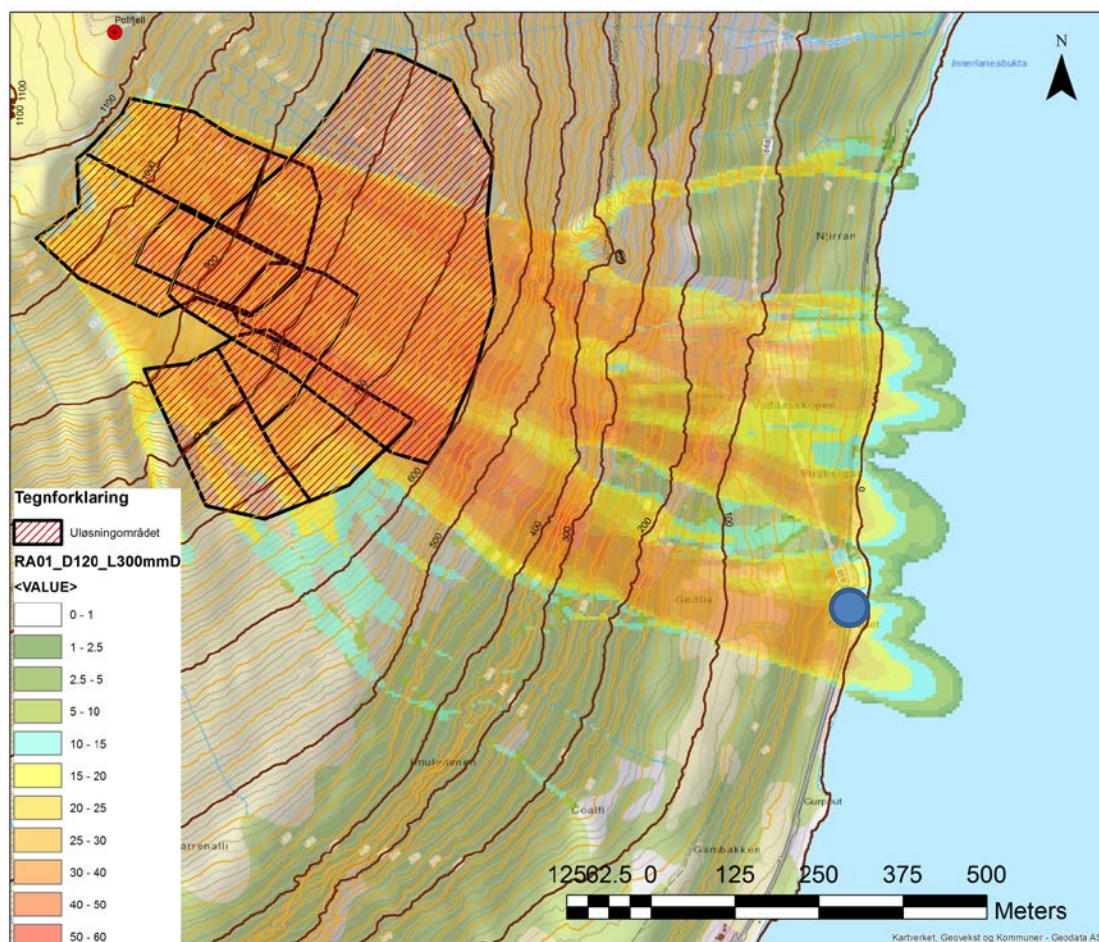
5.2 Dimensjonerende snøskred

Fra Pollfjellet kan det bli utløst både våte og tørre snøskred som kan treffe veien sør for tunnelportalen. Vi har simulert utbredelse og hastighetsforløp for snøskred fra de ulike utløsningområdene. Et eksempel på en simulering av et tørrsnøskred med returperiode rundt 100 år er vist i Figur 19. Simuleringen inkluderer kun de faste skredmassene. Pr. i dag har vi i Norge ingen operative modeller for simulering av snøskyen.

Følgende inputparametere er benyttet i denne simuleringen:

- Bruddhøyde: 1.2 m
- Skredstørrelse: Large
- Returperiode: 300 år

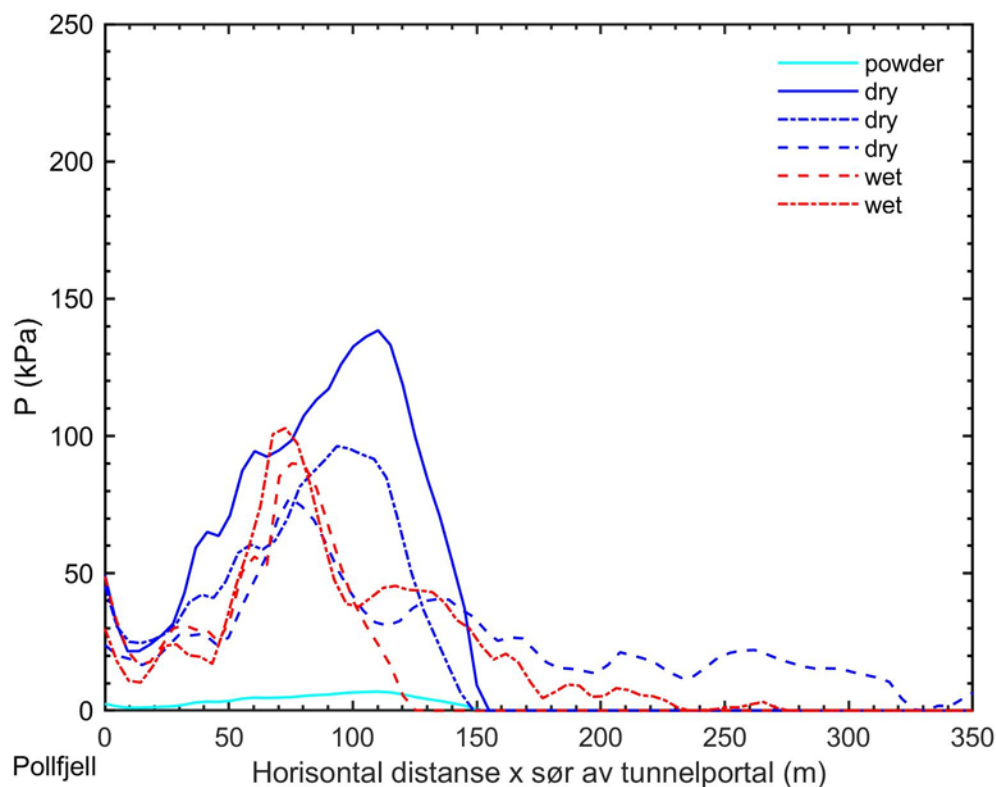
Tiden et skred vil bruke på å nå veien fra utløsningstidspunktet er rundt 60 sekunder, og hastigheten er ca. 30-40 m/s nede ved veien.



Figur 19 Eksempel av RAMMS simulasjon av et tørrsnøskred ned mot sørlige tunnelportal med bruddkanttykkelse 1.2 m. Antatt returperiode på et slikt skred er på størrelsesorden 100 år.

5.3 Dimensjonerende skredtrykk på portal Pollfjelltunnelen

Vi har gjennomført beregninger av skredtrykk basert på hastighet fra flere sett simuleringer med RAMMS, både våte og tørre snøskred og fra ulike løснеområder (Figur 20). De nærmeste 150 m fra portalen er mest utsatt for snøskred, både våt- og tørr/blandet skred. Videre ca. 100 m mot sør er veien først og fremst utsatt for trykk fra skredvinden med lavere verdier.



Figur 20 Fordeling av trykk fra tunnelåpningen og mot Furufalten i sørlig retning for ulike skredtyper, utløsningsområder og bruddhøyder mellom 1 m til 1.5 m.

På bakgrunn av resultater fra simuleringene og tidligere skredhendelser vil anbefale å benytte følgende dimensjonerende trykkrefter på en portal, Tabell 1.

Tabell 1: NGIs vurdering av dimensjonerende maks trykk med nominell årlig sannsynlighet på 1/100 for tørr- og våt-snøskred.

Skred	Dimensjonerende trykk (kPa)
Vått	100
Tørt	150
Snøsky (sug)	-10

6 Referanser

Christen, M.; Kowalski, J. & Bartelt, P. 2010, RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain *Cold Regions Science and Technology*, 63, 1-14.

Lied, K. & Bakkehøi, S. Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters *Journal of Glaciology*, 1980, 26, 165-177.

Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. & Ådlandsvik B. (Red.) (2015). Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report no. 2/2015.

Lussana C., Tveito O.E. & Uboldi F. (2016). seNorge v2.0: an observational gridded dataset of temperature for Norway. MET-report 14/2016.

Saloranta T. (2014). New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway. NVE Report 06/2014.

RAMMS User Manual v.1.7.0 Avalanche, 2017.

Hansen, F. (2014) Pollfjelltunnelen - situasjonsbeskrivelse

NGI, 1981 a. Pollfjellet ved Furuflaten. Vurdering av fare for snøskred ved påhugg. NGI rapport 81418-1, datert 17. februar 1981.

NGI, 1981 b. Pollfjellet ved Furuflaten. Vurderinger av akutt skredfare. NGI rapport 81418-2, datert 24. juli 1981.

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Befarings rapport og første trykkberegninger		Dokumentnr./Document no. 20190580-01-R
Dokumenttype/Type of document Rapport / Report	Oppdragsgiver/Client Statens Vegvesen	Dato/Date 2019-08-12
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract Oppdragsgiver / Client		Rev.nr.&dato/Rev.no.&date FORELØPIG /
Distribusjon/Distribution BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/Keywords		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Troms	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Lyngen	Feltnavn/Field name
Sted/Location Pollfjell	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: UTM33 Øst: 701961 Nord: 7713210	Koordinater/Coordinates Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/ Self review by:	Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:
0	Originaldokument	Velg kontrolldato Ditt navn her	Velg kontrolldato Ditt navn her	Velg kontrolldato Ditt navn her	Velg kontrolldato Ditt navn her

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date Velg dato	Prosjektleder/Project Manager Prosjektleder
--	-------------------------------	---

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

