RAPPORT

Skredsikring Pollfjelltunnelen, søndre tunnelåpning

BEFARINGSRAPPORT OG TRYKKBEREGNINGER

DOK.NR. 20190580-01-R
REV.NR. 0 / 2019-09-18

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

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:	2019-09-18
Rev.nr. / Rev.dato:	0 / 2019-09-18

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver:	Statens Vegvesen
Kontaktperson:	Steinar Arnt Larsen
Kontraktreferanse:	

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 ant 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

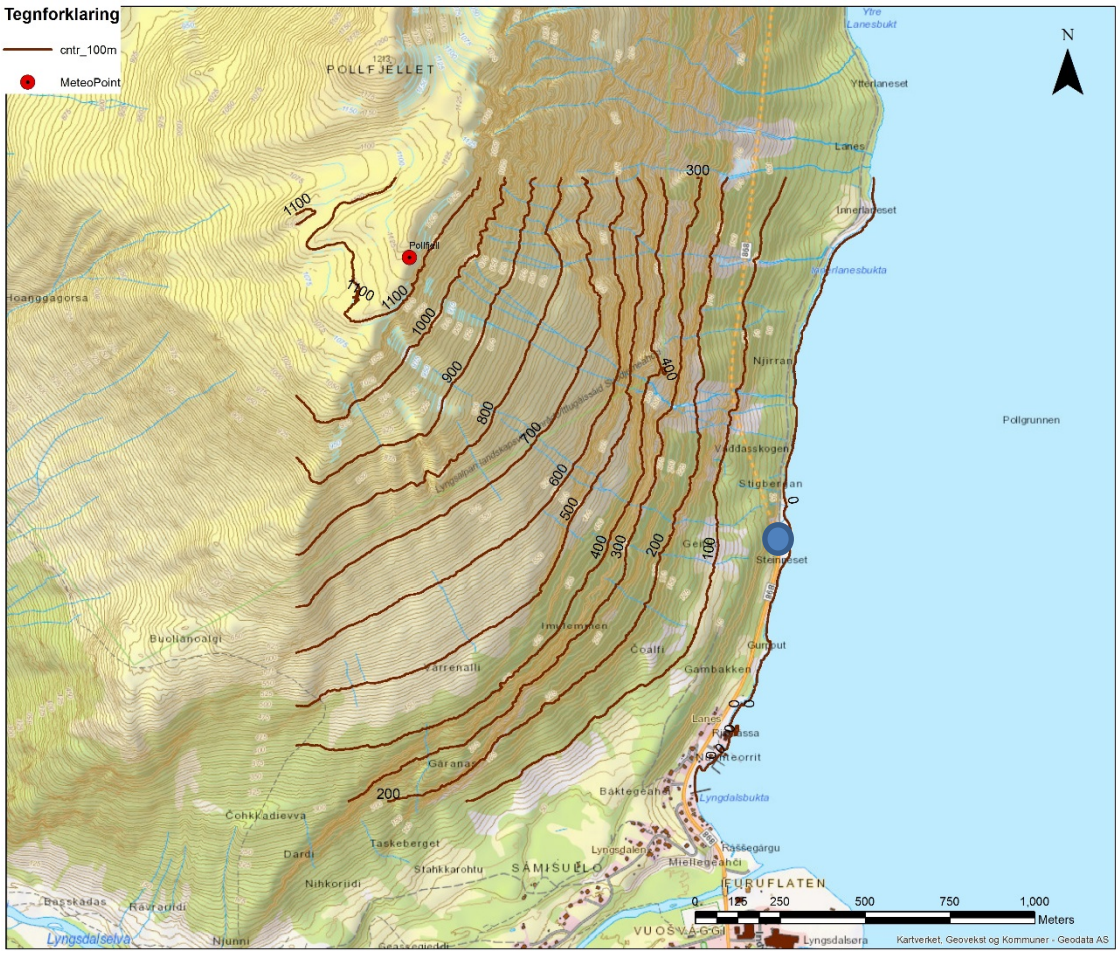
Vedlegg A Beskrivelse av beregningsprogrammet RAMMS

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

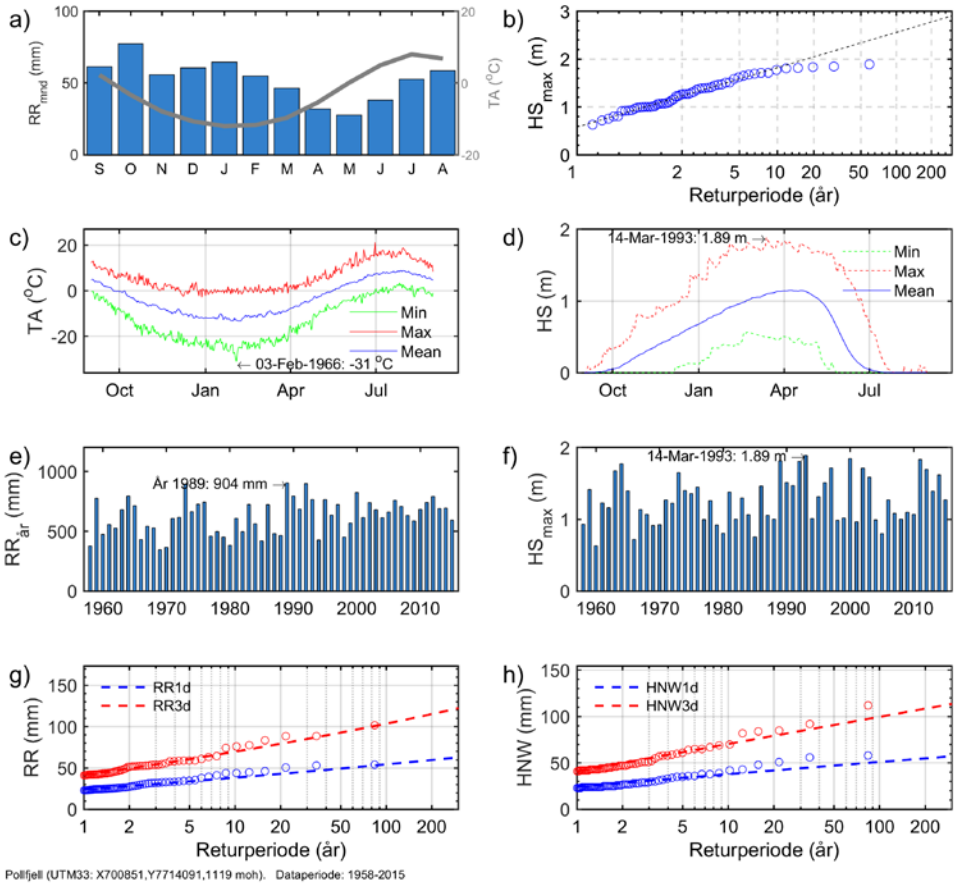
2 Klimaforhold

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.:

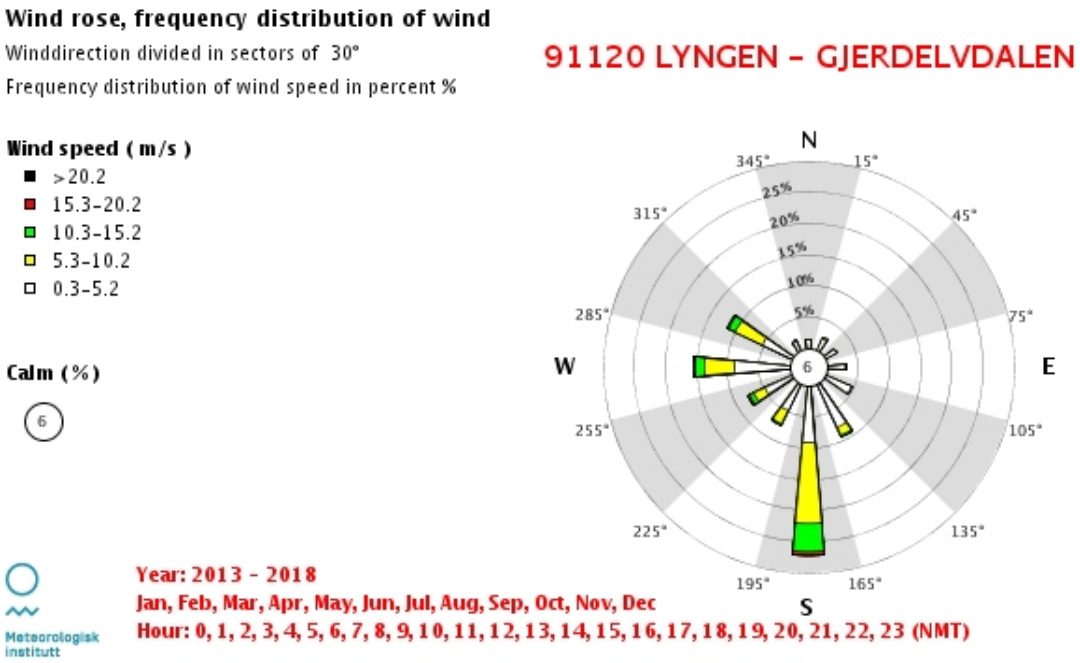
- Normal årsnedbør i det undersøkte området er ca. 630 mm, hvorav ca. 366 mm kommer om vinteren.
- Årsmiddeltemperatur i området er -3.2 °C og døgnmiddeltemperaturen varierer normalt fra -31 °C til 21 °C.
- Gjennomsnittlig maksimale snøhøyde er 1.1 m og maksimal snøhøyde siste 58 år er 1.9 m. Antall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

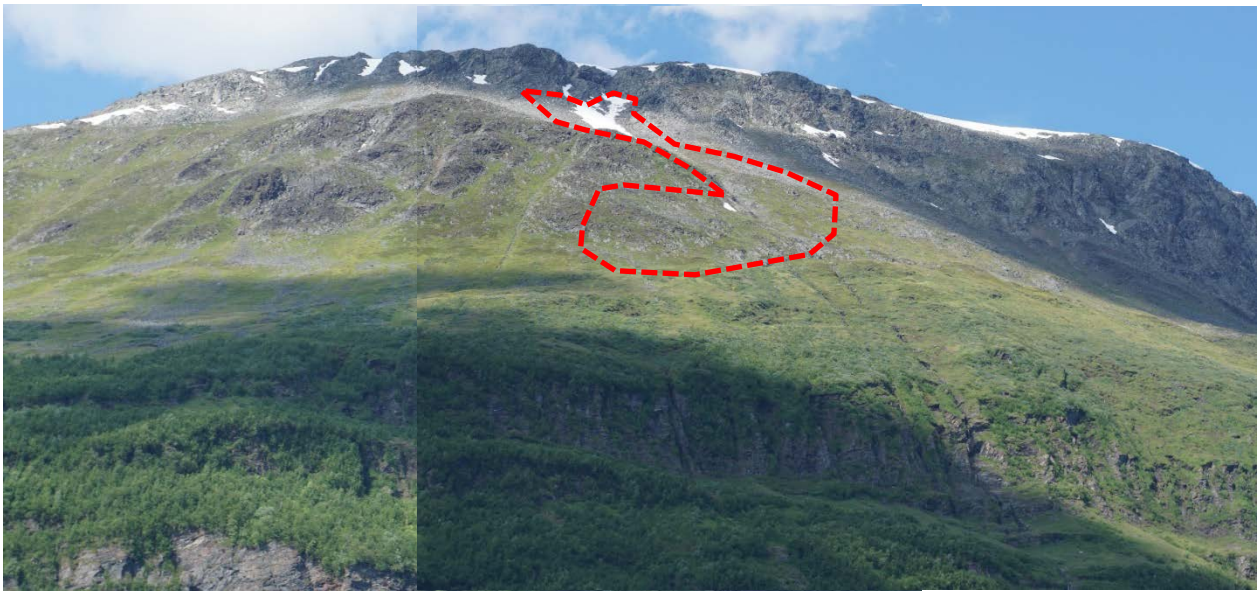


Figur 3 Vindrose fra Gjerdelvdalen (observasjonsperiode 2013-2019) 10 km nord for Pollfjellet.

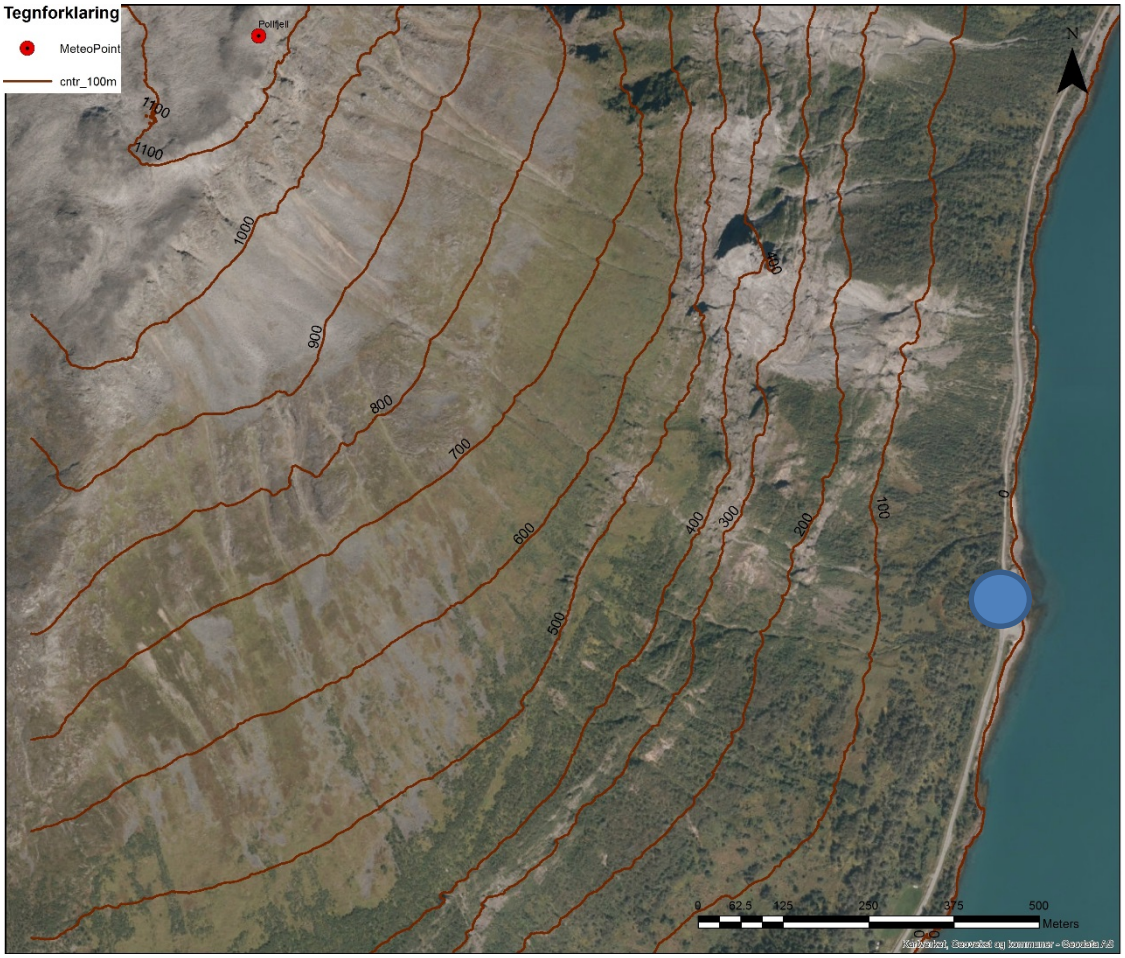
3 Terrengbeskrivelse

Fjellsiden er rundt 1100 m høy og ligger vendt mot sørøst. Det potensielle løsneområdet for skredene ligger like under toppen av Pollfjellet i ca. 1000 m høyde i form av en større flate med helningsvinkel 35-40º 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 løsneområdet blir utløst samtidig, kan det imidlertid også forekomme store skred som når til sjøen.

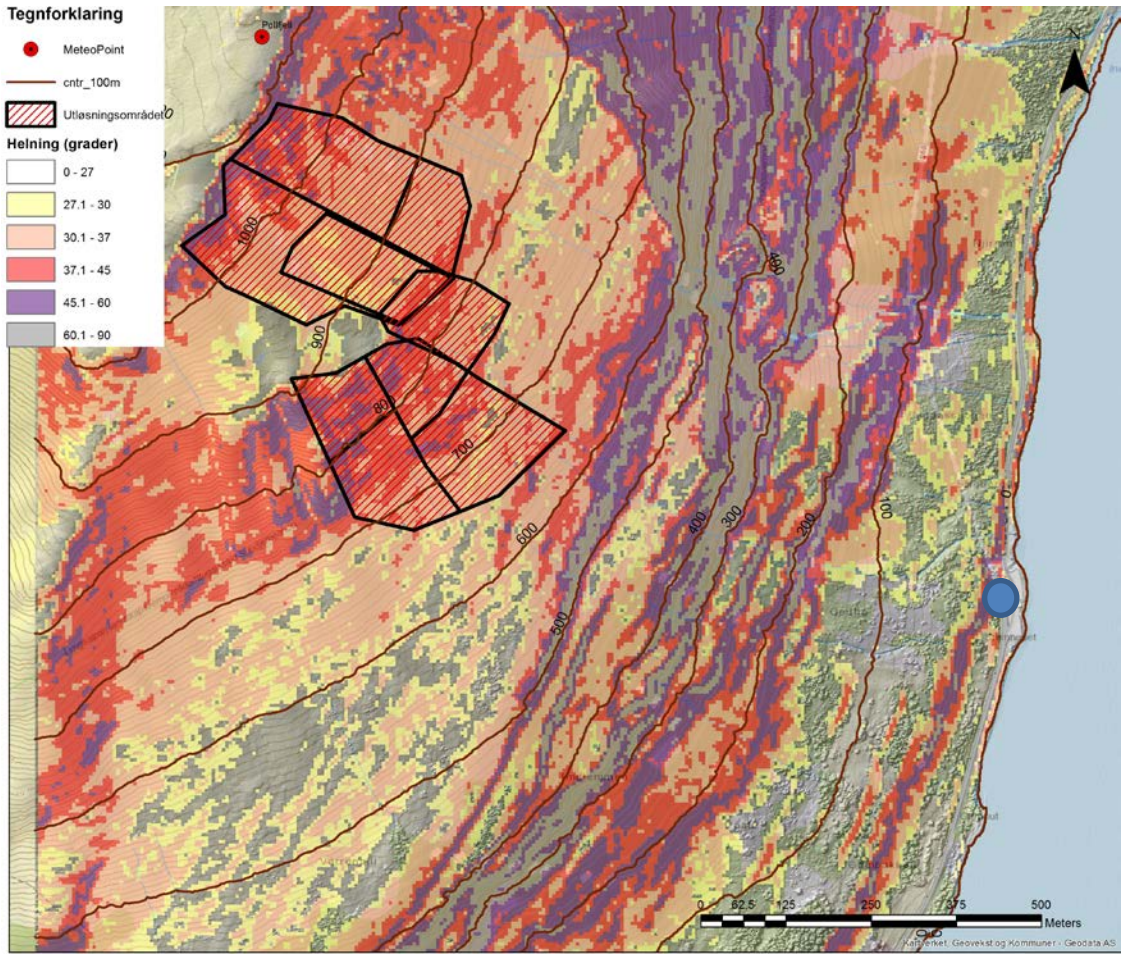
Eksakt maksimal utbredelse på veien er det vanskelig å uttale seg sikkert om, men sannsynligheten for skred på vegen avtar gradvis fra påhugget i retning mot Furuflaten.



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 utløsingsområdet etter et ferske skred.

4 Skredhendelser

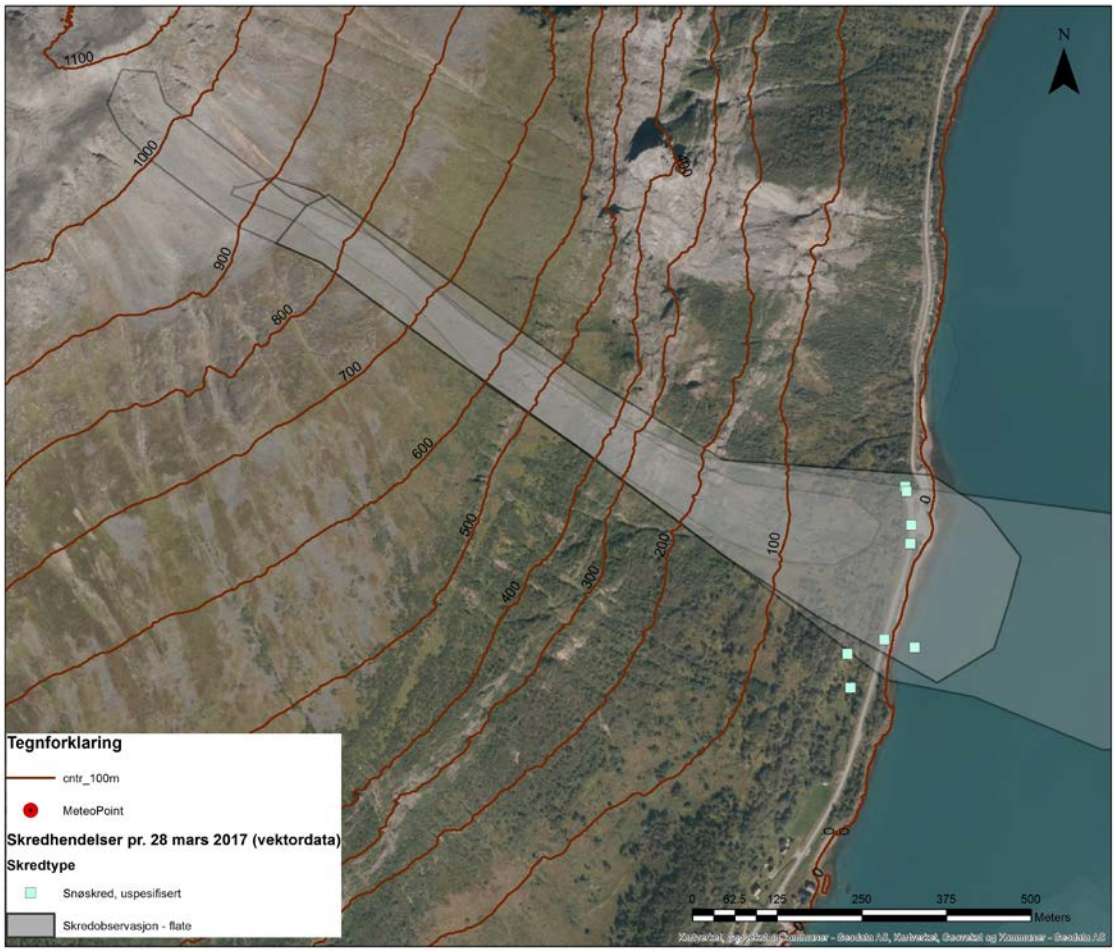
Opplysninger om tidligere skredhendelser er hentet fra flere kilder:

- 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 senvinteren 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.

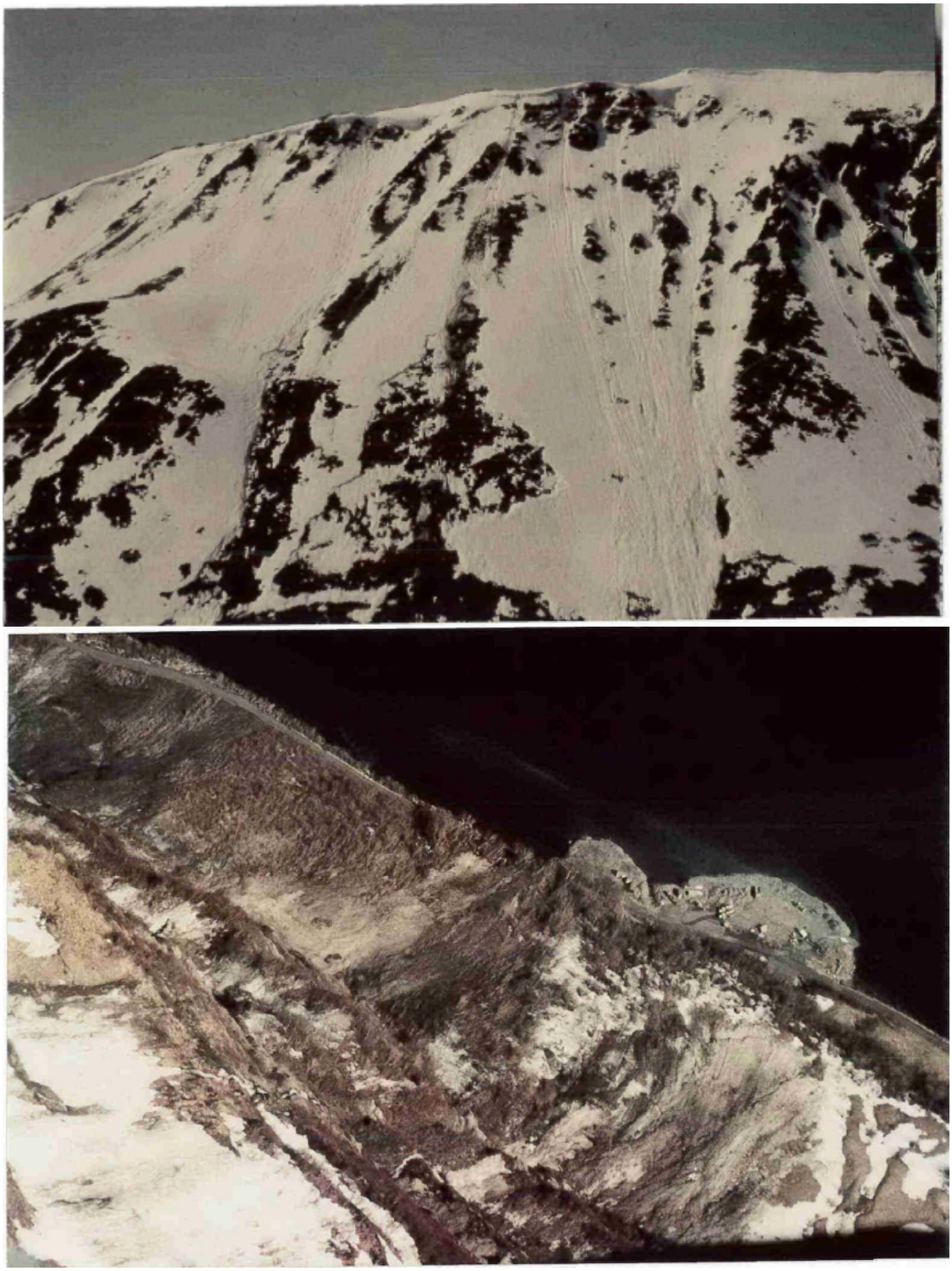
Snøsky med kvister treffer veien med 2-3 års mellomrom i større bredde, typisk rundt 250 m ut fra tunnelportalen. Snøsky er mest vanlig i forbindelse tørrsnøskred, men det kan også oppstå ved våtsnøskred.

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)

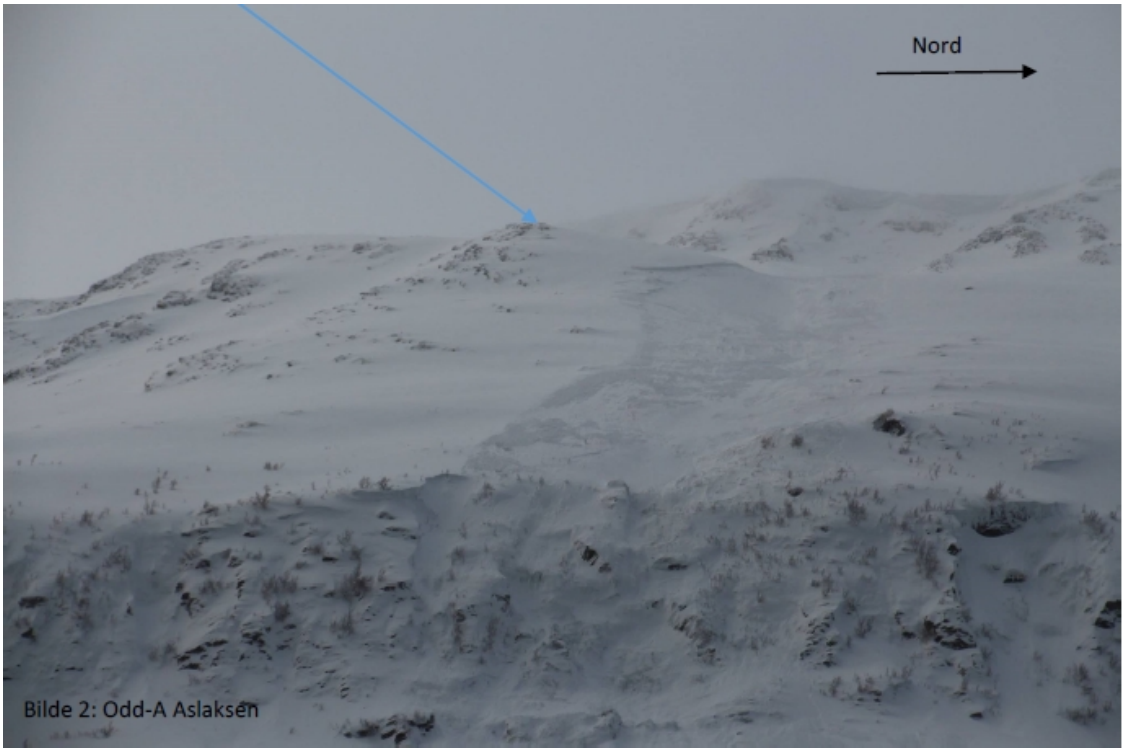


Figur 10 Våtsnøskred 1981-05-15 og 1981-05-16 med oversikt over løsneområdets øvre del (øverst). Videre nedover har snøskred løsnet i stor bredde på den gresskledte fjellsiden (nederst) med oversikt over utløpsområdet til skredene (NGI, 1981 b).

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)

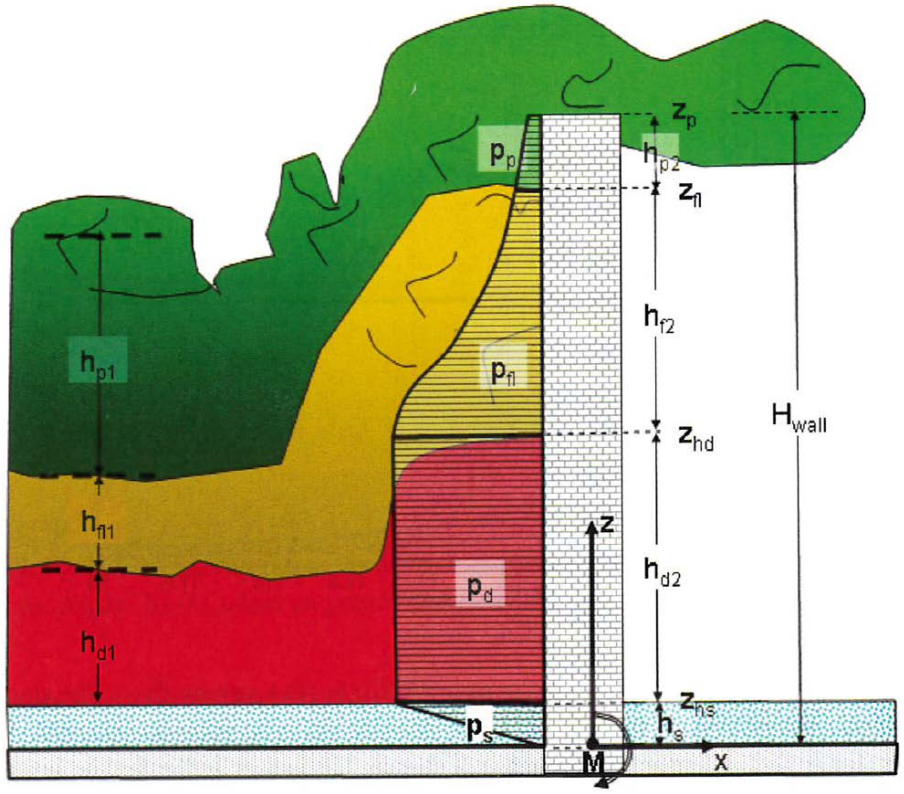
Figur 15 Våtsnøskred 2014-05-19 (fra Hansen, 2014)

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 snøskyen (grønt). Tettheten av skredet er størst i de faste massene hvor det eksempelvis kan være mer enn 200 kg/m^3 mens det i snøskyen eksempelvis kan være 10 kg/m^3. Tettheten er avhengig av flyteregime, for eksempel tørt eller vått snøskred.

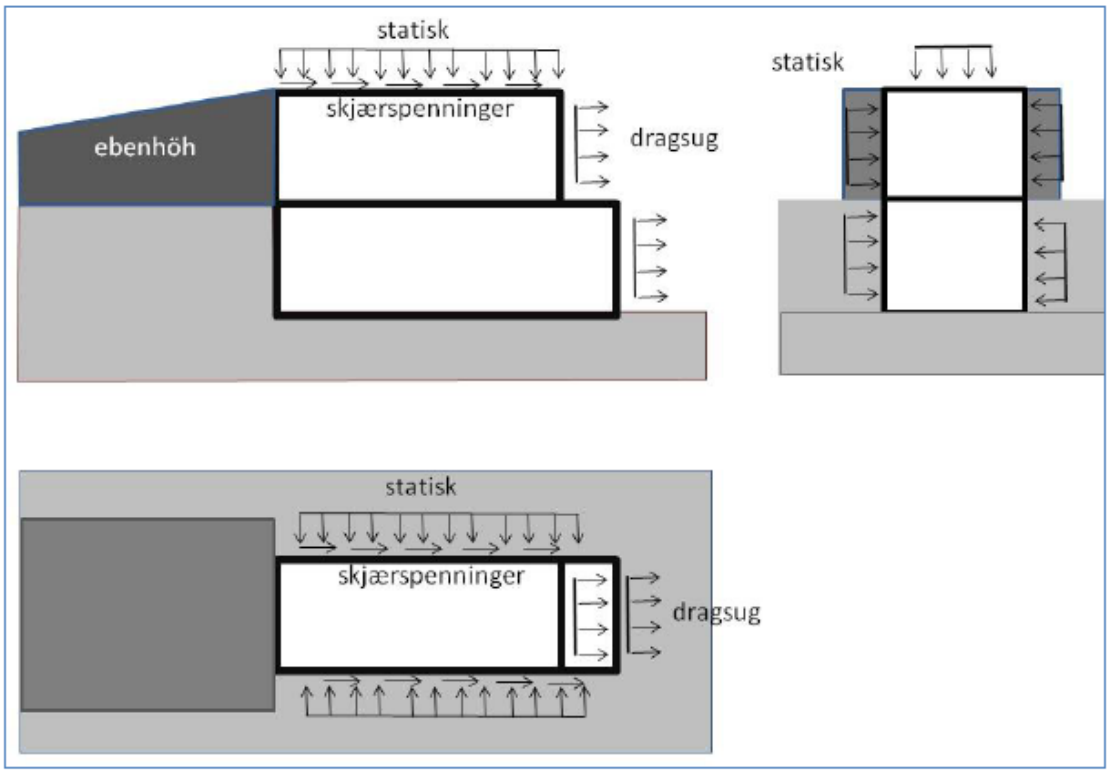


Figur 17 Prinsippskisse for skredlast mot en vegg hvor snøskredet består av et lag av faste skredmasser (rødt) som strømmer langs bakken eller oppå snøen som ligger på bakken, deretter er det et fluidisert lag (gult) og øverst er snøskyen (grønt).

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

Figur 18 viser en prisnippskisse 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/m^3)

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.

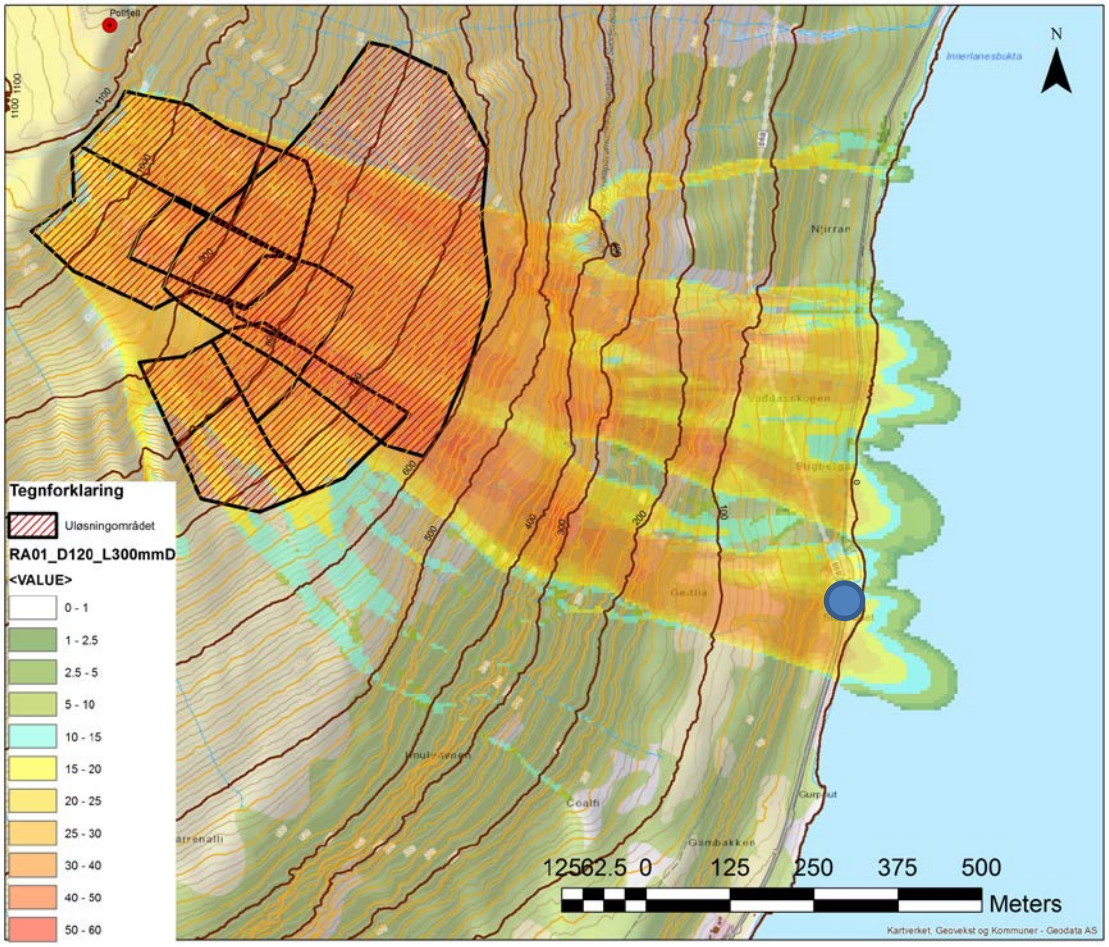
5.2 Dimensjonerende snøskred

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

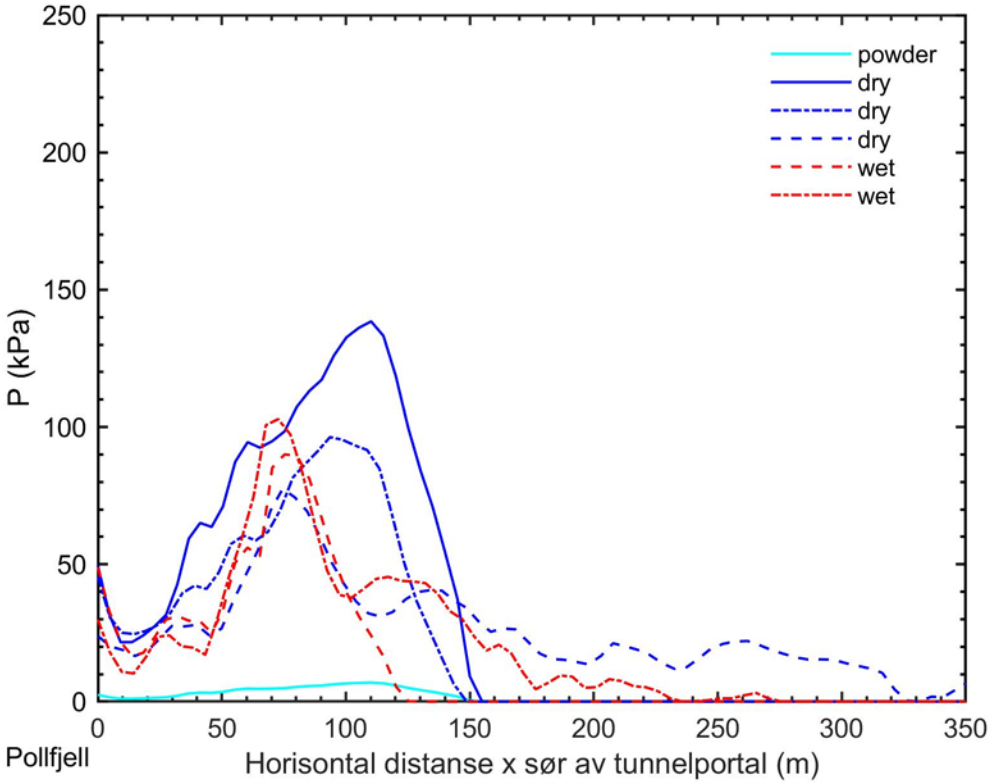
Tiden et skred vil bruke på å nå veien fra utløsningstidspunktet er rundt 60 sekunder, og hastigheten er ca. 30-40 m/s nede ved veien.



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 løsneområder (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 Furuflaten 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.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page

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*** 2019-09-18
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ *Proprietary rights to the document according to contract* Oppdragsgiver / Client		**Rev.nr.&dato/*Rev.no.&date*** 0 / 2019-09-18
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	2019-09-18 Frode Sandersen	2019-09-18 Peter Gauer	*Velg kontrolldato* Ditt navn her	*Velg kontrolldato* Ditt navn her

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	**Dato/*Date***	**Prosjektleder/*Project Manager***
	18. september 2019	Peter Gauer

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

OSLO
TRONDHEIM
HOUSTON
PERTH

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

Hovedkontor Oslo
PB. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd. Trondheim
PB. 5687 Torgarden
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48
NGI@ngi.no

BANK
KONTO 5096 05 01281
ORG.NR 958 254 318MVA

ISO 9001/14001
CERTIFIED BY BSI
FS 32989/EMS 612006