

Oppdragsgiver	Navn Statsbygg	Kontaktperson Bente Næverdal
Oppdrag	Nummer og navn 19230 Svalbard, Longyearbyen - Skredfarevurdering for Svalbard kirke	Oppdragsleder Nils Arne K. Walberg
Dokument	Nummer 19230-01-1 Utført av Nils Arne K. Walberg	Dato 2019-06-07 Kontrollert av Sondre Lund og Kalle Kronholm

Skredfarevurdering og faresoner

Sammendrag

Statsbygg skal refundamentere Svalbard kirke i 2019/2020, og det ønskes en vurdering av skredfaren mot kirken (område 1). I tillegg er det gjort en vurdering av to andre områder på Skjæringa. Det er et tilgrensende område i nord som ønskes benyttet som kirkegård (område 2), samt en tomt på Skjæringa hvor Statsbygg idag har kontor- og brakkerigg, men som vurderes tatt i bruk for boligutvikling (område 3).

Vi vurderer at eksisterende faresone fra 2016 ikke gjenspeiler den reelle skredfaren for område 1 og 2 grunnet faren for snøskred. Vi vurderer at faresonen for skred med årlig sannsynlighet $\geq 1/1000$ og $\geq 1/5000$ inkluderer bebyggelsen i område 1 ved Svalbard kirke, samt deler av område 2. Dette innebærer at det er behov for sikringstiltak for å tilfredsstillere sikkerhetskravene mot skred i TEK 17/TEK10 i disse områdene. Området 3 ligger i sin helhet utenfor faresonen for sikkerhetsklasse S3 ($\geq 1/5000$).

På bakgrunn av nye vurderinger er det skissert mulige sikringstiltak, men behovet for sikring bør diskuteres da den berørte bebyggelsen ligger helt i utkanten av faresonen for sikkerhetsklasse S2 ($\geq 1/1000$). Det vurderte området kan sikres mot skred slik at det tilfredsstillere kravene for sikkerhetsklasse S2 og S3 i Byggteknisk forskrift TEK17/TEK10 § 7-3, men det vurderes som lite realistisk å sikre for sikkerhetsklasse S3 grunnet høye kostnader. En kombinasjon av fang- og ledevoll vurderes som det mest realistiske alternativet for å sikre eksisterende bebyggelse slik at det tilfredsstillere sikkerhetskravene i sikkerhetsklasse S2.

Innhold

1	Innledning	4
1.1	Bakgrunn	4
1.2	Mål	4
1.3	Befaring	4
1.4	Forbehold	4
2	Krav til sikkerhet mot skred	6
2.1	Lovverket	6
2.2	Aktuelle krav	7
2.3	Vurderte skredtyper	7
2.3.1	Snøskred og sørpeskred	7
2.3.2	Skred i fast fjell	7
2.3.3	Jordskred og flomskred	8
2.3.4	Skredfare og klimaendringer	8
3	Beskrivelse av området	9
3.1	Topografi	9
3.2	Registrerte skredhendelser	9
3.3	Tidligere rapporter	9
3.4	Eksisterende sikringstiltak	10
4	Vurdering av skredfare	11
4.1	Snøskred	11
4.1.1	Løsneområder	11
4.1.2	Dimensjonerende skred – bruddhøyde og friksjonsverdier	12
4.1.3	Utbredelse av snøskred	13
4.2	Steinsprang	16
4.3	Løsmasseskred	17
4.4	Sørpeskred	17
5	Faresoner for skred	18
6	Mulighet for sikring	19
6.1	Fang- eller ledevoll	19
6.2	Dimensjonering av bebyggelse for å tåle skredlaster	20
6.3	Tiltak for å redusere rekkevidden av snøskred	20
6.4	Konstruksjoner i utløsningsområdet	20
6.5	Anbefalinger for videre arbeid	20
7	Konklusjon	22
8	Referanser	23

Figurer

Figur 1: Oversikt over de kartlagte områdene inkludert eksisterende faresoner kartlagt for NVE i 2016.	5
Figur 2: Helningskart over fjellsiden ovenfor det vurderte området på Skjæringa. Potensielle løснеområder benyttet for modellering av snøskred er skissert og angitt med nummer. Sporlogg og veipunkter fra befarings er også vist.....	12
Figur 3: Oversikt over potensielle løснеområder (blå stiplet) og punkter for siktelinjer (rød bokstav) i fjellsiden ovenfor Svalbard kirke.	14
Figur 4: Maksimalt trykk for antatt dimensjonerende 1/1000 scenario for snøskred. Resultat med friksjonsparametre M300 er vist, som tidligere har vist seg å stemme godt overens med etterregning av utbredelsen til 2015 skredet fra Sukkertoppen.	16
Figur 5: Faresoner for skred i de kartlagte områdene.	18

Tabeller

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2019) og TEK10.	6
Tabell 2: Dimensjonerende bruddhøyder i aktuelle utløsningsområder ved Longyearbyen. .	13
Tabell 3: Oversikt over siktelinjer fra utsatt bebyggelse opp mot utvalgte punkter i fjellsiden.	14

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Statsbygg skal refundamentere Svalbard kirke i 2019/2020, og det ønskes en vurdering av skredfaren mot kirken (område 1). I tillegg er det gjort en vurdering av to andre områder. Det er et tilgrensende område i nord som ønskes benyttet som kirkegård (område 2), samt en tomt på Skjæringa hvor Statsbygg idag har kontor- og brakkerigg, men som vurderes tatt i bruk for boligutvikling (område 3).

Bakgrunnen for forespørselen er en nylig utført skredfarekartlegging for Longyearbyen barnehage, lokalisert rett V for Svalbard kirke, viser at skredfaren er større enn det som ble indikert av faresonene kartlagt i 2016. Det ønskes derfor en ny vurdering av faresonene ved Svalbard kirke.

1.2 Mål

Skred AS er bedt om å utføre en skredfarevurdering for Svalbard kirke, samt to andre områder på Skjæringa, se Figur 2. I Longyearbyen gjelder TEK10, og krav til sikkerhet mot skred, definert i TEK10 med veileder, skal legges til grunn for vurderingene. Kravene i TEK10 er omtrent som i TEK17.

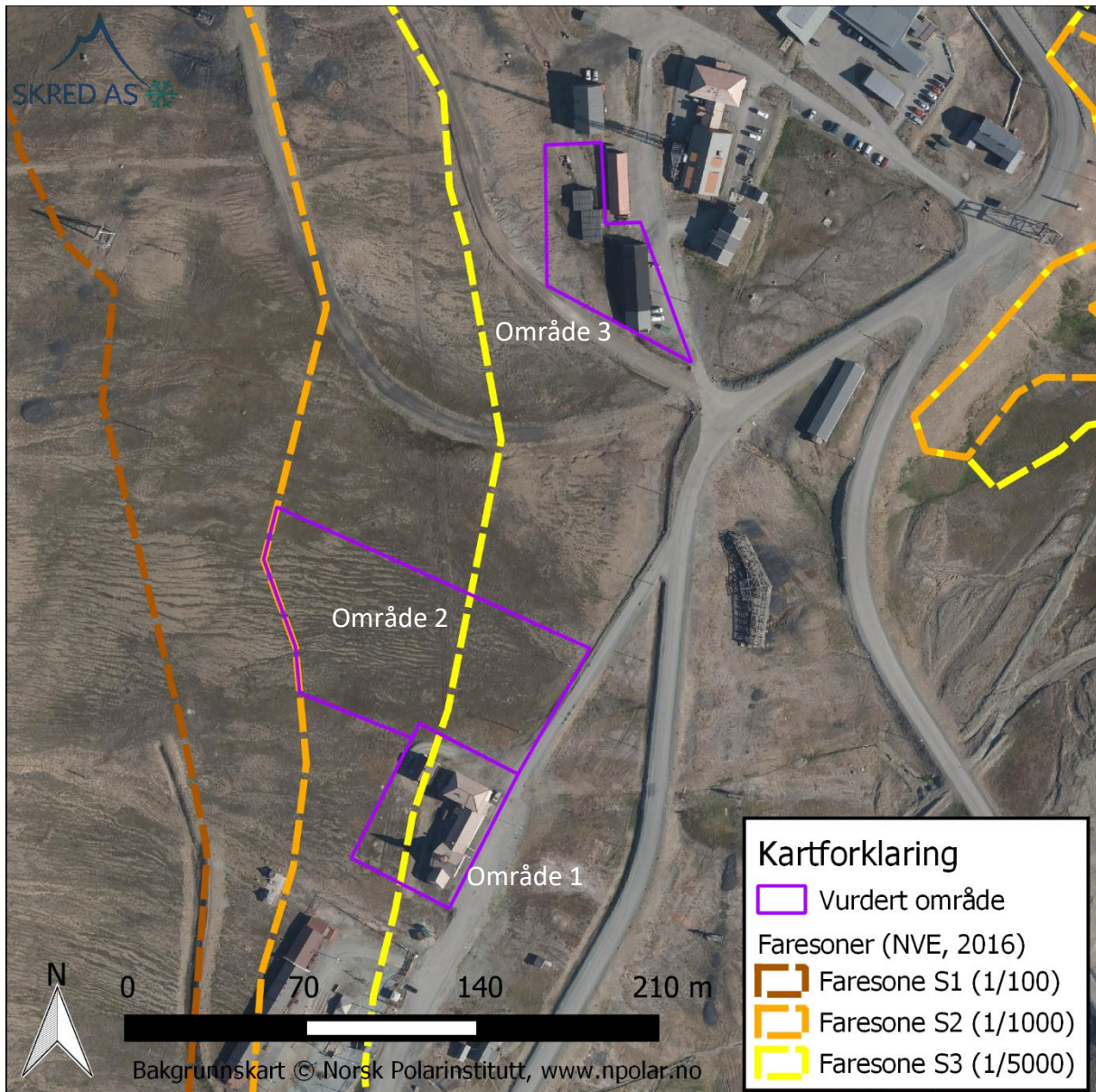
1.3 Befaring

Skred AS ved Sondre Lunde og Nils Arne K. Walberg utførte befaring 7. og 8. mai 2019. Det var fint vær, god sikt og vinterlige forhold med snødekke under befaringen. Det ble ikke benyttet drone pga. sterk vind.

1.4 Forbehold

Informasjon om tidligere skredhendelser er viktige for vurdering av skredfare. Dersom det kommer mer informasjon om tidligere skred, bør det tas med i betraktningene.

Vurderingene er gjort ut fra terrenget slik det ble observert på befaringer utført i forbindelse med andre oppdrag i området, på tilgjengelige flyfoto, og på kotegrunnlag. Klima er vurdert ut fra historisk klima, men det er lagt på et klimapåslag i beregnede bruddhøyder for snøskred. Dette er nærmere beskrevet i avsnitt 2.3.4 og 4.1.2. Hvis terreng eller klima endres betydelig, kan det ha betydning for skredforholdene. Da anbefales det å utføre en ny vurdering.



Figur 1: Oversikt over de kartlagte områdene inkludert eksisterende faresoner kartlagt for NVE i 2016.

2 Krav til sikkerhet mot skred

2.1 Lowerket

Plan- og bygningsloven § 28-1 stiller krav om tilstrekkelig sikkerhet mot fare for nybygg og tilbygg:

«Grunn kan bare bebygges, eller eiendom opprettes eller endres, dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur- eller miljøforhold. Det samme gjelder for grunn som utsettes for fare eller vesentlig ulempe som følge av tiltak.»

Byggteknisk forskrift TEK17 § 7-3 definerer krav til sikkerhet mot skred for nybygg og tilhørende uteareal (Tabell 1). I Longyearbyen gjelder TEK10, der kravene til sikkerhet mot skred er omtrent lik de gitt i TEK17. Sannsynligheten i Tabell 1 angir den årlige sannsynligheten for skredskader av betydning, dvs. skred med intensitet som kan medføre fare for liv og helse og/eller større materielle skader. I veilederne til TEK17/TEK10 gis retningsgivende eksempler på byggverk som kommer inn under de ulike sikkerhetsklassene for skred (DiBK, 2019).

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2019) og TEK10.

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	Liten	1/100
S2	Middels	1/1000
S3	Stor	1/5000

I sikkerhetsklasse S1 inngår byggverk der det normalt ikke oppholder seg personer og der det er små økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser. Mindre brygger og lagerbygninger med lite personopphold er nevnt som eksempler.

Sikkerhetsklasse S2 omfatter tiltak der et skred vil føre til middels konsekvenser. Dette kan eksempelvis være byggverk der det normalt oppholder seg maksimum 25 personer og/eller der det er middels økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser. Driftsbygninger i landbruket samt parkeringshus og havneanlegg er nevnt som eksempler.

Sikkerhetsklasse S3 omfatter tiltak der et skred vil føre til store konsekvenser. Dette kan eksempelvis være byggverk der det normalt oppholder seg mer enn 25 personer og/eller der det er store økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser. Eksempler på byggverk som kan inngå i denne sikkerhetsklassen er:

- eneboliger i kjede/rekkehus/boligblokk/fritidsbolig med mer enn 10 boenheter
- arbeids- og publikumsbygg/brakkerrigg/overnattingssted hvor det normalt oppholder seg mer enn 25 personer
- skole, barnehage, sykehjem og lokal beredskapsinstitusjon

Kravet til sikkerhet for uteareal tilhørende bygninger, skal i utgangspunktet være lik kravet til bygningen. Allikevel åpner lovverket for å redusere sikkerhetsnivået til uteareal med en klasse, dersom dette vil gi tilfredsstillende sikkerhet for tilhørende uteareal. Momenter som må vurderes i denne sammenheng er blant annet eksponeringstiden for personer og antall personer som oppholder seg på utearealet.

2.2 Aktuelle krav

Det er opp til Longyearbyen lokalstyre å vurdere aktuelle krav til sikkerhet.

På bakgrunn av ulik utnyttelse av de vurderte områdene, både under dagens situasjon og for fremtidig utnyttelse, har vi kartlagt faresoner for sikkerhetsklasse S1, S2 og S3.

2.3 Vurderte skredtyper

I TEK17 er det spesifisert at samlet sannsynlighet for alle skredtyper skal legges til grunn for vurderingen av årlig sannsynlighet. Vi har derfor vurdert følgende skredtyper:

- Skred i fast fjell
- Skred i løsmasser
- Snøskred, inkludert sørpeskred

Den endelige vurderingen av skredfare er samlet nominell årlig sannsynlighet for skred, som kan sammenliknes direkte med kravene i tabell 1.

2.3.1 Snøskred og sørpeskred

Snøskred kan inndeles i løssnøskred og flakskred. Løssnøskred utløses i snø med lav fasthet, som gjerne starter med en liten lokal utglidning. Etter hvert som nye snøkorn blir revet med utvider skredet seg og kan få en pæreform. Flakskred oppstår når en større del av snødekket løsner som et flak langs et glideplan. Det er flakskred som har størst skadepotensiale. Store snøskred løsner vanligvis der terrenget er mellom 30-50° grader bratt. Der det er brattere enn dette glir snøen stadig ut slik at det ikke dannes større skred. Snøskred kan skape skredvind med kraft til å utrette stor skade.

Sørpeskred er en strøm med vannmettede snømasser. Sørpeskred følger som oftest forsenkninger i terrenget, og oppstår når dreneringen i grunnen er dårlig, som for eksempel på grunn av tele og is. Sørpeskred kan utløses i slakt terreng, for eksempel når kraftig snøfall blir etterfulgt av regn og mildvær. Sørpeskred kan også utløses når varme gir intens snøsmelting. Skredmassene har høy tetthet og skred med lite volum kan gi stor skade. Det er ikke utarbeidet aktsomhetskart for sørpeskred.

2.3.2 Skred i fast fjell

Når en eller flere steinblokker løsner og faller, spretter, ruller, eller sklir nedover en skråning benyttes begrepene steinsprang (volum <100 m³) og steinskred (volum 100-10.000 m³). Steinsprang og steinskred løsner oftest i bratte fjellparti der terrenghelningen er større enn 40-45°.

2.3.3 Jordskred og flomskred

Jordskred starter med en plutselig utglidning i vannmettede løsmasser og blir som regel utløst i skråninger som er brattere enn 25-30°. Man kan skille mellom kanaliserte og ikke-kanaliserte jordskred.

Et kanalisert jordskred skaper en kanal i løsmassene som kan fungere som skredbane for nye skred. Skredmasser kan bli avsatt og danne langsgående rygger parallelt med kanalen. Når terrenget flater ut blir skredmassene avsatt i en tungeform. Over tid kan flere slike skred bygge en vifte av skredavsetninger. I et ikke-kanalisert jordskred flytter massene seg nedover langs en sone som gradvis kan bli bredere. Mindre jordskred kan oppstå i slakere terreng med finkorna, vannmettet jord og leire, gjerne på dyrka mark eller i naturlig terrasseformede skråninger i terrenget.

Flomskred er raske, vannrike, flomlignende skred som følger elve- og bekkeløp, eller raviner, gjel eller skar, ofte uten permanent vannføring. Helningen i utløsningsområdet kan være ned mot 10°. Skredmassene kan bli avsatt som langsgående rygger på siden av skredløpet, og oftest i en stor vifte nederst, der de groveste massene ligger ved roten av vifta og finere masser blir avsatt utover vifta. Massene i et flomskred kan komme fra store og små flomskred langsetter flomløpet, undergraving av sideskråninger og erosjon i løpet, eller i kombinasjon med sørpeskred.

2.3.4 Skredfare og klimaendringer

Spesielle værforhold er en dokumentert utløsende faktor for de fleste typer skred, og forekomsten av disse skredtypene vil naturlig bli påvirket dersom klimaet utvikler seg slik at ekstremt vær inntreffer oftere. Generelt vil et varmere og våtere klima kunne påvirke frekvensen av jordskred, flomskred, snøskred og sørpeskred, men i hvilken grad skredaktiviteten vil endres i hver landsdel er uvisst.

Det er altså ikke mulig å beregne et «klimapåslag» for skredstørrelse eller skredutløp og så bruke dette i skredfarekartlegging. Klimautviklingen inngår dermed i en rekke usikkerhetsmomenter som det ikke finnes verktøy for å kvantifisere, men som vurderes skjønnsmessig når en utreder eller kartlegger skredfare.

På Svalbard er det i tidligere arbeid tatt høyde for økt nedbør (+ 40%) i beregning av dimensjonerende bruddkanter for snøskred (NVE, 2018). Dette er også gjort i denne rapporten. Nedbørdata anses likevel som usikre, spesielt på Svalbard hvor det er begrenset med målestasjoner, og hvor en stor del nedbør kommer som snø, som er vanskelig å måle.

3 Beskrivelse av området

Det vurderte området ligger på Skjæringa, som er betegnelsen på området på vestsiden av Longyeardalen der denne munner ut mot Adventfjorden (Figur 1). Område 1 inneholder Svalbard kirke og et bolighus, område 2 er et område som vurderes tatt i bruk for fremtidig kirkegård og minnesmerke, og område 3 består av en brakkerigg og kontorbygg.

3.1 Topografi

Det vurderte området ligger på kote 40-60 moh. (Figur 2). Mot vest stiger terrenget langs en ryggformasjon opp mot en fortopp på Platåfjellet som er 329 moh. Deler av denne ryggformasjonen er brattere enn 30°. I område sør for kirken blir fjellsiden brattere og det er større sammenhengende områder brattere enn 30°. Ovenfor kirken har fjellsiden et par partier hvor helningen er brattere enn 30°, i tillegg er det et brattparti øverst på ryggformasjonen på 220-300 moh. Mot nord, ovenfor område 2, smalner de brattere partiene ettersom terrenget slaker ut mot den langsgående ryggformasjon fra dalbunnen og opp mot Platåfjellet.

3.2 Registrerte skredhendelser

Vi er gjort kjent med at snøskred skal ha truffet ytterveggen på et av barnehagebyggene sørvest for kirken, men har ikke fått verifisert dette. Det er kjent at det har løsnet flere mindre snøskred i fjellsiden ovenfor barnehagen. Flere historiske flomskred har løsnet i siden over og nord for bygningene i det vurderte området, noe som har ført til at eksisterende voll er satt opp.

Generelt er det ikke uvanlig med snøskred og flomskred i fjellsiden fra Platåfjellet og ned mot Longyeardalen. Det er kjent flere store snøskred på motsatt side av Longyearbyen, under Sukkertoppen og Gruvefjellet, i tillegg til sørpeskred ut Vannledningsdalen.

3.3 Tidligere rapporter

NGI Rapport 914030-1, datert 31. juli 1992. Gamle Longyearbyen – vurdering av skredfare og drivsnø problem i planlagt utbyggingsområde. I forbindelse med arbeidet blir NGI forespurt om skredfare ved kirken og barnehagen. Et vedlegg i rapporten kommenterer at det ikke er fare for at stein- eller snøskred mot disse bygningene, men at flomskred i forbindelse med kraftig nedbør og/eller avsmeltningssituasjoner kan nå bygningene. Det vil imidlertid være relativt begrensede skredmaterialer som når så langt ned. Sistnevnte på bakgrunn av eldre observerte flomskredavsetninger ved bebyggelsen.

Etter deres vurdering av beregninger og klimadata vil snøskred med gjennomsnittlig gjentakelsesintervall på 1000 år kunne nå ned til ca. kote 70 i området ved Taubanesentralen og omlag til Burmavegen ovenfor bebyggelsen på Skjæringa. Andre skredtyper er vurdert som sekundære i forhold til snøskred i dette området, men det er påpekt spor etter minst 2 mindre løsmasseskred i skråningsfoten over den gamle Taubanetraseen.

NGI Rapport 954103-1, datert 5. januar 1996. Barnehage, Longyearbyen – vurdering av skredfaren for aktuelle tomter for ny barnehage ved kirka. På bakgrunn av at topografiske betingelser for snøskred i området ovenfor barnehagen i tidligere undersøkelser ble

undervurdert, er det utført en ny skredfarevurdering. Den nye undersøkelsen konkluderer med at:

- Det ansees som urealistisk å gi daværende barnepark (hus 355) og barnehage en sikkerhet mot snøskred som tilsvarer kravet for sikkerhet for ny bebyggelse (1/1000).
- Snøskred med en sannsynlighet på 1/1000 pr år vil kunne nå kirka med en hastighet på ca. 10 m/s, men at slike skred bare vil nå like forbi kirka. Det betyr at snøskred fram til kirka også vil forekomme relativt sjelden. NGI vil anslå en sannsynlighet på 3×10^{-3} pr år, det vil si et gjennomsnittlig gjentakelsesintervall på ca. 300 år. Det er mulig å sikre kirka mot slike skred med ledevoll av løsmasser. Det er et spørsmål om spesielle fysiske tiltak bør iverksettes ved en så lav skredfrekvens.
- Både hus 355, barnehagen og kirka kan sikres mot flomskred ved drengrofter og flettverksgjerder, eller sikringsvoller med fanggroper.

NVE Rapport 91-2016. Skredfarekartlegging i utvalgte områder på Svalbard. Multiconsult utførte på oppdrag fra NVE en detaljert skredfarekartlegging for Longyearbyen. Faresonene er gjengitt i Figur 1. I denne kartleggingen ligger selve kirken på utsiden av faresonen for sikkerhetsklasse S3 (1/5000), mens samme faresone går rett igjennom tilbygget. Det vurderte område på Skjæringa ligger på utsiden av faresonen for S3.

3.4 Eksisterende sikringstiltak

Det er en mindre løsmassevoll ovenfor barnehagen med et nettinggjerde som trolig er ment å stoppe mindre flomskred. Detaljene rundt eventuell prosjektering og konstruksjon er usikre, men en dreneringsgrøft var allerede gravd før vurderingen av NGI i 1996, sannsynligvis etter flomskredhendelse mellom barnehagen og kirken i 1993-94 (NVE, 2016). Dagens voll med gjerde ble sannsynligvis bygd i etterkant av nevnte NGI rapport 954103-1 (NGI, 1996) da det er skissert et liknende tiltak i rapporten. Vollen er senere utvidet til å også dekke deler av kirken, men denne delen er uten gjerde og lavere enn delen ovenfor barnehagen. Tidspunktet for utvidelse av vollen er usikkert.

Inntrykket vårt av vollen fra befaringen, selv om det ikke var helt bar mark, er at den hadde veldig slak vinkel og var maks 0,5 m høy i nordlig ende (uten gjerde). Støtsiden var helt fylt opp av snø. Den er antagelig bygget opp av finkorna, stedlige masser, noe som gjør det vanskelig å etablere en bratt støtside. Vår vurdering er at den nordlige delen er konstruert for å lede vann vekk fra området over kirken, og veldig begrenset, om noe, funksjon som sikring mot flomskred. Mot snøskred har den ingen funksjon da støtsiden antas raskt å fylles igjen med snø, noe som ble observert under befaringen hvor det generelt var lite snø.

4 Vurdering av skredfare

4.1 Snøskred

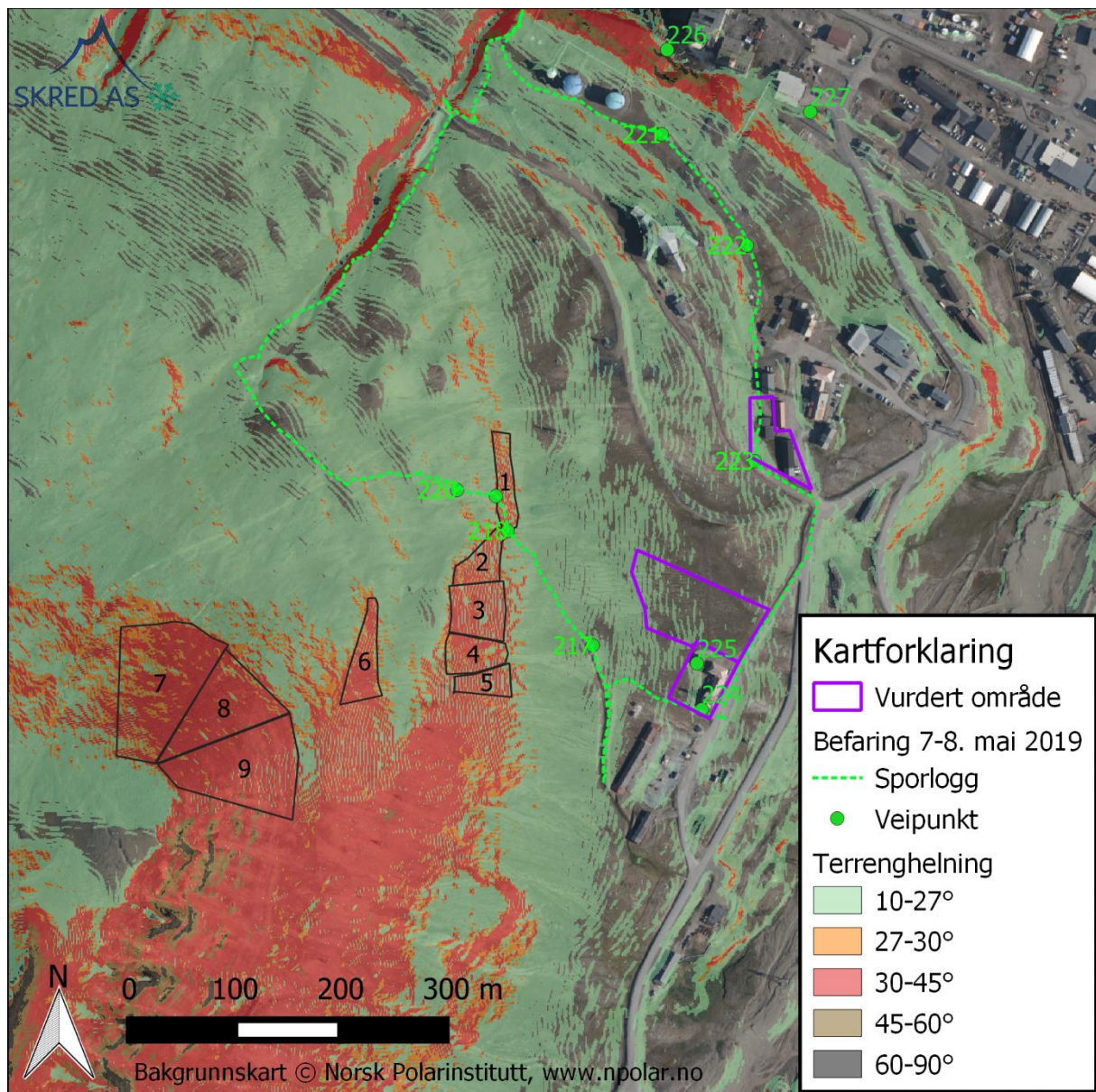
For å evaluere eksisterende faresoner for skred og estimerte skredhastigheter er det gjort en kartlegging av mulige løснеområder basert på feltbefaring, kart, foto og terrengmodeller. Videre er det modellert utbredelse av snøskred fra disse ved å benytte den dynamiske snøskredmodellen RAMMS (Christen, Kowalski, & Bartelt, 2010).

4.1.1 Løснеområder

Løснеområder for snøskred kan grovt defineres som alle områder hvor det kan legge seg betydelige mengder snø, i terreng med helling mellom 27° - 55°. Figur 3 viser et oversiktsfoto over fjellsiden hvor mulige løснеområdene for snøskred er skissert.

Figur 2 viser helningskart over fjellsiden ovenfor det vurderte området utarbeidet fra terrengmodell. Terrengmodellen bygger på tilgjengelig kotegrunnlag som er 1 m i nedre del av fjellsiden, og 5 m i øvre del av fjellsiden. Kartet viser at store, sammenhengende deler av fjellsiden ovenfor det vurderte området har en helling mellom 27° - 45°, og må derfor regnes som potensielle løснеområder for snøskred. På grunn av terrengformene, er det allikevel ulikt potensiale for skredutløsning og bruddkanter i de ulike deler av fjellsiden. Inndelingen av løśnieområdene i Figur 2 er gjort på bakgrunn av topografiske forhold (forsenkninger) for å kunne modellere skred fra kun deler av fjellsiden.

Løśnieområdet 1 er en mindre skrent hvor det vurderes at kun små skred (str. 1) kan løse ut grunnet liten høydeforskjell. Løøgneområdene 2-5 strekker seg parallelt med fjellsiden, og ligger mellom 100 og 135 moh. Den vertikale høydeforskjellen er 30-35 m, og det vurderes at snøskred kan løсне i mindre, usammenhengende partier eller i et sammenhengende skred. Løøgneområde 6 er et mindre brattparti som starter fra 165 moh. På grunn av liten høydeforskjell, opp til 25-30 m i sør, vil skred herifra ikke være dimensjonerende. Løøgneområde 7-9 ligger helt øverst i fjellsiden, og ligger mellom kote 220-310 moh. Løøgneområdene ligger på en konveks ryggformasjon, og det er derfor lite sannsynlig at de vil løse ut samtidig. Områdene 7 og 9 kan få noe vindavlagring på hhv. SØ og NV vindretning, mens det er lite sannsynlig at det bygger seg opp store mengder med vindavsatt snø i område 8.



Figur 2: Helningskart over fjellsiden ovenfor det vurderte området på Skjæringa. Potensielle løснеområder benyttet for modellering av snøskred er skissert og angitt med nummer. Sporlogg og veipunkter fra befaring er også vist.

4.1.2 Dimensjonerende skred – bruddhøyde og friksjonsverdier

For å beregne dimensjonerende skred er det tatt utgangspunkt i metodikken og resultater fra NVE sin rapport om dimensjonerende skred fra Sukkertoppen som ble utarbeidet etter skredhendelsen nevnte sted i 2017 (NVE, 2018). Skred AS var en av aktørene i prosjektet gjennom en faggruppe med representanter fra ulike skredfaglige miljøer som ble satt sammen av NVE. I det prosjektet ble det utført simuleringer og beregninger av skred med gjentakintervall 1/100, 1/1000 og 1/5000. Grunnlaget for beregningene av dimensjonerende skred omfattet også beregninger av dimensjonerende bruddhøyder, valg av friksjonsparametere og sensitivitetsanalyser, samt at de kjente skredhendelsene fra 2015 og 2017 ble etterregnet. Vi har for vurderingen av skredfaren ovenfor Svalbard kirke i denne

rapporten benyttet samme parametere som for Sukkertoppen. Benyttede parametere vil kort oppsummeres i påfølgende avsnitt, for øvrig metodikk henvises det til nevnte rapport (NVE, 2018).

Dimensjonerende bruddhøyde for modellering av dimensjonerende skred er vist i Tabell 2. Verdiene inkluderer et klimapåslag. Friksjonsverdier i RAMMS (μ og ξ), er satt basert på volum, som anbefalt i RAMMS, og er økt med en størrelsesklasse i modelleringen av skred med 1/1000 og 1/5000 gjentakintervall. Dette er gjort for å ta høyde for at RAMMS ikke tar hensyn til returperioder høyere enn 1/300. Høydenivåene (standard 1000 og 500 moh.) er endret til 500 og 100 moh. basert på skjønn, kalibrering mot kjente hendelser og sensitivitetsanalyser.

Tabell 2: Dimensjonerende bruddhøyder i aktuelle utløsningsområder ved Longyearbyen.

Gjentaksintervall	3-døgns nedbør [mm]	Dimensjonerende bruddhøyde d_0 [m]
100 år	51	Øvre: 1,1 Nedre: 0,9
1000 år	70	Øvre: 1,8 Nedre: 1,4
5000 år	78	Øvre: 2,3 Nedre: 1,9

4.1.3 Utbredelse av snøskred

Vi er ikke kjent med større historiske snøskred ned mot kirken eller de andre vurderte områdene, men snøskred har løstnet ovenfor barnehagen. Med økte nedbørverdier og kraftig vindtransport kan det likevel ikke utelukkes at snøskred kan bli større enn det vi er kjent med har gått hittil. Fjellsiden ovenfor kartleggingsområde har flere likheter med Lia hvor det gikk et skred i relativt like terrengforhold i 2015. Likhetene gjelder løsneområde 2-5 og inkluderer bl.a. høydeforskjell og bratthet i løsneområde, og muligheten for å få vindtransportert snø inn i løsneområdet fra et større oppsamlingsområde bak fjellsiden. Det er noen mindre forskjeller, som at det i Lia er et mindre bratt parti rett nedenfor løsneområdet som antas gir økt akselerasjon og hastighet, samt at kirken ligger i større avstand fra fjellsiden enn det de nærmeste Spisshusene gjorde. Likhetene gjør derimot at vi ikke kan utelukke et liknende utløsningsscenario med sannsynlighet 1/1000.

Figur 4 viser et eksempel på modellert skredtrykk for et snøskred fra de nedre utløsningsområdene når disse løser i et sammenhengende stort skred (volum 12 000 m³, friksjonsparametre M300). Figuren viser modellert utbredelse med bruddhøyder dimensjonerende for et snøskred med årlig nominell sannsynlighet på 1/1000 (1,4 m). Modellen viser at et eventuelt skred av denne størrelsen vil kunne nå ned til kirken, noe vi vurderer som realistisk i forhold til maksimal utbredelse av skredet i Lia (Issler, Jónsson, Gauer, & Domaas, 2016). Modellerte skredhastigheter og -laster er opp til 6 m/s og 10 kPa ved kirken og opp mot 8 m/s og 18 kPa ved boligen rett NV for kirken (tetthet 300 kg/m³).

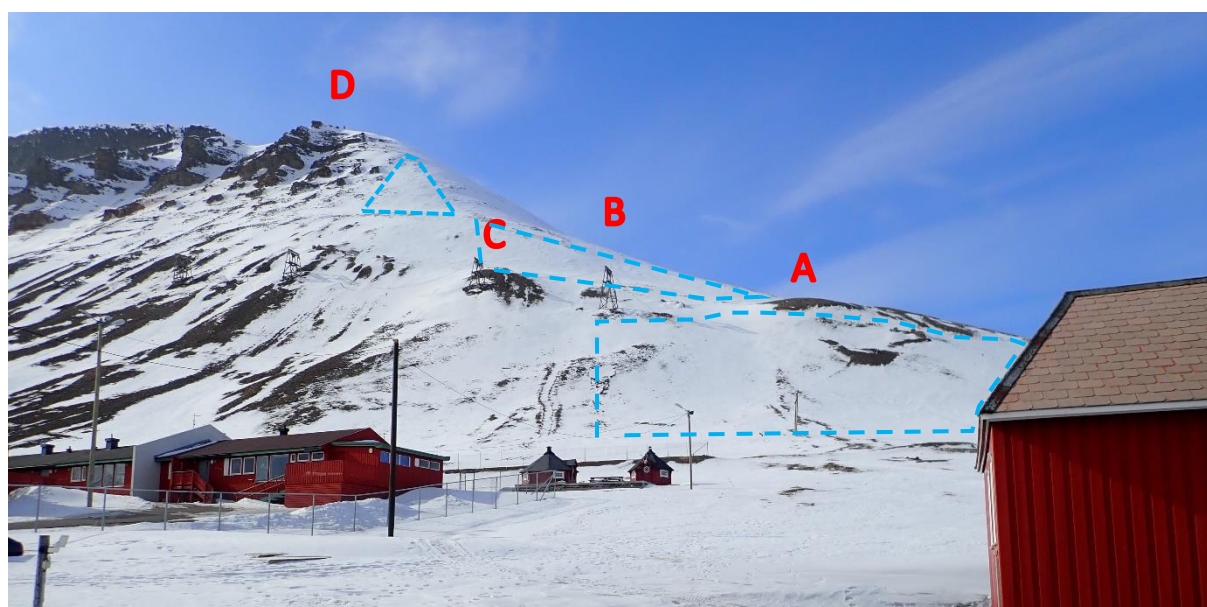
Verdiene er altså godt under anbefalingene i veiledningen til TEK17 § 7-3 (2), som sier at «Bygninger kan dimensjoneres til å tåle krefter fra skred dersom skredlastene ikke er for store. Maksimal skredlast bør ikke være større enn anslagsvis 50 kPa.»

Skred fra løснеområde 7, 8 og 9 er vurdert og modellert enkeltvis med standard bruddkanthøyder fra Tabell 2. Samtidig utløsning er vurdert som en hendelse med lavere årlig sannsynlighet en 1/5000 da løснеområde 7 og 9 har ulik eksponisjon og samler snø på ulike vindretninger. Modellutbredelsen viser at eventuelle skred med disse forutsetningene ikke vil nå inn i eller ha dimensjonerende utløp/krefter i de vurderte områdene.

Under befaringen ble det tatt siktelinjer fra hjørnet av kirken (Waypoint 224 i Figur 2) og bolighus NV for kirken (WP 225), og opp mot de ulike punkter i fjellsiden. Punktene (A-D) er beskrevet med siktevinkler i Tabell 3 og vist i Figur 3. Resultatene viser at siktelinjen er 16°, noe som er den samme som lengste utløp for skredet i Lia i 2015 (Issler, Jónsson, Gauer, & Domaas, 2016). Dette underbygger at kirken ligger i ytterkant av utløpsområde for et mulig skred fra løснеområde 2-5.

Tabell 3: Oversikt over siktelinjer fra utsatt bebyggelse opp mot utvalgte punkter i fjellsiden.

Lokasjon	Topp kolle A	Horisont over mast 1 B	Brattskrent over mast 2 C	Varde topp fjell D
Kirka (WP 224)	16°	19,5°	20°	25,5°
Hus (WP 225)	16°	19,5°	20°	24°



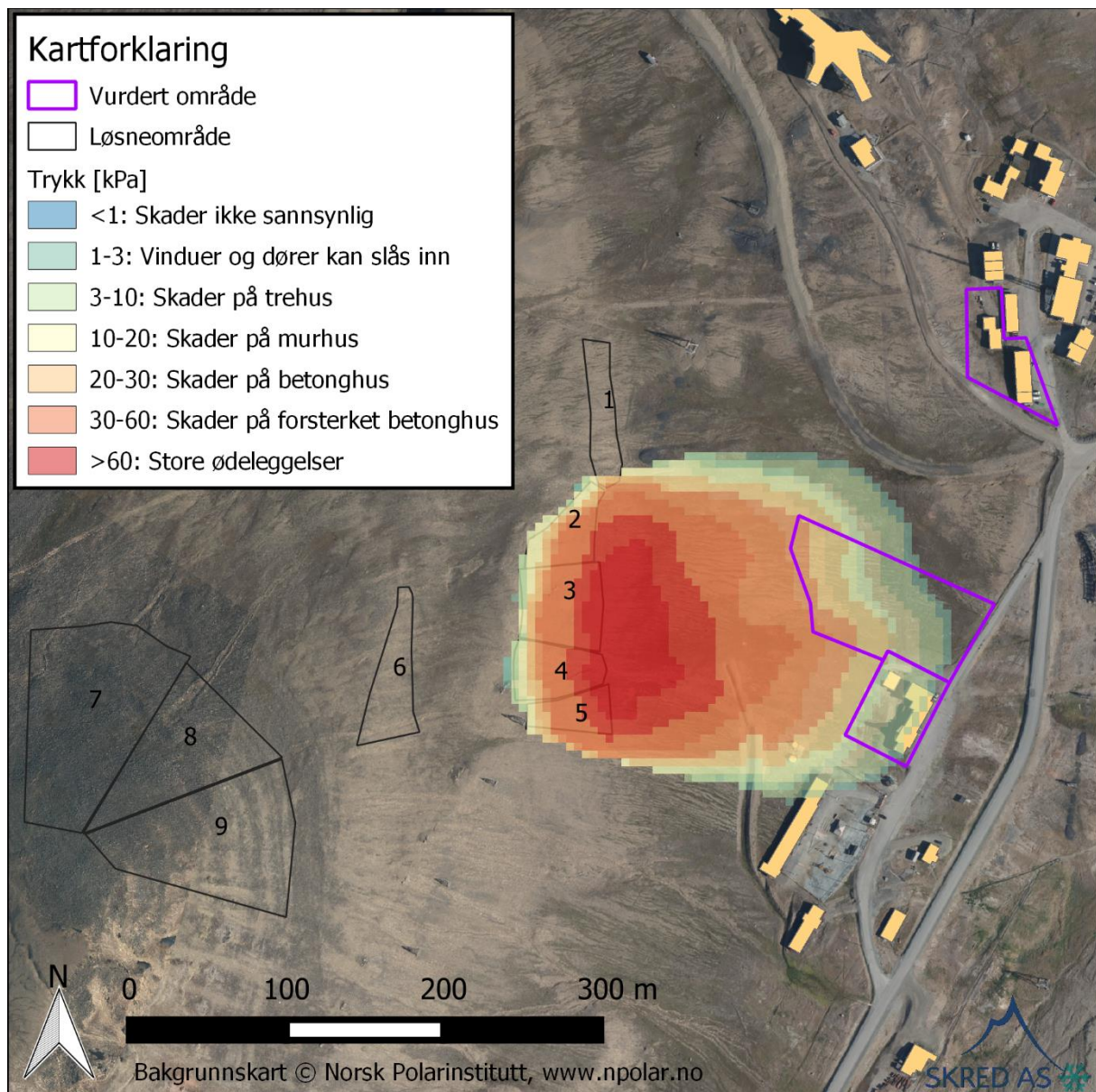
Figur 3: Oversikt over potensielle løснеområder (blå stiplet) og punkter for siktelinjer (rød bokstav) i fjellsiden ovenfor Svalbard kirke.

En helhetlig vurdering gjør at kirken og bolighus i område 1 ligger innenfor faresone 1/1000 (S2). Dette stemmer overens med vurderingene beskrevet i NGI rapport 954103-1.

Når det gjelder faresone 1/100 dimensjoneres denne av modellert utbredelse av snøskred modellert enkeltvis for løснеområde 1-5 med bruddkant på 0,9 m og friksjonsparametre tilsvarende T100 i RAMMS. Denne berører ingen av de kartlagte områdene.

Faresonen for 1/5000 dimensjoneres av samtidig utløsning av løснеområde 2-5 med bruddkant tilsvarende 1,9 m.

Område 3 ligger i sin helhet utenfor faresonen for snøskred da modellberegninger og en helhetlig vurdering tilsier at området ikke kan bli truffet av snøskred med en årlig sannsynlighet som overstiger 1/5000.



Figur 4: Maksimalt trykk for antatt dimensjonerende 1/1000 scenario for snøskred. Resultat med friksjonsparametre M300 er vist, som tidligere har vist seg å stemme godt overens med etterregning av utbredelsen til 2015 skredet fra Sukkertoppen.

4.2 Steinsprang

Steinsprang og steinskred løsner som regel i bratte fjellparti der terrenghelningen er større enn $40-45^\circ$. I fjellsiden ovenfor de vurderte områdene er det kun helt oppunder toppen av skråningen at det bratt nok til at steinsprang kan oppstå. I dette området er det flere mindre, nær vertikale fjellskrenter hvor det hyppig skjer utfall av mindre stein. Utfall fra disse løsneområdene har ikke utløp mot det vurderte område, da terrenget nedenfor løsneområdene faller østover og ned mot vei 300. Det vurderes som svært lite sannsynlig at utfall skal bevege seg på tvers av skråningen eller nedover ryggen mot de vurderte områdene.

Den årlige sannsynligheten for steinsprang inn i de vurderte området vurderes som lavere en 1/5000.

4.3 Løsmasseskred

Jord- og flomskred er en vanlig skredtype i området rundt Longyeardalen. Løsmassene rundt Longyearbyen kjennetegnes av vekslende grove steinmasser og områder med innslag av finkornede sedimenter. Historiske løsmasseskred kan deles opp i mindre utglidninger som ofte har en klar definert tungeform og begrenset utstrekning, og skred som minner mer om flomskred. Sistnevnte avsetter ofte mye av massene som definerte leveér i øvre deler av skredbanen, mens finkornede sedimenter med svært høyt vanninnhold kan transporteres ut i slakere områder.

Det er utført flytanalyser av dreneringsmønsteret i fjellsiden (ikke vist i figur), både som single flow og multi flow analyser. Analysene viser at det ikke er større områder som dreneres ned mot de vurderte områdene, men underbygger dreneringsspor som er synlige i flyfoto.

Flyfoto og tidligere vurderinger avdekker spor av begge typer i fjellsiden ovenfor de vurderte områdene, og skredhendelsen fra 1993-94 som gikk ned mot barnehagen og førte til eksisterende voll underbygger dette. Det vurderes at det kun er svært vannrike masser av skredene som kan nå ned mot Svalbard kirke, da det ikke er tydelige avsetningsformer, og det er vurdert at disse massene ikke har tilstrekkelig potensial til å føre til skade på bebyggelse så langt fra fjellsiden.

Løsmasseskred vurderes derfor som ikke dimensjonerende skredtype i dette området, selv om det ikke kan utelukkes at vannrike masser kan nå inn i de vurderte områdene ved kirken. Dette gjelder spesielt i den sørlige delen av området mot barnehagen.

4.4 Sørpeskred

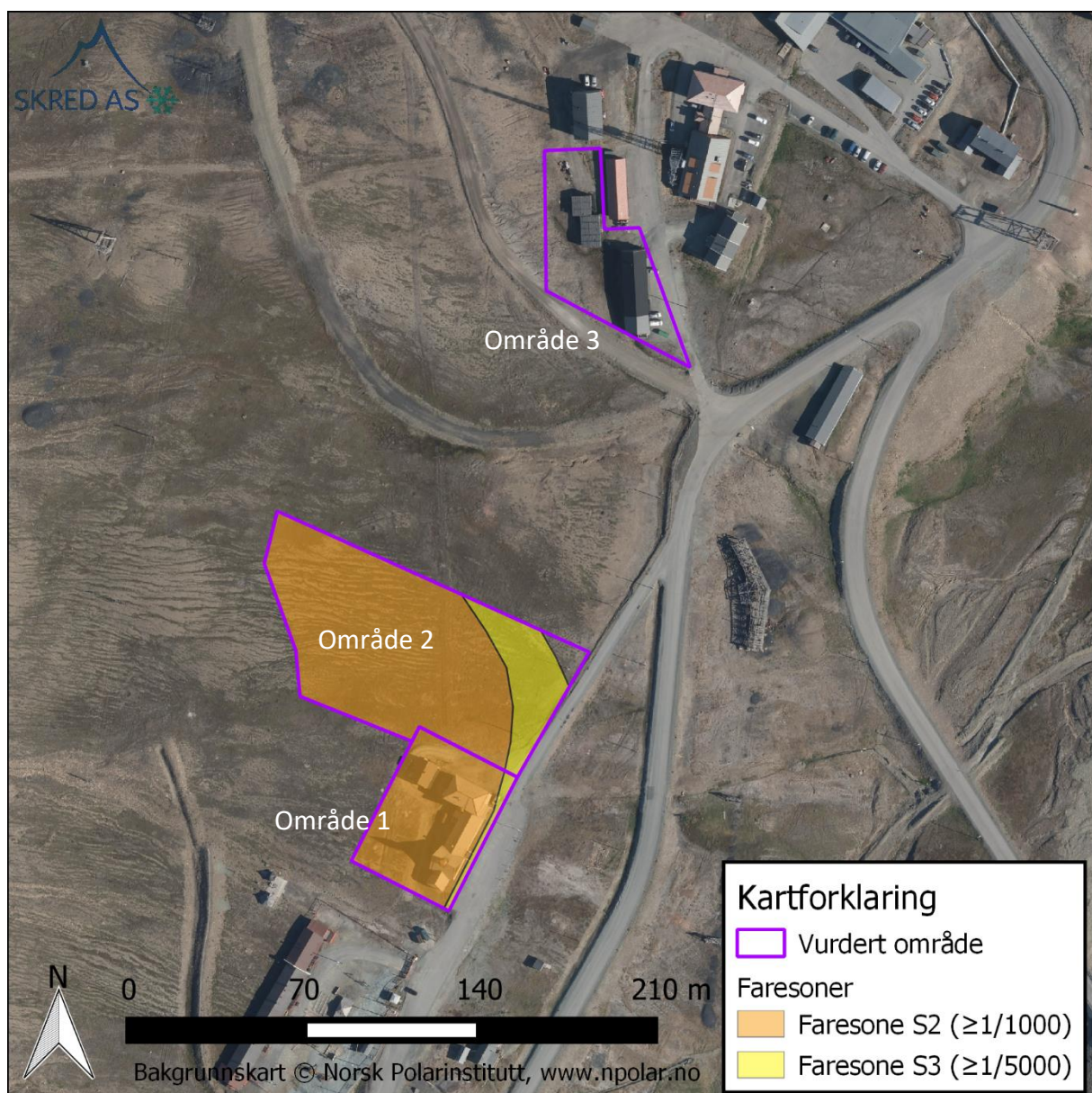
Som beskrevet i vurderingen av løsmasseskred ovenfor, er det ingen definerte vannveier eller bekkeløp ned mot planområdet hvor det vurderes at det er stor sannsynlighet for at sørpeskred kan oppstå. Nord for planområdene er det en ravine som kommer ned ved Longyear energiverk, hvor det tidligere er vurdert som sannsynlig med sørpeskred, men denne vil ikke berøre planområdet.

Det kan likevel ikke utelukkes at mindre sørpeskred kan bli utløst i fjellsiden midtvinters som følge av kraftig regn på eksisterende snødekke eller som følge av høy vannmetning i eldre, grovkornet snødekke under intens snøsmelting om våren. Spesielt gjelder dette i de eksisterende skredsårene fra tidligere løsmasseskred. Sannsynlighet og utbredelse for dette vurderes som lik eller mindre enn for hhv. løsmasseskred og snøskred, og sørpeskred er derfor ikke en dimensjonerende skredtype.

5 Faresoner for skred

Det er faresoner for både 1/1000 og 1/5000 i område 1 og 2. Kirken og tilgrensende bolig på område 1 ligger akkurat innenfor faresonen 1/1000. I område 2 krysser faresonene igjennom tomten, mens område 3 i sin helhet ligger utenfor faresonen for skred med årlig sannsynlighet $\geq 1/5000$. Det er ikke faresone for skred med årlig sannsynlighet $\geq 1/100$ i noen av områdene.

Snøskred er dimensjonerende skredtype for faresonen, men det kan ikke utelukkes at jord- og flomskred kan berøre område 1 og 2. På bakgrunn av gjeldende praksis har vi tegnet faresonen ut fra dimensjonerende skredtype, som i dette tilfelle er snøskred.



Figur 5: Faresoner for skred i de kartlagte områdene.

6 Mulighet for sikring

Permanente, fysiske sikringstiltak mot skred kan deles i to grupper; sikringstiltak som stopper eller leder skred bort fra utsatt objekt, eller sikringstiltak som reduserer sannsynligheten for at skred utløses. I førstnevnte gruppe finner vi fangvoller og ledevoller som kan plasseres i overkant av bebyggelsen for å lede skredmasser rundt utsatte objekt, mens forbygninger i løseområdene er eksempler på tiltak som reduserer sannsynligheten for skredutløsning.

I enkelte Alpeland tillates det å sikre eksisterende, skredutsatt bebyggelse ved aktive sikringstiltak. Dette har vi tidligere foreslått i Longyearbyen og andre steder i Norge. Våre erfaringer fra tidligere er at det ikke aksepteres av myndighetene som en tilfredsstillende permanent sikringsløsning, og vi har derfor ikke beskrevet dette i mer detalj.

Lowerket åpner for å dimensjonere og konstruere bygninger slik at de tåler dimensjonerende skredlaster. I den aktuelle situasjonen vurderes dette som en aktuell mulighet for å sikre kirken mot et 1/1000 skred.

Vi har vurdert sikring av eksisterende bebyggelse slik at det tilfredsstillende sikkerhetskravene for sikkerhetsklasse S2 i Byggeteknisk forskrift TEK17/TEK10 § 7-3. Det vil være mulig å sikre område slik at det også tilfredsstillende sikkerhetsklasse S3, men dette vurderes som lite realistisk ut fra et kostnadsperspektiv.

Sikringsløsninger som vi anser som mest aktuelle for å sikre eksisterende bebyggelse mot skred med årlig sannsynlighet $\geq 1/1000$ er beskrevet i nedenstående avsnitt.

6.1 Fang- eller ledevoll

Forskjellen på en fangvoll og en ledevoll er at fangvollen stanser skredmassene, mens en ledevoll leder skredet forbi utsatt bebyggelse eller infrastruktur. På bakgrunn av terrenget antas begge deler som en mulighet for å sikre område 1, alternativt en kombinasjon med fangvoll bak kirken og en ledevoll på oversiden av bolighuset som leder massene nord for bebyggelsen. Vollen kan for eksempel bygges med gabioner for å sikre en bratt støtside.

Vollhøyden (H_v) for en fangvoll/ledevoll i overkant av bebyggelsen kan forenklet beregnes ved å benytte formelen $H_v = h_s + h_f + h_b$, der

$$h_s = \text{klatrehøyden} = v^2/2g \text{ for fangvoll eller } h_s = (v \sin \Phi)^2/2g \text{ for ledevoll}$$

$$h_f = \text{dimensjonerende flyteflyte høyde for skred [m]}$$

$$h_b = \text{dimensjonerende snødybde på bakken [m]}$$

Vi har beregnet nødvendig vollhøyde for sikring ved å benytte modellresultater fra designskredet for et 1/1000 års scenario i Figur 4. Denne gir en hastighet på 5-8 m/s og flyteflyte høyde på rundt 1,0 m i overkant av nåværende bebyggelse. Legger vi til 1 - 1,5 m snø på bakken i forkant av skredet, gir dette en nødvendig vollhøyde på 3-4 m. Dersom området skal sikres mot snøskred i et 1/5000 års scenario, må høyden på vollen økes ytterligere.

Kostnader knyttet til en voll for å snøskred vil avhenge av nødvendige dimensjoner og tilgjengelighet på brukbare masser. I forbindelse med sikring av Lia ble kostnader for en liknende voll, 5,5 m høy og 340 m lang, estimert. Dette ble gjort ved å regne kostnader for ulike deler av vollen, for eksempel støttefylling, kjernemateriale, fundament, fasademateriale og jordarmering (Skred AS og HNIT, 2018). Basert på grove enhetspriser for disse ulike delene, ble kostnaden beregnet til ca. 97 000 NOK per løpemeter.

Det er antatt at kostnadene kan reduseres betraktelig i dette tilfellet da høyden er lavere og vollen kan etableres i tilnærmet flatt terreng. Dersom gabioner fylt med lokale masser fra Longyearelva benyttes, kan dette ytterligere være med å redusere kostnadene. Vi er svært usikre på totalkostnaden av å etablere en slik gabion mur i Longyearbyen, men basert på erfaringer fra fastlandet vurderer vi det som realistisk at totalkostnaden kan komme på 25-50 000 NOK per løpemeter. Lengden på vollen anslås til 50-60 m, som gir en totalkostnad på 1,25 til 3,0 millioner. Videre vil grunnforhold spille en betydelig rolle for fundamentering av eventuelle voller, og dermed for pris om muligheten for at dette sikringskonseptet skal være gjennomførbart.

6.2 Dimensjonering av bebyggelse for å tåle skredlaster

På bakgrunn av at de vurderte bygningene ligger i utkanten i skredbanen, der hastigheter og krefter fra skredet er relativt små, antas det at det er mulig å dimensjonere bebyggelsen mot kreftene fra et dimensjonerende 1/1000 skred, spesielt gjelder dette kirken som ligger helt i utkanten. Siden dette gjelder eksisterende bebyggelse, kan en betongmur på oversiden av eksisterende bygg være en mulighet. Vi kjenner ikke til at denne løsningen er benyttet på eksisterende bebyggelse, men dersom kirken ønskes sikret er dette en mulighet som bør utredes.

6.3 Tiltak for å redusere rekkevidden av snøskred

Tiltak som reduserer rekkevidden av snøskred, f.eks. bremsekjegler, kan settes opp i skredbanen for å redusere utløpslengden til skredmassene. Det er i det siste presentert nettløsninger, f.eks. Snowcatcher (Gleirscher, Stelzer, Illmer, & Bichler, 2019), som er ment å bremse rekkevidden av mindre snøskred. Tiltak for å redusere rekkevidden av snøskred er i dag mest benyttet i kombinasjon med andre sikringstiltak, og det må derfor vurderes om dette kan benyttes alene.

6.4 Konstruksjoner i utløpsområdet

En annen sikringsløsning er å sikre området med tiltak i løsneområdene som hindrer eventuelle skred i å løsne. Aktuelle konstruksjonstyper vurderes å være stive støtteforebygninger eller snøggerder/nett som har samme funksjon. På bakgrunn av at utsatt bebyggelse ligger helt i utkanten av eventuelle skredutløp vurderes dette som en lite aktuell metode grunnet antatt høye kostnader.

6.5 Anbefalinger for videre arbeid

Dersom man ønsker å gå videre med å sikre skredutsatt bebyggelse mot skred bør det utføres en mulighetsstudie for å vurdere utvalgte sikringskonsept. Man bør også se dette opp mot ønsket sikkerhetsnivå for de aktuelle bygningene (S2 eller S3). Deretter kan man

gjøre en nærmere vurdering av plassering og dimensjoner av valgte av sikringstiltak for de mest aktuelle sikringskonseptene. Skred AS er behjelpelig med videre vurdering av beste sikringskonsept og videre prosjektering av sikringstiltakene.

7 Konklusjon

Skred AS har gjennomgått tidligere utførte skredfarevurderinger for de vurderte områdene ved Skjæringa, inkludert en vurdering av utstrekningen til eksisterende faresoner kartlagt i 2016.

Vi vurderer at eksisterende faresone fra 2016 ikke gjenspeiler den reelle skredfaren for område 1 og 2 grunnet faren for snøskred. Eksisterende faresoner indikerer løsmasse-/sørpeskred som dimensjonerende skredtype. Vi vurderer at faresonen for skred med årlig sannsynlighet $\geq 1/1000$ og $\geq 1/5000$ berører bebyggelsen i område 1 ved Svalbard kirke, og at dimensjonerende skredtype er snøskred. Dette innebærer at det er behov for sikringstiltak for å tilfredsstille sikkerhetskravene mot skred i TEK 17/TEK10. I tillegg berører faresonene område 2. Område 3 ligger utenfor faresonen for skred med årlig sannsynlighet for skred $\geq 1/5000$.

På bakgrunn av våre vurderinger er det diskutert mulige sikringstiltak for å sikre eksisterende bebyggelse i område 1, men behovet for sikring bør diskuteres da den berørte bebyggelsen ligger helt i utkanten av faresonen for sikkerhetsklasse S2 ($\geq 1/1000$). Det vurderte området kan sikres mot skred slik at det tilfredsstiller kravene for sikkerhetsklasse S2 og S3 i Byggteknisk forskrift TEK17/TEK10 § 7-3, men det vurderes som lite realistisk å sikre for sikkerhetsklasse S3 grunnet høye kostnader. En kombinasjon av fang- og ledevoll vurderes som det mest realistiske alternativet for å sikre eksisterende bebyggelse slik at det tilfredsstiller sikkerhetskravene i sikkerhetsklasse S2.

Dersom man ønsker å gå videre med å sikre det vurderte området mot skred må det utføres en nærmere vurdering av plassering, dimensjonering og valg av sikringstiltak. Skred AS er behjelpelig med videre prosjektering av sikring.

8 Referanser

- Christen, M., Kowalski, J., & Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Reg. Sci. Technol.*, ss. 63, 1–14.
- DiBK. (2019). *Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK17)*. Hentet fra <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>
- Gleirscher, E., Stelzer, G., Illmer, D., & Bichler, A. (2019). Snowcatcher – full-scale test site in the Stubai Valley. *International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches and Other Rapid Gravity Mass Flows. Siglufjörður, Iceland, April 3–5, 2019*.
- Issler, D., Jónsson, Á., Gauer, P., & Domaas, U. (2016). *Vulnerability of the houses and persons under the avalanche impact - the avalanche at longyearbyen on 2015-12-19*. International Snow Science Workshop 2016 Proceedings, Breckenridge, CO, USA.
- NGI. (1992). *Gamle Longyearbyen - vurdering av skredfare og drivsnø problem i planlagt utbyggingsområde*. NGI Rapport 914030-1, datert 31. juli 1992.
- NGI. (1996). *Barnhage, Longyearbyen - vurdering av skredfaren for aktuelle tomter for ny barnehage ved kirka*. NGI Rapport 954103-1, datert 5. januar 1996.
- NVE. (2016). *Skredfarekartlegging i utvalgte områder på Svalbard*. NVE Rapport 91-2016.
- NVE. (2018). *Skredrapport Sukkertoppen - Dimensjonerende skred fra Sukkertoppen og faresoner for Lia under Sukkertoppen*. Norges vassdrags og energidirektorat, Saksnr. 201708556-27, datert 15.03.2018.
- Skred AS og HNIT. (2018). *Prosjektering av sikringstiltak, Sukkertoppen og Vannledningsdalen. Kostnadsestimater på mulige sikringsløsninger*. Notat nr. 18241-05-1.