Rapport

Oppdragsgiver	Navn Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	Kontaktperson Stian Bue Kanstad
Oppdrag	Nummer og navn 18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak, Sukkertoppen og Vannledningsdalen	Oppdragsleder Kalle Kronholm
Dokument	Nummer 18241-03-4 Utført av Arni Jonsson, Kalle Kronholm, Lars Eid Nielsen	Dato 2018-12-18 Kontrollert av Andrea Taurisano

Forprosjektering av sikringstiltak – Fase B2

Sammendrag

Skred AS og HNIT er engasjert av NVE til å forprosjektere forslag til sikring for bebyggelsen nedenfor Sukkertoppen og ved utløpet av Vannledningsdalen til kravene i sikkerhetsklasse S2 (1/1000). I senere faser skal vi detaljprosjektere et sikringskonsept og lage konkurransegrunnlag for utlysing. Ut fra skisseløsninger i fase B1 har Longyearbyen Lokalstyre og NVE valgt ut flere alternativer som de ønsket beskrevet mer detaljert i denne fasen, B2.

Vi har inndelt de foreslåtte sikringsløsningene i tre områder: 1) sentrumsområdet, 2) Vannledningsdalen, og 3) mellomområdet. I sentrumsområdet har vi foreslått en løsning bestående av støtteforbygninger kombinert med en mindre voll, samt en løsning med en større fangvoll kombinert med bremsekjegler. I Vannledningsdalen har vi foreslått en løsning med ledevoller som leder sørpeskred ned til Longyearelva, samt en løsning med en ledevoll som svinger massene rundt til foten av Lia, der de stoppes. Dersom man velger å lede sørpeskred ned til Longyearelva må Perleporten stenges og det må etableres ny bro ved Vei 500 over Vannledningselva. I mellomområdet er flytting/riving av bygg et aktuelt risikoreduserende tiltak, men vi har også sett på muligheten for å dekke hele Lia med støtteforbygninger og samtidig å etablere en fangvoll i øvre del av boligområdet.

De foreslåtte enkeltstående sikringselementer er kombinert i sikringsløsninger for de ulike områdene, som igjen er kombinert til fem sikringskonsept. Hvert sikringskonsept sikrer i større eller mindre grad bebyggelsen i analyseområdet til ønsket sikkerhetsnivå. De fem konseptene er oppsummert i tabellen nedenfor. For å muliggjøre sammenlikning med dagens forhold er en null-løsning beskrevet, med blant annet et nytt sett med faresoner for skred.

Skred AS
Baklivegen 27, 3570 Ål, Norge
W: www.skred.as, E: post@skred.as, T: +47 455 11 222
Foretaksregisteret: NO 914 596 890 MVA

HNIT verkfræðistofa
Háaleitisbraut 58-60, 108 Reykjavík, Island
W: www.hnit.is, E: hnit@hnit.is, T: +354 570 0500
Org. ID: 510573-0729

Konsept	Beskrivelse	Estimert investerings-kostnad (mill. NOK)	Estimert årlig vedlikeholds-kostnad (øvre estimat, kNOK)
1	Sentrumsområdet og mellomområdet sikres med fangvoller og støtteforbygninger over hele Lia. Ved Vannledningsdalen sikres med ledevoller rett ned, samt ny bro ved Vei 500.	412	2 518
2	Sentrumsområdet og mellomområdet sikres med fangvoller samt bremsekjegler der skredhastighetene er størst. Svingvoll sikrer mot sørpeskred fra Vannledningsdalen.	294	155
3	Sentrumsområdet sikres med fangvoller samt bremsekjegler der skredhastighetene er størst. Ledevoller langs Vannledningselva sikrer mot sørpeskred. Mellomområdet sikres ikke med fysiske tiltak.	253	134
4	Støtteforbygninger samt en fangvoll over sentrumsområdet. Sørpeskred ledes med svingvoll og fordrøyes i et basseng og langs en voll, som delvis sikrer mellomområdet.	281	876
5	Sentrumsområdet sikres med støtteforbygninger og en fangvoll, mens sørpeskred ledes ned til Longyearelva med ledevoller. Mellomområdet sikres ikke med fysiske sikringstiltak.	240	869

Det er svært mange faktorer som skal vektes når det skal velges et sikringskonsept som skal detaljprosjekteres. Det er skredtekniske usikkerheter og usikkerheter rundt grunnforhold og fundamentering knyttet til samtlige forslag. Det samme gjelder skredrelatert restrisiko, men dette mener vi at man i stor grad kan håndtere i design av de enkelte elementer og løsninger. Basert alene på dette, kan vi ikke anbefale et enkelt sikringskonsept fremfor et annet.

Basert på en enkel nytte/kostvurdering mener SHG at sikringskonsept 1 vil være mest hensiktsmessig til tross for relativt høye estimerte investerings- og vedlikeholdskostnader. Dersom kostnadene gjør at man ikke ønsker å sikre mellomområdet med permanente, fysiske sikringstiltak, anbefaler vi å gå videre med sikringskonsept 5. Dersom man ønsker lavere vedlikeholdskostnader, men kan akseptere litt høyere investeringskostnader, er ikke støtteforbygninger en god løsning. Da vil konsept 3 være det mest aktuelle dersom man aksepterer at mellomområdet ikke sikres med permanente, fysiske tiltak. Samtidig mener vi at samtlige av de presenterte konseptene gir gode muligheter for å oppnå ønsket sikkerhetsnivå.

Innhold

1 Innledning 12
1.1 Bakgrunn 12
1.2 Mål 12
1.3 Befaring og prosjektmøter 13
1.4 Forbehold 13
1.4.1 Generelt 13
1.4.2 Skredvind og støvsky nedenfor voller 13
1.4.3 Designhendelse 13

2 Grunnlag 14
2.1 Kartgrunnlag 14
2.2 Georeferanse 14
2.3 Standarder og regelverk 14
2.4 Geoteknisk kategori, pålitelighetsklasse og kontrollklasse 15

3 Skredvurderinger 16
3.1 Terrengmodell 16
3.2 Relevante skredtyper 16
3.3 Sørpeskred 17
3.3.1 Tidligere vurderinger 17
3.3.2 Kjente sørpeskredhendelser 19
3.3.3 Beregninger 20
3.3.4 Utløsningsområder 22
3.3.5 Utløsningsvolum 24
3.3.6 Friksjon Xi 25
3.3.7 Friksjon My 25
3.3.8 Sensitivitet av ulike parametre 26
3.3.9 Sørpeskred og klimaendringer 27
3.4 Snøskred 28
3.5 Faresoner før og etter tiltak 28

4 Metodikk og premisser for design av sikringstiltak 29
4.1 Skredrelaterte føringer for type og omfang av tiltak 29
4.2 Landskap og utforming 30
4.3 Geoteknikk og grunnforhold 30
4.3.1 Grunnundersøkelser og grunnforhold 30
4.3.2 Forutsetninger for design 31
4.4 Mengdeberegninger 31
4.5 Kostnadsestimat 31
4.5.1 Investeringskostnad 31
4.5.2 Kostnader til drift og vedlikehold 32
4.6 Håndtering av overvann og sedimenter 33

4.6.1 Overvannshåndtering 34
4.6.2 Sedimenthåndtering 34
4.7 Grunnvann og permafrost 34
4.8 Forurensede masser 34

5 Sikringselementer, -løsninger og -konsepter 35
5.1 Generelt 35
5.2 Sikringsløsning KB2_00: Null-løsningen - ingen endring fra dagens forhold 36
5.2.1 Faresoner 37
5.3 Sikringsløsning KB2_01: Støtteforbygninger og fangvoll over sentrumsområdet 41
5.3.1 KB2_01_A: Fangvoll 41
5.3.2 KB2_01_B: Støtteforbygninger 43
5.3.3 Fordeler/Ulemper 46
5.3.4 Mengder og kostnad 47
5.3.5 Overvann/Grunnvann 48
5.3.6 Vind- og snøakkumulasjon 48
5.3.7 Faresoner 50
5.3.8 Berørte eiendommer 50
5.3.9 Teknisk infrastruktur 50
5.3.10 Grunnforhold 50
5.3.11 Kulturminner/-miljø 50
5.3.12 Usikkerhet og restrisiko 50
5.4 Sikringsløsning KB2_02: Ledevoller langs Vannledningselva samt ny bro 52
5.4.1 KB2_02_A: Ledevoller på Haugen langs Vannledningselva 52
5.4.2 KB2_02_B: Bro ved Vei 500 over Vannledningselva 55
5.4.3 Fordeler/Ulemper 58
5.4.4 Mengder og kostnad 59
5.4.5 Overvann/Grunnvann 60
5.4.6 Vind- og snøakkumulasjon 61
5.4.7 Faresoner 64
5.4.8 Berørte eiendommer 64
5.4.9 Teknisk infrastruktur 64
5.4.10 Grunnforhold 65
5.4.11 Kulturminner/-miljø 65
5.4.12 Usikkerheter og restrisiko 65
5.5 Sikringsløsning KB2_03: Svingvoll ved utløp av Vannledningsdalen 66
5.5.1 KB2_03_A, KB2_03_B og KB2_03_C: Samlet løsning med svingvoll, basseng og grøft 66
5.5.2 Fordeler/Ulemper 68
5.5.3 Mengder og kostnad 68
5.5.4 Overvann, grunnvann og flomavledning 69
5.5.5 Vind- og snøakkumulasjon 70

5.5.6 Faresoner ... 71
5.5.7 Berørte eiendommer ... 72
5.5.8 Teknisk infrastruktur ... 72
5.5.9 Grunnforhold ... 72
5.5.10 Kulturminner/-miljø ... 72
5.5.11 Usikkerhet og restrisiko ... 72
5.6 Sikringsløsning KB2_04: Fangvoll og bremsekjegler over sentrumsområdet ... 74
5.6.1 KB2_04_A: Fangvoll ... 74
5.6.2 KB2_04_B: Kjegler ... 75
5.6.3 Fordeler/Ulemper ... 76
5.6.4 Mengder og kostnad ... 77
5.6.5 Overvann/Grunnvann ... 78
5.6.6 Vind- og snøakkumulasjon ... 79
5.6.7 Faresoner ... 80
5.6.8 Berørte eiendommer ... 80
5.6.9 Teknisk infrastruktur ... 80
5.6.10 Grunnforhold ... 80
5.6.11 Kulturminner/-miljø ... 80
5.6.12 Usikkerheter og restrisiko ... 80
5.7 Sikringsløsning KB2_05: Fangvoll over mellomområdet ... 82
5.7.1 KB2_05_A: Fangvoll mellomområdet ... 82
5.7.2 Fordeler/Ulemper samt restrisiko og usikkerheter ... 83
5.7.3 Mengder og kostnad ... 83
5.7.4 Overvann/Grunnvann ... 84
5.7.5 Vind- og snøakkumulasjon ... 84
5.7.6 Faresoner ... 84
5.7.7 Berørte eiendommer ... 84
5.7.8 Teknisk infrastruktur ... 84
5.7.9 Grunnforhold ... 85
5.7.10 Kulturminner/-miljø ... 85
5.8 Sikringsløsning KB2_06: Støtteforbygninger og fangvoll over mellomområdet ... 86
5.8.1 KB2_06_A: Støtteforbygninger ... 86
5.8.2 KB2_06_B: Fangvoll ... 87
5.8.3 Fordeler/Ulemper ... 88
5.8.4 Mengder og kostnad ... 88
5.8.5 Overvann/Grunnvann ... 89
5.8.6 Vind- og snøakkumulasjon ... 89
5.8.7 Faresoner ... 89
5.8.8 Berørte eiendommer ... 89
5.8.9 Teknisk infrastruktur ... 90
5.8.10 Grunnforhold ... 90

5.8.11 Kulturminner/-miljø 90
5.8.12 Usikkerheter og restrisiko 90

6 Diskusjon forprosjektering 91
6.1 Bygningsmateriale 91
6.2 Bestandighet/brukstid, og levetid av materialer og konstruksjoner 92
6.3 Vedlikehold, drift og forvaltning 94
6.4 Brodesign 95
6.5 Tiltak i Vannledningsdalen 96

7 Anbefalinger 97
7.1 Sikringskonsept 1: Støtteforbygninger i hele Lia og ledevoller langs Vannledningselva 97
7.2 Sikringskonsept 2: Bremsekjegler og fangvoll over sentrumsområdet, svingvoll fra Vannledningsdalen 98
7.3 Sikringskonsept 3: Bremsekjegler og fangvoll over sentrumsområdet, ledevoller langs Vannledningselva 100
7.4 Sikringskonsept 4: Støtteforbygninger ovenfor sentrumsområdet, svingvoll fra Vannledningsdalen 101
7.5 Sikringskonsept 5: Støtteforbygninger og fangvoll over sentrumsområdet, ledevoller langs Vannledningselva 102
7.6 Anbefalt konsept 104
7.6.1 Restrisiko og usikkerheter 104
7.6.2 Kostnad og nytte 104
7.7 Videre arbeid 105

8 Referanseliste 107

Figurer

Figur 1: Faresoner tidligere utarbeidet for området ved utløpet av Vannledningsdalen, fra NGI [8] og NVE [9]. 19
Figur 2: Utløsningsområder for beregninger av sørpeskred vist på skyggekart. Dessuten vises forskjeller i skredbevegelsen nedover i Vannledningsdalen for øvre og midtre utløsningsområde med innstillinger som 1/1000 scenarioet. Skredmasser fra midtre utløsningsområde vil hovedsakelig svinges mot nord av dagens ledevoll. Skredmasser fra øvre utløsningsområde får store undulasjoner (blå piler) nedover i Vannledningsdalen og treffer toppen av vollen slik at en stor del av massene klatrer over vollen og går mot Funken. Effekten er også tydelig for 1/333 og 1/5000-scenarioene. 23
Figur 3: Verdier for utløsningsvolum V brukt til å definere designskredet. 24
Figur 4: Verdier for friksjonsparameteren Xi brukt til å definere designskredet. 25
Figur 5: Verdier for friksjonsparameteren My (vist som 1/My) brukt til å definere designskredet. 26

Figur 6: Visualisering av de ulike nivåene i de foreslåtte sikringskonseptene, med eksempel. 35
Figur 7: Faresoner for skred i området nedenfor Sukkertoppen [20]. Faresonen 1/333 ble den gang ikke utarbeidet. 38
Figur 8: Vårt relativt grove forslag til faresoner for sørpeskred i området ved utløpet av Vannledningsdalen. Sonene skal brukes til å estimere effekt av de ulike tiltakene, men bør ikke brukes i arealplanleggingen. Det er betydelige forskjeller i faresonene foreslått her i forhold til de vist i Figur 1. 39
Figur 9: Samlede faresoner for skred i analyseområdet for null-løsningen, altså under dagens forhold. Dette er en skisse basert på egne vurderinger samt eksisterende faresoner. Sonene skal brukes til å estimere effekt av de ulike tiltakene beskrevet nedenfor, men bør ikke brukes til arealplanleggingsformål. 40
Figur 10: Mulig plassering av lav fangvoll, KB2_01_A ovenfor sentrumsområdet, og nedenfor støtteforbygninger i den nordlige delen av Lia. 41
Figur 11: Forslag til den nordlige enden av fangvollen KB2_01_A ved Vei 230. Utarbeidet av Landslag ehf. 43
Figur 12: Foreslått plassering av støtteforbygningene (BK2_01_B) ovenfor sentrumsområdet, og fangvoll (KB2_01_A) i skråningsfoten. 44
Figur 13: Rosa flater på figuren viser områder som det kan forventes fonndannelser fra nordlig og sørlig vindretninger. Bakgrunnsbilde: Norsk polarinstitutt. 49
Figur 14: Ledevoller fra Vannledningsdalen ned til Longyearelva, KB2_02_A. 52
Figur 15: Forslag til kanal og voller langs Vannledningselva, og bro på Vei 500. Ved detaljprosjektering må det vurderes om det skal inngå andre elementer i tiltaket, for eksempel sti opp til Hilmar Rekstensvei på nordsiden av vollen. I figuren er broen bare vist som simpelt element. Det som kommer tydelig fram er den bratte delen av vollen på nordsiden av elven. Figur laget av Landslag ehf. 53
Figur 16: Skisse med foreslått overvannsløsning med sikringsløsning KB2_02, ledevoller langs Vannledningselva. Blå linjer viser åpne grøfter, røde linjer lukkede stikkrenner og kulverter. Dette er nærmere beskrevet i Skred AS rapport 18241-03 [27]. 61
Figur 17: Rosa flater på øvre figur viser områder som det kan forventes fonndannelser fra nordlige og sørlige vindretninger, og vind fra Vannledningsdalen. Nedre bilde viser beregnet vindretning. Bakgrunnsbilde: Norsk polarinstitutt. 62
Figur 18: Øvre bildet viser fonn på oversiden/vindsiden av broen. Nedre bildet viser fonndannelse på nedsiden av samme bro samme dag. Vinden blåser fra høyre. 63
Figur 19: Vindsimulering ved Vei 500, Hilmar Rekstensvei, Vei 222 og Vannledningselva med sikringsløsning KB2_02 (ledevoller). Fargede pilene (vindfeltet) viser vindstyrke i hvert punkt med 2x2 m oppløsning 2 m over bakken. Rød farge viser kraftig vind og lysgul vise liten vind. Vindretningen er inn Longyeardalen (40°) og grensebetingelsen er vindstyrke på 20 m/s i ca. 7000 m høyde. Kraftig endring i farge f.eks. rødt til gult på kort strekning (inne i ellipsen) viser potensielt områder for fonndannelse i det gule området (lesiden). Dette området er toppen på vollen rett før høyden avtar fra 12 m

ned til 8 m ved vei 500. Det er også interessant å se området til venstre i ellipsen som indikerer nesten vindstille område. Vindsimulering: Windsim AS. 64
Figur 20: Foreslått plassering av svingvoll fra munningen på Vannledningsdalen og mot nord, som er til venstre på figuren. 66
Figur 21: Avrenningsretning ved tilstopping av kulvert i svingvoll Vannledningsdalen. Blå piler viser flomvei, røde linjer er stikkrenner og kulverter. For detaljer se hydrologi rapporten: Skred AS rapport 18241-04 [27]. 70
Figur 22: Rosa flater på figuren viser områder som det kan forventes fonndannelser fra sørlig vindretning og vind fra Vannledningsdalen. Basseng er ikke vist på figuren. Bakgrunnsbilde: Norsk polarinstitutt. 71
Figur 23: Fangvoll (KB2_04_A) og bremsekjegler (KB2_04_B) ovenfor sentrumsområdet. 74
Figur 24: Rosa flater på figuren viser områder som det kan forventes fonndannelser fra nordlig og sørlig vindretninger. Bakgrunnsbilde: Norsk polarinstitutt. 79
Figur 25: Fangvoll (KB2_05) som er tenkt som tillegg til voller over sentrumsområdet i tilfelle svingvoll blir valgt. 82
Figur 26: Foreslått plassering av fangvoll ovenfor midtområdet (KB2_06_B) og støtteforbygninger i Lia (KB2_06_A). 86
Figur 27: Figuren er hentet fra ONR24807 og viser hvordan vedlikehold vil kunne påvirke levetid. 94
Figur 28: Prinsippsnitt i broen med bredde på 22 m, på tvers av elveløpet. 95
Figur 29: Foreslått sikringskonsept 1. 97
Figur 30: Foreslått sikringskonsept 2. 99
Figur 31: Foreslått sikringskonsept 3. 100
Figur 32: Foreslått sikringskonsept 4. 101
Figur 33: Foreslått sikringskonsept 5. Som konsept 1, men uten sikring av området mellom Vannledningsdalen og sentrum. 103

Tabeller

Tabell 1: Modelloppsett for tidligere beregninger av sørpeskred i Vannledningsdalen. Ingen av de tidligere beregningene spesifiserte hvilket scenario de anvendte verdier representerte. 21
Tabell 2: Verdier for designskred for de ulike årlige sannsynlighetene. Utløsningsområder med **fet** er anvendt i designhendelsen. 26
Tabell 3: Inngangsparametre for vurdering av dimensjoner på fangvoller mot snøskred. 29
Tabell 4: Anvendte enhetspriser. Priser er eks. MVA og uten rigg og drift (senere legges på 20 % for dette). Usikkerheten i kostnadsestimatene er estimert til å være ± 30 %. 32
Tabell 5: Anvendte verdier for estimert årlig driftskostnad i forhold til investeringskostnader. 34
Tabell 6: Oversikt over sikringsløsninger beskrevet i de følgende avsnittene. 36
Tabell 7: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_01. 41
Tabell 8: Fordeler og ulemper ved tiltak KB2_01, fangvoll og støtteforbygninger. 47

Tabell 9: Estimerte mengder og kostnader for fangvoll (KB2_01_A) og støtteforbygninger (KB2_01_B). Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %). 48
Tabell 10: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_02 52
Tabell 11: Anslag på flytehøyde, masseføring og estimert minste areal av lysåpning under broen, ved de ulike scenarioer. Beregningene er utført med en bro-bredde på 22 m. Maksimal flytehøyde ved en bro-bredde på 10 m vil trolig være større enn vist her. 57
Tabell 12: Estimert sikkerhetsnivå ved de to ulike bro-typer (bred vs. smal) og med ulike forutsetninger for hvordan åpningen under broen ser ut (helt rent vs. 50 % tilstoppet. 57
Tabell 13: Fordeler og ulemper ved løsning KB2_02, ledevoller og bro Vannledningselva. ... 59
Tabell 14: Estimerte mengder og kostnader for sikringsløsning KB2_02. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %). 60
Tabell 15: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_03 66
Tabell 16: Fordeler og ulemper ved tiltak KB2_03. 68
Tabell 17: Estimerte mengder og kostnader for svingvoll, løsning KB2_03. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %). 69
Tabell 18: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_04 74
Tabell 19: Fordeler og ulemper ved løsning KB2_04, kjegle og fangvoll. 77
Tabell 20: Estimerte mengder og kostnader for fangvoll, KB2_04_A. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %). 78
Tabell 21: Estimerte mengder og kostnader for bremsekjeglene, KB2_04_B. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %). 78
Tabell 22: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_05 82
Tabell 23: Estimerte mengder og kostnader for sikringsløsning KB2_05, fangvoll ovenfor mellomområdet. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %) 84
Tabell 24: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_06 86
Tabell 25: Fordeler og ulemper ved sikringsløsning KB2_06, støtteforbygninger hele lia og fangvoll. 88
Tabell 26: Estimerte mengder og kostnader for sikringsløsning KB2_06, støtteforbygninger og fangvoll. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %). 89
Tabell 27: Estimerte investeringskostnader for konsept 1. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %). 98
Tabell 28: Estimert gjennomsnittlig årlig vedlikeholdskostnad for konsept 1. 98
Tabell 29: Estimerte investeringskostnader for konsept 2. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %). 99
Tabell 30: Estimert gjennomsnittlig årlig vedlikeholdskostnad for konsept 2. 99
Tabell 31: Estimert investeringskostnad for sikringskonsept 3. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %). 100
Tabell 32: Estimert gjennomsnittlig årlig vedlikeholdskostnad for konsept 3. 101
Tabell 33: Kostnadsestimat for konsept 4. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %). 102

Tabell 34: Estimert gjennomsnittlig årlig vedlikeholdskostnad for konsept 4. 102
Tabell 35: Kostnadsestimat for konsept 5. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %). 103
Tabell 36: Estimert gjennomsnittlig årlig vedlikeholdskostnad for konsept 5. 104

Tegningsliste

Tegningsnummer	Beskrivelse	Format
18241-03-KB2_00-01	Analyseområdet og terrenget rundt.	A3
18241-03-KB2_01-01	KB2_01 Sentrum-Støtteforbygninger og fangvoll. Oversikt tiltak, plan.	A3
18241-03-KB2_02-01	KB2_02 Ledevoller Vannledningsdalen. Oversikt tiltak, plan.	A3
18241-03-KB2_03-01	KB2_03 Svingvoll Vannledningsdalen. Oversikt tiltak, plan.	A3
18241-03-KB2_04-01	KB2_04 Sentrum-Bremsekjegler og fangvoll. Oversikt tiltak, plan.	A3
18241-03-KB2_05-01	KB2_05 Mellomområdet-Fangvoll. Oversikt tiltak, plan.	A3
18241-03-KB2_06-01	KB2_06 Mellomområdet-Støtteforbygninger og fangvoll. Oversikt tiltak, plan.	A3
18241-03-KB2_01-02	KB2_01 Sentrum-Støtteforbygninger og fangvoll. Faresoner før og etter tiltak.	A3
18241-03-KB2_02-02	KB2_02 Ledevoller Vannledningsdalen. Faresoner før og etter tiltak.	A3
18241-03-KB2_03-02	KB2_03 Svingvoll Vannledningsdalen. Faresoner før og etter tiltak.	A3
18241-03-KB2_04-02	KB2_04 Sentrum-Bremsekjegler og fangvoll. Faresoner før og etter tiltak.	A3
18241-03-KB2_05-02	KB2_05 Mellomområdet-Fangvoll. Faresoner før og etter tiltak.	A3
18241-03-KB2_06-02	KB2_06 Mellomområdet-Støtteforbygninger og fangvoll. Faresoner før og etter tiltak.	A3
18241-03-KB2_10-01	KB2_10-01. Konsept 1: Støtteforbygninger i hele Lia og ledevoller langs Vannledningselva.	A3
18241-03-KB2_10-02	KB2_10-02. Konsept 2: Bremsekjegler og fangvoll over sentrumsområdet, svingvoll fra Vannledningsdalen.	A3
18241-03-KB2_10-03	KB2_10-03. Konsept 3: Bremsekjegler og fangvoll over sentrumsområdet, ledevoller langs Vannledningselva.	A3
18241-03-KB2_10-04	KB2_10-04. Konsept 4: Støtteforbygninger ovenfor sentrumsområdet, svingvoll fra Vannledningsdalen.	A3

Tegningsnummer	Beskrivelse	Format
18241-03-KB2_10-05	KB2_10-04. Konsept 5: Støtteforbygninger og fangvoll over sentrumsområdet, ledevoller langs Vannledningselva.	A3
18241-03-KB2_10-06	Faresoner før og etter konsept 1.	A3
18241-03-KB2_10-07	Faresoner før og etter konsept 2.	A3
18241-03-KB2_10-08	Faresoner før og etter konsept 3.	A3
18241-03-KB2_10-09	Faresoner før og etter konsept 4.	A3
18241-03-KB2_10-10	Faresoner før og etter konsept 5.	A3
18241-03-KB2_90-11	Typiske snitt, detaljer.	A3
18241-03-KB2_90-12	Typiske snitt, detaljer.	A3

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Skred AS og HNIT (her forkortet til SH Gruppen eller SHG) er engasjert av NVE til å forprosjektere forslag til sikring for bebyggelsen nedenfor Sukkertoppen og ved utløpet av Vannledningsdalen, og deretter detaljprosjektere og lage konkurransegrunnlag for utlysing.

Forprosjekteringsfasen B har blitt delt opp i fasene B1 og B2. I fase B1 ble det levert ni skisseløsninger (konsepter), som hver for seg er sammensatt av forskjellige sikringstiltak, som voller og/eller støtteforbygninger (rapport 18241-02).

Ut fra skissene fra fase B1 har Longyearbyen Lokalstyre (LL) og NVE valgt ut flere alternativer som de ønsket beskrevet mer detaljert i fase B2.

1.2 Mål

Oppdragsgiver har definert det overordnede målet for oppdraget slik:

> *«Oppdraget skal resultere i prosjektert løsning for sikringstiltak til sikkerhetsnivå S2 (1/1000) i henhold til TEK17/Byggeforskriften for Longyearbyen. Det skal også leveres teknisk del av konkurransegrunnlag/ G-prog, beskrivelse og byggetegninger på detaljnivå for utførelsesentreprise etter NS8405.*
>
> *Oppdraget skal gjennomføres i nær dialog med NVE region nord og Longyearbyen lokalstyre ved deres prosjektleder for skredsiking. Det kan påregnes at justeringer, endrede føringer og premisser kan bli foretatt underveis.*
>
> *Arbeidet skal baseres på vedlagte konseptstudie for sikringstiltak for Vannlednings-dalen og Sukkertoppen. Konseptstudiet gir en foreløpig beskrivelse av aktuelle sikringstiltak.*
>
> *Foreløpig sikringskonsept*
>
> - *Vollkonstruksjon i kombinasjon med kjegler mot snøskred fra Sukkertoppen*
> - *Fangvoll langs Hilmar Rekstens vei mot snøskred fra Sukkertoppen*
> - *Ledevoller for sikring mot sørpeskred fra Vannledningsdalen*
> - *Damkonstruksjon for fordrøyning av masser i løsneområdet i Vannledningsdalen*
>
> *Oppdraget inkluderer dimensjonering av lysåpning gjennom ny vegbru, med mulighet for påfølgende bestilling av prosjektering av vegbru.*
>
> *Det er ønskelig å få en vurdering av mulighet/hensikt med å knytte sammen fangvoll mot snøskred langs Hilmar Rekstens vei med sørpeskredsikring langs Vannledningsdalen.»*

Analyseområdet er vist i tegning 18241-03-KB2_00-01. Denne rapporten utgjør en del av leveransen fra fase B2 og presenterer de utvalgte tiltakene. Rapporten skal utgjøre en del av grunnlaget for å velge ut en løsning som skal detaljprosjekteres.

1.3 Befaring og prosjektmøter

Området i Longyearbyen ble befart i august 2018 av representanter fra NVE ved Stian Bue Kanstad, Jeanette Gundersen og Ingeborg Johnsen, fra LL Øyvind Skeie Hellum. Fra Rambøll Norge AS deltok Marit Bratland Pedersen og fra SHG Kalle Kronholm, Lars Eid Nielsen, Haukur J. Eiriksson, Eidur Pall Birgisson og Arni Jonsson.

I forlengelse av befaringen ble det holdt oppstartsmøter med ovennevnte personer, og Ellen Fagerslett fra LL. I tillegg deltok Espen Olsen fra Sysselmannen og Hege Fagertun administrasjonssjef hos LL i deler av møtene. Det har jevnlig blitt avholdt referatførte prosjektmøter.

1.4 Forbehold

1.4.1 Generelt

Denne rapporten er ment som grunnlag for videre arbeid med detaljprosjektering av sikringstiltak for bebyggelsen i Longyearbyen.

Sikringstiltakene er designet med utgangspunkt i dagens terreng. Ved eventuelle endringer i disse forholdene bør effekten av sikringstiltakene revurderes.

Gitt at oppdragsgiver nevner TEK17 i målet for oppdraget, har vi forholdt oss til kravene gitt i TEK17.

1.4.2 Skredvind og støvsky nedenfor voller

Størrelsen på snøskyen og eventuell trykkbølge som følger snøskred, er avhengig av type snøskred. Snøskyen er oftest relativt liten for våte og tunge snøskred, mens den for tørre skred kan få stor utbredelse og betydelige trykkvirkninger. Utfordringen med snøskyen er at det er vanskelig å si hvor stor kraft den har nedenfor en voll hvis de faste skredmassene stopper ved vollen eller like ovenfor vollen.

1.4.3 Designhendelse

Vollene er bare designet for én enkelt designhendelse**.** Det betyr at hvis det kommer mindre skredhendelser ned til/på sikringstiltaket samme vinter, er det viktig å være oppmerksom at tiltaket vil da ha redusert effekt fordi den effektive høyden er redusert. I verste fall kan et designskred i slike tilfeller gå over vollen. Dette er en del av restrisikoen ved slike tiltak, men den kan håndteres som beskrevet senere.

2 Grunnlag

2.1 Kartgrunnlag

I løpet av denne fasen av prosjektet har det kommet detaljerte høydedata og flybilder over en større del av Vannledningselva enn det som tidligere var tilgjengelig. Dette grunnlaget er anvendt til beregninger av sørpeskred, og beskrevet mer detaljert i avsnitt 3.1. Beregninger av snøskred fra området nedenfor Sukkertoppen, anvendt til design av tiltak her, har ikke blitt utført på nytt med den nye terrengmodellen.

For utarbeidelse av sikringsforslag (voller og støtteforbygninger) har kartdata fra Norsk Polarinstitutt bearbeidet av Terratec, blitt brukt som grunnlag. Dataen ble levert som xyz-fil, sosi-fil og som Geotiff-fil av Norsk Polarinstitutt inn i forrige fase av prosjektet.

En datafil med oversikt over plassering av bygninger i analyseområdet ble oversendt fra LL.

2.2 Georeferanse

Georeferert data ligger i projeksjon ETRS89 UTM33 og høydesystem er "Longyearbyen lokal".

2.3 Standarder og regelverk

Det er en rekke forskrifter, veiledninger, standarder og annet som kan brukes til hjelpemiddel for dimensjonering og prosjektering av skredsikring. Standarden NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 (Eurocode 0) og NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016, Del 1 Allmenne regler (Eurocode 7), som fastsetter prinsipper og krav for konstruksjoners sikkerhet, brukbarhet og bestandighet, skal brukes.

En av merknadene i standarden er at prosjektering (og så vidt også dimensjonering) av spesielle byggverk kan kreve andre tiltak enn de som standarden omfatter. Dette gjelder bl.a. dimensjonering og prosjektering av støtteforbygninger som har som formål å hindre utløsning av snøskred. Slike tiltak er ikke beskrevet i standarden. Standarden gir også mulighet til å bruke andre veiledninger, standarder og/eller forskrifter hvis de finnes. I dette fagfeltet har mye blitt dokumentert i Alpelandene og veiledninger og standarder derfra er benyttet i stor grad i Norge.

Gjeldende regelverk legges til grunn for prosjekteringen, og for geoteknisk prosjektering gjelder dermed:

- NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 (Eurocode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner),
- NS-EN 1991-1:2002 + NA:2008 (Eurokode 1),
- NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016, Del 1 Allmenne regler (Eurocode 7: Geoteknisk prosjektering),
- NS-EN 1997-2:2007+NA:2008 (Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering. Del 2: Regler basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver)

- NS-EN 1998-1:2004+A1:2013+NA:2014 (Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning - Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger),
- NS-EN 1998-5:2004+NA:2014 (Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning - Del 5: Fundamenter, støttekonstruksjoner og geotekniske forhold),
- TEK 17, §7. Sikkerhet mot naturpåkjenninger (§7-3. Sikkerhet mot skred) og §10. Konstruksjonssikkerhet.

I tillegg er følgende dokumenter benyttet:

- Larsen, 2016: Skredsikring og fundamentering i permafrost. Case: Arktiske strøk - Longyearbyen, Svalbard. Kompendium: 2016-12. [1]
- Margreth, 2007: Defense structures in avalanche starting zones. Technical guideline as an aid to enforcement. Environment in Practice no. 0704. Federal Office for the Environment, Bern; WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos. 134 pp. [2]
- Jóhannesson, Gauer, Issler, og Lied, 2009: The design of avalanche protection dams. European Commission [3]
- ON-Regel, ONR 24806 Permanenter technischer Bemessung und konstruktive Ausgestaltung. Austria, 2011, p. 90. [4]

2.4 Geoteknisk kategori, pålitelighetsklasse og kontrollklasse

I henhold til kapittel 2 i Eurokode 7 er det her vurdert at dette prosjektet tilhører geoteknisk kategori 2. Dette bør dog revurderes i detaljprosjekteringsfasen, geoteknisk kategori 3 kan være aktuell når en har sett nærmere på utfordringer ved grunnforhold.

Det er valgt konsekvens- og pålitelighetsklasse CC/RC 2, kontrollklasse for prosjektering, PKK 2 og utførelse UKK 2 i henhold til Eurokode 0 [5].

Basert på pålitelighetsklassen fastsettes kontrollklasse og kontrollform for prosjektering og utførelse etter tabell NA.A1 (902) og tabell NA.A1 (903) i Eurokode 0. Pålitelighetsklasse 2 krever egenkontroll, intern systematisk kontroll og utvidet kontroll.

Denne vurderingen bør revurderes ved oppstart av detaljprosjektering sammen med oppdragsgiver og Rambøll Norge AS, som er ansvarlig prosjekterende innen geoteknikk.

3 Skredvurderinger

Dette kapitlet beskriver metodikkene som er anvendt for beregninger av dimensjonerende skred. Målet er å få frem verdier (som skredretning, hastighet og utbredelse) som benyttes som grunnlag for design av sikringstiltak, samt å bruke disse verdiene for en kartlegging av faresoner med de foreslåtte sikringstiltakene. For området ved utløpet av Vannledningsdalen er det også utarbeidet faresoner for skred under dagens forhold.

3.1 Terrengmodell

Terrengmodellen som er anvendt til nye beregninger av skredbevegelse er ny for forprosjektet, og består av data fra følgende kilder:

- Koter med ekvidistanse på 1 m, oversendt fra LL. Vi er usikre på opphavet til disse kotene, men antar at de er utarbeidet fra en rasterbasert terrengmodell, laget på bakgrunn av flere ulike datakilder.
- LAS data oversendt fra Nordnorsk Byggkontroll (NNBK). Data kommer fra droneflyging i august 2018 og etterfølgende fotogrammetrisk analyse, men er lagret i LAS format. Punktene er klassifisert, dog med noen feil, som vi i noen grad har bearbeidet. Data dekker Vannledningsdalen og omtrent halvparten av fjellsiden nedenfor Sukkertoppen. En fordel med dette datasettet er at den øvre delen av Vannledningsdalen er dekket.

Data fra disse kildene er sydd sammen til en samlet punktsky, og fra det samlede datasettet er det konstruert en rasterbasert terrengmodell med horisontal oppløsning på 1 m x 1 m. Kart som viser terrenghelning og skygge, er vist i Tegning 18241-03-KB2_00-01. Skyggekartet viser tydelig den store forskjell i detaljnivå på grove grunnlagsdata (koter) nord i Lia i forhold til detaljerte grunnlagsdata (dronebasert fotogrammetri) langs Vannledningsdalen og i den sørlige delen av Lia.

Denne terrengmodellen er anvendt til beregninger av sørpeskred i Vannledningsdalen, og til nye beregninger av effekt av sikringstiltak mot snøskred i Lia.

3.2 Relevante skredtyper

Flere skredtyper utgjør en fare for bebyggelsen:

- Snøskred, våte og tørre. Snøskred er dimensjonerende for sikringstiltak i området nedenfor Sukkertoppen.
- Sørpeskred, dvs. vannmettet snø i rask bevegelse. Sørpeskred er dimensjonerende skredtype for området ved utløpet av Vannledningsdalen.
- Flomskred kan utløses i ravinene i fjellsiden nedenfor Sukkertoppen, og har ved flere anledninger truffet bebyggelsen. Flomskred er også aktuelt langs Vannledningsdalen, men er ikke dimensjonerende skredtype i analyseområdet.
- Grunne utglidninger/jordskred som utløses i aktivlaget er aktuelt i fjellsiden nedenfor Sukkertoppen. Denne skredtypen utgjør en fare for bebyggelsen, men er ikke

dimensjonerende for tiltakene. I tillegg kan grunne jordskred transportere masser inn i raviner, som senere blir flyttet nedover fjellsiden som flomskred.

3.3 Sørpeskred

Flere av de tidligere rapporter fra Longyearbyen omhandler sørpeskred langs Vannledningsdalen. Mange av disse omhandler sannsynlighet for utløsning og en vurdering av om konkrete områder tilfredsstiller krav til sikkerhet mot skred, men bare få av rapportene inneholder beskrivelser av beregninger som kan legges til grunn for design av sikringstiltak. Derfor har vi sett det som nødvendig å beskrive detaljert hvordan vi har definert designhendelsene.

3.3.1 Tidligere vurderinger

Spesielt følgende rapporter er relevante for vurderingene gjort i dette prosjektet (i kronologisk rekkefølge, basert på rapportdato):

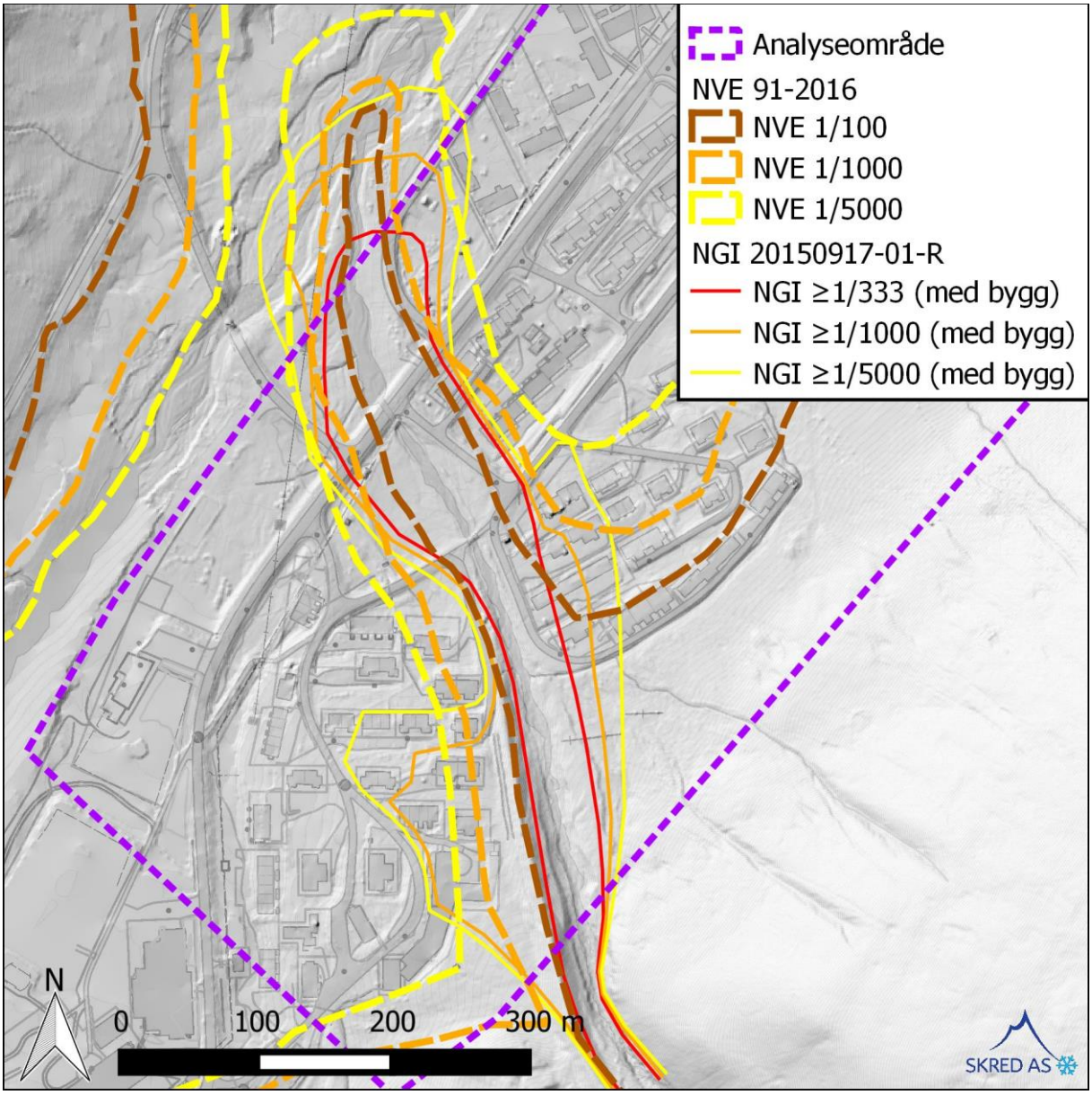
- NGI rapport 20120153-00-2-R Longyearbyen, Svalbard, akuttbistand for snø- og sørpeskred - Vannledningsdalen - Et sammendrag av tidligere vurderinger av sikkerhet og tiltak. Dato: 2012-02-07 [6]. Rapporten oppsummerer flere eldre NGI rapporter der sørpeskred i Vannledningsdalen er vurdert, blant annet NGI rapport 904025-1 og NGI rapport 944979-1. Fra disse rapportene konkluderes det blant annet med følgende:
  - «Sikringsvollen i sin nåværende utforming anses ikke alene for å gi en slik sikkerhet for bebyggelsen på Haugen. NGI mener imidlertid at sikringsvollen er så stor at sørpeskred på størrelse med skredene i 1953 og 1989 ikke vil gå over vollen.»
  - «Med dagens ledevoll, men uten andre tiltak mot sørpeskred i Vannledningsdalen, vil derfor NGI anslå at sannsynligheten for sørpeskred mot bebyggelsen på Haugen er mellom 10^{-1}-10^{-2} pr. år.»
- NGI teknisk notat 20150715-01-TN Tidligere skredvurderinger og skredgrenser ved NGI. Dato: 2015-09-29 [7]. Rapporten er utarbeidet for LL, og gir en oversikt over tidligere vurderinger utført av NGI, blant annet i området ved utløpet av Vannledningsdalen. For Vannledningsdalen er det blant annet oppsummert følgende:
  - «Det har aldri vært utarbeidet noen faregrense for sørpeskred fra Vannledningsdalen.
  - Ledevollen mellom elva og bebyggelsen på sørvestsida sammen med prosedyrene for åpning av vannløpet i dalen før avsmeltingssesongen med bulldoser, ble av de ansvarlige organ i Longyearbyen ansett for å gi bebyggelsen den nødvendige sikkerheten.
  - NGI har i våre rapporter hevdet at bare permanent fysisk sikring vil kunne gi fullgod sikkerhet.»
- NGI rapport 20120650-01-R Vannledningsdalen, Longyearbyen – Forprosjektering av sikringstiltak og infrastruktur nedenfor Vannledningsdalen [8]. Rapporten er

utarbeidet på oppdrag for LL og datert 2015-11-04. Rapporten inneholder svært mye relevant informasjon, blant annet:

  - Estimater på utløsningsvolum på sørpeskred i Vannledningsdalen.
  - Eksempler på beregninger med RAMMS for sørpeskred.
  - Forslag til sikringstiltak.
  - Faresoner før og etter foreslåtte sikringstiltak (gjengitt i Figur 1).

- NVE rapport 91-2016 Skredfarekartlegging i utvalgte områder på Svalbard [9], utarbeidet av Multiconsult på oppdrag fra NVE. Vi har anvendt revisjon 02 av rapporten, datert 2016-12-12. Rapporten inneholder følgende relevant informasjon:
  - Faresoner 1/100, 1/1000 og 1/5000 for området ved utløpet av Vannledningsdalen (gjengitt i Figur 1).
  - Gjennomgang av skredhistorikk av sørpeskred i Vannledningsdalen.
  - Beskrivelse av modelloppsett for beregning av sørpeskred ut Vannledningsdalen.

Tidligere utarbeidede faresoner for området ved utløpet av Vannledningsdalen er vist i Figur 1. Ytterligere konklusjoner og vurderinger fra disse rapportene som er relevante for dette prosjektet er beskrevet mer detaljert i de relevante avsnittene nedenfor.



Figur 1: Faresoner tidligere utarbeidet for området ved utløpet av Vannledningsdalen, fra NGI [8] *og NVE* [9].

3.3.2 Kjente sørpeskredhendelser

Det er kjent at det tidligere gikk relativt hyppige sørpeskred i Vannledningsdalen, og dette er beskrevet i en lang rekke NGI rapporter. Dessverre er det lite konkret informasjon tilgjengelig om hver hendelse, slik at etterregning av kjente hendelser ikke er mulig. Følgende hendelser mener vi har mest relevans å se nærmere på:

- Ca. 1910 (Ukjent årstall og tidspunkt): I NGI rapport 20120323-00-1-R står det følgende: «Blant annet skal vindu i en bygning i Gamle Longyearbyen ha blitt knust ved en slik anledning. Det er ikke klarlagt i hvilken bygning, men det er rimelig å tro at

det var i en bygning som sto nær elvesletta/skredet. Det kan ha vært lufttrykket fra et skred som forårsaket skaden.» Denne hendelsen er interessant fordi det er den beskrevne hendelsen som trolig har hatt størst utbredelse.

- 1953, trolig 11. juni: Sørpeskred ødela flere hus og et hospital på vifta ved utløpet av Vannledningsdalen [10]. 3 personer omkom og 12 ble skadet. Etter hendelsen ble det etablert ledevoll på sørsiden av utløpet av Vannledningsdalen og det ble innført rutiner med dosing av Vannledningsdalen på våren.
- 1960: Gutt skadet, men skredutbredelse ikke kjent [6]. Ifølge NGI rapport 20120323-00-1-R [11] var det svikt i rutinene for dosing dette året.
- 1989-06-14: Fra NGI rapport 904025-1 [12]: «I 1989 ble bare snøen på elvesletta øverst i Vannledningsdalen doset vekk før varmt vær og høg luftfuktighet resulterte i sterk snøsmelting og sørpeskred 14. juni. Skredet slo delvis over sikringsvollen, skadet bolighus og ødela bl.a. hovedvannledning og fjernvarmeledning.» Ifølge NGI rapport 20120323-00-1-R [11] var det svikt i rutinene for dosing dette året.
- 2012-01-03: Sørpeskred ned til Vei 500. I henhold til informasjon fra LL var utløsningen omtrent 200 m ovenfor enden av sikringsvollen på Haugen. Det var generelt lite snø i dalsidene. Skader er ikke diskutert i tilgjengelige rapporter, vi tolker det slik at det ikke har vært skader på teknisk infrastruktur.

Basert på en gjennomgang av hendelser vurderes det i NGI rapport 20120323-00-1-R [11] at årlig sannsynlighet for sørpeskred i Vannledningsdalen er større enn 1/10, uten noen form for sikringsløsninger.

3.3.3 Beregninger

Det finnes ikke programvare dedikert til beregning av sørpeskred. I stedet bruker flere konsulenter, deriblant oss, beregningsmodeller for flomskred til å regne på mulig bevegelse av sørpeskred. Dette fordi de to skredtypene har en bevegelse som ikke er helt ulik. Det er tidligere beskrevet beregninger av sørpeskred i Vannledningsdalen i NGI rapport 20120650-01-R [8]og i NVE rapport 91-2016 [9], begge med RAMMS [13]. De tidligere utførte modellberegningene er oppsummert i Tabell 1.

Tabell 1: Modelloppsett for tidligere beregninger av sørpeskred i Vannledningsdalen. Ingen av de tidligere beregningene spesifiserte hvilket scenario de anvendte verdier representerte.

Inngangsparameter	NGI rapport 20120650-01-R	NVE rapport 91-2016
Modell	RAMMS, versjon og modul ikke gitt	RAMMS, versjon og modul ikke gitt
Friksjonsparameter Xi (m/s^2)	3000, 5000, 10.000 (de to høyeste verdier ble ansett «å være veldig høye og neppe realistiske»)	600
Friksjonsparameter My (-)	0,05	0,08
Utløsningsområde	Omtrent rett nedenfor platået i Vannledningsdalen. Areal ikke gitt	Omtrent rett nedenfor platået i Vannledningsdalen. Areal: 29.897 m^2
Bruddhøyde (m)	4	1
Erosjon (m)	4	Ikke gitt
Utløsningsvolum (m3)	27.000 – ca. 50.000	Ca. 30.000 (gitt bruddhøyde på 1 m)

Vi har utført beregninger med RAMMS::Debris flow versjon 1.7.20 [13]. Fremgangsmåten har vært følgende:

- Gå gjennom kjente hendelser for å se om det var mulig å etterregne de.
- Estimere dimensjonerende hendelser for sørpeskred, inklusive utløsningsområde, utløsningsvolum samt friksjonsparametrene My og Xi.
- Analysere sensitivitet i beregningsresultater for endringer i inngangsparametrene samt den horisontale oppløsningen i modellberegningene.
- Revurdere faresoner for sørpeskred ved utløpet av Vannledningsdalen under dagens forhold og uten sikringstiltak.
- Design av sikringstiltak og bro på Vei 500.
- Vurdere faresoner og restrisiko etter foreslåtte sikringstiltak.

Det er vanskelig å etterregne kjente hendelser fordi:

- Det er lite kjent informasjon om skredutbredelse ved hendelsene. For eksempel har vi bare funnet omrisset fra 1953-hendelsen, men ikke andre.
- Utløsningsområdene er stort sett ikke kjent. Unntaket er et par av hendelsene som angivelig startet 200 m ovenfor den øvre delen av vollen på sørsiden av Vannledningsdalen, og et par som startet oppe under det slakere platået. Det er flere steder nevnt at de store hendelsene startet øverst i det bratte partiet i Vannledningsdalen.
- Terrenget har blitt endret etter skredhendelsene, blant annet med en voll på sørsiden av utløpet av Vannledningsdalen. Denne vollen har gradvis blitt bygget på.

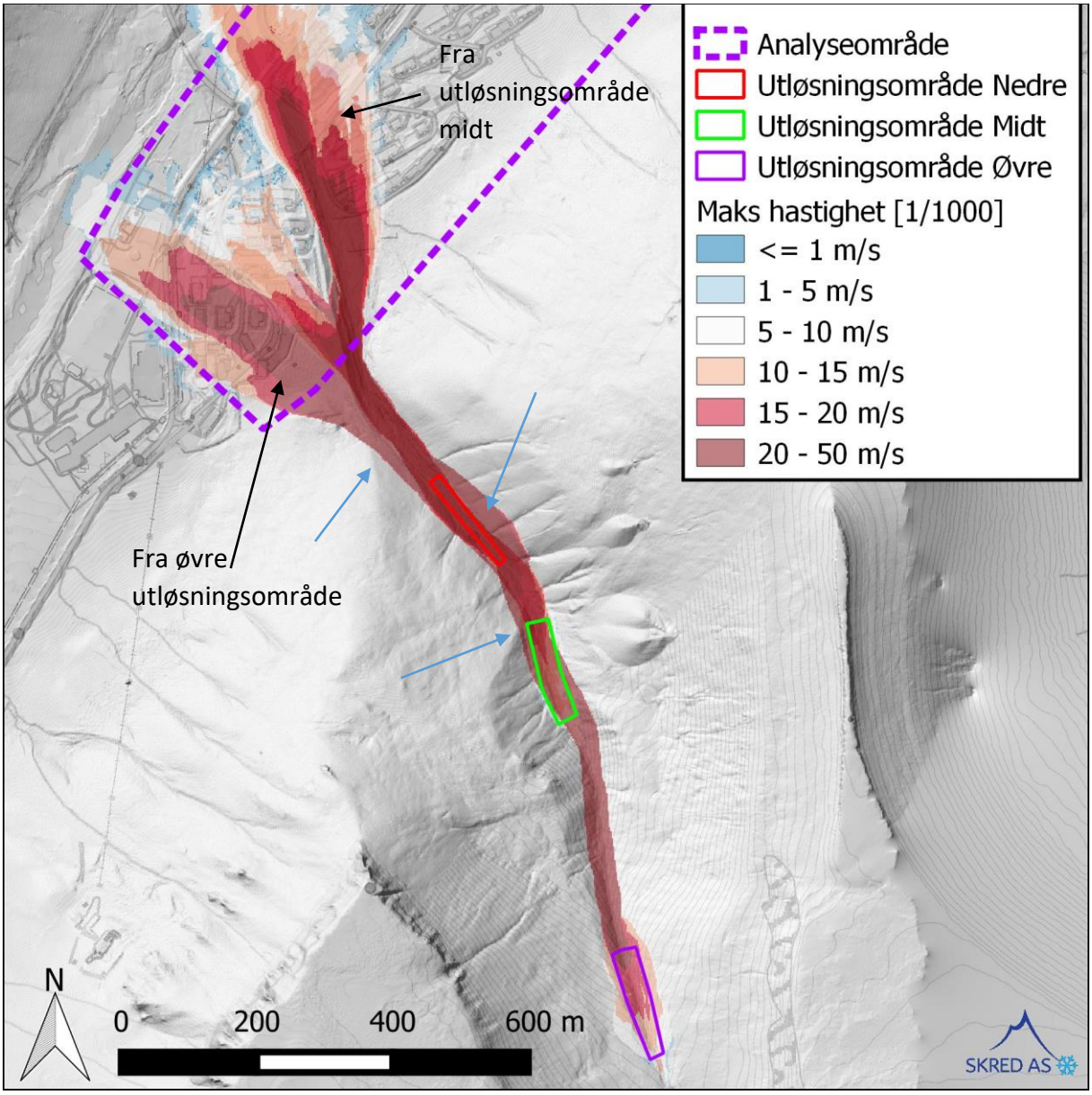
Med ulike kombinasjoner av friksjonsparametre, utløsningsvolum og utløsningsområde, og uten kjente føringer på disse parametersettene, kan vi mest sannsynlig gjenskape de fleste utløp av sørpeskred på vifta. For de enkelte hendelser er det heller ikke mulig å estimere gjentaksintervall på akkurat den hendelsen. Derfor har vi valgt å begrense parametersettene ved å ta utgangspunkt i tolkning av muligheter for utløsning i terrenget for verdier for utløsningsområder og volum, samt en pragmatisk tilnærming til friksjonsparametrene basert på tidligere hendelser på fastlandet, som vi har etterregnet.

3.3.4 Utløsningsområder

Vi mener det er potensiale for utløsning av sørpeskred fra hele den bratte delen av Vannledningsdalen, samt fra forsenkningen i platået ovenfor. Tidligere hendelser og vurderinger identifiserer følgende utløsningsområder:

- Nedenfor overgangen mellom det slakere platå og den bratte delen av Vannledningsdalen. Vi kaller dette for «øvre utløsningsområde»
- Omtrent 200 m ovenfor den øvre del av eksisterende ledevoll. Vi kaller dette for «nedre utløsningsområde».

I tillegg til disse to, har vi kjørt beregninger med et utløsningsområde mellom disse to, «midtre utløsningsområde». Utløsningsområdene er vist i Figur 2.



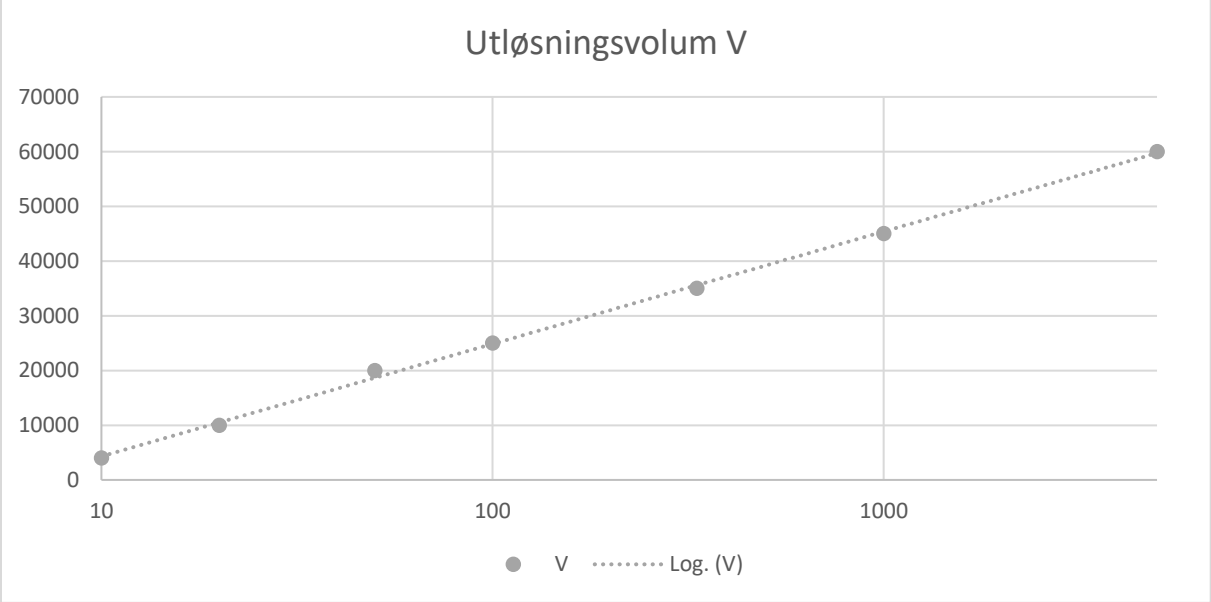
Figur 2: Utløsningsområder for beregninger av sørpeskred vist på skyggekart. Dessuten vises forskjeller i skredbevegelsen nedover i Vannledningsdalen for øvre og midtre utløsningsområde med innstillinger som 1/1000 scenarioet. Skredmasser fra midtre utløsningsområde vil hovedsakelig svinges mot nord av dagens ledevoll. Skredmasser fra øvre utløsningsområde får store undulasjoner (blå piler) nedover i Vannledningsdalen og treffer toppen av vollen slik at en stor del av massene klatrer over vollen og går mot Funken. Effekten er også tydelig for 1/333 og 1/5000-scenarioene.

3.3.5 Utløsningsvolum

Utløsningsvolum i modellen er satt ved følgende (subjektive) betraktninger:

- Maksimalt volum er tatt ifra snødybdemålinger utført i forbindelse med NGI rapport 20120650-01-R. De viser at det er omtrent 4 m snø på det meste i Vannledningsdalen, noe som gir omtrent 65 m^2 i et tverrsnitt. Dersom man antar at dette utløses fra toppen av den bratte delen av Vannledningsdalen ned til toppen av vifta, gir det en lengde på omtrent 1100 m, og dermed et volum på 71.500 m^3. I tillegg kommer et volum på omtrent 6.000 m^3 fra Platået ovenfor det veldefinerte bekkeløpet. Dette gir da et maksimalt volum på 77.500 m^3. I en hendelse med årlig sannsynlighet på 1/5000 anser vi dette tallet som for høyt, siden det er usannsynlig at denne snøen utløses samtidig, og reduserer det med omtrent 15 % til 60.000 m^3.
- Minimalt volum er estimert fra et lite område på 20 m langs dalbunnen, 4 m bredde og 0,5 m dybde som utløses. Dette gir et volum på 4.000 m^3, noe som vi definerer som en hendelse med årlig sannsynlighet på 1/10.
- Volum på hendelser med andre årlige sannsynligheter er tilpasset ut fra en antakelse om en logaritmisk fordeling av verdiene mellom de to ytterpunktene definert ovenfor (1/10 og 1/5000). Verdiene er vist i Figur 3 og Tabell 2.

De anvendte verdiene er i samme størrelsesorden som i tidligere beregninger (Tabell 1), men enkelte beregninger betydelig høyere enn spesielt de anvendt til beregninger i NVE 91-2016 [9].



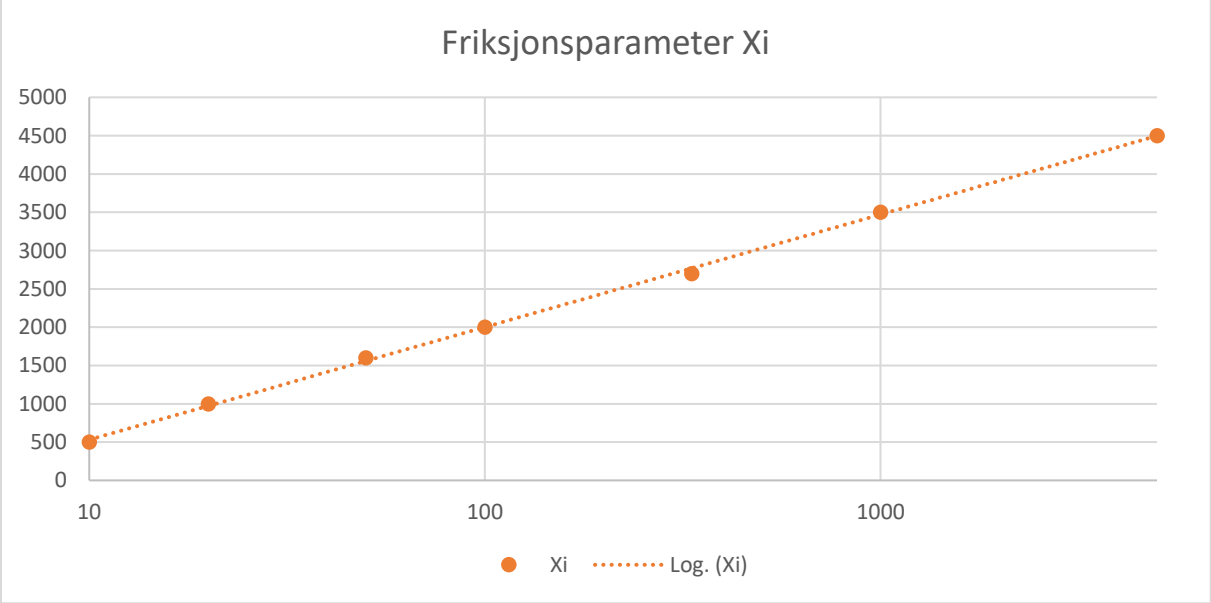
Figur 3: Verdier for utløsningsvolum V brukt til å definere designskredet.

3.3.6 Friksjon Xi

Verdier for friksjonsparameteren Xi har stor betydning for skredutbredelse og spesielt beregnet hastighet på skredmassene. Basert på tidligere observasjoner av sørpeskredhendelser på fastlandet, der vi har etterregnet hendelsene (men der det var andre forhold enn her), har vi satt følgende grenseverdier for Xi:

- Xi for skred med årlig sannsynlighet på 1/100 er satt til 2000 m/s^2.
- Xi for skred med årlig sannsynlighet på 1/1000 er satt til 3500 m/s^2.
- Verdier for Xi for andre årlige sannsynligheter er estimert ut fra en antakelse om en logaritmisk fordeling av verdiene, se Figur 4 og Tabell 2.

De anvendte verdiene er i samme størrelsesorden som beregninger beskrevet i NGI rapport 20120650-01-R (Tabell 1), men generelt betydelig høyere enn de referert i NVE 91-2016 [9].

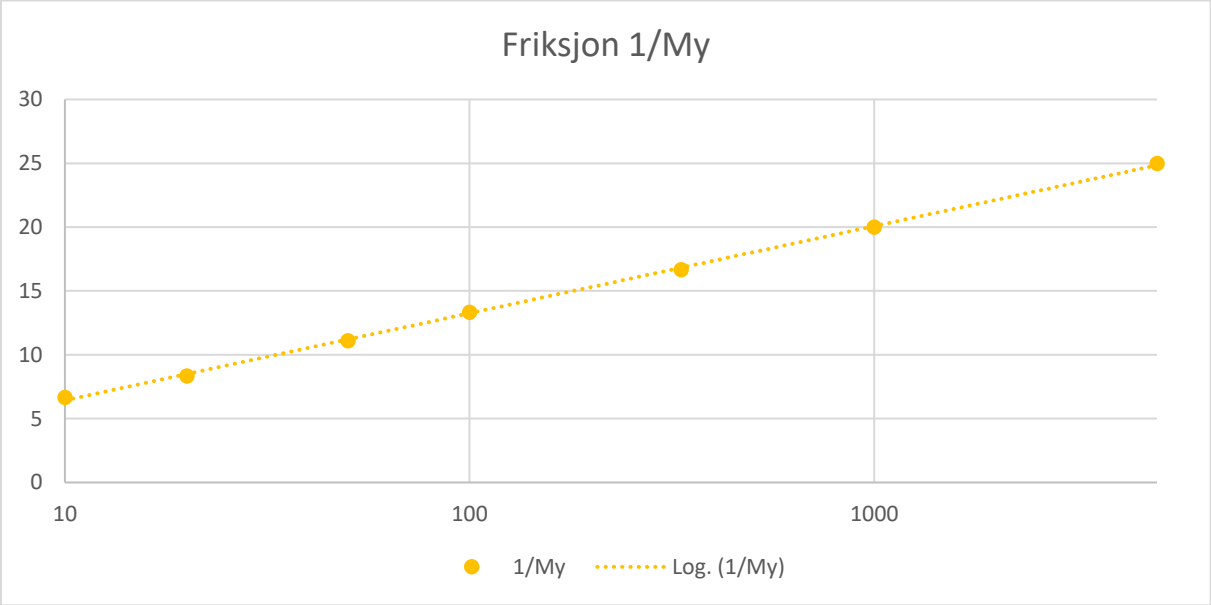


Figur 4: Verdier for friksjonsparameteren Xi brukt til å definere designskredet.

3.3.7 Friksjon My

Verdier for friksjonsparameteren My har betydning spesielt for beregnet skredutbredelse, men også hastighet på skredmassene. Basert på tidligere observasjoner av sørpeskredhendelser på fastlandet, der vi har etterregnet hendelsene (men der det var andre forhold enn her), har vi satt følgende grenseverdier for My:

- My for skred med årlig sannsynlighet på 1/100 er satt til 0,15.
- My for skred med årlig sannsynlighet på 1/1000 er satt til 0,05.
- Verdier for My for andre årlige sannsynligheter er estimert ut fra en antakelse om en logaritmisk fordeling av de inverse My-verdiene, som vist i Figur 5 og Tabell 2.



Figur 5: Verdier for friksjonsparameteren My (vist som 1/My) brukt til å definere designskredet.

*Tabell 2: Verdier for designskred for de ulike årlige sannsynlighetene. Utløsningsområder med **fet** er anvendt i designhendelsen.*

Scenario (årlig sannsynlighet)	Utløsningsområde	Volum (m^3)	My (-)	Xi (m/s^2)
1/10	Øvre/Midt/**Nedre**	4000	0,15	500
1/20	Øvre/Midt/**Nedre**	10.000	0,12	1000
1/50	Øvre/**Midt**/Nedre	20.000	0,09	1600
1/100	Øvre/**Midt**/Nedre	25.000	0,075	2000
1/333	Øvre/**Midt**/Nedre*	35.000	0,06	2700
1/1000	Øvre/**Midt***	45.000	0,05	3500
1/5000	Øvre/**Midt***	60.000	0,04	4500

* På grunn av store forskjeller i hvordan skredmassene beveger seg nedover Vannledningsdalen, har vi i disse scenarioene sett på ekstra mange beregningsresultater, som beskrevet i avsnitt 3.3.8 nedenfor.

3.3.8 Sensitivitet av ulike parametre

Innledningsvis ble det kjørt beregninger for ulike horisontale oppløsninger i RAMMS. Med en oppløsning på 5 m ble beregningene noe forskjellige fra de med mindre oppløsning, mens beregninger med oppløsning på 2 m og 1 m var relativt like. Grunnet svært mye lengre beregningstid for beregninger med oppløsning på 1 m, har vi kjørt de fleste beregninger med oppløsning på 2 m.

Et av de mest interessante resultater i modelleringen kom ved sammenlikning av utløsning av designskred 1/333, 1/1000 og 1/5000 fra utløsningsområdene «midt» og «øvre». Ved disse scenarioene oppnår skredmasse store hastigheter og har betydelig rekkevidde ut over vifta. Forskjellen er at skredmasser fra det øvre utløsningsområde får store undulasjoner nedover i Vannledningsdalen, mens skredmasser fra utløsningsområde midt følger dalbunnen i større grad (Figur 2). Det resulterer i at hovedparten av masser fra utløsningsområde midt svinges mot nord av dagens ledevoll, mens skredmasser fra det øvre utløsningsområde klatrer over toppunktet på vollen og fortsetter ned mot Funken. Vi mener det er realistisk å tenke at sørpeskredmasser med stor hastighet oppnår slike undulasjoner, men er usikre på om de undulasjonene vi ser i modellresultatene vil vises i like stor grad i virkeligheten. Vi har valgt å vektlegge resultatene av sørpeskred fra det øvre utløsningsområdet, men definerer ikke skredmasser herfra som et designskred. Dette bidrar med en vesentlig restrisiko for eventuelle sikringstiltak mot sørpeskred fra Vannledningsdalen.

I tillegg til beregninger med de ulike utløsningsområder, -volum, og friksjonsparametre, har vi testet svært mange ulike kombinasjoner av disse. Ved en manuell tolkning av modellresultater opp mot hverandre, mot kjente hendelser og mot våre antakelser, har vi valgt de dimensjonerende parametre vist i avsnittene ovenfor.

Med dagens terreng og parametersettene for dimensjonerende skred viser beregningene blant annet følgende:

- Scenario 1/1000 og 1/5000 har så stor utbredelse og så store hastigheter nederst i Longyearelva, at det ikke er usannsynlig at hendelsen er assosiert med skredvind som kan ødelegge vinduer, som nevnt i hendelsen fra ca. 1910.
- Scenario 1/333 og sjeldnere topper over dagens voll omtrent samme sted som hendelsen i 1989 (Figur 2).
- Scenario 1/20 og 1/50 når ned til Vei 500, og svarer slik sett til hendelsene i 1989 og i 2012 (ikke vist i figur).

Basert på dette mener vi at modellen med forsiktig tilnærming kan brukes til å dimensjonere sikringstiltak mot sørpeskred langs Vannledningsdalen.

3.3.9 Sørpeskred og klimaendringer

Flere klimascenarioer og rapporter peker på at klimaendringene på Svalbard trolig vil føre til betydelig temperaturøkning og økt frekvens av hendelser med nedbør som regn om vinteren [14]. Dette kan føre til at potensielle sørpeskredsituasjoner kan oppstå midtvinters, og ikke bare i smeltesesongen, og en generelt økt sannsynlighet for sørpeskred gjennom året. Dette kan bety at dagens praksis med dosing på vårparten kan bli mindre effektiv fordi sørpeskred kan forekomme mer jevnlig i løpet av vintersesongen, der det ikke gjennomføres dosing.

Det er vanskelig å håndtere dette i praksis, ved design av sikringstiltakene. Vi har valgt å la dette inngå som en del av usikkerhetsmomentene som ligger i våre analyser og vurderinger. Vi håndterer den ved å ta litt mer konservative tilnærminger til design av tiltakene.

3.4 Snøskred

Vårt utgangspunkt for design av sikringstiltakene der snøskred er dimensjonerende, har vært beregningene beskrevet i NVE rapporten «Skredrapport Sukkertoppen – Dimensjonerende skred fra Sukkertoppen og faresoner for Lia under Sukkertoppen». Vårt bidrag til NVE rapporten er beskrevet i Skred AS rapport 17228-01 [15], og for grunnlaget som er benyttet her vises til denne.

For design av sikringstiltakene nedenfor Sukkertoppen, har vi anvendt ikke bare beregninger utført av Skred AS, men også resultatene fra de andre tre gruppene som utførte beregninger (NVE, UNIS og NGI).

I tillegg til beregningene vist i NVE rapporten nevnt over, er det her utført beregninger for å teste ut effekten av de foreslåtte tiltakene, dels for å justere design av tiltakene og dels for å utarbeide faresoner og vurdere restrisiko etter tiltak.

Det er enkelte forskjeller fra grunnlaget i NVE rapporten:

- Det foreligger en ny terrengmodell (se avsnitt 3.1), som er anvendt som grunnlag for beregningene.
- Versjonen av RAMMS::Avalanche anvendt i beregningene til NVE rapporten var 1.7.06, mens vi her har benyttet versjon 1.7.20. Vi kjenner ikke til endringer i programvaren som skal tilsi at det vil ha ført til endringer i resultatene.

3.5 Faresoner før og etter tiltak

Endringen av faresoner før og etter tiltak er en av de tydeligste effektmålene av de foreslåtte sikringstiltakene. Vi har derfor sammenstilt faresoner for hele analyseområdet, gitt dagens forhold og i noen grad innarbeidet klimafremskrivinger, til tross for at dette ikke er definert som en del av oppdraget. Dette er beskrevet i avsnitt 5.2 på side 36. Dessuten har vi for hvert av de skisserte sikringsløsningene (i noen tilfeller kombinasjoner av løsninger) tegnet faresoner etter foreslått tiltak. Begge sett med faresoner er tenkt som grunnlag for en grov vurdering av frigjort areal ved de ulike tiltakene. Vi mener ikke detaljgraden i faresonene er god nok til å utføre arealplanlegging i forhold til kravene i TEK17 med veileder samt gjeldende retningslinjer.

4 Metodikk og premisser for design av sikringstiltak

I dette kapittelet beskrives de ulike premisser og grunnlaget for design av de foreslåtte sikringstiltakene.

4.1 Skredrelaterte føringer for type og omfang av tiltak

Vi har tatt utgangspunkt i at områdene nedenfor/bak de foreslåtte sikringstiltakene skal tilfredsstille krav til sikkerhet mot skred for bygg i sikkerhetsklasse S2. Det vil si at den årlige sannsynligheten for skredskader av betydning ikke skal overskride 1/1000. I veilederen til TEK17, som gjelder på fastlandet, og TEK10 som gjelder i Longyearbyen, er det spesifisert at det med «skredskader av betydning» menes «skred med en intensitet som kan medføre fare for liv og helse eller større materielle skader». Til tross for denne spesifiseringen mener vi allikevel at dagens krav ikke er entydige.

Skredvurderingene som ligger til grunn for de foreslåtte tiltakene er beskrevet ovenfor (kapittel 3). For vurdering av høyde og laster på sikringstiltak er [2] brukt for støtteforbygninger og [16], [4] for vurdering av voller. De anvendte inngangsparametre til beregningene er vist i Tabell 3. Erfaring er også en viktig ved valg og utforming av tiltak.

Tabell 3: Inngangsparametre for vurdering av dimensjoner på fangvoller mot snøskred.

Parametre	Verdi	Enhet	Bemerkning
$\rho_{s,g}$	400	kg/m³	Gammel snø (vintersnø) som ligger urørt på bakken. I [17] er nevnt at 500 kg/m³ er brukt i Norge, SHG har ikke sett bakgrunnen for slikt verdi og derfor er foreløpig vurdering å bruke 400 kg/m³.
$\rho_{s,t}$	300	kg/m³	Den tette delen av snø i snøskred. Verdi brukt av konsulentgruppen for skred i 2017 (Skred AS, NGI, UNIS og NVE) var 300 kg/m³.
$h_{s,e}$	2	m	Det er lite sannsynlig at nedbør skaper 2 m gjennomsnittlig snøhøyde, men en kan forvente at drivsnø og/eller nedbør og vind vil kunne samle nok snø foran sikringstiltakene. Det bør bemerkes at det er neppe realistisk at snøen legger seg jevnfordelt ovenfor tiltak.
$h_{s,g}$	0	m	Her er valgt å ikke ta hensyn til ev. gammel snøskredavlagring ovenfor voll.
$h_{s,t}$	2	m	Estimert gjennomsnittlig flytehøyde i den tette delen av snøskred i bevegelse.

Beregnet høyde på voller er gitt med 0,5 m nøyaktighet, og er i de fleste tilfeller rundet opp. Høyde på voller er også skjønnsmessig justert opp om 0,5-1,0 m pga. overhøyde som anses som sikkerhet og mulig sig i vollkroppen.

4.2 Landskap og utforming

I denne fasen av forprosjekteringen har vi diskutert løsninger med landskapsarkitekt fra firmaet Landslag. Flere steder har disse diskusjonene resultert i justert design, for eksempel rundt avslutningen på voller. I detaljprosjekteringen vil landskapsarkitektens rolle bli enda viktigere når detaljert utforming skal gjennomføres.

4.3 Geoteknikk og grunnforhold

Rambøll Norge AS er engasjert av NVE med ansvar for fagene geoteknikk og ingeniørgeologi i prosjektet. Basert på løsninger fremlagt av SHG i fase 1 av forprosjektet har Rambøll levert følgende rapporter:

- G-not-001 1350029372 Geoteknisk vurdering for forprosjekt fase B2.
- G-ont-002 1350029372 Notat fra prøvegraving.
- G-not-003 1350029372 Ingeniørgeologisk kartlegging og vurdering til forprosjekt av skredsikringstiltak.

Innholdet i disse rapportene er kort oppsummert nedenfor, og tatt med inn i design av de tiltakene som er presentert i denne rapporten. Justering av form, plassering og utføring av sikringstiltakene er en iterativ prosess, og nærmere beskrivelse av form, plassering, stabilitet og oppbygging av sikringstiltakene blir utført i detaljprosjekteringsfase.

4.3.1 Grunnundersøkelser og grunnforhold

Tidligere grunnundersøkelser i området er blitt gjennomgått av Rambøll. Program for supplerende prøvegraving ble bestemt i samråd med SHG. Det ble gravd prøvegrøfter på åtte steder i området mellom Hilmar Rekstens vei og fjellfoten, fra Vannledningsdalen til vei 230. Utdrag av beskrivelsen av grunnforholdene i Rambølls notat er gjengitt under. Det henvises til notatet for full beskrivelse av grunnforholdene.

> *«Longyearbyen ligger i et område med permafrost. […] I den varme årstida vil det øverste laget tine, for så å fryse igjen på vinteren, dette laget kalles det aktive laget. […] Det aktive laget er ut fra utførte grunnboringer høsten 2017 tolket til å ligge mellom 1,3 m og 3-4m under terreng i store deler av området. Utførte prøvegraving i september 2018 viser dybder til frost 1,1-2,6 m under terreng i punktene der frost ble påtruffet.*
>
> *Massene i det aktive laget kan, ut fra utførte prøvetaking og laboratorieundersøkelser, beskrives som leirig, siltig, sandig, grusig materiale, med ulike sammensetninger i de ulike prøvehullene. I Lia består det aktive laget hovedsakelig av grusig/sandig/leirig materiale, stedvis er materialet definert som leire.*
>
> *I skråningen opp mot Sukkertoppen er det hovedsakelig forvitret materiale. Generelt er det for opptatte prøver registrert høyt innhold av finstoff og undersøkte masser fra aktivt lag kan generelt forventes å være telefarlig og i telefarlighetsklasse T3 eller T4.*
>
> *[…]*

Utførte grunnundersøkelser viser at dybde til berg i undersøkt område varierer fra registrerte 2,2 m og opp til 8,5 m under terreng.»

I forbindelse med forprosjektet har Rambøll utført prøvegraving i området. Resultater fra prøvegraving er oppsummert i eget notat. Det er bestilt termistorer og prøveboring som vil gi ytterligere informasjon om grunnforhold til bruk ved detaljprosjektering av tiltak.

4.3.2 Forutsetninger for design

I sine rapporter foreslår Rambøll følgende hovedføringer for planlegging av vollkonstruksjoner i Lia.

- Skisserte løsninger med kjegler og fangvoller er gjennomførbar.
- Det vil være behov for masseutskifting under konstruksjonene for å oppnå tilstrekkelig bæreevne. Dybden på dette settes foreløpig til 2 m.
- I tillegg må dette gjøres i et belte på 5-10 m langs vollene. Bredden av beltet er størst ved de største vollene. Bredden er et konservativt estimat og kan eventuelt reduseres ved nærmere grunnundersøkelser.
- Generelt vil det være behov for armering av støtsiden til konstruksjonene. Det kan også bli nødvendig med armering av fundamentet.
- Generelt gjelder for alle voller og kjegler at de etableres av drenerende, telefrie masser.
- Fundament og fot av voller må dreneres for å unngå tilførsel av varme til permafrosten.
- Grøfter for overflatevann bør legges med god avstand fra støtside av voller.
- Støtteforbygninger vurderes som gjennomførbart.

4.4 Mengdeberegninger

Mengdeberegningene av jordmaterialer i voller er først og fremst basert på volumer beregnede i DAK systemene.

4.5 Kostnadsestimat

4.5.1 Investeringskostnad

Kostnadsvurderingen inkluderer bare estimert entreprenørkostnad ved bygging av tiltaket og de nærmeste omtrent 10 m ved tiltaket (som anbefalt av Rambøll). Den inkluderer ikke:

- rigg og drift (noe som kan utgjøre et påslag på 20-40%, men avhenger av hvordan man velger å utføre arbeidet),
- eventuelle kostnader ved endring av infrastruktur eller annet som må endres pga. byggingen av sikringstiltaket,
- bygging av anleggsveier eller lign. som entreprenøren trenger for å utføre jobben,
- transport av overskuddsmasser og masser som av andre grunner ikke kan brukes til ukjent deponi,
- merkost til nye bygg, riving av eksisterende bygg, etc.

Kvaliteten på kostnadsvurderingen er avhengig av kvaliteten på mengdeberegninger som igjen til dels henger på grunnundersøkelser, og bruk og type materiale i bratte vegger. Etter anbefalinger fra Rambøll Norge AS har vi lagt inn i kostnadsvurderingen fjerning av 1,5-2 m tykt lag av eksisterende jordmateriale.

Enhetskostnad for materiale og arbeid på Svalbard avviker en del fra kostnad på fastlandet. Likeledes er «importert» materiale betydelig dyrere og i forrige sikringsprosjekt (Lia ovenfor Spisshusene) viste det seg at støtteforbygninger ble mer enn 50 % dyrere enn på fastlandet.

SHG sammen med LL og Rambøll Norge AS (SHG-LL-Rambøll) har estimert enhetspriser for en del av det materiale som forventes å bli brukt i sikringsarbeidet, og det arbeid som skal utføres. Andre priser (arbeid og materiale) er hentet fra ulike kilder fra fastlandet. Priser er eks. mva. Usikkerheten i kostnadsestimatene er estimert til å være ± 30 %. Det viste seg i forrige fase av sikringsarbeidet at det var store variasjoner i tilbudene fra entreprenørene. Det er ingen grunn til å tro at det blir noe annet i dette arbeidet.

Tabell 4: Anvendte enhetspriser. Priser er eks. MVA og uten rigg og drift (senere legges på 20 % for dette). Usikkerheten i kostnadsestimatene er estimert til å være ± 30 %.

Materiale	Enhet	Pris	Kilde	Kommentar
Løsmasse fra området rundt Longyearbyen	kr/m³	650	SHG-LL-Rambøll	Grusmateriale fra Longyearelva lagt i vollfylling.
Løsmasser fra fastlandet	kr/m³	1100	SHG-LL-Rambøll	Grusmateriale fra fastlandet lagt i vollfylling.
Jordarmering	kr/m²	120	SHG-LL-Rambøll	Materiale og arbeid; på plass i fylling.
Fasademateriale	kr/m²	3000	SHG-LL-Rambøll	Materiale og arbeid; på plass i fylling. Inkluderer 1 m³ grus/fylling.
Støtteforbygninger	kr/m	35000	SHG	Materiale og arbeid. Sammensatt pris for alle typer.
Overvannshåndtering	RS	500000	SHG	RS pris, tall vil variere noe mellom tiltak/konsepter.

4.5.2 Kostnader til drift og vedlikehold

Støtteforbygninger og løsmassevoller kan kalles for «kompositt» konstruksjoner, dvs. konstruksjoner laget av ulikt materiale som har ulik kvalitet og levetid. Derfor kan en del av vedlikehold være å bytte ut de delene som har kortest levetid.

Generelt har støtteforbygninger og voller av jordmateriale god bestandighet og lite vedlikehold ved normale forhold og ved godt uført arbeid. Svakheter kan være knyttet til fasadematerialet på støtsiden av vollene. Dårlig kvalitet på jordmateriale (i grunn og vollbygging) kan være den begrensende faktoren for bestandighet.

Grunnlaget for vurdering av vedlikeholdskostnader er dårlig i Norge, og spesielt på Svalbard. Vurdering av vedlikehold kan gjøres på ulike måter. Her ser vi på estimert gjennomsnittlig årlig vedlikeholdskostnad. I Alpelandene har man utførte undersøkelser av drifts- og vedlikeholdskostnad [18]. I Sveits har de undersøkt 32 områder med støtteforbygninger og funnet ut at årlig gjennomsnittlig kostnad er 0,39 % av total kostnad, men at verdiene varierte mellom 0,01 % og >3 %. I Østerrike har man undersøkt vedlikeholdskostnader på 100 km støtteforbygninger over en periode på ti år [18]. Her var årlig gjennomsnittlig vedlikeholdskostnad i snitt 0,03 %. Det er ikke redegjort for detaljer i disse tallene, blant annet er det usikkert hva som var inkludert i totalkostnadene på tiltakene, og hvilke kostnader som var inkludert i vedlikeholdskostnadene.

Støtteforbygninger i Alpelandene har blitt bygget over mange titalls år. I den perioden har det vært en stor utvikling i kunnskap og økt kvalitet i anvendte materialer. Referansen som her er henvist til, redegjør ikke for alder på undersøkte støtteforbygninger slik at det er vanskelig å vurdere tallene for så å sette dem på konstruksjoner som bygges i dag. Det er også vanskelig å sammenligne Alpelandene med Norge fordi det i Alpelandene er kortere avstander til entreprenører, leverandører og transport med helikopter er vanlig. Hva gjelder Svalbard sier erfaringen at kostnaden på denne typen tiltak kan være opp mot 50 % dyrere enn på fastlands Norge. Ut fra de refererte erfaringstallene fra Alpelandene har vi antatt at verdiene for årlig gjennomsnittlig vedlikeholdskostnad kan være mellom 0,3 % og 3 %, som hhv. nedre og øvre grense, men at en forventningsverdi på 1,5 % ikke er urealistisk for støtteforbygninger.

For å sette vedlikeholdskostnad i sammenheng til noe vi kjenner så betyr årlig gjennomsnittlig vedlikeholdskostnad på 1 % at hele støtteforbygningsområdet blir bygget på nytt/renovert etter 100 år, eller for de støtteforbygningene som ble bygget sommeren og høsten 2018 i Lia på 468 m med kostnad rundt 15 mill.kr. vil årlig gjennomsnittlig vedlikeholdskostnad bli 150 kNOK.

For voller finner vi ikke tilgjengelige tall, men vi vurderer at forholdstallet ligger noe lavere, kanskje på 0,01 % til 0,1 %. Kjegler anses å ha noe høyere vedlikeholdskostnad enn voller.

Inne i vedlikeholdskostnad er ikke inkludert for eksempel fjerning av skadematerialet (snø- eller flomskred) og ikke økte/reduserte kostnader for brøyting rundt tiltakene og rundt bebyggelsen. Anvendte prosenttall for estimert årlig driftskostnad er vist i Tabell 5.

4.6 Håndtering av overvann og sedimenter

Vurderinger rundt håndtering av overvann og sedimenter er utdypet i et eget notat, 18241-04. Rapportens sammendrag er gjengitt under, samt at vurderinger knyttet til de ulike tiltak er gjengitt nedenfor.

Tabell 5: Anvendte verdier for estimert årlig driftskostnad i forhold til investeringskostnader.

Type element	Andel av investeringskostnad, %
Støtteforbygninger	0,3 (nedre estimat) 1,5 (forventet verdi) 3,0 (øvre estimat)
Løsmassevoller	0,01-0,05
Bremsekjegler av løsmasser	0,02-0,1

4.6.1 Overvannshåndtering

De foreslåtte vollkonstruksjonene utgjør avskjærende barrierer i terrenget som potensielt vil kunne endre og konsentrere avrenningsmønsteret ved intensiv nedbør og kraftig overflateavrenning. Tiltakene må planlegges med tilstrekkelig drenasje og fordrøyningsvolum, slik at forholdene nedstrøms ikke forverres i forhold til dagens situasjon.

Det bør etterstrebes et konsept for åpne flomveier nedenfor tiltaket frem til resipient i Longyearelva.

4.6.2 Sedimenthåndtering

Det forventes betydelig tilførsel av sedimenter under flom i Vannledningselva og ved kraftig overflateavrenning i Lia under Sukkertoppen. Sikringstiltak må planlegges slik at drenasjekapasitet i minst mulig grad svekkes av tilstopping av sedimenter eller is.

Jevnlig tilsyn med stikkrenner, kulverter og flomveier, samt bortkjøring av sedimenter fra Vannledningselva må påregnes.

4.7 Grunnvann og permafrost

Generelt er det ønskelig å påvirke permafrosten under konstruksjonene i minst mulig grad. Fra Rambølls geotekniske notat oppfordres det å i størst mulig grad hindre gjennomstrømning av vann, da strømmende vann tilfører varme til permafrosten.

Det vil være ønskelig å avskjære grunnvann i overkant av foreslåtte voller, for å begrense tilstrømningen til fundamentet. Avskjæring av grunnvann må planlegges sammen med grøfter for overvannshåndtering.

Det vil utføres en masseutskiftning ned til permafrosten med permeable, komprimerbare masser av god kvalitet under konstruksjonene. Rambøll påpeker viktigheten av at disse massene dreneres godt, for å minimere tilførsel av varme til permafrosten under fundamentet.

4.8 Forurensede masser

Det vises til NGI sin rapport om forurensede masser [19].

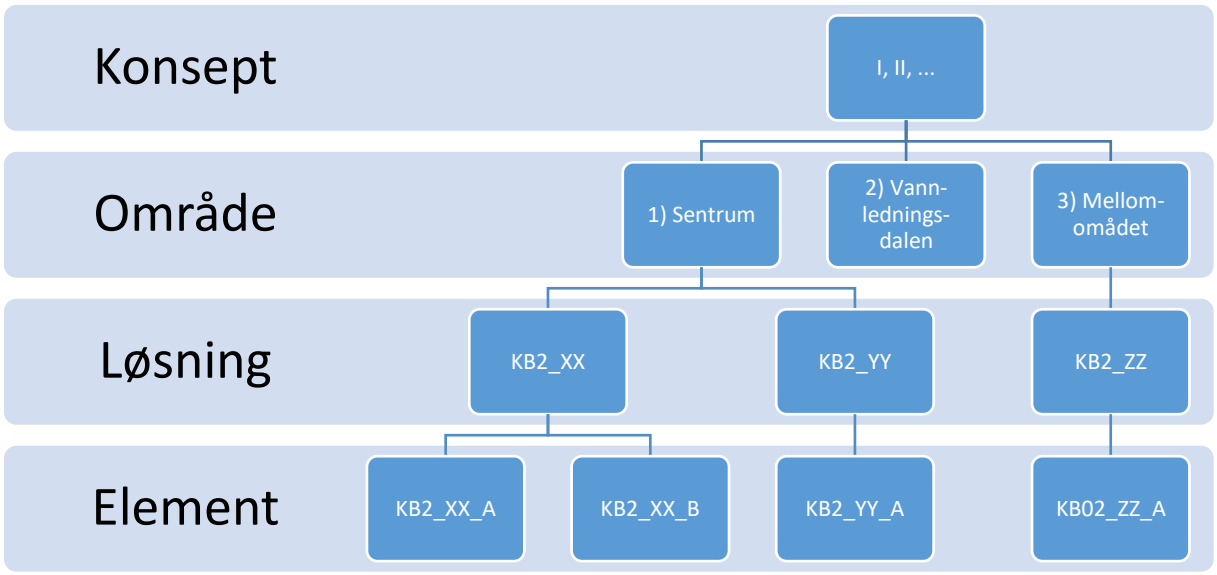
5 Sikringselementer, -løsninger og -konsepter

5.1 Generelt

I dette kapitlet presenteres de ulike sikringsløsningene, men først forklarer vi hvordan de ulike løsningene skal ses som et samlet konsept. Vi ser for oss et hierarki som vist i Figur 6: Et sikringskonsept er en kombinasjon av løsninger (alternativer) som sammen sikrer den delen av Longyearbyen vi er bedt om å sikre. De foreslåtte sikringsløsningene er her beskrevet for to «nøkkelområder», 1) sentrumsområdet, og 2) Vannledningsdalen, samt for 3) midtområdet. For hvert av de tre delområdene presenteres 1-2 løsninger for sikring. Hver løsning består igjen av ett eller flere fysiske, enkeltstående elementer (tiltak) som til sammen utgjør sikringsløsningen for det aktuelle området. Et eksempel er sikringsløsning KB2_01, som skal sikre sentrumsområdet mot snøskred. Løsningen består av to elementer, nemlig KB2_01_A, en fangvoll i foten av fjellsiden, og KB2_01_B, støtteforbygninger i den nordlige delen av Lia.

Den ene løsningen i Vannledningsdalen (svingvollen) gir føringer for valg av løsning i midtområdet, men ellers kan løsningene velges relativt uavhengig av hverandre. En oversikt over de presenterte sikringsløsningene er gitt i Tabell 6.

For midtområdet kan riving være en aktuell sikringsløsning, uten ytterligere tiltak. Denne løsningen har ikke kostnader ved bygging av tiltak, men kostnader ved riving og gjenoppbygging, som vi ikke har tatt med her.



Figur 6: Visualisering av de ulike nivåene i de foreslåtte sikringskonseptene, med eksempel.

Tabell 6: Oversikt over sikringsløsninger beskrevet i de følgende avsnittene.

ID	Område	Løsning/elementer	Kommentarer og relevante problemstillinger
00	Alle	Ingen	Ingen endringer i tiltak fra dagens forhold.
01	Sentrumsområdet	Støtteforbygninger nord i Lia + mindre fangvoll i foten av fjellsiden	Høyde på støtteforbygninger. Snøskred fra området nedenfor støtteforbygningene. Jord- og flomskred mot voll og mot støtteforbygninger.
02	Vannledningsdalen	Ledevoll rett ned	Flytehøyde ved utløp (lysåpning bro).
03	Vannledningsdalen	Svingvoll	Klatrehøyde av sørpeskred på voll. Volum av basseng. Må kombineres med voll i midtområdet. Sikrer mot mindre snøskred sør i Lia.
04	Sentrumsområdet	Bremsekegler + stor fangvoll	Bredde på sprut ved kjegler. Reduksjon av hastighet. Vollhøyde. Effekt av voll mot skredvind.
05	Midtområdet	Fangvoll	Må etableres hvis svingvollen velges. Reell effekt (bygninger som «reddes»)?
06	Midtområdet	Støtteforbygninger i hele Lia + mindre fangvoll i foten av fjellsiden	Høyde på støtteforbygninger. Jord- og flomskred mot støtteforbygninger og voll i bunn.

5.2 Sikringsløsning KB2_00: Null-løsningen - ingen endring fra dagens forhold

For å vise effekten av foreslåtte sikringstiltak, må man ta utgangspunkt i dagens situasjon. Dette innbefatter følgende eksisterende sikringstiltak:

- Ledevoll mot sørpeskred på sørsiden av Vannledningsdalen.
  - Effekten av denne vollen er vurdert fra beregningsresultater og tolkning av disse opp mot og visuell inspeksjon av vollen.
- Dagens rutine med dosing av Vannledningsdalen.
  - Rutinene er blant annet beskrevet i NGI rapport 944079-1.
  - Vi mener, i likhet med konklusjonen i flere NGI rapporter, at effekten ved dosing av Vannledningsdalen gir betydelig reduksjon i sannsynlighet for store sørpeskred, men at løsningen gir betydelig restrisiko. Dette blant annet fordi dosing bare utføres før eventuelle sørpeskred på vårparten og ikke før sørpeskredsituasjoner midtvinters, og fordi mange forhold kan føre til at

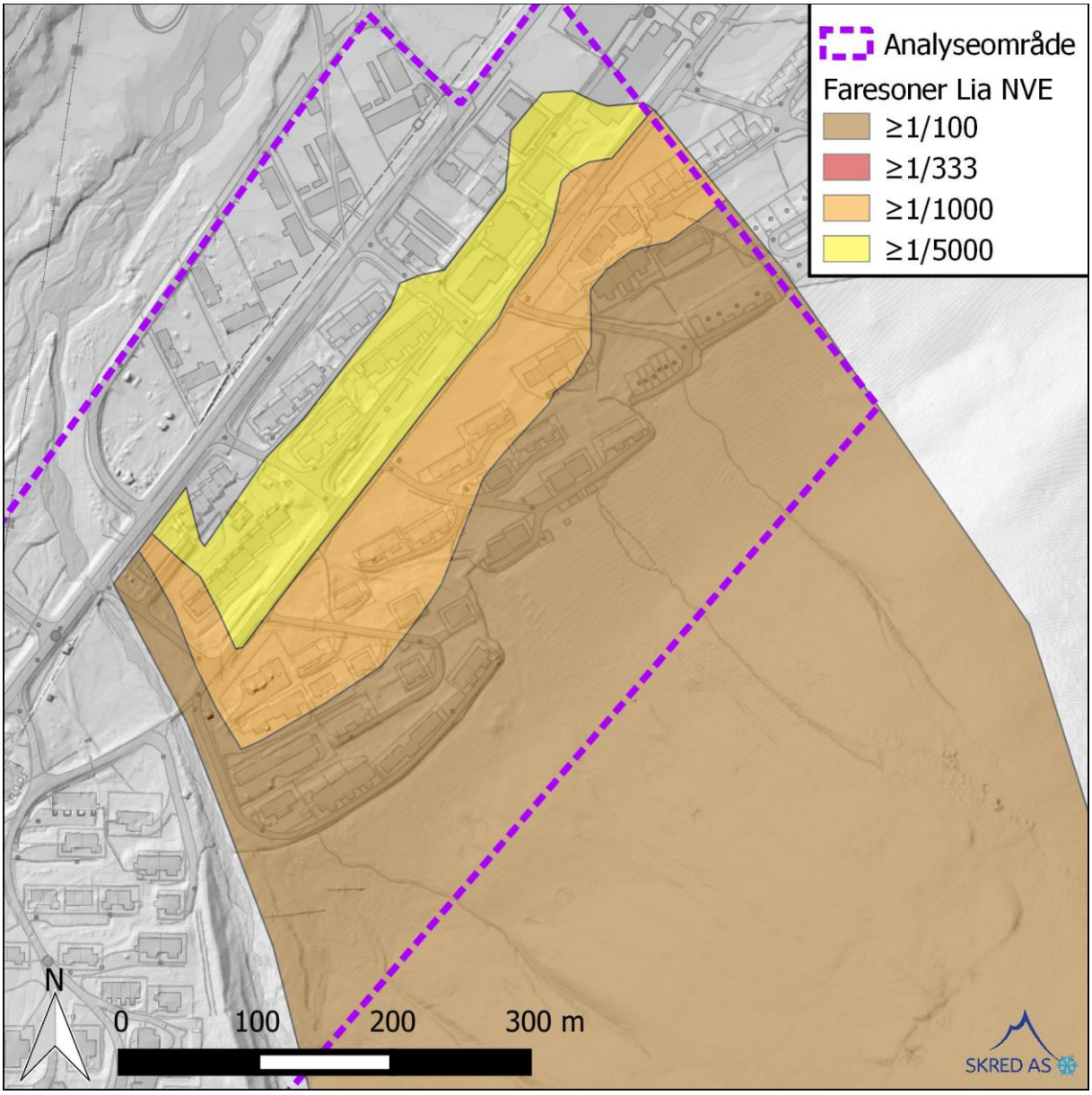
dosing ikke kan utføres før sørpeskredfare oppstår på vårparten (vær, ødelagt utstyr, etc.).
    - I løpet av dette prosjektet har det fra LL vært uttrykt et ønske om at dosing av Vannledningsdalen fortsetter som før.
    - Vi har inkludert effekten av dosing ved å redusere verdier for Xi og utløsningsvolum på sørpeskred noe i designskredene.
    - Det er betydelig personrisiko forbundet med dosing av Vannledningsdalen, blant annet forbundet med skred. Det bør være gode rutiner på plass for å håndtere denne risikoen.
- Skredvarsling. Vi kjenner ikke nok til rutinene rundt varslingen til å vurdere effekten, og har derfor ikke beskrevet skredvarslingen, eller effekten av denne, nærmere.

5.2.1 Faresoner

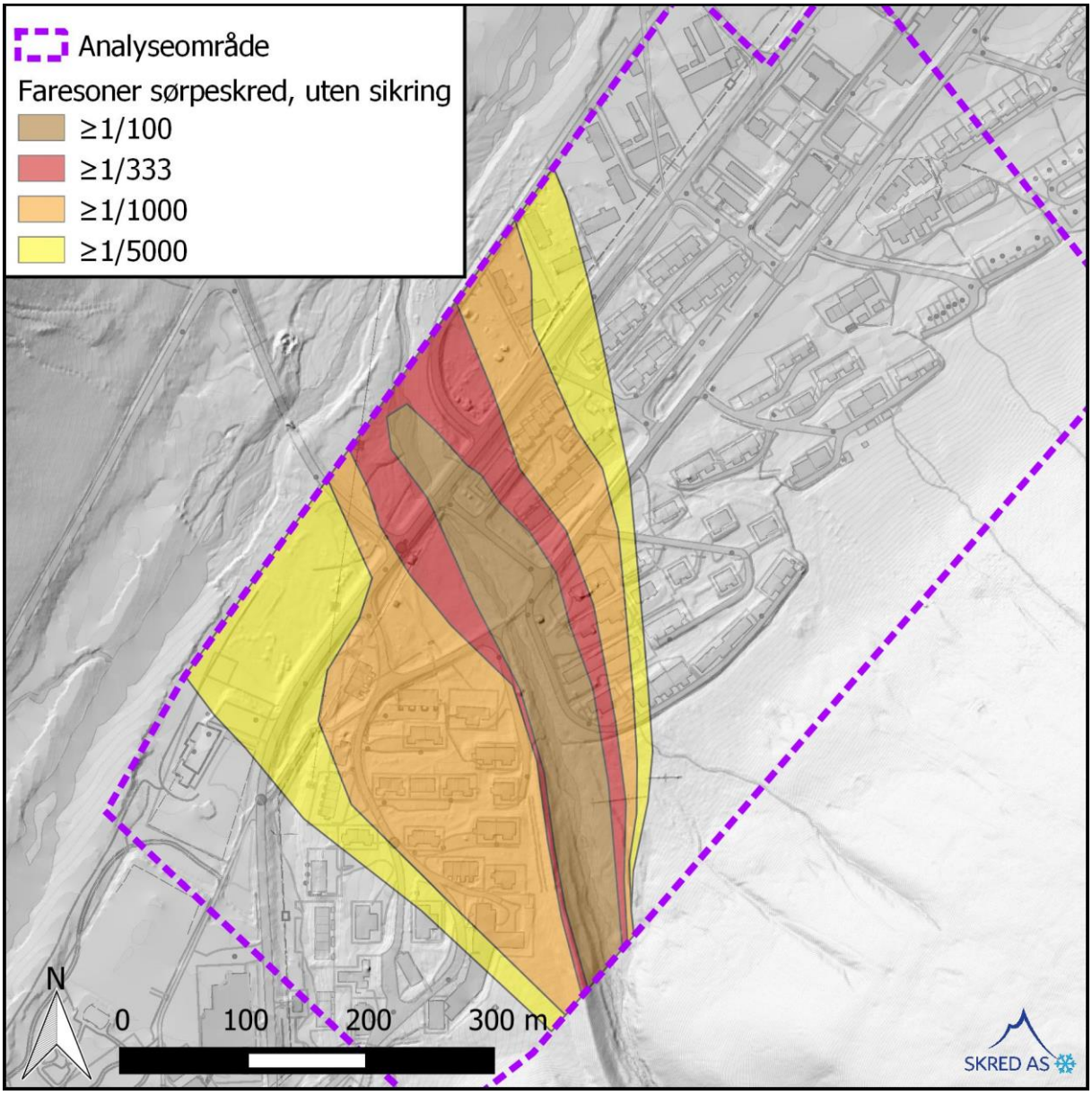
Samlede faresoner for analyseområdet er tidligere utarbeidet som beskrevet i NVE rapport 91-2016. For sentrumsområdet er disse faresonene etterfølgende revidert, som beskrevet i NVE «designskred» rapporten [20]. Faresonene er gjengitt i Figur 7. Merk at det ikke ble utarbeidet faresone for 1/333, og at faresonene ved utløpet av Vannledningsdalen ikke ble revidert.

For sørpeskred ved utløpet av Vannledningsdalen har NGI tidligere utarbeidet faresoner [8]. Bak disse lå det trolig en del antakelser om at bygningene på vifta hadde betydelig motstand mot skredmassene. Basert på nyere informasjon, har bygningene i dette området trolig veldig begrenset effekt på skredutbredelse. Senere er det utarbeidet faresoner i henhold til kraven i TEK17 [9]. Disse faresonene viser ikke at overtopping av vollen på toppen av vifta er en mulighet, noe vi derimot mener det er, både i scenario 1/1000 og 1/5000. Vi foreslår derfor å justere faresonene dimensjonert av sørpeskred ved Vannledningsdalen som vist i Figur 8.

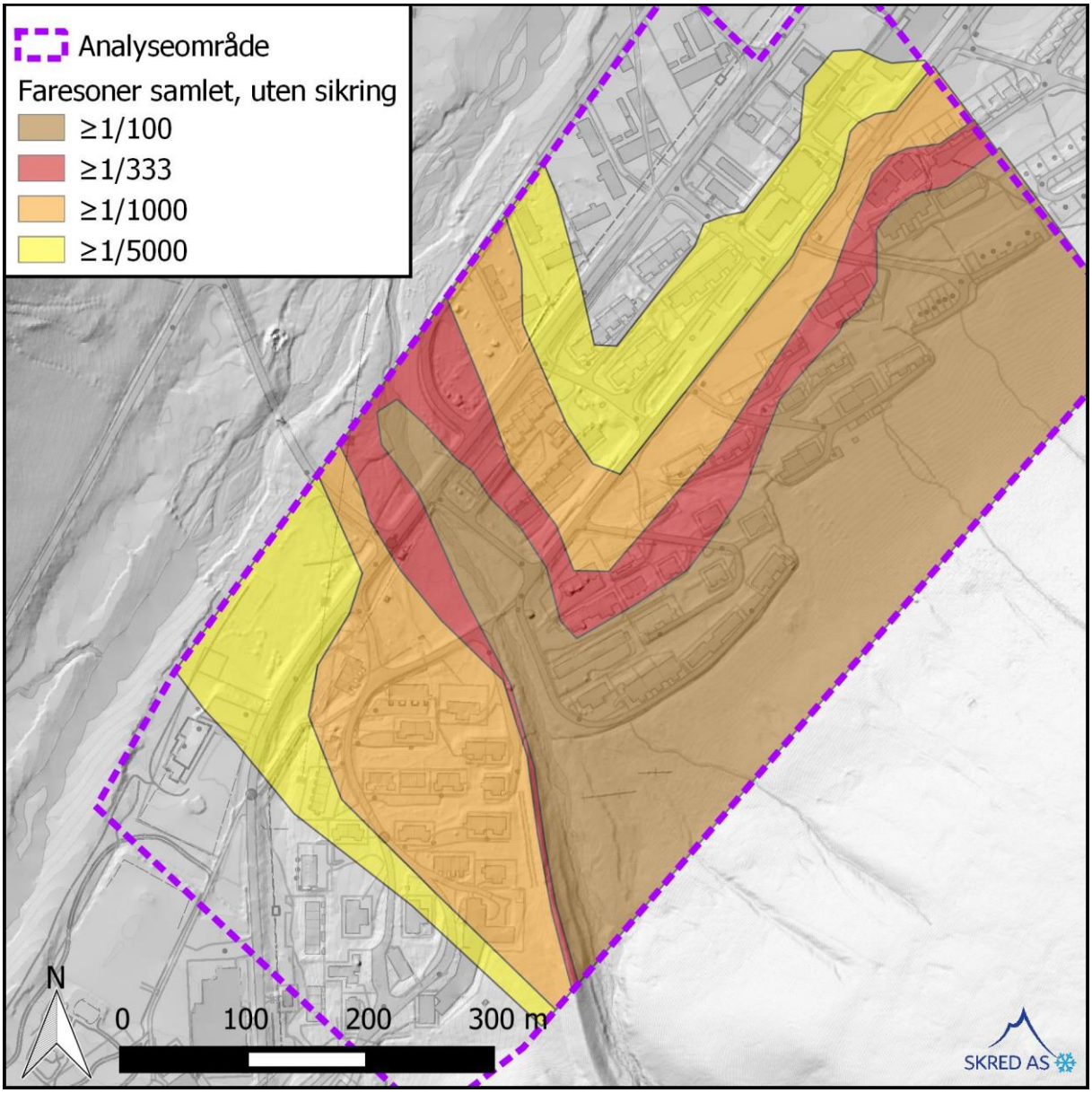
For å vise samlet faresone, har vi kombinert faresonene nevnt ovenfor, samt estimert en faresone 1/333 i området nedenfor Sukkertoppen. Vårt forslag til faresoner for skred for analyseområdet er vist i Figur 9.



Figur 7: Faresoner for skred i området nedenfor Sukkertoppen [20]. *Faresonen 1/333 ble den gang ikke utarbeidet.*



Figur 8: Vårt relativt grove forslag til faresoner for sørpeskred i området ved utløpet av Vannledningsdalen. Sonene skal brukes til å estimere effekt av de ulike tiltakene, men bør ikke brukes i arealplanleggingen. Det er betydelige forskjeller i faresonene foreslått her i forhold til de vist i Figur 1.



Figur 9: Samlede faresoner for skred i analyseområdet for null-løsningen, altså under dagens forhold. Dette er en skisse basert på egne vurderinger samt eksisterende faresoner. Sonene skal brukes til å estimere effekt av de ulike tiltakene beskrevet nedenfor, men bør ikke brukes til arealplanleggingsformål.

5.3 Sikringsløsning KB2_01: Støtteforbygninger og fangvoll over sentrumsområdet

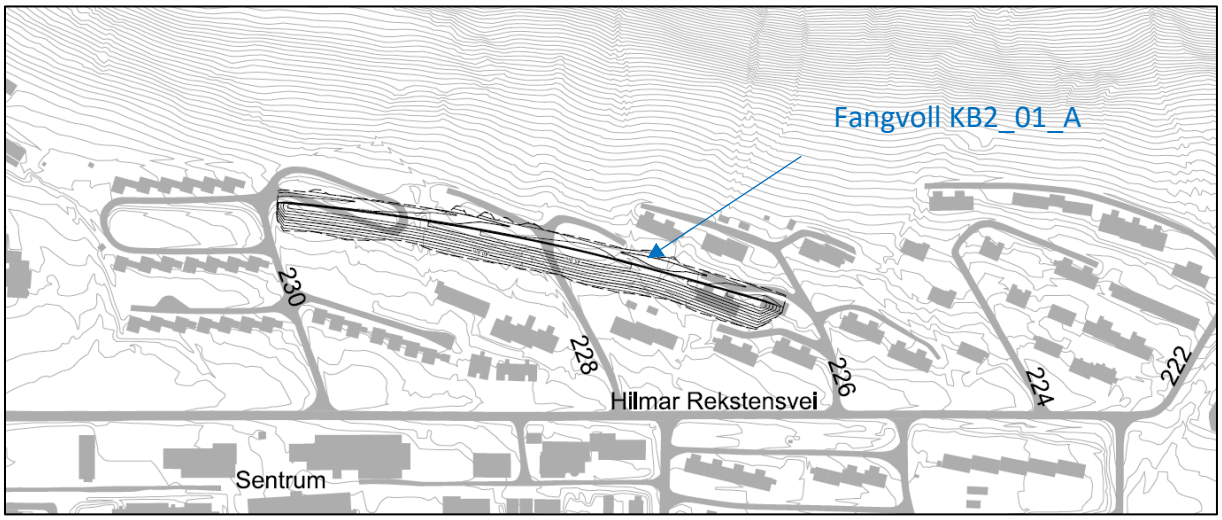
Denne sikringsløsningen består av elementene vist i Tabell 7.

Tabell 7: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_01.

Tiltak	Beskrivelse
KB2_01_A	Lav fangvoll over sentrumsområdet
KB2_01_B	Støtteforbygninger i nordlig del av Lia nedenfor Sukkertoppen

5.3.1 KB2_01_A: Fangvoll

Plassering av foreslått fangvoll er vist i Figur 10.



Figur 10: Mulig plassering av lav fangvoll, KB2_01_A ovenfor sentrumsområdet, og nedenfor støtteforbygninger i den nordlige delen av Lia.

5.3.1.1 Funksjon

Mens støtteforbygninger i fjellsiden (KB2_01_B, se avsnitt 5.3.2 nedenfor) står for den største effekten av denne løsningen er fangvollen tenkt som voll som skal stoppe den tette delen av snøskred som ev. løsner nedenfor støtteforbygningene. Vollen er også dimensjonert til å stoppe jord- og flomskred som kan komme ned fjellsiden mot bebyggelsen.

Ved videre arbeid med denne løsningen må voll og området ovenfor utformes i samarbeid med LL og landskapsarkitekt. Dette kan føre til endringer i forholdene beskrevet nedenfor.

5.3.1.2 Plassering

Plasseringen er i tråd med diskusjon i forrige fase av sikring av Spisshusene i Longyearbyen (NGI arbeid utført 2017-2018) der det ble foreslått av LL/NVE å flytte vollen lengre ned i

bebyggelsen og øke høyden for å slippe den planlagte nederste raden med støtteforbygninger i Lia. I denne fasen av arbeidet har vollen blitt forlenget mot sør til området nedenfor Sukkertoppen, se tegning 18241-03-KB2_01-01.

Lengden på vollen mot sør vil avhenge av valgt løsning ved Vannledningselva. Velges ledevoller langs Vannledningselva (KB2_02) kan denne fangvollen gjøres relativt kort, og avsluttes mot sør like før den treffer vei 226, over eksisterende bygninger 23-29. Velger man denne løsningen kan man la midtområdet være uten sikring. Dersom man velger «svingvollen» (KB2_03), må denne fangvollen være lengre og noe høyere i sør og strekker seg inn mot vei 224 for å håndtere sørpeskred fra Vannledningsdalen (se avsnitt 5.5).

Den nordlige enden av vollen når inn til vei 230, men vil bli justert i henhold til avrenningsgrøft nord for vollen (se avsnitt 5.3.5) og utforming fra landskapsarkitekt sin side. Enden mot veien er tenkt å være bratt for eks. 2:1 til 4:1. Det er også behov for avrenningsgrøft sør for vollen, se avsnitt 5.3.5.

5.3.1.3 Støtsiden

Fasaden skal bygges bratt (eksempelvis 4:1) av steinkurver/gabioner eller lignende, se nærmere beskrivelse av materialer i kapittel 6.1.

5.3.1.4 Baksiden

Baksiden av vollen (ned mot bebyggelsen) er generelt tenkt med helning på 1:2, men helningen kan variere noe fra denne helningen når landskapsarkitekt har satt sitt preg på vollen.

5.3.1.5 Toppbredde

Toppbredde er satt til 2 m. Utfra sikkerhetsmessige årsaker og estetiske grunner kan det være ønskelig å øke toppbredden. Det kan også være byggetekniske grunner til at volltoppen bør være bredere. Dette vil bli avgjort i detaljprosjekteringsfase.

5.3.1.6 Form på vollender

Det er gått utfra at den nordlige delen av vollen vil bli bygget bratt pga. begrenset plass; Spisshusene ved vei 230 er like nord for vollen. Det er også planlagt å forme enden (og deler av volltoppen) slik at den kan brukes som utsiktspunkt. Dagens forslag (Figur 11) viser hvordan vollenden svinger nedover og blir til en sti med trapper for turgåere.

Figur 11: Forslag til den nordlige enden av fangvollen KB2_01_A ved Vei 230. Utarbeidet av Landslag ehf.

Den sørlige enden vil bli utformet med en relativt slak helning ca. 1:4 fra volltopp til dagens terreng. Det er vurdert å ikke være behov for trapper, siden det skal være relativt lett å gå på volltopp med denne helningen på stien.

5.3.1.7 Høyde

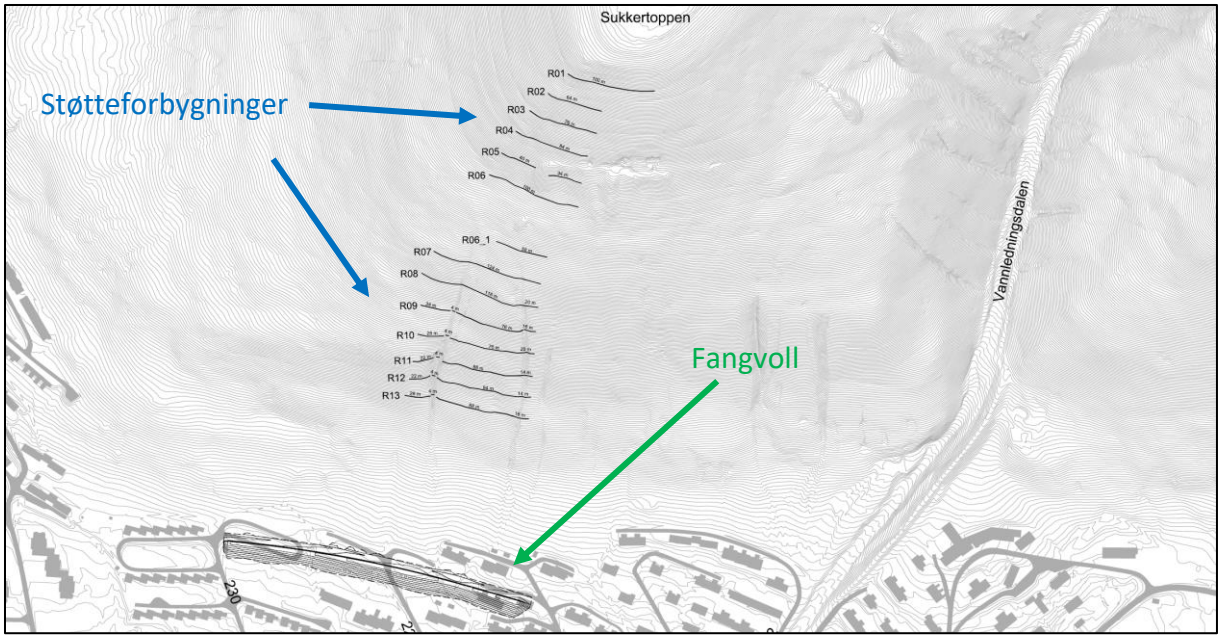
Tørre snøskred som kan løsne nedenfor støtteforbygningene i området der det i sommeren 2018 ble bygd støtteforbygninger, er vurdert som den skredtypen som gir dimensjonen/høyden på fangvollen. Høyde er satt til 5,5 m i hht. premissene gitt i kapittel 4.1. Lenger sør i Lia har vi lagt inn støtteforbygninger slik at sannsynligheten for at snøskred utløses nedenfor støtteforbygningene er svært liten. Vollhøyden holdes allikevel forholdsvis høy på grunn av at 1) vollen også skal sikre mot jord- og flomskred og 2) det er lagt inn en antakelse om 2 m snø på bakken når dimensjonerende skred treffer.

5.3.1.8 Kapasitet

Basert på bruddhøyde av dimensjonerende snøskred forventer vi at det kan komme ned omtrent 40 m^3/m langs vollen. Kapasiteten er vanskelig å beregne pga. relativt flatt terreng, men den er større enn 50 m^3/m.

5.3.2 KB2_01_B: Støtteforbygninger

Foreslått plassering av støtteforbygningene er vist i Figur 12.



Figur 12: Foreslått plassering av støtteforbygningene (BK2_01_B) ovenfor sentrumsområdet, og fangvoll (KB2_01_A) i skråningsfoten.

5.3.2.1 Funksjon

Generell funksjon av støtteforbygninger er å holde snøen på plass slik at den ikke løsner og danner skred som kan være vanskelig å stoppe i utløpsområdet.

5.3.2.2 Plassering

Støtteforbygningene er tenkt plassert fra skulderen (omtrent ved bruddkant fra skredet som løsnet februar 2017) og 50-150 m mot sør. Lengde av hver rad avhenger av plasseringen i fjellsiden. Den øverste raden er tenkt å dekke hele toppområdet for å hindre utløsning derfra.

Støtteforbygningene dekker ikke alle mulige utløsningsområder i fjellsiden slik at utløsning kan skje like utenfor (sør for) forbygningene. Dette vil kunne medføre ekstra laster på elementene som står på enden av hver rad. Dette må tas med i betraktningene ved detaljprosjektering. Det kan ikke utelukkes at den ekstra belastningen vil kunne medføre skader på ende/rand elementene, og disse vil trolig kreve ekstra ettersyn og vedlikehold.

Området som støtteforbygningene dekker, gjennomskjæres av to raviner. Begge disse antas å være forholdsvis aktive. Dersom man bygger forbygningene over ravinene, må man regne med at mindre flomskred kan treffe forbygningene, og medføre skade. Vi har vurdert om man kan avslutte støtteforbygningene nord for den sørligste ravinen, slik at man ikke krysser den. Dette vil medføre at flere bygg i den sørligste delen av sentrumsområdet ikke går fri av den nye S3-sonen, og vi mener dette vil være uheldig.

Vi kan ikke utelukke skader på støtteforbygninger, men forventer at de blir på et begrenset område slik at reparasjon ikke blir uforholdsmessig kostbar. Ved detaljprosjektering kan man finjustere plasseringen av støttestolper på forbygningene, justere høyden på nedre rad med tverrbjelke, eller anvende en annen type forbygninger enn stive stålbroer, som kan tåle/stå imot flomskred. Dermed kan vollen være av den høyden som er planlagt og beskrevet i avsnittet om fangvoll ovenfor.

Det er i denne fasen av prosjektet ikke gjort detaljerte vurderinger av hvor stor påkjenning støtteforbygningene blir utsatt for i det bratte terrenget pga. sig i det aktive laget og hvor stor påvirkning vil bli av framtidige klimaendringer. Erfaring fra støtteforbygninger ovenfor Spisshusene vil gi en føring på det som må studeres.

Det må settes opp plan for kontroll og vedlikehold i løpet av brukstiden, se nærmere i avsnitt 6.3 side 94.

5.3.2.3 Høyde

Informasjon om snøhøyde i utløsningsområdet finnes ikke så vidt SHG har kjennskap om, men det finnes Lidar-måledata av snøoverflaten fra UNIS utført noen dager før skredet i februar 2017 og annen måling dagen etter skredet. Dessverre er det noe som ikke stemmer i høydereferansen i datasettene, men den er nyttig for å se omtrentlig plasseringen på fonnen som var på skulderen før skredet, og bruddkant og ny snø etter skredet.

I NVE rapport om skredhendelsen i februar 2017 [21] er det redegjort for høyde på bruddkant av skredet som gikk fra toppen. Høyden var estimert til omtrent 1 m, men det kan forventes at snøhøyde har vært noe høyere ved bruddkanten og enda høyere inne i den utløste snømassen. Snømengder andre steder i fjellsiden ble ikke målt, men ser man på modellen fra UNIS indikerer den ikke store snømengder i andre åpne områder.

Terrenget i området med planlagte støtteforbygninger er forholdsvis ujevnt, og avstanden fra støtteforbygningene til ryggen som strekker seg mot nord fra Sukkertoppen vil variere. I dette terrenget forventer vi store variasjoner i den totale snødybde på grunn av at vinden flytter snø fra konvekse områder til områder som er konkave.

Snømengdene i fjellsiden i vanlige eller snørike vintrer er ikke kjent, eller kan estimeres fra en snødybdemåler i nærheten. Det betyr at beslutningen om høyde på støtteforbygningene vil være vanskelig og må baseres på skjønn. Vi mener det er riktig å estimere høyden konservativt, og at det ikke er mulig å knytte den til formulering som årlige sannsynligheter på 1/1000 eller 1/5000.

Støtteforbygninger har tendens til å samle fokksnø, og vi antar at snødybde vill være en del større visse steder med støtteforbygninger enn uten dem. Dette gir en ekstra usikkerhet i estimatene. En mulighet vil være å etablere vindskjermer i fjellsiden og på platået ovenfor utløsningsområdene, men dette er ikke vurdert som nødvendig her.

Nødvendig høyde på støtteforbygningene vil variere etter plassering i fjellsiden i forhold til høyde i fjellsiden og avstanden fra skulderen i nord. Høyden på den øverste raden (R01) er satt til 5,0 m. For de andre radene nær skulderen er det estimert 4,5 m, men høyden kan gå ned til 4 m mot sør. Der støtteforbygningene krysser ravinene er høyden på elementene økt fra 4 m til 5 m.

5.3.2.4 Overvann/Grunnvann

Det forventes økte mengder snø i fjellsiden ved støtteforbygningene og i terrenget rundt. Dette vil kunne medføre økte mengder smeltevann og økt sannsynlighet for utløsning av flomskred.

5.3.2.5 Andre prosesser

Denne fjellsiden er bl.a. kjent for flomskred og det nyeste eksemplet er fra høsten 2016 da et lite skred (ca. 15 m langt) løsnet i ca. 79 moh. ovenfor vei 222. Tidligere har NGI kartlagt området og tegnet inn potensielle renner, alt i nedre del av fjellsiden [22]. Ovenfor kote 230-240 moh. er det få tegn på flomskred, og området kan betraktes som en ur.

Flomskred kan utgjøre fare for støtteforbygningene nedenfor kote 230 og spesielt i den nedre delen der de fleste flomskredene har løsnet. Tidligere hendelser indikere begrenset utbredelse, utelukkende langs de veldefinerte ravinene med bredde på 5-15 m.

Det er usikkert hvilken effekt forventede klimaendringer har på utløsning og størrelse av flomskred, men det er ikke urealistisk at tenke at utbredelsen og omfang kan være noe større enn det som er registrert i dag.

5.3.3 Fordeler/Ulemper

Fordeler og ulemper med sikringsløsning KB2_01 er oppsummert i Tabell 8.

Tabell 8: Fordeler og ulemper ved tiltak KB2_01, fangvoll og støtteforbygninger.

Fordeler	Ulemper
- Fangvoll hindrer vann og flomskred å nå bebyggelsen. - Fordelene med kombinasjonen fangvoll/støtteforbygninger er bl.a. at den vil bidra til mindre fangvoll nedstrøms. - Støtteforbygninger holder snøen på plass og større areal i foten av fjellsiden kan utnyttes. - Med en relativt liten fangvoll i dette området kan det, med pen utforming, bli en attraksjon for folk. - Enkel tilgang til å vedlikeholde fangvoll.	- Fangvollen tar opp plass som ellers kunne brukes til andre formål. - Fundamentering kan være krevende. - Det er en del usikkerhet knyttet til virkning av fangvoller spesielt hva gjelder øvre del av skredmassene (fluidisert lag og støvsky). - Støtteforbygningene dekker bare del av fjellsiden. Det er utfordringer med randkrefter og snøskred som ev. løsner nært støtteforbygningene. - De er relativt dyre å bygge. - Fundamentering av støtteforbygninger kan være krevende. - Fangvollen og støtteforbygningene er innenfor hensynssone kulturminner. - Ved ev. utløsning av flom- og jordskred kan skredmassene skade støtteforbygningene, i verste fall rive de med seg. - Behov for og kostnad på vedlikehold er ukjent i dette permafrostområdet. - Det kan oppstå uønskede effekter av fokksnø ved vollen.

5.3.4 Mengder og kostnad

Mengdene baserer seg på modellberegninger i DAK systemet.

Tabell 9: Estimerte mengder og kostnader for fangvoll (KB2_01_A) og støtteforbygninger (KB2_01_B). Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

Materiale	Enh.	Mengder	Enh. Pris	Total kNOK	Bemerkning
Støttefylling	m^3	13 394	780	10 447	Målt på dagens terreng
Kjernemateriale	m^3	6 495	780	5 066	
Fasademateriale	m^3	1 968	3 600	7 085	Her satt til 1 m inn i vollen
Fundament kjerne	m^3	3 750	780	2 925	I stort sett utgravet masse, 2 m ned
Fundament støttefylling	m^3	7 044	780	5 494	Utskifting 2 m ned
Utskifting av materiale	m^3	2 700	780	2 106	Utgravet nedenfor voll
Overvannshåndtering	RS	1	600 000	600	Rund sum
Veibane/erosjonslag grøft	m^3	1 428	780	1 114	For anleggsvei og grøft ovenfor voll
Jordarmering/geogridd	m^2	6 697	120	804	
Ubrukbart materiale ut	m^3	3 967	780	3 094	
Støtteforbygninger	m	1 476	35 000	51 660	
Total				**90 395**	

5.3.5 Overvann/Grunnvann

Vollene over sentrumsområdet er i forprosjektet tenkt med fall mot nord, grunnet terrengforholdene og resultatene fra skredsimuleringene. Vannet dreneres fortløpende gjennom stikkrenner med avstand 50-70 m, som vil sørge for at naturlige feltgrenser opprettholdes.

Det etableres knekk i horisontal- og vertikalkurvaturen av grøfter i fremkant av vollene rundt lokasjonen for stikkrenner, slik at det ved eventuell tilstopping vil etableres fordrøyningsvolum.

Ved en full tilstopping av samtlige kulverter vil vannet etter fordrøyning ledes rundt vollen på nordsiden. Åpen flomvei for vann som ikke blir fordrøyd må håndteres som del av hovedplan for overvann i Longyearbyen.

5.3.6 Vind- og snøakkumulasjon

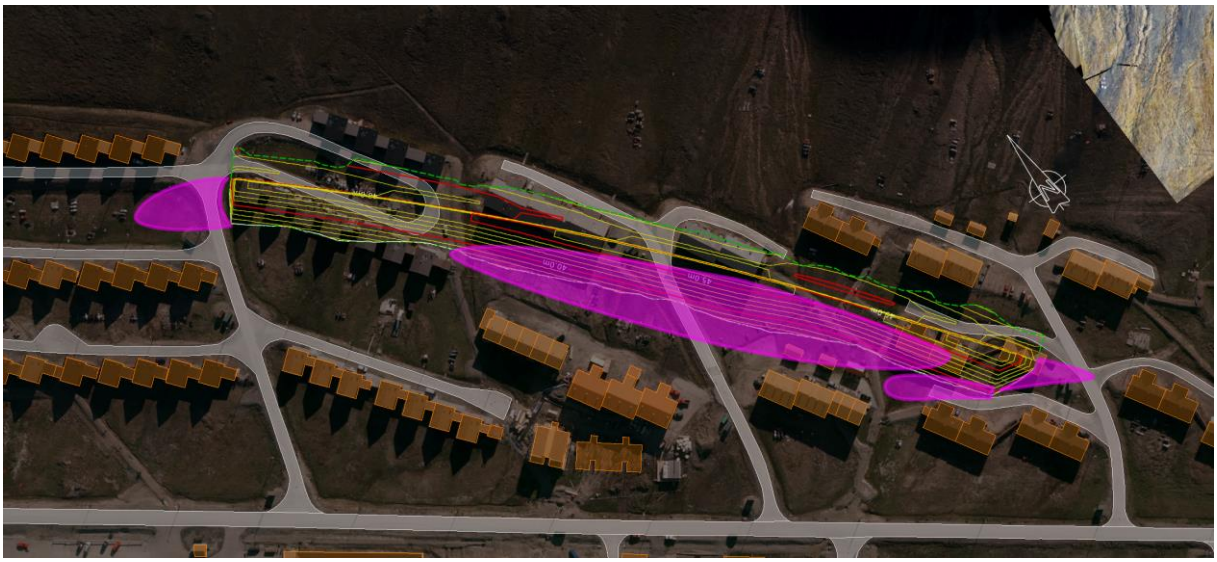
5.3.6.1 Støtteforbygninger

Støtteforbygningene vil som følge av endret vindfelt, samle en del ekstra snø i utløsningsområdet. Det er forsøkt å inkludere disse mengdene i vurderingen av høyde på forbygningene.

En kan også forvente at noe lyd (støy) vil høres fra støtteforbygningene når vinden blåser igjennom dem. Det er ikke forventet at lyden vil være «plagsom».

5.3.6.2 Fangvoll

Det vil først og fremst være vind som blåser tilnærmet langs fjellsiden som vil være problemet for områdene i nærheten av vollen. Dog kan vind ut Adventdalen også danne fonner ved vollen på nordsiden (Figur 13). Vollen vil danne sitt eget vindfelt som vil forme fonnene i nærheten.



Figur 13: Rosa flater på figuren viser områder som det kan forventes fonndannelser fra nordlig og sørlig vindretninger. Bakgrunnsbilde: Norsk polarinstitutt.

På nordsiden kan en forvente at det vil legge seg en del snø i vindretninger inn og ut dalen. Fonnen vil ha noe ulik form avhengig av vindretning, men i hovedsak kan en forvente at mest snø legger seg et par meter fra vollen og mot nord og nedover. Pga. Spisshusene øverst på vei 230 og vollen vil vinden strømme mellom bygningene og vollen. Nærmest vollenden vil det kunne dannes hvirvler.

På sørsiden har vollenden slake helning ned til dagens terreng. Det er også bygninger i nærheten som vil påvirke vindforhold og fonndannelsen.

I nordlig vind vil fonndannelsen ligge tilnærmet helt inne til vollen og være spissformet i sørlig retning på en strekning på 10-20 m for så forsvinne. Den vil kunne nå veien.

Det er forventet at små fonner fra sørlig vind vil kunne dannes foran vollen, men på nedsiden kan det dannes en fonn. Vinden vil blåse mellom voll og bygninger og danne fonn som vil strekke seg mot garasjene ved bygninger 4A-D på vei 228.

Rundt midten på vollen kan en forvente at det blir le-område med noen fonndannelse på nedsiden i sørlige vindretninger og vindretning fra Vannledningsdalen. Det er ikke forventet at det blir store mengder nedenfor vollen, men det vil kunne legge seg noe i vollsiden og det er også forventet at det her kan bli mer snø i lufta enn andre steder.

5.3.7 Faresoner

Faresoner for skred før og etter tiltak er vist i tegning 18241-03-KB2_01-02.

5.3.8 Berørte eiendommer

Antall bygninger som får endret faresonen de ligger i, er estimert som følger:

- Antall S3-bygg som flyttes utenfor S3-sonen: 3 hele bygg samt deler av to andre bygg.
- Antall S2-bygg som flyttes utenfor S2-sonen: 13 bygg med omtrent 33 boenheter. Vi er usikre på hvilke bygg bør tilfredsstille S3.
- Antall S1-bygg som flyttes utenfor S1-sonen: 1.

Antall bygg som trolig må fjernes på grunn av tiltakene: 4-5 bygg med omtrent 10 boenheter.

Se ellers mer detaljert redegjørelse i nytte/kost vurderinger utført av LL og NVE.

5.3.9 Teknisk infrastruktur

Innenfor planlagt vollområde ligger det noe teknisk infrastruktur. Det er først og fremst lavspente strømkabler som blir påvirket og det blir nødvendig å legge om en del for å få strøm til en del av bygningene nedenfor vollen. I området er også noen lysstolper som må fjernes.

5.3.10 Grunnforhold

Innenfor voll- og kanalområdet ligger følgende Sintef [23] borehull: 40, 42, 44 og 45, og 48 ligger helt i utkanten. Utenfor ligger borehull 41, 43, 46 og 47 og er avstanden til senterlinjen opp mot 80 m.

Det viser seg at stor del av materialet er med mye finstoff, leir eller silt, mest i nord, materialet blir noe bedre mot midte av vollen for så å bli dårligere igjen i sør.

Det vil bli behov for utskifting av materiale under vollen, men det gjenstår å se hvor mye av utgravet materiale som kan gjenbrukes i vollkroppen. Det bør forsøkes å bruke så stor andel som mulig.

Geotekniske vurderinger fra Rambøll og Sintef estimerer tykkelsen på det aktive laget til å være mellom 1,7 – 3,4 m. Dybde til berg et estimert fra 2 m til over 8 m. Ellers henvises til rapportene fra Rambøll [24], [25] og [26], og fra Sintef [23].

5.3.11 Kulturminner/-miljø

Sørenden (avslutningen) på fangvollen krysser taubanelinje 2a, men i samme område har det blitt bygget boliger som tenkt voll går over. Kulturminne ID er 158987-1.

5.3.12 Usikkerhet og restrisiko

Følgende momenter mener vi er forbunnet med størst usikkerheter i denne sikringsløsningen:

- Støtteforbygninger:

    - Mengden (og kostnaden) av påkrevd vedlikehold grunnet plassering i område med permafrost.
    - Krysning over ravinene, med sannsynlighet for flomskred på konstruksjonene.
    - Høyde på støtteforbygninger.
    - Store krefter på ytterste ledd i hver rad.
- Voll:
    - Overflatevann og avrenning: retning (best å lede mot nord eller sør?) og volum.
    - Påkrevd drift for å fjerne snø (fra skred eller drivsnø) som reduserer effekten av vollen mot skred.

Det vil være en restrisiko forbunnet med blant annet følgende:

- Støtteforbygninger snør ned, og oppfyller dermed ikke lenger sin funksjon. Man må følge med på om dette skjer, og eventuelt iverksette tiltak.
- Snøskred som løsner i Lia sør for forbygningene eller flomskred i ravinene kan dra med seg støtteforbygningene fordi de ikke tåler lastene. Dette må man ta høyde for i detaljprosjekteringen.
- Det blir store snøansamlinger ovenfor vollen, noe som vil redusere effekten. Dette kan skje for eksempel på grunn av vindavsetning eller skredavsetninger. Det må være driftsrutiner som hindrer at dette skjer.
- Vollen er bare dimensjonert for en 1000-års hendelse.
    - Det kan komme flere slike hendelser med kort tids mellomrom, og andre hendelse kommer før man har ryddet vekk snø fra første hendelse.
    - Det kan komme større hendelser enn 1000-års hendelsen.

5.4 Sikringsløsning KB2_02: Ledevoller langs Vannledningselva samt ny bro

Denne sikringsløsningen består av elementene vist i Tabell 10.

Tabell 10: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_02.

Tiltak	Beskrivelse
KB2_02_A	Ledevoller på Haugen langs Vannledningselva
KB2_02_B	Bro
KB2_02_C	Veier

5.4.1 KB2_02_A: Ledevoller på Haugen langs Vannledningselva

Foreslått sikringsløsning er vist i Figur 14.

Figur 14: Ledevoller fra Vannledningsdalen ned til Longyearelva, KB2_02_A.

5.4.1.1 Funksjon

Prinsippet i denne voll-løsningen er beskrevet i NGI rapport fra 2015 [8], men prosjektet har blitt utvidet til også å gjelde vurdering av bro på Vei 500 og området nedenfor Vei 500, ned mot Longyearelva. En del av premissene som lå til grunn i [8] er endret slik at det ikke er de samme krav om begrensninger på vollgeometri spesielt på nordsiden. På sørsiden er det fortsatt noen begrensninger pga. boligene nærmest vollen.

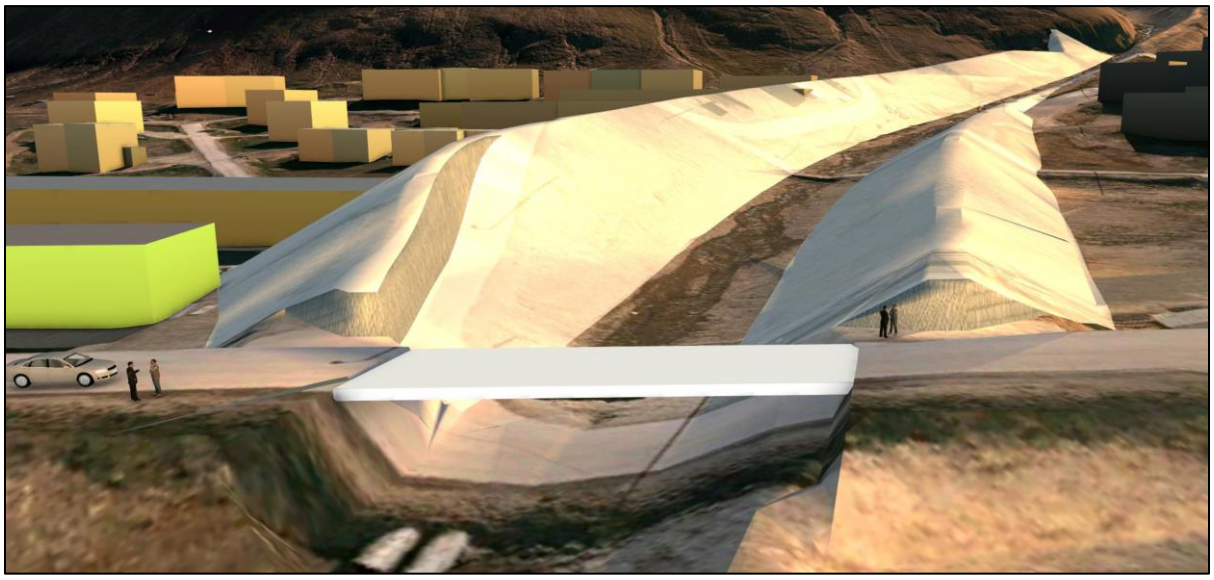
Ledevollene er tenkt å lede sørpeskred fra Vannledningsdalen forbi bebyggelsen på Haugen, igjennom/over bro på vei 500 og til Longyearelva. Vollen skal hindre at sørpeskredmasser går over Vei 222 til bebyggelsen ved Hilmar Rekstensvei.

5.4.1.2 Plassering

Plasseringen er stort sett i tråd med beskrivelsen i [8]. Avviket er ved Vei 500 og området nedenfor veien, se tegning 18241-03-KB2_02-01.

5.4.1.3 Kanal

Dagens kanal/elveløp har en varierende bredde fra Vannledningsdalen ned til Perleporten. Minste bredde er 8-9 m ved bergknausen øverst på viften. Planlagt kanal er designet med geometrisk plan og profil for å oppnå best mulig form for å lede sørpeskredmasser på en trygg måte forbi bebyggelsen og samtidig gjøre så lite inngrep som mulig i dagens terreng. Bredde på kanalbunnen er her valgt til 12 m som er noe mindre enn i tidligere NGI forslag på 14 m. Dette er blant annet gjort for å ikke ha for stort tverrsnitt ved broen på Vei 500. Det er behov for justering på dagens kanalbunn for å få en jevn og erosjonssikret bunn fra toppen på viften til Longyearelva.



Figur 15: Forslag til kanal og voller langs Vannledningselva, og bro på Vei 500. Ved detaljprosjektering må det vurderes om det skal inngå andre elementer i tiltaket, for eksempel sti opp til Hilmar Rekstensvei på nordsiden av vollen. I figuren er broen bare vist som simpelt element. Det som kommer tydelig fram er den bratte delen av vollen på nordsiden av elven. Figur laget av Landslag ehf.

De nedre deler av skråningene inn mot Vannledningselva, samt 1,5 m under sålenivået erosjonssikres med stein av god kvalitet lagt i forband. Sålenivået sikres med tverrliggende terskler for hver 50-100 meter, mellom tersklene forventes det avlagring av sedimenter

ettersom elva blir slakere. Avlagrede sedimenter fjernes maskinelt med jevne mellomrom etter behov.

Fasaden inn mot elveløpet og de bratte avslutningene inn mot Vei 500 skal bygges bratt (eksempelvis 4:1) av steinkurver/gabioner eller lignende, se nærmere beskrivelse av materialer i kapittel 6.1.

5.4.1.4 Voll på sørsiden av Vannledningselva

Den øverste delen av vollen på sørsiden av Vannledningselva (mot Funken) er relativt lavt over kanalbunnen, men fra bergknausen og ned mot området like ovenfor Perleporten øker høyden til 10-12 m og på kort strekning opp mot 14 m. Denne strekningen vurderer vi som den mest kritiske for å få svingt sørpeskred ned mellom ledevollene, som nevnt i avsnitt 3.3, side 17. Fra Perleporten og ned til vei 500 betraktes området som åpent, dvs. at det i dag stort sett er liten eller ingen voll.

Planlagt ny volltopp har sin egen geometri som delvis følger senterlinjen i kanalen, men er justert også på med tanke på bygninger og vei på sørsiden av vollen. Inn- og utvendig helning på vollen i tverrsnitt er satt til omtrentlig 1:2 til 1:1,8 de fleste steder, men ved bergknausen øverst på viften er planlagt en strekning på ca. 200 m som har varierende helning. Nedre volldel står med omtrent samme helning som i dag (skjæring er rundt 1:1,5) og øvre volldel med helning omtrent 4:1.

Ved Vei 500 vil det være noen endring i vollgeometri pga. tilpasning til veien. Siden dette er innersvingen for skredmassene, er utformingen her ikke like kritisk som nordsiden av Vannledningselva.

Nedenfor Vei 500 er gått ut fra en vollhøyde på 3 m, dvs. den stikker rett over dagens terreng, for å markere elveløpet, men designet vil ha begrenset effekt på utbredelsen av store sørpeskred. På grunn av at det ikke er bebyggelse her, anser vi det som akseptabelt.

Bredde på vollkronen øst for Vei 500 er satt til 2 m. Breddeøkning på vollkronen er vanskelig i området ved bygningene, men kan gjøres bredere andre steder hvis ønskelig.

Høyde på vollen på øvre del er satt litt høyere enn dagens vollhøyde er begrunnet fare for ondulasjon og oversvømmelser av sørpeskredmassene i design skredet (se avsnitt 3.3 side 17). Høyden avtar sakte ned mot midten av boligområdet og derfra går høyden ned til omtrent 8 m rundt Perleporten og denne høyden holder vollen ned til Vei 500.

På en kort strekning er det nødvendig å gjøre endring på dagens vollgeometri med skjæring i løsmasse/berg for å få best mulig strømningseffekt langs vollen. Andre steder vil det bli lagt til materiale for samme formål.

Vollen er delvis tenkt bygget av stedlig materiale som vil komme fra elveløpet og nærmeste område rundt kanal/voller, men det blir behov for store mengder kjørt inn fra eksterne massetak.

Forsterkningsmateriale (gabioner el. Lign.) er bare tenkt i de få bratte partiene i vollen; øverst på vifta og ned mot Vei 500.

5.4.1.5 Voll på nordsiden av Vannledningselva

På nordsiden er dagens «voll» omtrent 2-3 m høy nedenfor bergknausen, derfra avtar høyden ned mot Perleporten. Fra Perleporten og ned til Vei 500 betraktes området i dag stort sett som åpent, med unntak av en liten vegfylling. Denne vollhøyden er ikke tilstrekkelig for å hindre sørpeskredmasser å flyte over kanten og inn i boligområdet på nordsiden og derfor må tiltak til.

Planlagt vollhøyde er rundt 12 m de fleste steder, men ved bergknausen øverst oppe er vollhøyden tatt ned til dagens terreng for at anleggsmaskiner og doser skal kunne ta seg ned i kanalen for vedlikehold, dosing m.m. På 10-15 m strekning ovenfor vei 500 går vollhøyden ned til omtrent 9 m og der vil vollgeometri endres pga. tilpasning til veien. Ved eventuelle detaljprosjektering må denne reduksjon i høyde revurderes, da det fører til noe overløp ved beregninger av de største sørpeskredhendelsene.

Nedenfor vei 500 har vi gått ut fra en vollhøyde på 7-8 m for å hindre skredmassene å nå til boligområdet nord for Vei 505.

Bredde på vollkronen er satt til 2 m, men den kan være bredere ovenfor Hilmar Rekstensvei hvis ønskelig. Nedenfor Hilmar Rekstensvei vil breddeøkning være vanskelig pga. begrenset plass og tilpasning til Vei 500.

Inn- og utvendig helning på vollen i tverrsnitt er satt til 1:2 til 1:1,8 de fleste steder, men helningen er brattere ved bergknausen for å minimere skjæringer. Helningen vil også endres like ovenfor Vei 500 bl.a. for å svinge skredmasser riktig inn mot Vei 500 og dermed hindre at skredmasser har retning mot boligområdet nord for Vei 505.

Forsterkningsmateriale (gabioner el. lign.) er tenkt i det bratte partiet ovenfor vei 500.

5.4.1.6 Voller og kanal i Vannledningsdalen

Den østlige avslutningen på vollene og kanalen i Vannledningsdalen er foreløpig litt uklar og bør diskuteres nærmere i detaljprosjekteringsfasen. Voll på sørsiden vil kunne tilpasses på relativt enkel måte til dagens terreng, men på nordsiden er det behov for vollkonstruksjon ovenfor bergknausen for at endre på strømningen av sørpen. Der er høyden satt til omtrent 8 m.

Kanalbunnen i tiltaket bør tilpasses dagens elvebunn.

5.4.1.7 Perleporten

Med dette forslaget blir Perleporten lukket og gangtrafikk henvises til bro på Vei 500.

5.4.2 KB2_02_B: Bro ved Vei 500 over Vannledningselva

LL ønsker seg en bro over Vannledningselva som gjør ferdsel for folk og skuter sikker, men er innforstått med at kostnaden kan avgjøre størrelsen av brokonstruksjonen og dens

sikkerhet. Sørpeskred antas å være dimensjonerende for lysåpningen på broen, og vi er bedt om å se på hvilket sikkerhetsnivå som oppnås med ulike størrelser på lysåpningen.

En mulig løsning er å etablere ledevollene, men å la dagens bro stå. Ledninger og rør må trolig føres fra Perleporten ned til Vei 500, og det vil kreve noe arbeid og investeringer. Vi antar derfor at LL ønsker en ny bro.

5.4.2.1 Lysåpning og sikkerhetsnivå

Ved vurdering av sikkerhetsnivå har vi tatt utgangspunkt i følgende:

- 2 ulike størrelser på bro. Begge er med vertikal lysåpning på omtrent 4,8 m, men det ene alternativet har en bredde på 10 m mens det andre har en bredde på 22 m. Kostnaden ved disse to bro-størrelsene er omtrent like, og vi har gått videre med vurderinger av bare en bro med bredde på 22 m.
- Skredmassenes strømningsmønster ved broen er vurdert ved å kjøre beregninger i RAMMS som beskrevet i avsnitt 3.3, og med et terreng som gitt av vollens design. I alle beregninger er det anvendt en bredde på bro på 22 m, og anslag på oppstuving av skredmasser foran broen er derfor mindre enn de vil være for en bredde på 10 m.
- I vurderingene har vi bare sett på den raske delen av skredbevegelsen. I alle beregningene er det sakteflytende masser som går forbi Vei 500, men dette mener vi skyldes numeriske løsninger i RAMMS, mer enn reell skredstrøm.
- Ved beregningene har vi ikke regnet med at det er masser i kanalen, som snø eller løsmasser. Dermed er resultatene noe mindre konservative enn hva man kan forvente under naturlige forhold (avsatt snø og løsmasse i kanalen). Masser i elveløpet må håndteres ved graving, dosing og generelt vedlikehold av tiltaket.

Forsiktige anslag på viktige parametre av skredmassenes bevegelse ved innløpet til broen er vist i Tabell 11. Basert på beregningene og våre tolkninger av disse, har vi i Tabell 12 skissert et antatt sikkerhetsnivå ved de to ulike bro-typer (bred vs. smal) og med ulike forutsetninger for hvordan åpningen under broen ser ut (helt rent vs. 50 % tilstoppet).

Dersom man ønsker økt sikkerhet for trafikanter på strekningen over broen mellom de to ledevollene, uten å endre på ledevollene kan man for eksempel etablere et overvåknings- og varslingssystem. Dette kan bestå av sensorer (for eksempel radar) som kontinuerlig i vinterperioden overvåker Vannledningsdalen. Dersom et sørpeskred detekteres, stenges Vei 500 med bommer eller trafikklys. God og forutsigbar effekt av en slik løsning vil avhenge av blant annet vedlikehold. Vi har grovt estimert kostnaden for et slikt system til 2 mill. NOK, med årlige vedlikeholdskostnader på omtrent 200.000 NOK. Disse kostnadene er ikke regnet med inn i den totale kostnaden for denne løsningen, fordi vi er usikre på om LL ønsker en slik løsning.

For beskrivelse av utfordringene med vind og snø i kanalen mellom ledevollene, samt under broen, se avsnitt 5.4.6.

Tabell 11: Anslag på flytehøyde, masseføring og estimert minste areal av lysåpning under broen, ved de ulike scenarioer. Beregningene er utført med en bro-bredde på 22 m. Maksimal flytehøyde ved en bro-bredde på 10 m vil trolig være større enn vist her.

Scenario	Maksimal flytehøyde i kanal (m)	Maksimal masseføring (m^3/s)	Hastighet ved maksimal masseføring (m/s)	Nødvendig areal (m^2)	Kommentar
1/10	-	-	-	-	Når ikke broen (gitt at dosing utføres).
1/20	-	-	-	-	Når ikke broen (gitt at dosing utføres).
1/50	3,8	300	12	25	Litt sprut over nord-siden av bro pga. klatring på voll. Flytehøyde kan være større med smalere bro.
1/100	6,0	890	12	74	Sprut over bro, mest i nord.
3/1000	6,0	1 350	15	90	Sprut over bro, mest i nord.

Tabell 12: Estimert sikkerhetsnivå ved de to ulike bro-typer (bred vs. smal) og med ulike forutsetninger for hvordan åpningen under broen ser ut (helt rent vs. 50 % tilstoppet.

Bro	Lysåpning, areal (m^2)	Sikkerhetsnivå	Kommentar
10 m x 4,8 m; helt rent innløp	48	1/20-1/50	1/10 og 1/20 når ikke frem; 1/50 kan gå på brodekket på grunn av maks flytehøyde der massene klatrer på nordsiden av vollen foran broen.
10 m x 4,8 m; 50 % tilstoppet innløp	24	Omtrent 1/20	1/10 og 1/20 når ikke frem; ikke nok kapasitet og høyde til 1/50.
22 m x 4,8 m; helt rent innløp	85	Omtrent 1/100	1/100 vil gå over pga. maks flytehøyde i nord-enden der massene klatrer på nordsiden av vollen foran broen.
22 m x 4,8 m; 50 % tilstoppet innløp	43	1/50-1/100	-

5.4.2.2 Vei 500 og sideveier

Vei 500 er hovedveien mellom Nybyen og sentrumsområdet i Longyearbyen. Det vil bli nødvendig å justere høyden på veien for å få en broåpningshøyde på ca. 5 m i elveløpet, slik det er skissert i et ønske fra LL. Forslaget som har blitt brukt nå er omtrent 1,8 m over

dagens vei midt i elveløpet med en høydekurve på R=2000 m omtrent 65 m nord for elveløpet.

Sør for Vannledningselva vil det bli omtrent 100 m med endring på veiprofil og nord for elva blir det omtrent 250 m. På sørsiden av elven har den nye veien omtrent 1 % helning mot nord som anses å være minimum helning for denne veistrekningen.

LL har engasjert Rambøll Norge AS for å forprosjektere ny veigeometri på vei 500 ved Vannledningselva, men vi har ikke sett tegningene. Veitraseen og vollene må tilpasses hverandre i detaljprosjekteringsfasen. Våre forslag her er i tråd med forslag fra LL tidlig i fasen.

Endring på veistrekningen over Vannledningselva vil påvirke vei 501, 219 og 505. Det blir nødvendig å heve kryssene til vei 501 og 219. Etter ønske fra LL har veikryss 505 blitt flyttet lengre mot sør og koblet inn mot vollen på nedsiden av vei 500. Dette for å få noe økt areal for tomten mellom vei 500 og 505.

Ved Vannledningselva på begge sider av veien ligger en del av teknisk infrastruktur som vil bli nødvendig å legge om ved endret veigeometri, bro og voller. Prosjektering av dette har LL engasjert Rambøll Norge AS til å gjøre.

5.4.2.3 Voll/vei på nedsiden av vei 500

På nordsiden av elveløpet nedenfor/vest for vei 500 blir det nødvendig å bygge en ledevoll for å hindre at sørpe som skvetter over veien kommer over til tomten nord for vei 505. Vollens høyde nærmest vei 500 er ca. 7-8 m fra planlagt elvebunn, men omtrent 2 m fra planlagt opphøyd vei over Vannledningselva. Vollens høyde holdes på ca. 20 m strekning mot vest før den går sakte ned til omtrent 3 m over planlagt elvebunn. Planlagt helning på vollsidene er rundt 1:1,8, men fra vollfot ned til elvebunn vil helningen være betydelig slakere og med varierende helning.

Mellom vollen og vei 505 er det tenkt flatt område av varierende bredde i omtrent samme høyde som vei 505; området er smalest rundt 3,5 m nærmest vei 500.

5.4.3 Fordeler/Ulemper

Tabell 13 viser fordeler og ulemper ved løsning KB2_02.

Tabell 13: Fordeler og ulemper ved løsning KB2_02, ledevoller og bro Vannledningselva.

Fordeler	Ulemper
- Forventede sørpeskredmasser kan gå rett ned til Longyearelva. Dette gir redusert usikkerhet rundt håndtering av sørpeskredmasser i forhold til svingvollen (KB2_03). - Vollene bygges av stedlig materiale med en naturlig helning på sidene, og ser ikke så voldsomme ut i terrenget som voller med bratte sider. - Vedlikehold bør være relativt enkelt pga. naturlig helning og materiale, samt enkelt tilkomst. - Krysser ikke kulturminner. - Er i tråd med dagens ledevoll.	- Ledevollene tar stor plass. - Perleporten forsvinner. - Trafikanter er fortsatt utsatt på kort strekning. - Det er behov for ny sti fra HR til vei 500 - Krevet ny og dyr bro på vei 500. - Broen/opphøyningen ved vei 500 er et hinder som kan få skredmassene til å sprute. - Rundt vei 500 er det behov for noen oppstramming av vollsidene med andre typer materialer. - Vindeffekt og snø ansamling rundt vei 500 kan være utfordring. - Vei til boliger på Haugen nærmest kanalen må bygges om. Driftsproblemer kan oppstå vinterstid. - Teknisk infrastruktur ved vei 500 må legges/bygges om - Mest sannsynlig mer snø i elveløpet nedenfor Perleporten enn pr. i dag i visse vindretninger - Sannsynligvis må elveløpet på begge sider av broen brøytes vinterstid.

5.4.4 Mengder og kostnad

Tabell 14 gir overordnet informasjon om mengder og kostnader for sikringsløsningen.

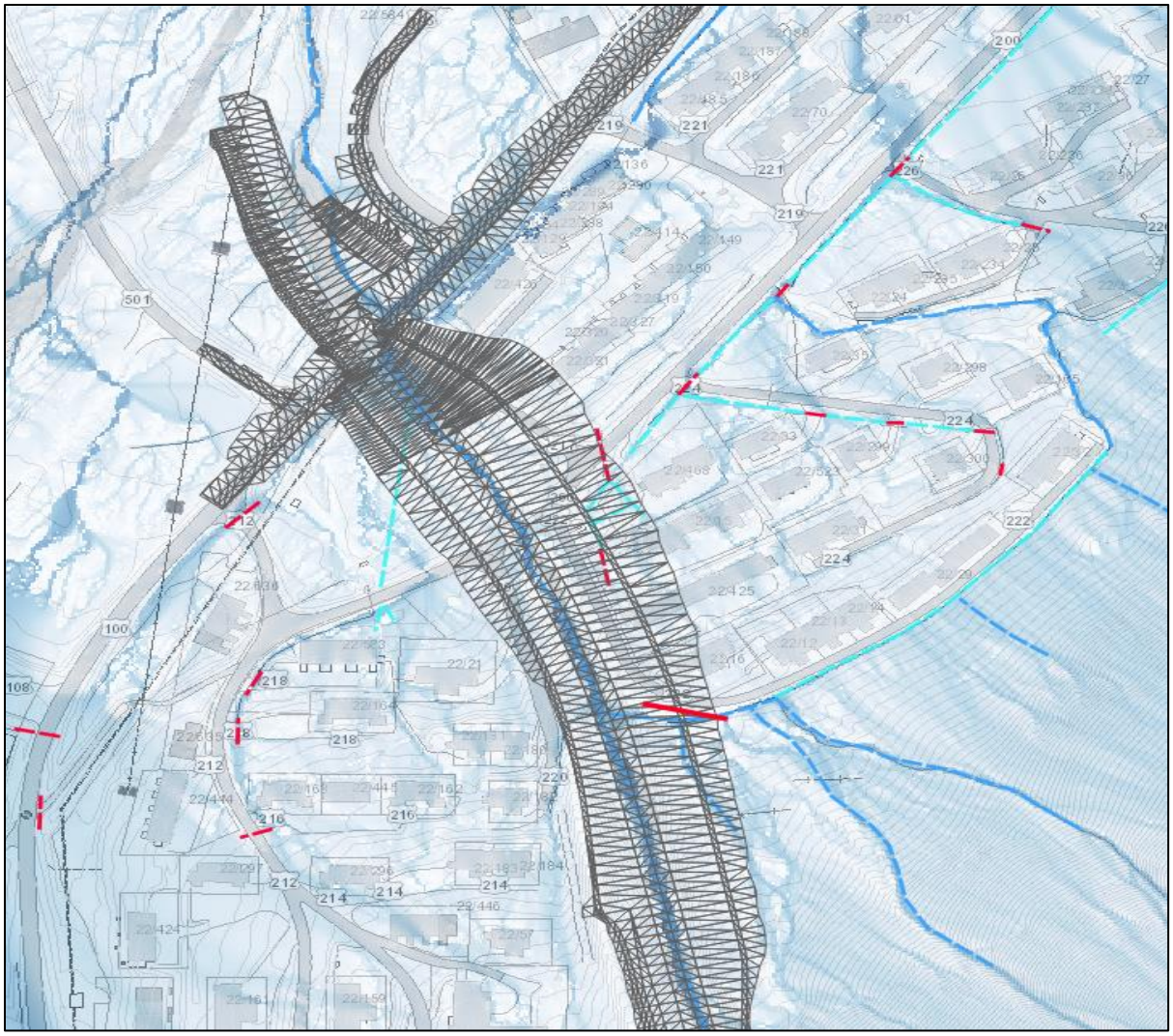
Tabell 14: Estimerte mengder og kostnader for sikringsløsning KB2_02. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

Materiale	Enh.	Mengder	Enh. Pris	Total kNOK	Bemerkning
Støttefylling	m³	92 676	780	72 287	Målt på dagens terreng
Kjernemateriale	m³	0	780	0	
Fasademateriale	m³	1 689	3 600	6 080	Her satt til 1 m inn i vollen
Fundament kjerne	m³	0	780	0	
Fundament støttefylling	m³	22 500	780	17 550	2m ned for vollene, vil sannsynlig bli noe mindre i detaljprosjekteringen.
Utskifting av materiale	m³	7 500	780	5 850	Utgravet utenfor voll, 7,5 m
Overvannshåndtering	RS	0	600 000	0	
Veibane/erosjonslag grøft	m³	0	780	0	
Jordarmering/geogridd	m²	5 000	120	600	
Ubrukbart materiale ut	m³	15 018	780	11 714	
Bunn erosjonssikring	m³	8 800	1 320	11 616	
Bro på vei 500	stk	1	24 000 000	24 000	Inkluderer bare bro, ikke annen infrastruktur. Kostnad for bro med bredde på 10 m og på 22 m er omtrent lik.
Total				**149 698**	

5.4.5 Overvann/Grunnvann

For alternativet med ledevoller langs Vannledningselva avskjæres muligheten for å avlede vann fra eventuelle ledevoller ovenfor Hilmar Rekstensvei mot sør, og dette må avledes mot nord.

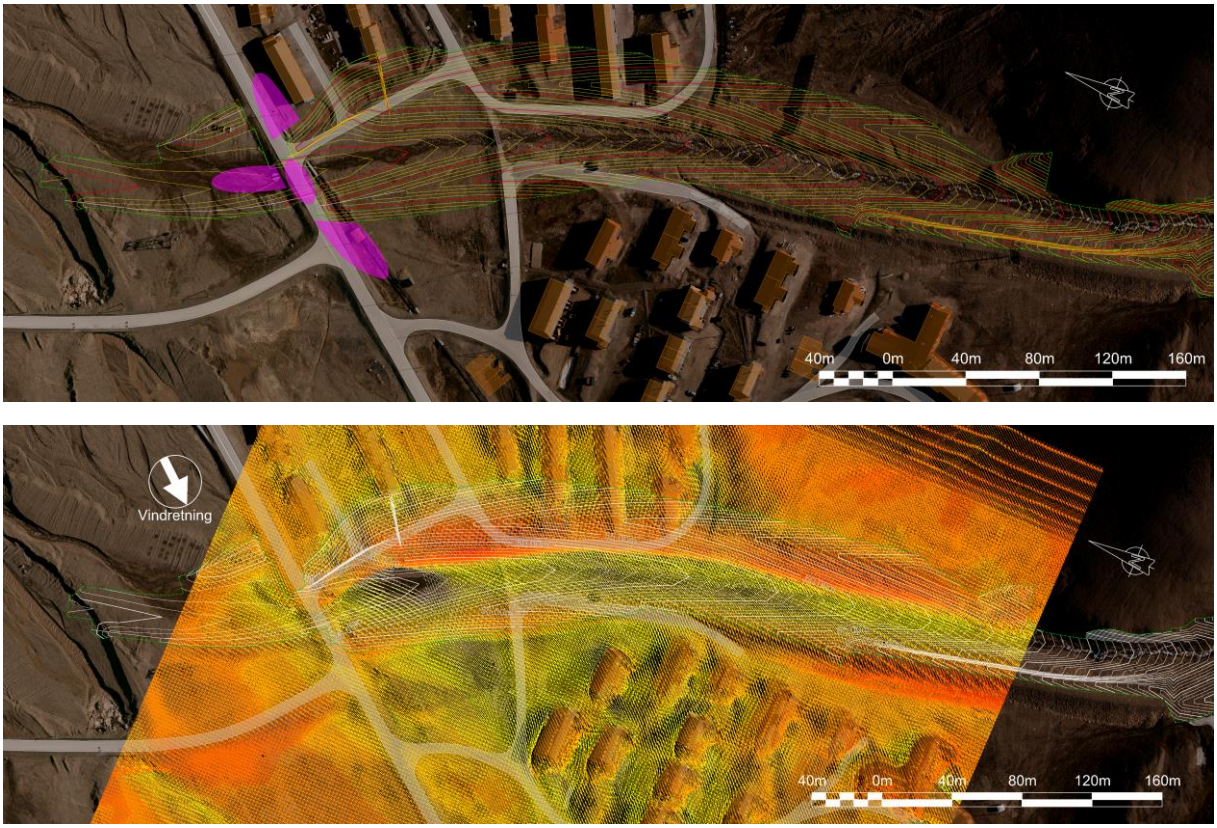
Grøften i overkant av dagens bebyggelse ledes gjennom vollen i en stikkrenne. Det etableres en flomvei langs foten av ledevollen som aktiveres ved tilstopping av stikkrenna.



Figur 16: Skisse med foreslått overvannsløsning med sikringsløsning KB2_02, ledevoller langs Vannledningselva. Blå linjer viser åpne grøfter, røde linjer lukkede stikkrenner og kulverter. Dette er nærmere beskrevet i Skred AS rapport 18241-03 [27].

5.4.6 Vind- og snøakkumulasjon

Med vind fra nord (inn i dalen) kan en forvente at det vil bli fonndannelser på begge lesidene av vollene langs elven (Figur 17). Disse kan utgjøre en risiko ved at de kan falle ned, men på grunn av slak helning i vollsidene vurderes risikopotensialet som lite. Ved Vei 500 er det foreløpig litt uklart med vindforhold fordi detaljene rundt kryssingen mellom Vei 500 og ledevollene ikke er ferdig designet. Her er det antatt at høyden på vollendene ovenfor veien er rundt 4 m, men vollen på nedsiden rundt 3 m. Ved vind fra nord vil vinden trolig bli ledet av bygninger slik at den i noen grad går langs veien. I området ved voller blir vinden kanalisert i det nederste laget og en kan forvente fonner ved vollendene i retning sør og i leområdene mellom de to vollene. Sterke vinder kan også blåse rundt endene og her kan det bli redusert sikt.



Figur 17: Rosa flater på øvre figur viser områder som det kan forventes fonndannelser fra nordlige og sørlige vindretninger, og vind fra Vannledningsdalen. Nedre bilde viser beregnet vindretning. Bakgrunnsbilde: Norsk polarinstitutt.

I tilfelle vind fra sør vil det nordlige vindbildet tilnærmet være speilet. Fonnene legger seg på nordsiden. I denne vindretningen kan det også være vind fra Vannledningsdalen som gjør bildet litt mer komplisert. Det kan være vindkast/virvler rundt vollendene fordi vind fra ulike retninger vil ha varierende styrke til hvert tidspunkt. Vind ned Vannledningsdalen vil i noen grad følge ledevollene ned til vei 500. Vind fra Vannledningsdalen har vært problem for bygningene ved vei 222 og det er forventet at det vil den også være etter bygging av vollene.

Derfor kan det være lurt å flytte eksisterende snøsamleskjermer lengre mot nord.

Det er forventet at bygging av vollene vil føre til økte snømengder i elveløpet spesielt nedenfor Perleporten sammenlignet med det som er i dag. Mengder vil dog avhenge av samspillet mellom vind fra de ulike vindretningene, og hvilke snøfonner ligger i elveløpet når varmt vær slår inn og pakker snøen. I Vannledningsdalen har det blitt målt rundt 4 m snøhøyde i «vanlig» vinter, og det kan også skje ovenfor vei 500, men da kanskje i snørike vintre.

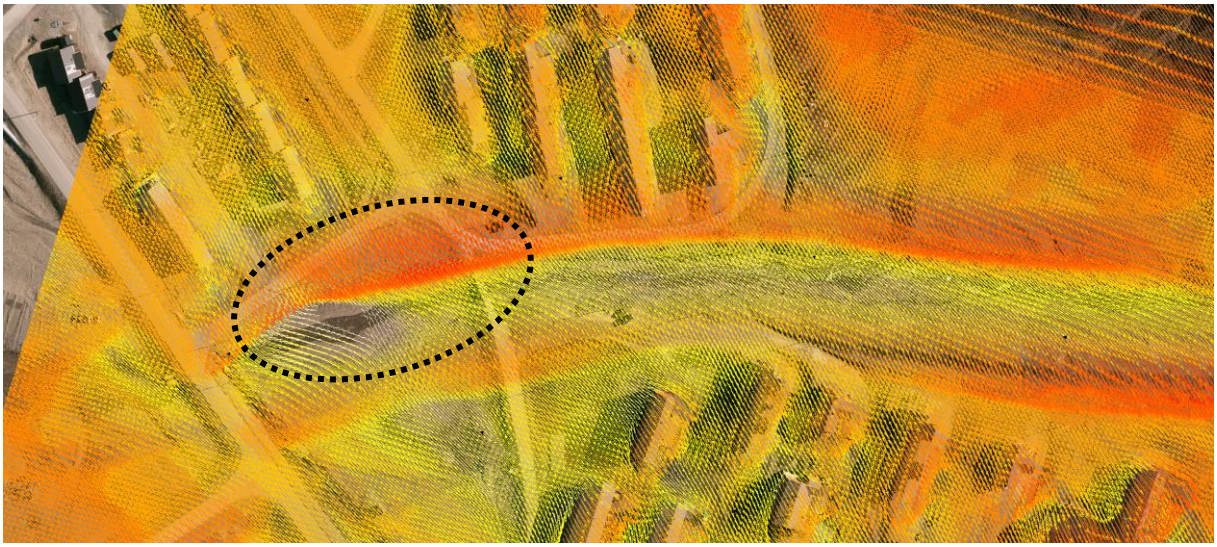
Når vind fortsetter fra Vannledningsdalen og videre ned langs kanalen mellom de to vollene, vil den treffe broen. Da vil del av vinden blåse under broen og del over den. Det er fare for at

boren (med tykkelse på ca. 80 cm og rekkverk/gjerde) vil bli et hinder slik at det kan avsettes snø på oversiden som etter hvert fører til at vinden kan strømme kraftig under broen for så å miste evnen til å transportere snø på nedsiden av broen, der det også vil avsettes snø. Slik tendens har blitt observert og vises på Figur 18 nedenfor.

Figur 18: Øvre bildet viser fonn på oversiden/vindsiden av broen. Nedre bildet viser fonndannelse på nedsiden av samme bro samme dag. Vinden blåser fra høyre.

Ved store snøavsetninger i kanalen foran broen, er det sannsynlig at størstedelen av eventuelle sørpeskred vil gå over broen. Det kan derfor være behov for brøyting av snø som avsettes oppstrøms- og nedstrøms broen. Det er foreløpig ukjent om dette blir reelt problem ved Vannledningselva, men dette er vist som mulige scenarier.

Seint i forprosjekteringsfasen ble Windsim AS engasjert til å utføre vindsimuleringer for ledevollene og veien. Foreløpig resultat viser interessante vindfelt, se Figur 19.



Figur 19: Vindsimulering ved Vei 500, Hilmar Rekstensvei, Vei 222 og Vannledningselva med sikringsløsning KB2_02 (ledevoller). Fargede pilene (vindfeltet) viser vindstyrke i hvert punkt med 2x2 m oppløsning 2 m over bakken. Rød farge viser kraftig vind og lysgul vise liten vind. Vindretningen er inn Longyeardalen (40°) og grensebetingelsen er vindstyrke på 20 m/s i ca. 7000 m høyde. Kraftig endring i farge f.eks. rødt til gult på kort strekning (inne i ellipsen) viser potensielt områder for fonndannelse i det gule området (lesiden). Dette området er toppen på vollen rett før høyden avtar fra 12 m ned til 8 m ved vei 500. Det er også interessant å se området til venstre i ellipsen som indikerer nesten vindstille område. Vindsimulering: Windsim AS.

5.4.7 Faresoner

Faresoner med og uten tiltak er vist i tegning 18241-03-KB2_02-02.

5.4.8 Berørte eiendommer

Antall bygninger som får endret faresonen de ligger i, er estimert som følger:

- Antall S3-bygg som flyttes utenfor S3-sonen: 4 hele bygg.
- Antall S2-bygg som flyttes utenfor S2-sonen: 7 bygg med omtrent 15 boenheter.
- Antall S1-bygg som flyttes utenfor S1-sonen: 0.

Antall bygg som trolig må fjernes på grunn av tiltakene: 6 bygg med 20-30 boenheter. Alle bygningene ligger på nordsiden av Vannledningsdalen, og flere av de ligger innenfor faresonen 1/100.

Se ellers mer detaljert redegjørelse i nytte/kost vurderinger utført av LL og NVE.

5.4.9 Teknisk infrastruktur

Det ligger mange ledninger (kabler og rør) ved vei 500 over Vannledningselva. Planlegging av omlegging av ledningene er et eget prosjekt som det jobbes med samtidig sikringstiltakene. Ledninger i dette området blir ikke diskuter mer her. Det ligger lavspente kabler i vei 217 og

rundt boligene ved Vei 222. Øverst på viften ligger den en luftlinje tvers over planlagt kanal. Sannsynlig vil denne kraftlinjen måtte fjernes eller legges om.

5.4.10 Grunnforhold

Innenfor voll- og kanalområdet ligger bare ett Sintef [23] borehull, dvs. hull nr. 55, men hull nr. 51, 53 og 54 ligger noen meter utenfor, mot nord. To prøvesjakter (P2 og P6) fra Rambøll ligger innenfor voll- og kanalområdet, men P1 og P4 ligger ikke langt unna.

Det viser seg at det er dårlig byggemateriale i P2, men de andre viser noe bedre materiale. Sintef hull nr. 51 og 53 viser bedre materiale enn P2. Med noen sortering anses materialet å være brukbart i støttefylling med evt. armering eller drenerende lag.

5.4.11 Kulturminner/-miljø

Vebbsiden om kulturminnesøk viser at planlagt tiltak ved Vannledningselva treffer ikke kulturminner. Nedenfor Vei 500 er en taubanebukk, som ligger utenfor planlagt tiltak. Taubanebukken kan bli truffet i tilfelle store, sjeldne sørpeskred. Det kan være mulig å bygge en enkel plogvoll foran bukken, men det er utenfor dette oppdraget.

5.4.12 Usikkerheter og restrisiko

Følgende momenter mener vi er forbunnet med størst usikkerheter i denne sikringsløsningen:

- Undulasjoner i sørpeskredmasser nedover i Vannledningsdalen har stor innvirkning på hvor massene treffer øvre delen av vollen. Dette har igjen stor betydning for effekten av vollen både i dette område og lenger nedover.
- Den endelige løsningen i krysningen mellom ledevoller og Vei 500 er ikke helt ferdig tenkt, og her er det en del usikre punkt som bør avklares nærmere.

Det vil være en restrisiko forbunnet med følgende:

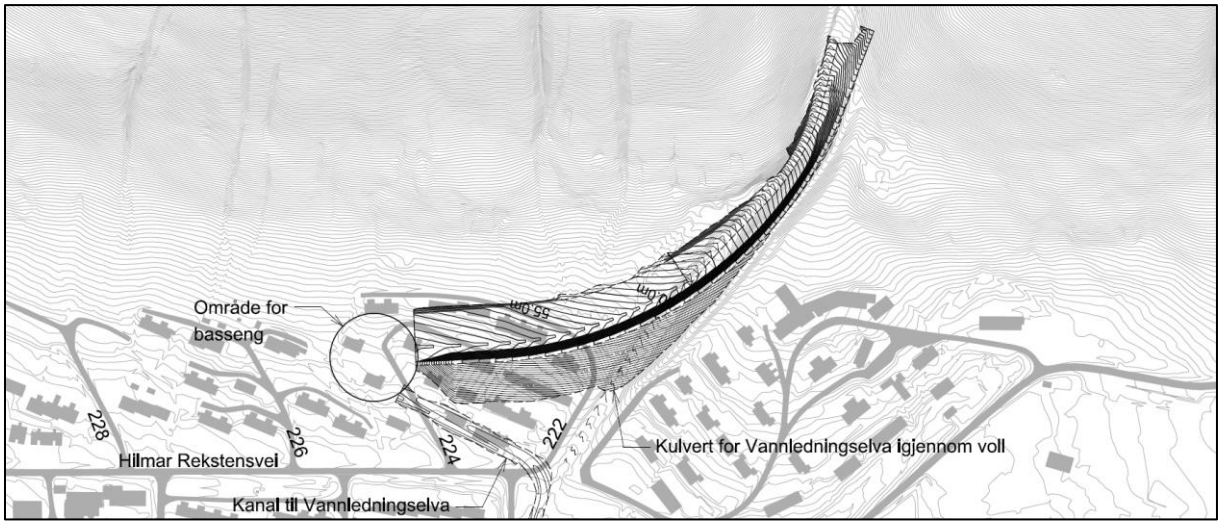
- Våre beregninger viser at svært store og raske sørpeskred kan få stor klatrehøyde på en ledevoll ved utløpet av Vannledningsdalen. Dersom skredmasser klatrer over den øvre delen av vollen vil de ha retning mot Funken. I dette området må vollen designes og bygges høy nok til å redusere denne restrisikoen.
- Vind og avsetning av snø rundt vollene og broen. Dersom det kommer mye drivsnø mellom vollene, vil transportkapasiteten for sørpeskredmasser reduseres.

5.5 Sikringsløsning KB2_03: Svingvoll ved utløp av Vannledningsdalen

Denne sikringsløsningen består av tiltakene vist i Tabell 15. Foreslått plassering av svingvollen og bassenget er vist i Figur 20.

Tabell 15: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_03.

Tiltak	Beskrivelse
KB2_03_A	Ledevoll/svingvoll (der deler også fungerer som fangvoll)
KB2_03_B	Basseng for skredmasser
KB2_03_C	Drenskanal til Vannledningselva



Figur 20: Foreslått plassering av svingvoll fra munningen på Vannledningsdalen og mot nord, som er til venstre på figuren.

5.5.1 KB2_03_A, KB2_03_B og KB2_03_C: Samlet løsning med svingvoll, basseng og grøft

5.5.1.1 Funksjon

Funksjonen er å lede sørpeskredmasser fra utløpet av Vannledningsdalen i en «sving» fra viften til nord nedenfor fjellfoten. Målet er at massene dreneres (vann siver ut) så fort som mulig slik at de faste massene stopper opp. Nord for vollen er det tenkt ett oppdemningsbasseng der hovedparten av sørpeskredmasse forventes å stoppe. Vann som kommer med skredmassene vil bli ført tilbake til Vannledningselva via en grøft. Generelt er bassenget ikke tenkt å være fylt med vann, det skal bare fungere i helt spesielle situasjoner.

Ett annet mål med denne løsningen er at den nordlige delen av vollen er en fangvoll mot snøskred fra sørlig del av fjellsiden og er ment å sikre området nedenfor Hilmar Rekstensvei.

Det vil bli behov for bygging av en ekstra fangvoll nedenfor bassenget og lengre mot nord. Dette for å hindre at sørpeskredmassene fra dimensjonerende hendelser når inn i

bebyggelsen nord for svingvollen. Denne vollen er tenkt utført i forlengelse av vollene ovenfor sentrumsområdet, som beskrevet i avsnitt 5.3 og 5.6. En versjon av denne vollen er beskrevet i 5.7.

For å opprettholde dagens elveløp er det planlagt en stor kulvert i gjennom vollen. Åpningen blir ikke så stor at vesentlige mengder med sørpe vil gå igjennom kulverten, men uansett må en regne med at noe kan komme igjennom. I tillegg er det ønskelig at små maskiner kan kjøre igjennom. Høyde og bredde er derfor tenkt rundt 4 m.

5.5.1.2 Plassering

Svingvollen er tenkt å starte ved munningen på Vannledningsdalen og den tar en stor sving rundt bergknausen og ned i dagens bebyggelse. Avslutningen på vollen er ved Vei 224, bygninger 6 og 8. Bassenget er nord og nedenfor vollen, der bygninger 5 og 7 står i dag. Drensgrøften vil omtrent være der bygninger nr. 1A-D, og 2 og 4 er i dag.

5.5.1.3 Kanalbunnen

Kanalbunnen skal være 12 m bred og designet med geometrisk plan og profil for å oppnå best mulig form for å lede sørpeskred mot nord. Midt i bunnen skal det være grøft/renne for dagens elv, men der vollen svinger mot nord forsetter kanalen i kulvert i gjennom vollen og ned til Longyearelva. En liten grøft blir laget langs vollen nordover slik at oversvømmelser og grunnvann kan ledes via bassenget tilbake til Vannledningselva nedstrøms Perleporten.

Ved vollens ende kobles kanalen til bassenget som er tenkt å være omtrent sirkulert form med radius 15-20 m. I normal tilstand skal vann ikke være i bassenget, fordi det skal strømme direkte til Vannledningselva.

5.5.1.4 Støtsiden

I munningen på Vannledningsdalen er det viktig å beholde dagens sidehelning for så å gå gradvis over til brattere vollside. Her er gått ut fra at endringen skjer ned til bergknausen, derfra skal sidehelningen på vollen være 2:1. Fasaden skal bygges av steinkurver/gabioner eller lignende materiale som kan tåle sideerosjon, se nærmere beskrivelse av materialer i avsnitt 6.1.

5.5.1.5 Baksiden

Baksiden av vollen er generelt tenkt med helning på 1:2, men helningen kan variere noe fra denne helningen når landskapsarkitekt har satt sitt preg på vollen.

5.5.1.6 Toppbredde

Toppbredde, vinkelrett på skredretning er satt til 3 m. Utfra sikkerhet og estetiske grunner kan det være ønskelig å øke toppbredden. Det kan også være byggetekniske grunner til at volltoppen bør være bredere. Dette vil bli avgjort i detaljprosjekteringsfase.

5.5.1.7 Vollender

I munningen på Vannledningsdalen vil vollen gradvis bygges opp fra dagens terreng slik at det skal ikke bli en klar ende på vollen.

Ved Vei 224 er gått utfra relativt bratt vollende 1:2 – 2:1 men nærmere utførelse vil bli gjort i samarbeid med landskapsarkitekt og LL.

5.5.1.8 Høyde

Høyden vil variere fra Vannledningsdalen til vei 224. På det høyeste nedenfor bergknausen og mot nord vil høyden være rundt 15 m. Høyde er satt i hht. premissene gitt i kapittel 4.1.

5.5.1.9 Kapasitet

Det er vanskelig å estimere kapasiteten dvs. muligheten til å lagre sørpe som kan komme ned i en hendelse. Hvis man tar med ca. 50 m strekning langs vollen og bassengområdet gir dette rundt 8000 m². Hvis man estimerer gjennomsnittshøyde på avsatte masser som 8 m (som er vesentlig lavere enn vollen) blir volumet over 60000 m³.

Vollen skal også kunne ta imot snøskred fra den sørlige delen av fjellsiden nedenfor Sukkertoppen. Grovt beregnet kapasitet anses å være tilstrekkelig for dette formålet.

5.5.2 Fordeler/Ulemper

Tabell 16: Fordeler og ulemper ved tiltak KB2_03.

Fordeler	**Ulemper**
- Trenger ikke å endre på infrastruktur ved vei 500. - Perleporten kan beholdes - Bygninger på Haugen blir ikke berørt av tiltaket (men får økt sikkerhet mot skred) - Mjuke trafikanter blir utsatt for mindre skredfare enn i dag. Tryggere skolevei. - Enkel tilgang til å vedlikeholde tiltak. - Høyde på voll kan reduseres høyere oppe, hvis man ikke ønsker at vollen skal sikre mot snøskred i den sørlige delen av Lia nedenfor Sukkertoppen.	- Mange bygninger må fjernes, og slik sett er effekten av tiltaket begrenset. - Det trengs store mengder materiale for vollen. - Det trengs tilleggstiltak som basseng og en voll nord for svingvollen. - Det trengs en grøft/kanal fra bassenget til Vannledningselva - Grunnforhold kan være krevende på deler av området.

5.5.3 Mengder og kostnad

Mengdene baserer seg på modellberegninger i DAK systemet.

Tabell 17: Estimerte mengder og kostnader for svingvoll, løsning KB2_03. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

Materiale	Enh.	Mengder	Enh. Pris	Total kNOK	Bemerkning
Støttefylling	m^3	67 237	780	52 445	Målt på dagens terreng
Kjernemateriale	m^3	40 586	780	31 657	
Fasademateriale	m^3	7 700	3 600	27 720	Her satt til 1 m inn i vollen
Fundament kjerne	m^3	13 550	780	10 569	I stort sett utgravet masse, 2 m ned
Fundament støttefylling	m^3	13 279	780	10 358	Utskifting 2 m ned
Utskifting av materiale	m^3	3 122	780	2 435	Utgravet nedenfor voll
Overvannshåndtering	RS	0	600 000	0	
Veibane/erosjonslag grøft	m^3	1 000	780	780	For anleggsvei og grøft ovenfor voll
Jordarmering/geogridd	m^2	33 619	120	4 034	
Ubrukbart materiale ut	m^3	10 176	780	7 938	
Kulvert	m	70	120 000	8 400	
Bunn erosjonssikring	m^3	5 400	1 320	7 128	
Basseng	m^3	3 000	780	2 340	
Total				**165 803**	

5.5.4 Overvann, grunnvann og flomavledning

5.5.4.1 Kulvert gjennom voll

Kulverten gjennom vollen må kunne avlede dimensjonerende flom i Vannledningselva. I praksis vil krav til lysåpning for adkomst med maskinell for resk og vedlikehold være styrende. Det er vurdert som del av forprosjektet at en lysåpning på opp imot 4 x 4 meter er nødvendig for adkomst med ønsket materiell.

Inntaket i fremkant av kulverten må utformes slik at hovedparten av massene i et sørpeskred ut Vannledningsdalen transporteres forbi inntaket og følger svingen videre. Ved en uheldig utforming av innløpet vil masser fra et sørpeskred kunne gjøre skade nedenfor vollen og kunne skade vollen.

For kulverten gjelder samme utfordringer med drivsnø som for broen over Vannledningselva ved Vei 500. Det er foreløpig uklart om slik kulvert vil få problemer med iskjøving.

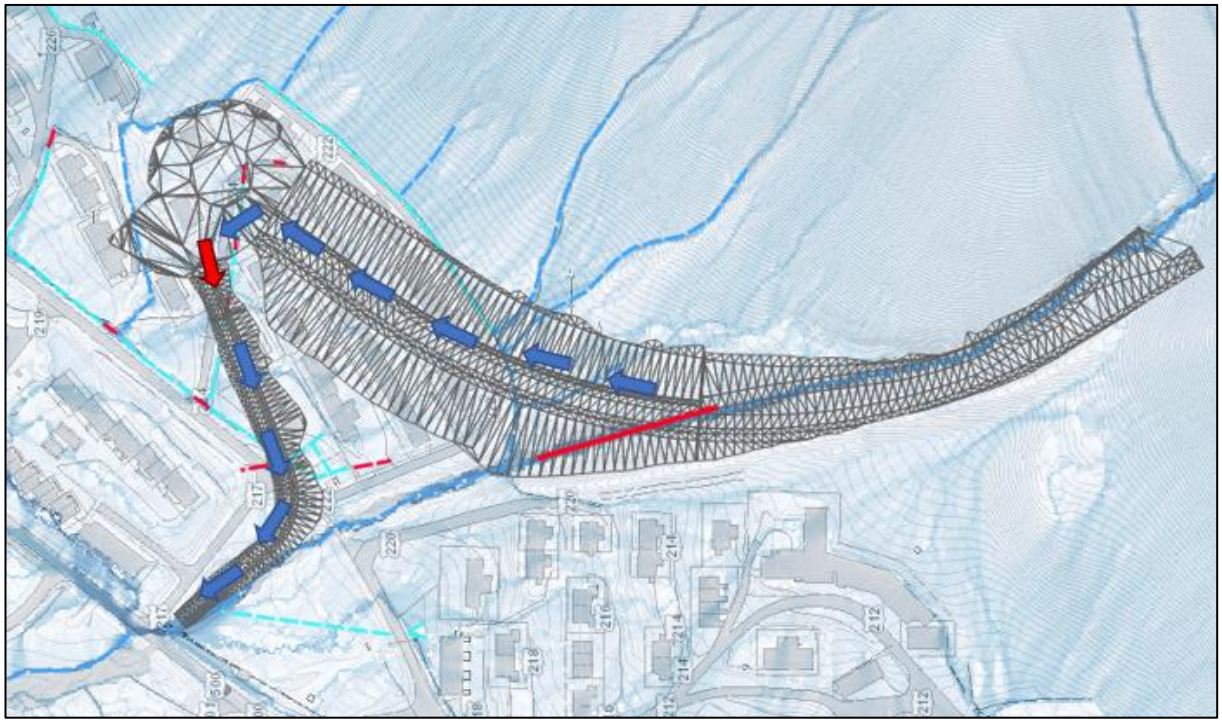
5.5.4.2 Basseng for avsetning, tilbakeføring til Vannledningselva

Bassenget for avsetning av masser fra sørpeskred vil drenere mot sør for tilbakeføring mot vannledningselva. En trygg tilbakeføring mot Vannledningselva er også viktig dersom kulverten gjennom vollen skulle gå tett. Det er ikke ønskelig å drenere disse massene nordover langs øvrige fangvoller og derfra ned gjennom bebyggelsen.

Det etableres en terskel ved utløpet av bassenget. I en normalsituasjon drenerer bassenget gjennom terskelen ved hjelp av en stikkrenne med begrenset lysåpning eller en innsnevring.

Ved et sørpeskred eller stor vannføring grunnet tilstopping av kulverten vil kapasiteten gjennom terskelen overskrides og det etableres et midlertidig vannspeil i bassenget. Figur 21 viser strømningsretningen for vann fra Vannledningselva ved en eventuell full tilstopping av kulverten gjennom vollen.

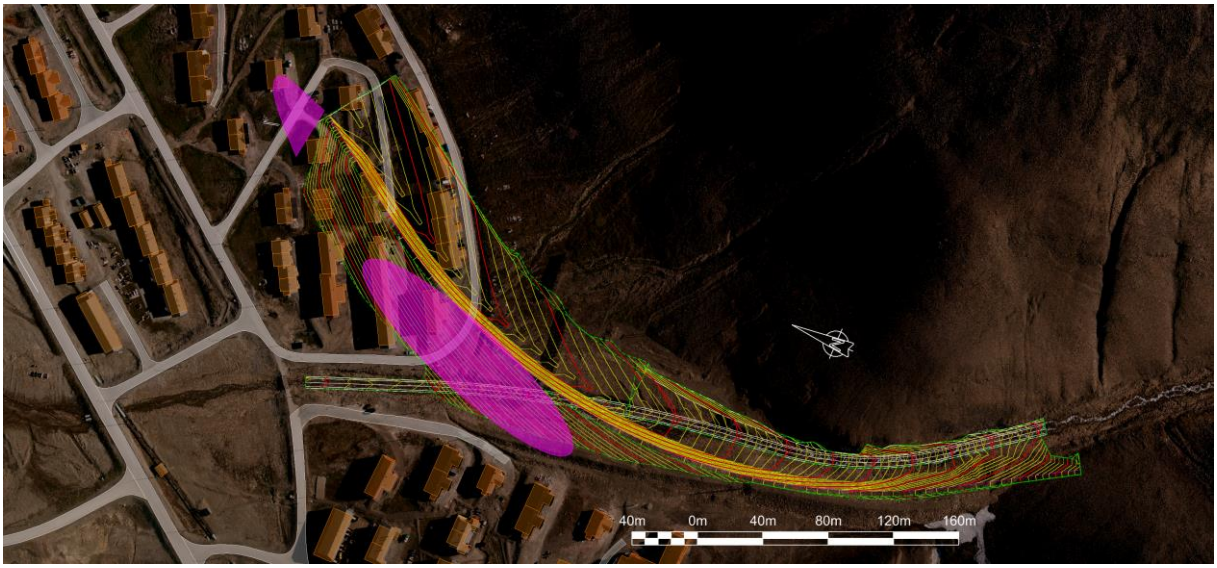
I nåværende prosjektfase har voller ovenfor Hilmar Rekstensvei (KB2_05) blitt lagt med fall nordover. Ved eventuell detaljprosjektering av denne løsningen må det vurderes om deler av voller over dette partiet kan legges noe høyere i terrenget slik at også dette partiet kan drenere sørover mot Vannledningselva.



Figur 21: Avrenningsretning ved tilstopping av kulvert i svingvoll Vannledningsdalen. Blå piler viser flomvei, røde linjer er stikkrenner og kulverter. For detaljer se hydrologi rapporten: Skred AS rapport 18241-04 [27].

5.5.5 Vind- og snøakkumulasjon

Ved sørlige vindretninger ut dalen kan en forvente at det vil bli fonndannelser ved den nordlige enden av vollen (Figur 22), formen vil bli avhengig av hvor bratt enden blir. Fonnen vil nå inn over planlagt basseng (ikke vist på figur). Det kan muligens dannes fonn på innsiden av vollen, men det er mest sannsynlig at vind ned Vannledningsdalen vil hindre slik fonndannelse.



Figur 22: Rosa flater på figuren viser områder som det kan forventes fonndannelser fra sørlig vindretning og vind fra Vannledningsdalen. Basseng er ikke vist på figuren. Bakgrunnsbilde: Norsk polarinstitutt.

Ved sterk vind ned Vannledningsdalen vil det laveste laget følge vollens form og strømme mot nord. Ved toppen, omtrent fra dagens elv og en del mot nord kan det formes fonn på nedsiden (lesiden) av vollen. Ved toppen kan det være små heng som kan ramle ned ved store mengder snø.

Vind vil kunne blåse kraftig igjennom planlagt kulvert i Vannledningselva. Det er mulig at det vil dannes en liten fonn på oversiden. På nedsiden kan en forvente en fonn like nedenfor kulverten.

Det kan forventes at vind fra nordlig retning vil øke i nærheten av de boliger som er nærmest elven.

5.5.6 Faresoner

For å komme frem til faresoner etter tiltak (tegning 18241-03-KB2_03-02) har vi gjort følgende antakelser:

- Svingvollen kombineres med voll KB2_05 i området der snøskred er dimensjonerende (før svingvollen gjør at sørpeskred muligens blir dimensjonerende i området).
- Dersom den nedre delen av svingvollen er stor nok til å stoppe dimensjonerende snøskred, slik vi har tegnet den, kan faresonene trolig reduseres som vist i tegning 18241-03-KB2_03-02.

Til tross for at faresoner for skred i Vannledningsdalen reduseres betraktelig, vil det trolig fortsatt være en flomsone langs Vannledningselva nedstrøms svingvollen.

5.5.7 Berørte eiendommer

Før denne løsningen etableres, må hovedparten av eksisterende hus ovenfor Hilmar Rekstensvei fjernes. Antall bygninger som får endret faresonen de ligger i, er estimert som følger:

- Antall S3-bygg som flyttes utenfor S3-sonen: 4 hele bygg.
- Antall S2-bygg som flyttes utenfor S2-sonen: 8 bygg med omtrent 35 boenheter.
- Antall S1-bygg som flyttes utenfor S1-sonen: 0.

Antall bygg som trolig må fjernes på grunn av tiltakene: 22 bygg med rundt 100 boenheter. Alle disse ligger på nordsiden av Hilmar Rekstensvei.

Se ellers mer detaljert redegjørelse i nytte/kost vurderinger utført av LL og NVE.

5.5.8 Teknisk infrastruktur

I voll- og kanalområdet ligger en del av lavspente kabler til de ulike bygningene. Likeledes er den en del lysestolper som må fjernes. Øverst på viften ligger den en luftlinje tvers over planlagt kanal. Sannsynlig vil denne kraftlinjen måtte fjernes eller legges om.

5.5.9 Grunnforhold

Innenfor voll- og kanalområdet ligger Sintef [23] borehull nr. 49, 51 og 53, men borehull nr. 50 og 54 ligger noen meter utenfor. To prøvesjakter (P2 og P3) fra Rambøll [25] ligger innenfor voll- og kanalområdet, men P1, P3 og P4 ligger ett stykke unna.

Sintef-prøvene viser brukbart materiale, P2 hullet viser dårlige masser. Generelt kan det sies at mesteparten av eksisterende materiale kan brukes, og muligens kan det være behov for jordarmering og drenslag i støttefyllingen.

5.5.10 Kulturminner/-miljø

Hjemmesiden om kulturminnesøk viser at planlagt tiltak ved Vannledningselva og nordover nedenfor Lia ikke vil treffe kulturminner.

5.5.11 Usikkerhet og restrisiko

Følgende momenter mener vi er forbunnet med størst usikkerheter i denne sikringsløsningen:

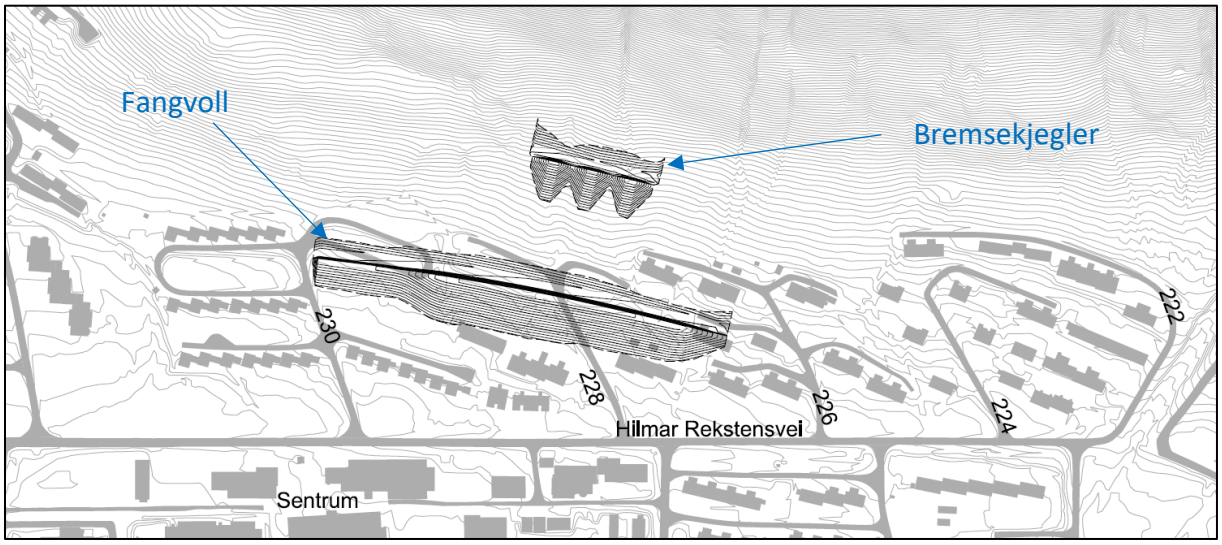
- Optimal størrelse på kulvert gjennom voll, for dels å unngå tilstopping og dels å unngå at sørpeskred renner igjennom kulverten og gjør skade på inntaket til kulverten.
- Sørpeskredmasser som stopper før de kommer ned til bassenget kan redusere effekten av svingvollen for neste sørpeskred. Dette må håndteres ved driftsrutiner.
- Det er usikkert hvordan vannføring vil være straks etter sørpeskredhendelse.
- Hvilket forsterkningsmateriale kan brukes i vollveggen.
- Grunnforholdene er ikke fullstendig avklart, noe som er viktig å få gjort spesielt for denne svært store vollen.

Vi ser følgende restrisiko ved svingvollen:

- Sørpeskred som er så store at massene svinger men ikke stopper før de når ned i bebyggelsen mot sentrum. Dette vil utsette svært mange boenheter for fare.
- Dersom det er betydelig sig i vollen (den vil bli stor, så det er ikke usannsynlig), er det en risiko forbunnet med at sørpeskred klatrer høyere på vollen etter hvert som siget blir større om vinkler på vollen mindre optimale for å svinge masser rundt med lavest mulig klatrehøyde.
- Flom og flomskred kan erodere i vollen, og dermed redusere effekten.
- Snøskred treffer nedre del av svingvollen og stopper utløpet. Deretter kommer et sørpeskred som blir sendt over vollen fordi snøskredmassene ligger der. Denne restrisiko kan i noen grad reduseres ved driftsrutiner, som for fangvoller og bremsekjegler.

5.6 Sikringsløsning KB2_04: Fangvoll og bremsekjegler over sentrumsområdet

Elementene i denne løsningen er vist i Tabell 18 og Figur 23.



Figur 23: Fangvoll (KB2_04_A) og bremsekjegler (KB2_04_B) ovenfor sentrumsområdet.

Tabell 18: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_04.

Tiltak	Beskrivelse
KB2_04_A	Fangvoll over sentrumsområdet
KB2_04_B	Tre stk. kjegler ovenfor fangvollen
KB2_04_C	Overvannshåndtering

5.6.1 KB2_04_A: Fangvoll

5.6.1.1 Funksjon

Fangvollen er tenkt som en høy voll med bratt støtside som skal stoppe den tette delen av tørre snøskred som passerer kjeglene, samt vann og flomskred som kan komme ned fjellsiden mot bebyggelsen.

5.6.1.2 Plassering

Plasseringen er i tråd med diskusjon i forrige fase av sikring i Longyearbyen (arbeid utført av NGI i 2017-2018) der det ble foreslått av LL/NVE å legge fangvollen, som var planlagt nedenfor støtteforbygningene, ett stykke nedenfor fjellfoten. Det ble bl.a. begrunnet med at med litt høyere fangvoll lengre ned kunne man slippe planlagt rad med støtteforbygninger nedenfor de som allerede er bygget. Det ble også vurdert som hensiktsmessig å kunne koble planlagte sikringsvoller i sør til denne vollen for å få en helhetlig løsning.

I nord er vollenden helt inn til vei 230 og i kote ca. 39 moh. Avslutning i sør er ved bygning 27 på vei 226 i kote ca. 40. Vollen har svakt kurvet form.

5.6.1.3 Støtsiden

Fasaden skal bygges bratt (eksempelvis 4:1) av steinkurver/gabioner eller lignende, se nærmere beskrivelse av materialer i kapittel 6.1.

5.6.1.4 Baksiden

Baksiden av vollen er generelt tenkt med helning på 1:2, men helningen kan variere noe fra denne helningen når landskapsarkitekt har satt sitt preg på vollen.

5.6.1.5 Toppbredde

Toppbredde (i skredretning) er satt til 3 m. Utfra sikkerhet og estetiske grunner kan det være ønskelig å øke toppbredden. Det kan også være byggetekniske grunner til at volltoppen bør være bredere. Dette vil bli avgjort i detaljprosjekteringsfase.

5.6.1.6 Vollender

Det er gått utfra at den nordlige delen av vollen vil bli bygget bratt pga. begrenset plass; Spisshusene ved vei 230 er like nord for vollen. Det er også planlagt å forme enden (og deler av volltoppen) slik at den kan brukes som utsiktspunkt. Forslaget i løsning KB2_01 (Figur 11) viser hvordan vollenden svinger nedover og blir til en sti med trapper opp på volltopp.

Den sørlige enden vil bli utformet med en relativt slak helning ca. 1:4 fra volltopp til dagens terreng. Det er vurdert å ikke å være behov for trapper, det skal være relativt lett å gå på volltopp med denne helningen på stien.

5.6.1.7 Høyde

Tørt snøskred er vurdert som den skredtypen som gir dimensjonen/høyden på fangvollen. Høyde er satt til 5,5 m på de første ca. 70 m fra nord, derfra øker høyden til ca. 12,5 m på ca. 40 m strekning og vollen holder denne høyden ca. 200 m før den går sakte ned til dagens terreng.

Premissene for bestemmelse av høyde er gitt i kapittel 4.1, og erfaring er også brukt.

5.6.1.8 Kapasitet

Det er forventet at det kan komme ned omtrent 150 m^3/m langs vollen, med unntak av området nedenfor kjeglene, der det kan komme opp mot 600 m^3/m på grunn av form og plassering av det øvre utløsningsområdet. Kapasiteten er vanskelig å beregne pga. relativt flatt terreng. I tillegg vil kjeglene spre skredmassene slik at de ikke kommer ned som en samlet masse mot fangvollen. Kapasiteten/arealet er omtrent 550 m^3/m fra fangvoll til kjeglene.

5.6.2 KB2_04_B: Kjegler

Ved design av kjegler er det her delvis referert til [4], men mest til egen erfaring med design (og bygging) av kjegler.

5.6.2.1 Funksjon

Kjeglene er bygget for å redusere energien i snøskred som kommer ned fjellsiden, slik at det blir mulig å bygge en voll nedenfor som kan stå imot den tette delen av snøskred.

5.6.2.2 Plassering

Plasseringen på kjeglene er vurdert ut fra mulig plassering av fangvoll nedenfor/ved bebyggelsen og terrengforhold ved fjellfoten der kjeglene skal stå.

Det er vurdert ut fra simulerte skred [20] at tre kjegler vil dekke den delen av skredbanen der hastighetene er størst.

5.6.2.3 Støtsiden

Kjeglene er tenkt med bratt støtside, her satt til 4:1 for den øverste delen, men nederste delen, omtrent 1 m høy er tenkt som fundament med naturlig helning på fyllingsmaterialet.

Støtsiden bygges opp av steinkurver/gabioner eller lignende, se nærmere beskrivelse av materialer i kapittel 6.

5.6.2.4 Baksiden

Baksiden skal ha en slak helning, foreløpig helning er satt til 1:2 i tråd med anbefalinger fra Rambøll. På baksiden er anbefalt å legge stedlig organisk materialer for å få opp samme type vegetasjon som på stedet.

5.6.2.5 Toppdimensjon

Toppbredden, dvs. bredde parallelt med skredretningen er satt til 2 m. Bredde på topp tvers på skredretning er satt til 8 m.

5.6.2.6 Ende/kjeglesider

Enden er her definert som sidene på kjeglene. Det er viktig pga. forsterkningsmaterialet at det passes på at det blir en god og erosjonsbestandig overgang mellom de to materialene i denne bratte kjegle siden. Dette blir nærmere beskrevet i detaljprosjekteringen. Helningen er satt til 1:1,8. Det kan være behov for å stramme opp sidene, dette bør vurderes nærmere i detaljprosjekteringsfasen.

5.6.2.7 Høyde

Høyde på kjeglene er satt til 8 m, dvs. omtrent 1 m høyt fundament som stikker opp av grøften ovenfor, og 7 m høy bratt vegg med helning 4:1.

5.6.3 Fordeler/Ulemper

Fordeler og ulemper med denne løsningen er oppsummert i Tabell 19.

Tabell 19: Fordeler og ulemper ved løsning KB2_04, kjegle og fangvoll.

Fordeler	Ulemper
Med fangvoll nede på flaten slipper man usikkerheten rundt fundamentering av støtteforbygninger i Lia. Fangvollen sikrer området ovenfor HR (nedenfor voll) til S2 og det er vurdert slik at området nedenfor HR blir i S3. - Fangvoll hindrer vann og flomskred å nå bebyggelsen. - Det blir ikke behov for å bygge tiltak i selve fjellsiden. - Kjegler har god effekt i forhold til mengder jordmateriale lagt i dem - Fordelene med fangvoll/kjegle løsningen er bl.a. at den vil bidra til mindre fangvoll nedstrøms. - Enkel tilgang til å vedlikeholde tiltak	- Fangvollen er ganske stor i dette området, spesielt den sørlige delen som er rundt 12,5 m høy. - Det blir nødvendig å fjerne nåværende bygninger nr. 2-4a-c ved vei 228. Vil man spare bygninger 2-4a-c kan vollenden ovenfor bygningene flyttes lengre opp, men da vil høyden øke noe, mest på den sørlige delen. Bygningene vil mest sannsynlig ikke få plass nedenfor vollen med mindre man strammer opp nedsiden av vollen. - Det er foreløpig ukjent om grunnforhold er gode nok for slik stor og tung voll (men det er ikke noe som tilsier at det ikke går). - Det er en del usikkerhet knyttet til virkning av fangvoller spesielt for den øvre delen av skredmassene (fluidisert lag og støvsky). - Det er ikke realistisk å forsøke å stoppe det fluidiserte laget eller snøsky. Det vil kunne komme masser over vollen og snøsky kan nå langt ned og kanskje føles ubehagelig i kort stund. - Kjegler er relativt dyre å bygge - Kjegler ligger nært inntil fjellfoten slik at mindre skred kan enkelt treffe dem, som fører til at det kan være behov å fjerne skredmassene.

5.6.4 Mengder og kostnad

Mengdene baserer seg på modellberegninger i DAK systemet.

Tabell 20: Estimerte mengder og kostnader for fangvoll, KB2_04_A. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

Materiale	Enh.	Mengder	Enh. Pris	Total kNOK	Bemerkning
Støttefylling	m^3	40 995	780	31 976	Målt på dagens terreng
Kjernemateriale	m^3	16 329	780	12 737	
Fasademateriale	m^3	3 462	3 600	12 463	Her satt til 1 m inn i vollen
Fundament kjernen	m^3	6 329	780	4 937	I stort sett utgravet masse, 2 m ned
Fundament støttefylling	m^3	14 083	780	10 985	Utskifting 2 m ned
Utskifting av materiale	m^3	5 436	780	4 240	Utgravet nedenfor voll
Overvannshåndtering	RS	1	600 000	600	
Veibane/erosjonslag grøft	m^3	1 358	780	1 059	For anleggsvei og grøft ovenfor voll
Jordarmering/geogridd	m^2	20 498	120	2 460	
Ubrukbart materiale ut	m^3	9 039	780	7 050	
Total				**88 507**	

Tabell 21: Estimerte mengder og kostnader for bremsekjeglene, KB2_04_B. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

Materiale	Enh.	Mengder	Enh. Pris	Total kNOK	Bemerkning
Støttefylling	m^3	5 040	780	3 931	Målt på dagens terreng
Kjernemateriale	m^3	1 263	780	985	
Fasademateriale	m^3	506	3 600	1 822	Her satt til 1 m inn i vollen
Fundament kjernen	m^3	1 200	780	936	I stort sett utgravet masse, 2 m ned
Fundament støttefylling	m^3	3 228	780	2 518	Utskifting 2 m ned
Utskifting av materiale	m^3	954	780	744	Utgravet nedenfor voll
Overvannshåndtering	RS	1	240 000	240	
Veibane/erosjonslag grøft	m^3	500	780	390	For anleggsvei og grøft ovenfor voll
Jordarmering/geogridd	m^2	5 040	120	605	
Ubrukbart materiale ut	m^3	3 807	780	2 970	
Total				**15 140**	

5.6.5 Overvann/Grunnvann

Vollene over sentrumsområdet er i forprosjektet tenkt med fall mot nord, grunnet terrengforholdene og resultatene fra skredsimuleringene. Vannet dreneres fortløpende gjennom stikkrenner med avstand 50-70 m, som vil sørge for at naturlige feltgrenser opprettholdes.

Det etableres knekk i horisontal- og vertikalkurvaturen av grøfter i fremkant av vollene rundt lokasjonen for stikkrenner, slik at det ved eventuell tilstopping vil etableres fordrøyningsvolum. Ved enden av vollene forsøkes terrenget hevet noe ekstra, slik at et størst mulig fordrøyningsvolum aktiveres før vannet kan strømme rundt vollen.

Ved en full tilstopping av samtlige kulverter vil vannet etter fordrøyning ledes rundt vollen på nordsiden. Åpen flomvei for vann som ikke blir fordrøyd må håndteres som del av hovedplan for overvann i Longyearbyen.

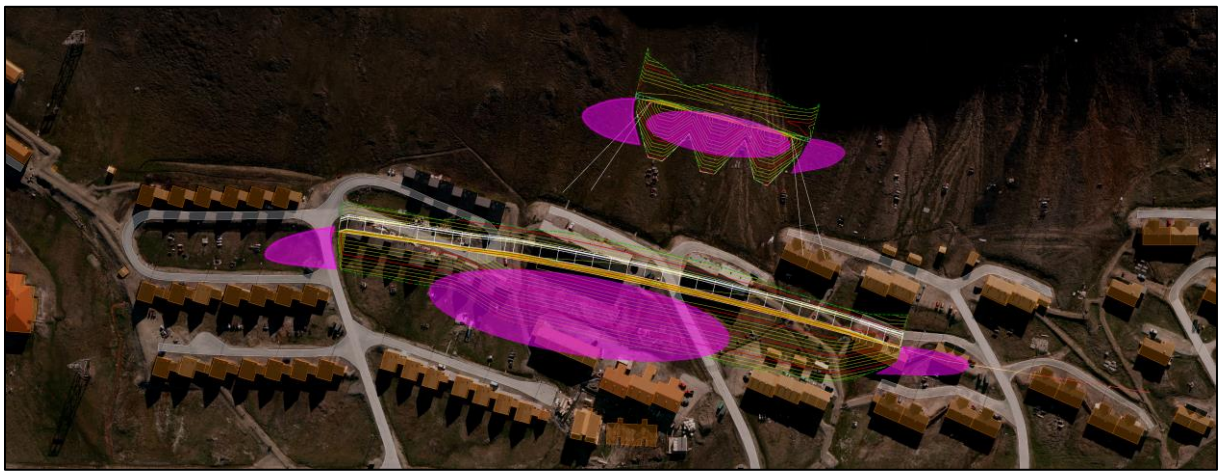
Utgravet område ovenfor kjeglefundamentene er tenkt med en grøft ved skjæringssiden som kan lede over- og grunnvann til sidene og ned til fangvollen.

5.6.6 Vind- og snøakkumulasjon

5.6.6.1 Kjegler

På grunn av at kjeglene ligger så nært fjellfoten kan en forvente at hoved vindretningene vil bli langs fjellsiden, ut og inn dalen. Noe vind kan muligens blåse ut Adventdalen over skulderen og ned til kjeglene og øke snømengdene der.

Det er gått ut fra at kjeglene blir lite gravet ned i terrenget slik at fonndannelse pga. utgraving skal være liten. Det vil bli fonner mellom kjeglene grunnet vind langs fjellsiden og til begge endene vil det dannes fonner som kan strekke seg ett par 10 m (Figur 24). Pga. formen på kjeglene vil det kunne dannes virvler, men det er ukjent hvor langt fra kjeglene de vil virke. Det vil bl.a. være avhengig av vindretning og vindstyrke i Longyeardalen.



Figur 24: Rosa flater på figuren viser områder som det kan forventes fonndannelser fra nordlig og sørlig vindretninger. Bakgrunnsbilde: Norsk polarinstitutt.

5.6.6.2 Fangvoll

For vindretninger ut Longyeardalen kan en forvente lite fonndannelse på oversiden, men en kan forvente noen fonndannelse fra sør enden på nedsiden og fra nord enden. Noen fonn

kan også dannes midtveis på nedsiden av vollen, men det er ikke forventet store mengder. På nordsiden kan det oppstå problem for gate og bygg. Dette bør ses nærmere på i fase B3, dvs. med landskapsarkitekt. Her kan det være behov for justering av vollenden.

5.6.7 Faresoner

Faresoner før og etter etablering av denne sikringsløsningen er vist i tegning 18241-03-KB2_04-02.

5.6.8 Berørte eiendommer

Før denne løsningen etableres, må trolig en del bebyggelse fjernes, da de blir liggende svært nær vollen. Antall bygninger som får endret faresonen de ligger i, er estimert som følger:

- Antall S3-bygg som flyttes utenfor S3-sonen: 2 hele bygg samt to halve bygg.
- Antall S2-bygg som flyttes utenfor S2-sonen: 9 bygg med omtrent 35 boenheter.
- Antall S1-bygg som flyttes utenfor S1-sonen: 0.

Antall bygg som trolig må fjernes på grunn av tiltakene: 10 bygg med rundt 30 boenheter.

Se ellers mer detaljert redegjørelse i nytte/kost vurderinger utført av LL og NVE.

5.6.9 Teknisk infrastruktur

Innenfor planlagt vollområde ligger det noen teknisk infrastruktur. Det er først og fremst lavspente strømkabler som blir påvirket og det blir nødvendig å legge om en del for å få strøm til en del av bygningene nedenfor vollen. I området er også noen lysestolper som må fjernes.

5.6.10 Grunnforhold

Innenfor voll- og kanalområdet er følgende Sintef borehull [23]: 40, 42, 44, 45 og 48. Utenfor voll- og kanalområdet er borehull 41, 43, 46 og 47. Lengste avstand fra borehull til senterlinjen er opp mot 80 m.

Det viser seg at stor del av materialet er med mye finstoff, leir eller silt, mest i nord. Materialet blir noe bedre mot midten av vollen for så å bli dårligere igjen i sør.

Det vil bli behov for utskifting av materiale under vollen, men det gjenstår å se hvor mye av utgravet materiale kan gjenbrukes.

5.6.11 Kulturminner/-miljø

Hjemmesiden om kulturminner viser at planlagt fangvoll ved Spisshusområdet treffer så vidt grensen på kulturminneområdet. Den sørligste kjeglen og planlagt drensgrøft når noen meter inn på verneområdet for Taubanelinje 2a, ID 158987-1.

5.6.12 Usikkerheter og restrisiko

Det er blant annet følgende usikkerheter knyttet til denne løsningen:

- Effekt av bremsekjegler er forbunnet med en viss usikkerhet.

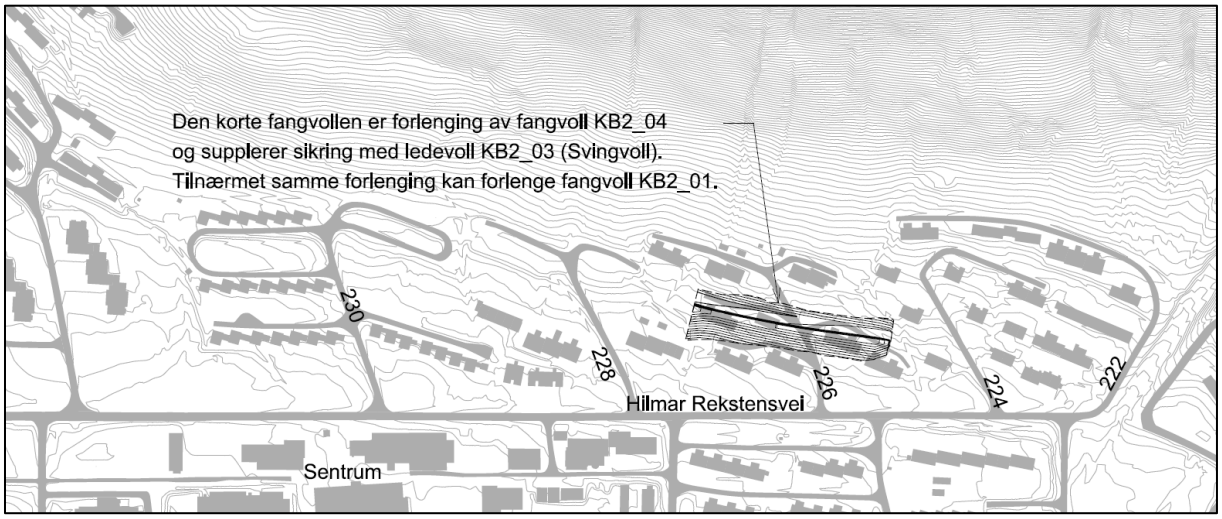
- Høyde og bredde på spredning av skredmasser som treffer bremsekjeglene er stort sett ikke kjent fra fullskala observasjoner.

Vi mener følgende momenter utgjør størst restrisiko:

- Skredvind og støvskyen fra store snøskred kan gå over vollen. Dette kan bare i noen grad håndteres ved å gjøre vollen høyere.
- Det kan gå større skred enn designskredet.
- Dersom to skred går med kort tids mellomrom kan driftsmannskapene enda ikke ha fått ryddet skredmassene fra det første skredet før det andre går. Avsatt snø foran vollene vil redusere effekten av vollene.

5.7 Sikringsløsning KB2_05: Fangvoll over mellomområdet

Denne sikringsløsningen består elementene vist i Figur 25 og Tabell 22.



Figur 25: Fangvoll (KB2_05) som er tenkt som tillegg til voller over sentrumsområdet i tilfelle svingvoll blir valgt.

Tabell 22: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_05.

Tiltak	Beskrivelse
KB2_05_A	Fangvoll mellomområdet

For dette området kan det være aktuelt å se på riving av bygninger som risikoreduserende som et alternativ til permanente, fysiske sikringstiltak. Det er flere årsaker til dette, blant annet at det er en del gammel bebyggelse, samt at det krever store tiltak å sikre området, og med slike tiltak må de fleste bygninger ovenfor Hilmar Rekstensvei flyttes/rives uansett.

5.7.1 KB2_05_A: Fangvoll mellomområdet

5.7.1.1 Funksjon

Fangvollen er tenkt som forlenging til fangvoll i løsning KB2_04_A (fangvoll og kjegler) for sentrumsområdet og «svingvoll» nedenfor Vannledningsdalen (KB2_03). Med dette tillegget er hele området fra sentrum til Vannledningsdalen sikret.

Ett annet alternativ er at denne fangvollen også kan knytte sammen fangvoll KB2_01_A (fangvoll og støtteforbygninger) og «svingvoll» nedenfor Vannledningsdalen (KB2_03).

Geometrisk løsning er beskrevet kapittel 5.6.

5.7.1.2 Plassering

Den nordlige vollenden kobles til fangvoll KB2_04_A og strekker seg omtrent 100 m sør for vei 226, over bygninger 2-6.

5.7.1.3 Støtsiden

Fasaden skal bygges bratt (eksempelvis 4:1) av steinkurver/gabioner eller lignende, se nærmere beskrivelse av materialer i kapittel 6.1.

5.7.1.4 Baksiden

Baksiden av vollen er generelt tenkt med helning på 1:2, men helningen kan variere noe fra denne helningen når landskapsarkitekt har satt sitt preg på vollen.

5.7.1.5 Toppbredde

Toppbredde (i skredretning) er satt til 3 m. Utfra sikkerhet og estetiske grunner kan det være ønskelig å øke toppbredden. Det kan også være byggetekniske grunner til at volltoppen bør være bredere. Dette vil bli avgjort i detaljprosjekteringsfase.

5.7.1.6 Vollender

Den nordlige enden kobles til voll KB2_04_A. Den sørlige enden vil bli utformet med en relativt bratt helning ca. 100%-200% fra volltopp til dagens terreng. For å gå på toppen bør det være fra andre steder, vurderes nærmere med landskapsarkitekt i detaljprosjekteringsfasen.

5.7.1.7 Høyde

Tørt snøskred er vurdert som den skredtypen som kommer ned fra Sukkertoppen, men det er også sørpeskred fra Vannledningsdalen som kan treffe vollen. Høyde er satt til 7 m på hele vollenden, den anses å være mer enn tilstrekkelig for sørpeskred, men er på grensen til å være tilstrekkelig for tørt snøskred. I tilfelle tørt snøskred er det forventet at det kan komme ned 40-50 m^3/m langs vollen og kapasiteten er rundt 150 m^3/m.

5.7.2 Fordeler/Ulemper samt restrisiko og usikkerheter

Se nærmere diskusjon i KB2_01_A (avsnitt 5.3.12 side 50) og KB2_04_A (avsnitt 5.6.12 side 80).

5.7.3 Mengder og kostnad

Mengdene baserer seg på modellberegninger i DAK systemet.

Tabell 23: Estimerte mengder og kostnader for sikringsløsning KB2_05, fangvoll ovenfor mellomområdet. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

Materiale	Enh.	Mengder	Enh. Pris	Total kNOK	Bemerkning
Støttefylling	m^3	8 359	780	6 520	Målt på dagens terreng
Kjernemateriale	m^3	4 296	780	3 351	
Fasademateriale	m^3	1 155	3 600	4 158	Her satt til 1 m inn i vollen
Fundament kjerne	m^3	2 594	780	2 023	I stort sett utgravet masse, 2 m ned
Fundament støttefylling	m^3	4 351	780	3 394	Utskifting 2 m ned
Utskifting av materiale	m^3	1 618	780	1 262	Utgravet nedenfor voll
Overvannshåndtering	RS	1	120 000	120	
Veibane/erosjonslag grøft	m^3	677	780	528	For anleggsvei og grøft ovenfor voll
Jordarmering/geogridd	m^2	4 180	120	502	
Ubrukbart materiale ut	m^3	3 533	780	2 755	
Total				**24 613**	

5.7.4 Overvann/Grunnvann

Fangvollen over mellomområdet er lagt med fall mot nord, på lik linje med KB2_01_A og KB2_04. Vannet dreneres fortløpende gjennom stikkrenner med avstand 50-70 m, som vil sørge for at naturlige feltgrenser opprettholdes. Se diskusjon for voller i KB2_01_A og KB2_04_A.

5.7.5 Vind- og snøakkumulasjon

Se diskusjon for voller i KB2_01_A og KB2_04_A.

5.7.6 Faresoner

Faresonene umiddelbart bak vollen er estimert (tegning 18241-03-KB2_05-02), men avgrensningene til sidene avhenger av hvilke løsninger som velges mot nord og sør. Vi anser ikke denne vollen som aktuell for et enkeltstående tiltak.

5.7.7 Berørte eiendommer

Vollen vil som enkeltelement ha begrenset effekt:

- Antall S3-bygg som flyttes utenfor S3-sonen: 0.
- Antall S2-bygg som flyttes utenfor S2-sonen: 0.
- Antall S1-bygg som flyttes utenfor S1-sonen: 0.

Antall bygg som trolig må fjernes på grunn av tiltakene: 4 bygg med rundt 8 boenheter.

Se ellers mer detaljert redegjørelse i nytte/kost vurderinger utført av LL og NVE.

5.7.8 Teknisk infrastruktur

Innenfor planlagt vollområde ligger lavspente strømkabler til boliger som blir fjernet.

5.7.9 Grunnforhold

Innenfor voll- og kanalområdet ligger borehull nr. 48 fra Sintef [23], borehull nr. 50 ligger like sør for området. Prøvesjakt P5 ligger på nedsiden av vollen.

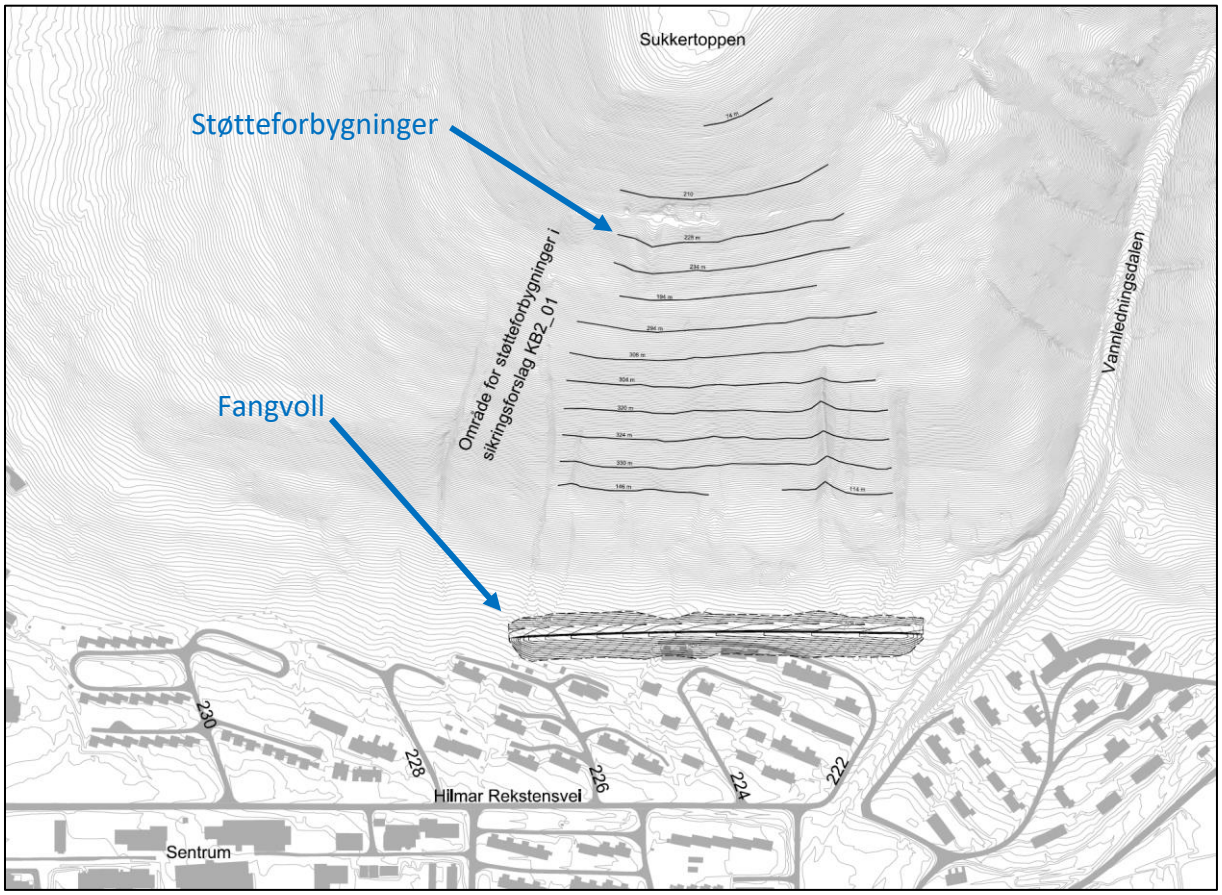
Det viser seg å være noe mer grus i grunnen lengre oppe, men i hull P5 er mye leire.

5.7.10 Kulturminner/-miljø

Hjemmesiden om kulturminnesøk viser at planlagt fangvoll krysser kulturminneområdet Taubanelinje 2a, ID 158987-1.

5.8 Sikringsløsning KB2_06: Støtteforbygninger og fangvoll over mellomområdet

Denne sikringsløsningen består av elementene vist i Figur 26 og Tabell 24.



Figur 26: Foreslått plassering av fangvoll ovenfor midtområdet (KB2_06_B) og støtteforbygninger i Lia (KB2_06_A).

Tabell 24: Elementer som inngår i sikringsløsning KB2_06.

Tiltak	Beskrivelse
KB2_06_A	Støtteforbygninger hele fjellsiden
KB2_06_B	Fangvoll ved fjellfoten

Denne løsningen kom inn etter de andre løsninger presentert ovenfor, og er derfor ikke utredet i like stor detaljgrad.

5.8.1 KB2_06_A: Støtteforbygninger

5.8.1.1 Funksjon

Støtteforbygningene skal holde snøen på plass for å hindre utløsning.

5.8.1.2 Plassering

Støtteforbygningene er tenkt å sikre mellomområdet fra sentrum til Vannledningselva. De er her tenkt som fortsettelse av støtteforbygninger presentert i sikringsløsning KB2_01_B, kapittel 5.3.2. De når stort sett over hele lia, men pga. slakere terreng enkelte steder er det vurdert slik at det ikke er behov for støtteforbygninger overalt.

Området fra de planlagte støtteforbygninger på skulderen (KB2_01_B, kapittel 5.3.2) til området omtrent den sørligste store ravinen (ovenfor snøsamleskjermene) er tenkt som området som bør sikres med støtteforbygninger.

I nedre del av fjellsiden og opp til gruveområdet vil støtteforbygningene være en forlenging av støtteforbygninger KB2_01_B. Ovenfor gruvene er foreløpig tenkt å bruke snønett som kan fange opp snø som evt. løsner fra toppområdet nedenfor øverste raden. Det er foreløpig uklart om dette er tilstrekkelig, og bør vurderes nærmere. Nederste raden er her satt ved kote ca. 110.

Alle utløsningsområder er ikke dekket fullstendig, den sørligste delen kan fortsatt utløses. Grunnen er at planlagt fangvoll og ledevollen ved Vannledningselva skal kunne stoppe disse skredene.

Denne støtteforbygningsløsningen går utfra at Vannledningselva blir sikret med ledevoller, men den kan også kombineres med svingvollen (KB2_03).

5.8.1.3 Høyde

Angående snømengder og resonnement rundt det er her henvist til diskusjon i kapittel 5.3.2.3. Det er gått utfra at fleste steder vil høyden på støtteforbygningene være 4 m.

5.8.1.4 Overvann/Grunnvann

Det forventes økte mengder snø i fjellsiden ved støtteforbygningene og i terrenget rundt. Dette vil kunne medføre økte mengder smeltevann og økt sannsynlighet for utløsning av flomskred.

5.8.1.5 Andre prosesser

Det er henvist til diskusjon i kapittel 5.3.2.5. I øvre del av fjellsiden er ikke mange tegn på tidligere flomskred, men det utelukker ikke at de kan utløses der. Flomskred vil mest sannsynlig utgjøre fare for støtteforbygningene nedenfor kote 230 og spesielt i den nedre delen der de fleste flomskredene har løsnet. Tidligere hendelser indikere begrenset utbredelse, utelukkende langs de veldefinerte ravinene med bredde på 5-15 m, men det er også tegn på utløsninger andre steder.

5.8.2 KB2_06_B: Fangvoll

5.8.2.1 Funksjon

Denne fangvollen skal fange opp snøskred som evt. løsner nedenfor støtteforbygningene, og andre skred som evt. løsner i fjellsiden.

5.8.2.2 Plassering

Det har ikke vært nok tid til å justere på plasseringen eller lengden på denne vollen. Foreløpig er den plasser på/over de øverste husene ved vei 222, 224 og 226. Kobling mellom fangvollen og ledevoll ved Vannledningselva er fortsatt ikke løst.

5.8.3 Fordeler/Ulemper

Fordeler og ulemper ved denne løsningen er oppsummert i Tabell 25.

Tabell 25: Fordeler og ulemper ved sikringsløsning KB2_06, støtteforbygninger hele lia og fangvoll.

Fordeler	**Ulemper**
- Denne løsningen frigjør stort areal ovenfor Hilmar Rekstensvei. - Bare få hus blir berørt av/må fjernes pga. vollkonstruksjonen.	- Det er fare for skader fra flomskred på støtteforbygningene, spesielt i nedre del. - Grunnforhold uklare for nedre del av støtteforbygninger. - Det kan være noe snøfokk og ansamling nærmest Vannledningselva pga. vind ned Vannledningsdalen. - Stort omfang av støtteforbygninger og derfor ganske dyr løsning. - Vedlikehold kan være dyrt og utfordrende. - Både fangvoll og støtteforbygninger krysser områder med kulturminner. - Støtteforbygninger i hele Lia vil gi stor visuell effekt.

5.8.4 Mengder og kostnad

Mengdene baserer seg på modellberegninger i DAK systemet.

Tabell 26: Estimerte mengder og kostnader for sikringsløsning KB2_06, støtteforbygninger og fangvoll. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

Materiale	Enh.	Mengder	Enh. Pris	Total kNOK	Bemerkning
Støtteforbygninger	m	3 080	35 000	107 800	
Støttefylling	m^3	23 057	780	17 984	Målt på dagens terreng
Kjernemateriale	m^3	10 182	780	7 942	
Fasademateriale	m^3	2 781	3 600	10 012	Her satt til 1 m inn i vollen
Fundament kjerne	m^3	6 372	780	4 970	I stort sett utgravet masse, 2 m ned
Fundament støttefylling	m^3	12 651	780	9 868	Utskifting 2 m ned
Utskifting av materiale	m^3	4 036	780	3 148	Utgravet nedenfor voll
Overvannshåndtering	RS	1	600 000	600	
Veibane/erosjonslag grøft	m^3	1 690	780	1 318	For anleggsvei og grøft ovenfor voll
Jordarmering/geogridd	m^2	11 529	120	1 383	
Ubrukbart materiale ut	m^3	8 232	780	6 421	
Total				**171 447**	

5.8.5 Overvann/Grunnvann

Dersom løsning KB2_03 i Vannledningsdalen (Svingvollen) velges kan deler av fangvollen legges med fall mot sør. Dersom KB2_02 (ledevoller) velges må vann dreneres mot nord. Vannet dreneres fortløpende gjennom stikkrenner med avstand 50-70 m, som vil sørge for at naturlige feltgrenser opprettholdes. Se diskusjon for voller i KB2_01_A og KB2_04_A.

5.8.6 Vind- og snøakkumulasjon

Fangvollen ligger tett inn på fjellsiden og en kan forvente at fonner vil dannes ved begge ender.

5.8.7 Faresoner

Ved vurdering av faresoner har vi antatt at KB2_06 og KB2_01 skal bygges sammen. Faresonene er vist i tegning 18241-03-KB2_06-02.

5.8.8 Berørte eiendommer

Dette er trolig den løsningen som har størst effekt på antall eksisterende bygg som blir plassert «trygt nok» etter sikringstiltakene er oppført:

- Antall S3-bygg som flyttes utenfor S3-sonen: 3 hele bygg og ett halvt bygg.
- Antall S2-bygg som flyttes utenfor S2-sonen: omtrent 35 bygg med 100-150 boenheter.
- Antall S1-bygg som flyttes utenfor S1-sonen: omtrent 8.

Antall bygg som trolig må fjernes på grunn av tiltakene: 9 bygg med rundt 40 boenheter.

Se ellers mer detaljert redegjørelse i nytte/kost vurderinger utført av LL og NVE.

5.8.9 Teknisk infrastruktur

Høyspent linje ligger fra Haugen over Vannledningselva og i fjellfoten til nettstasjon ved øvre enden på vei 226. Stor del av kraftlinjen blir i vollområdet og nettstasjonen også. Fra nettstasjonen ligger en del lavspentkabler til boliger i området.

5.8.10 Grunnforhold

Innenfor voll- og kanalområdet er borehull nr. 51 fra Sintef [23], og borehull nr. 44, 45 og 47 er ikke langt unna voll- og kanalområdet. Prøvesjakter P1 og P2 ligger ved ytterkant av vollen.

5.8.11 Kulturminner/-miljø

Planlagt fangvoll og støtteforbygninger krysser kulturminneområdet Taubanelinje 2a, ID 158987-1.

5.8.12 Usikkerheter og restrisiko

Usikkerheter og restrisiko er de samme som for støtteforbygninger og voll i løsning KB2_01 beskrevet i avsnitt 5.3.12 side 50.

6 Diskusjon forprosjektering

I dette kapitlet er ulike problemstillinger rundt de foreslåtte tiltakene diskutert.

6.1 Bygningsmateriale

Begrepet «forsterkningsmateriale» er her brukt for de «tilleggsprodukter» til vollene som gjør at fasader kan bygges brattere enn «vanlig» jordmateriale. Det finnes flere typer materialer som kan egne seg som forsterkningsmaterialer i voller, men den vanligste typen på fastlandet er tørrmur. Det finnes lite oppsummert erfaring med materialer i vollbygging mot naturfarer i Norge. Forholdene på Svalbard er slik at stedlig, gode steinmaterialer til bruk i tørrmur ikke er tilgjengelig og må derfor importeres fra fastlandet.

Eksempler på forsterkningsmateriale som er brukt som fasademateriale i voller er [28]:

- Gabioner (steinkurver) laget av nylon-dekt, galvaniserte ståltråder (system fra Maccaferri, Viacon, m.m.)
- Geoceller laget av syntetisk materiale (fra f.eks. Presto/Geoweb)
- Flate gjerder/elementer av galvanisert armeringsstål (f.eks. GeoTrel fra Reinforced Earth Company, REC)
- C-formede «paneler» av galvanisert stål (TerraTrel system fra REC, m.m.)
- L-formede «paneler» av galvanisert kamstål (system fra Maccaferri og Tencate).

Disse materialene har fordeler og ulemper og de egner seg ikke alle til alle mulige forhold eller skredtyper. Så vidt SHG er kjent med finnes det ikke rapporter eller sammendrag om ulike forsterkningsmaterialer og deres levetid for Svalbard og derfor bygger anbefalingene som her er presentert på svakt grunnlag.

Ett av de viktigste spørsmålene for permafrostområde som Svalbard er trolig hvordan fasaden/fasadematerialet på en voll vil oppføre seg over tid. Det er neppe mulig å si noe om fundamentene vil være stabile nok til at fasadematerialet ikke siger som følge av tining i grunnen. Sig på fasaden vil for det første være estetisk uønskelig, men kan også true stabilitet på vollen hvis den blir omfattende.

Noen av de ovennevnte materialene er laget av relativt stive enheter slik at sig kan føre til uønskede skader og kanskje brudd i sveisinger eller bolter. På den andre siden er mange elementer også relativt korte dvs. rundt 3 m lange og 0,5 m til ca. 1,3 m høye slik at evt. sig må da være ganske lokalt og kraftig for å gi skade på elementene. Andre elementer egner seg bedre for sig som Geoceller og Gabioner av tvunnet materiale.

For materialer som skal brukes i ledevoller bør det stilles spesielle krav, som at de kan tåle store friksjonskrefter langs vollen (gjelder spesielt svingvollen, KB2_03 og deler av KB2_02). Materialet må ikke gå i «oppløsning» ved en skredhendelse og skredene bør ikke kunne «få tak i» elementendene og rive dem opp, siden dette kan føre til «utspyling» av jordmaterialet bak fasadematerialet og muligens til brudd i konstruksjonen.

Disse faktorer og vurderinger må videreføres i neste fase av prosjektet.

6.2 Bestandighet/brukstid, og levetid av materialer og konstruksjoner

Det framgår ikke av forespørselen om oppdraget hvor lang brukstid kreves av tiltakene. Oppdragsgiver har under arbeidet kommet fram med ønske om en brukstid på konstruksjonene på 50 år. Ordet «brukstid» er definert i [5] i paragraf 1.5.2.8. I samme standard Tabell 2.1 er gitt veiledende dimensjonerende brukstid. Ønsket 50 års brukstid gir dimensjonerende brukstidskategori 4, den nest høyeste. Neste brukstidskategori er 5 som gir veiledende dimensjonerende brukstid på 100 år som SHG anser å være urimelig høyt når mulige endringer i sikkerhetskrav og arealbruk, samt forventet levetid av bygninger i Longyearbyen, er tatt i betraktning. På den andre siden kan sikringstiltak som er i brukstidskategori 5 bidra til en mer langsiktig planlegging av boligområder enn brukstidskategori 4 gir.

SHG har ikke kjennskap til hvor fort stålmateriale korroderer i det maritime og arktiske klimaet i Longyearbyen. Dette gjelder korrosjonshastighet av svart stål og stål som er korrosjonsbeskyttet med zink eller aluzink. SHG har heller ikke kjennskap til hvor fort steinmateriale forvitrer i Longyearbyen, men dette er allerede nevnt av Rambøll som et viktig punkt for videre oppfølging før detaljprosjekteringen. Bestandighet av materiale bør diskuteres som ett av de første skrittene i detaljprosjekteringen. Dette gjelder både materiale til bruk i vollkroppen og materiale til bruk i fasaden på eventuelle voller.

Så vidt SHG er kjent med har levetid/brukstid ikke vært studert for sikringstiltak mot skred i bratt terreng i Norge slik at vi vet lite om tilstanden på tiltak som allerede er bygd. Kravene til tiltakene har også økt de siste årene slik at det ikke er enkelt å studere og sammenligne dem på en god måte.

Permafrost og relativt dårlig kvalitet på jordmaterialer gir en ekstra utfordring på Svalbard både som bruk i støttefyllingsmateriale og fasademateriale. Pga. denne usikkerheten er brukstidskategori 4 trolig det fornuftige valget.

Bestandighet/levetid kan i grove trekk deles opp på følgende måte:

1. redusert bestandighet som følge av naturlige årsaker som alder (disse konstruksjonene forvitres som andre konstruksjoner), eller prosesser som har naturlige årsaker som ikke kan knyttes til skredhendelse,
2. redusert bestandighet pga. uventet (eller kanskje også ventet) skade fra design hendelse.

I TEK17 paragraf § 7-1 (og tilsvarende i TEK10) står det at:

> *(1) Byggverk skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade eller vesentlig ulempe fra naturpåkjenninger.*
>
> *(2) Tiltak skal prosjekteres og utføres slik at byggverk, byggegrunn og tilstøtende terreng ikke utsettes for fare for skade eller vesentlig ulempe som følge av tiltaket.*

I veiledning til annet ledd står:

Bestemmelsen omfatter ikke fare for grunnen der det er naturens beskaffenhet alene som er årsak.

Her kan «grunnen» tolkes som «sikringstiltak» og «naturens beskaffenhet» er skredhendelsene. Her henviser TEK17 ikke til noen andre paragrafer eller retningslinjer som beretter om hvordan dette skal håndteres.

Paragraf § 7-1 kan tolkes slik at sikringstiltak kan få skader, men ikke vesentlige og de skal ikke føre til vesentlige skader på, i dette tilfelle, byggverk nedenfor en voll. Omfang av akseptabel skade er ikke definert. I tilfelle løsmassevoller kan de få omfattende skader på støtsiden og kanskje delvis skli ut etter en skredhendelse, men de har gjort jobben sin og må repareres etterpå. Formålet med sikringstiltak er å hindre skader på det som tiltaket sikrer. Hvis sikringstiltak gjør det ved selv å bli skadd kan det sies at tiltaket har oppnådd det som lagt var opp med.

En viktig del av designen er å finne «den beste løsningen til rimeligst pris». Det er også viktig å være bevisst på at man kan forvente skader på bygget tiltak, men at man prøver å hindre skader fra hyppige/små skred, og velger å ta kostnadene av (u)ventede skader pga. store og sjeldne hendelser. Det kan f.eks. inntreffe kraftig erosjon slik at støttefyllingen eller fundamentet blir skadet.

Hvis formålte er å bygge tiltak som ikke blir skadd kan det bety at det må importeres mye materiale fra fastlandet for å oppnå krav om forvitring og stabilitet. Også at grunnarbeider (fundamentering) blir dyre og vil sikkert ha dårlig kost/nytte verdi.

SHG mener at fornuftig valg av premisser for sikringstiltak, dvs. at det kan oppstå skader av naturlige årsaker og fra skredhendelse er den rette veien, men det gjenstår å definere disse premissene. En av premissene kan være at det er aksept for at det blir setninger i vollene, slik at fasadematerialet endrer form, men effekten av tiltaket er stort sett uendret. Det kan kanskje bety at det ikke er behov for å grave 2 m ned for utskifting av materiale eller at det ikke er behov for membran for tetting i drenskanaler ovenfor voll, for å nevne noen eksempler.

Premisser for bygging av slike tiltak på fastlandet er rimelig klare, men i permafrostområder kan det være spørsmål om å ikke gå til den ytterste grensen for å sikre «perfekte» tiltak.

Det har blitt laget retningslinjer for design av sikringstiltak på Island og del av dem kan tas med i detaljprosjekteringen i Longyearbyen, dersom det er ønskelig.

Kort oppsummert kan man si at LL ønsker seg sikringstiltak med minst mulig drifts-/vedlikeholdskostnader, men pga. at det finnes lite informasjon i Norge om bestandighet (og vedlikeholdskostnader) av sikringstiltak av omtalte typer generelt, og ikke minst i permafrostområder blir beslutningsgrunnlaget svakt.

Valg mellom støtteforbygninger eller voller kan neppe gjøres uten en del antakelser. Her kan bl.a. stilles spørsmål om forventede skader på støtteforbygninger pga. flomskred er mer

omfattende enn det som kan forventes å oppstå ved at en store og tung vollen på permafrost plasseres tett inn på bebyggelsen. Kanskje blir det ikke stor forskjell på brukstilstanden/vedlikehold på lang sikt.

6.3 Vedlikehold, drift og forvaltning

Det bør settes opp plan for drift og vedlikehold i brukstiden, se NS 3424:2012.

Drift omfatter tekniske og administrative oppgaver som er nødvendig for å opprettholde infrastrukturens funksjon unntatt vedlikeholdstiltak. Utføre skal tilstandsanalyse etter NS 3424:2012 §4.2 tabell 1 Nivå 1.

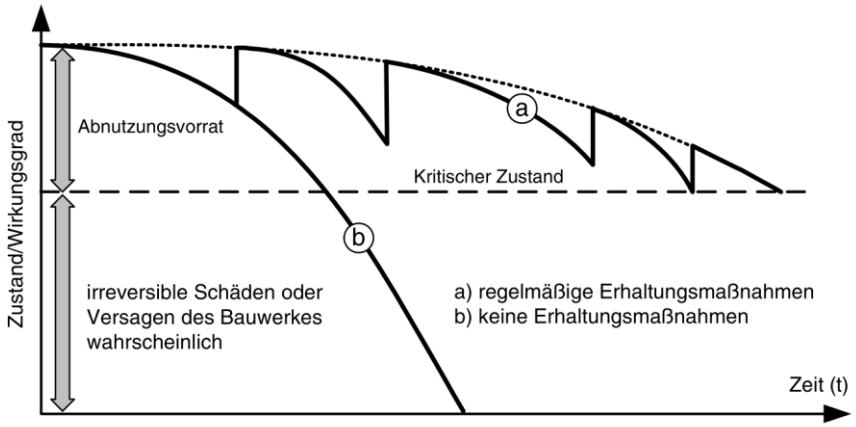
Vedlikehold omfatter alle tekniske, administrative og styringsrelaterte tiltak gjennom livssyklusen til sikringstiltakene, som har til hensikt å bevare den i eller tilbakeføre den til en tilstand der den kan oppfylle nødvendige funksjonskrav på kort og lang sikt (delvis ref. NS 3424, §3.14).

Tilstandsanalyse for vedlikehold i driftsfase skal utføre etter NS3424:2012 §4.2 tabell 1 Nivå 2 eller Nivå 3.

Krav til kompetanse hos dem som skal utføre arbeidet skal være i henhold til §5.4. De bør ha dokumentert kunnskap om konstruksjonene og de problemer som kan oppstå i løpet av brukstiden.

Kontroll av sikringstiltakene bør gjøres med jevne mellomrom for eksempel hvert femte år og i tillegg etter hver skredhendelse eller etter andre uvanlige situasjoner som for eksempel kraftig nedbør. Det er viktig at tiltakene blir inspisert etter hver skredhendelse og evt. skader som truer tiltakets funksjon i fremtiden blir reparert. Figur 27 viser hvordan livssyklus kan være med og uten vedlikehold.

Disse tingene bør utredes og vurderes nærmere i neste fase av prosjektet når endelig valg av sikringskonsept er gjort.

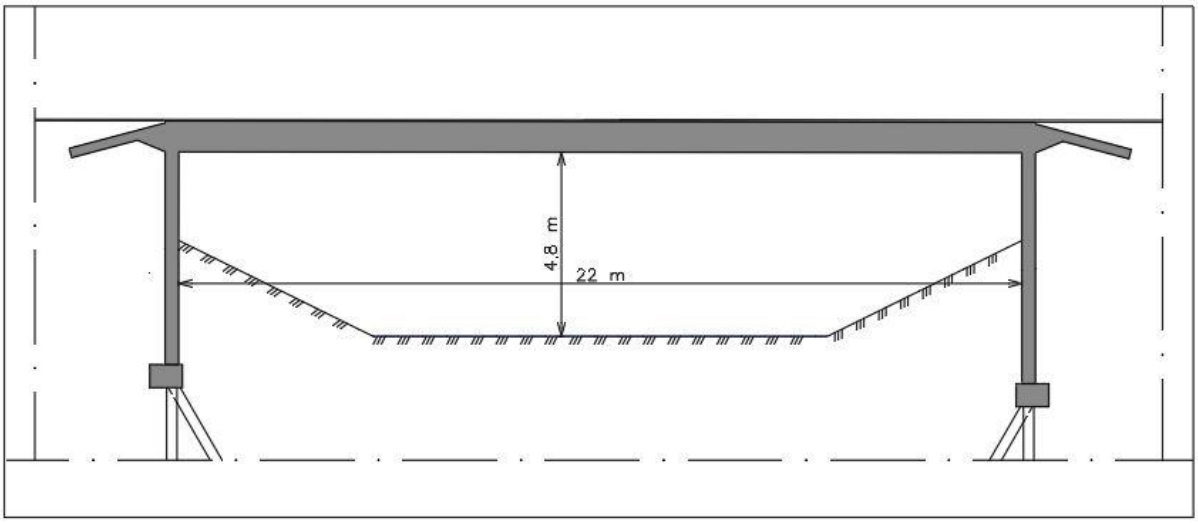


Figur 27: Figuren er hentet fra ONR24807 og viser hvordan vedlikehold vil kunne påvirke levetid.

6.4 Brodesign

Broen ved Vei 500 over Vannledningselva skal designes for å være robust i tilfelle sørpeskred strømmer over brodekket. Broen bør derfor utføres i betong for å gjøre den sterk og tung for å motstå skredlaster. Brodekket er 22 m langt (alternativt en kortere bro på omtrent 10 m), 11 m bredt og tykkelsen er satt til 80 cm. Planlagt kanal i Vannledningselva er omtrent 107° fra retningen på Vei 500, dvs. 17° fra vinkelrett. Brodekket må derfor være formet som et parallellogram. Oppstrøms-delen av brodekket bør utformes slik at det ikke presser skredmassene under broen, men løfter dem opp og over. Dette for å unngå at skremassene presser brodekket oppover.

På grunn av skredlaster er det ønskelig med lysåpning uten søyle i midten for å holde broen oppe. Dersom man velger en bro med bredde på 22 m, blir det nødvendig å sette spenningskabler i brodekket. For å gjøre broen robust, er brodekket ikke utstyrt med lagre, men er støpt med endeveggene (innspent). Endeveggene derimot er utstyrt med en svekking nede på fundamentet som kan rotere for å gjøre spenningen av brodekket mulig. Vi antar foreløpig at endeveggene og «vingene» er omtrent 6 m høye. Fundamentene vil stå på peler som skal stå på fjell, i antatt 20 meters dybde.



Figur 28: Prinsippsnitt i broen med bredde på 22 m, på tvers av elveløpet.

Ledninger, som i dag går igjennom veien og kommer ut ved Vannledningselva, er her tenkt å være på eget fundament og stålbjelker over elven nedenfor broen. Dette gjør brodesignen enklere og ledningene blir «i dagen» som de nye ledningene ellers er i byen. For å hindre at skredmassene når rør/ledninger er det mulig å sette stålplater på over- og undersiden.

Der er foreløpig ukjent hvor aggressivt miljøet er i planlagt bro-område, og om det vil påvirke armeringen i betongfundamentet pga. mulige sprekker i betongen. Dette bør utredes i neste fase, dersom det velges et konsept der en ny bro inngår.

6.5 Tiltak i Vannledningsdalen

I NVEs konseptstudie [29] ble det diskutert mulige tiltak mot sørpeskred fra Vannledningsdalen. Et av tiltakene som ble anbefalt utredet videre var en form for sperredam i overgangen fra det slake platået på omtrent 340 moh. til den brattere delen av Vannledningsdalen, omtrent 1,3 km ovenfor bebyggelsen.

Det ble i konseptstudiet vurdert at en sperredam her ville kunne redusere sannsynligheten for virkelig store sørpeskred, da flere av disse har hatt utløsningsområde høyt oppe i nedbørfeltet. En sperredam vil kunne utføres med en spalte med bredde tilstrekkelig for å drenere vann i en normalsituasjon, men smal nok til å redusere sannsynligheten for sørpeskred.

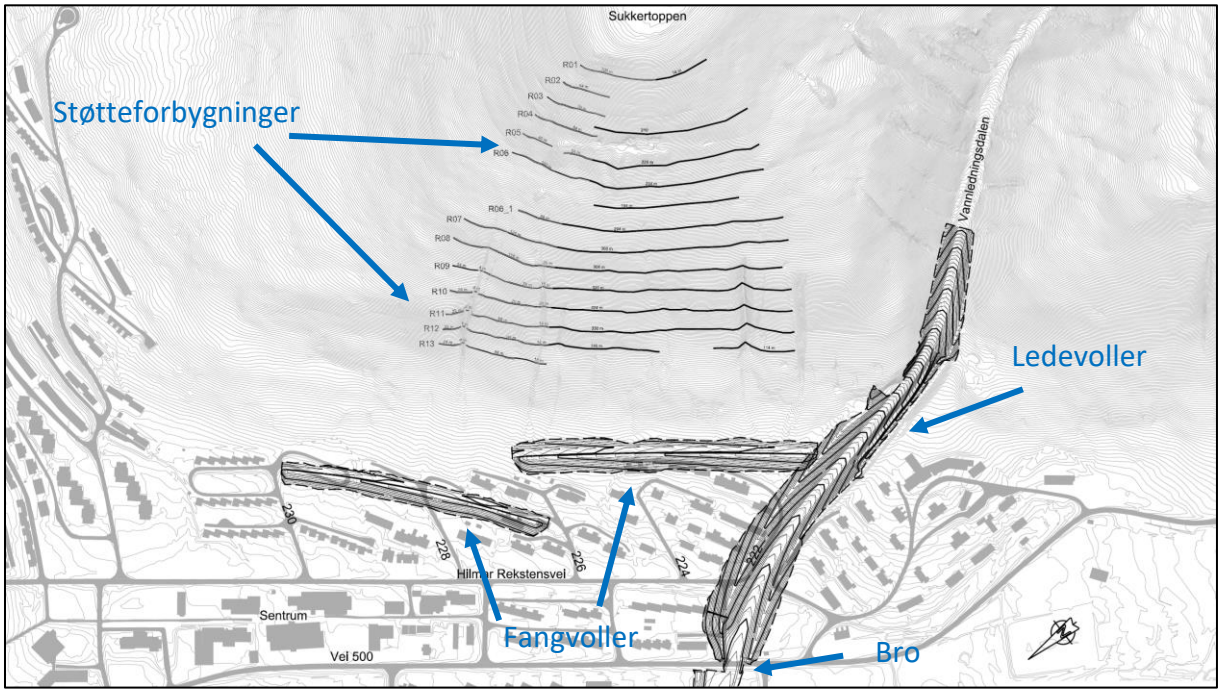
Nedbørfeltet ovenfor lokasjonen utgjør omtrent halvparten av nedbørfeltet til Vannledningsdalen, men utgjør kun omtrent 10 % av det potensielle løsneområdet for sørpeskred. Ettersom hovedandelen av det potensielle utløsningsområdet for sørpeskred ligger på nedsiden av foreslått plassering av sperredammen, vurderer vi at effekten av et tiltak her som liten og svært usikker. Omfanget av tiltak på skredvifta vil derfor måtte være det samme, selv om en sperredam skulle etableres. Av den grunn har vi ikke gått videre med denne løsningen.

7 Anbefalinger

Basert på de ulike sikringsløsningene og generelle forhold presentert i de foregående kapitlene, samt diskusjoner med LL og NVE underveis i prosjektet, har vi satt sammen fem sikringskonsepter som kombinerer ulike sikringsløsninger og -elementer. De fem presenterte konseptene har ulik kostnad og ulik nytteeffekt. I de følgende avsnittene er sikringskonseptene kort oppsummert, og til slutt er våre anbefalinger for valg av løsning gitt.

7.1 Sikringskonsept 1: Støtteforbygninger i hele Lia og ledevoller langs Vannledningselva

Sikringskonsept 1 består i at Sentrumsområdet og mellomområdet sikres med fangvoller og støtteforbygninger over hele Lia, mens Vannledningsdalen sikres med ledevoller rett ned, samt ny bro ved Vei 500. Konseptet er vist i Figur 29. Estimerte investeringskostnader er vist i Tabell 27, vedlikeholdskostnader i Tabell 28.



Figur 29: Foreslått sikringskonsept 1.

Tabell 27: Estimerte investeringskostnader for konsept 1. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

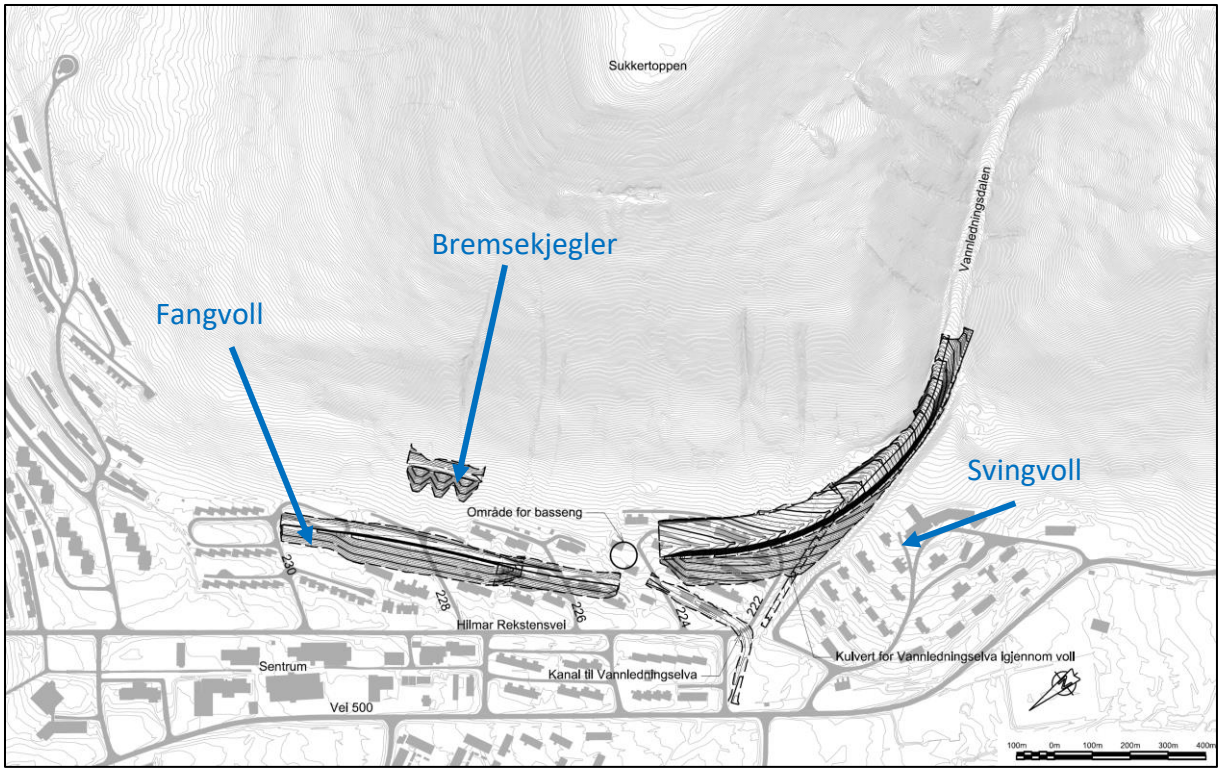
Område	Løsning	Element	Type	Estimert kost (mill. NOK)
Sentrumsområdet	KB2_01	KB2_01_A	Fangvoll	39
		KB2_01_B	Støtteforbygninger	52
Vannledningsdalen	KB2_02	KB2_02_A	Ledevoller	126
		KB2_02_B	Bro	24
Mellomområdet	KB2_06	KB2_06_A	Støtteforbygninger	108
		KB2_06_B	Fangvoll	63
Total				**412**

Tabell 28: Estimert gjennomsnittlig årlig vedlikeholdskostnad for konsept 1.

Område	Element	Type	Est. kostnad kNOK	Est. årlig vedl.kost nedre		Est. årlig vedl.kost øvre (realistisk)	
				%	NOK	%	NOK
Sentrumsomr.	KB2_01_A	Fangvoll	38 735	0,010	3 900	0,050	19 400
	KB2_01_B	Støtteforb	51 660	0,300	155 000	1,500	774 900
Vannl.dalen	KB2_02_A	Ledevoller	125 698	0,010	12 600	0,050	62 900
	KB2_02_B	Bro	24 000	0,010	2 400	0,050	12 000
Mellomomr.	KB2_06_A	Støtteforb	107 800	0,300	323 400	1,500	1 617 000
	KB2_06_B	Fangvoll	63 647	0,010	6 400	0,050	31 900
Total					**503 700**		**2 518 100**

7.2 Sikringskonsept 2: Bremsekjegler og fangvoll over sentrumsområdet, svingvoll fra Vannledningsdalen

Sikringskonsept 2 består i at Sentrumsområdet og mellomområdet sikres med fangvoller samt bremsekjegler der skredhastighetene er størst. Svingvoll sikrer mot sørpeskred fra Vannledningsdalen. Konseptet er vist i Figur 30, estimerte investeringskostnader i Tabell 29 og estimerte årlige vedlikeholdskostnader i Tabell 30.



Figur 30: Foreslått sikringskonsept 2.

Tabell 29: Estimerte investeringskostnader for konsept 2. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

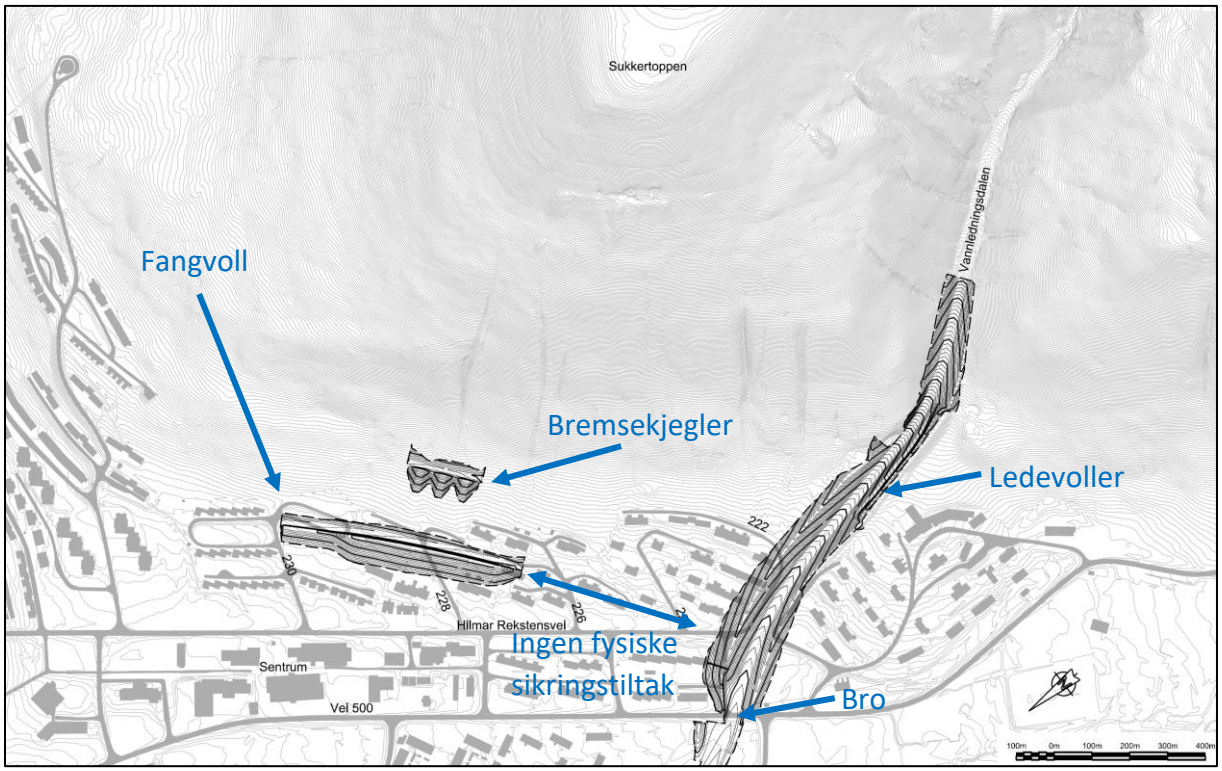
Område	Løsning	Element	Type	Estimert kostnad (mill. NOK)
Sentrumsområdet	KB2_04	KB2_04_A	Fangvoll	89
		KB2_04_B	Kjegler	15
Vannledningsdalen	KB2_03	KB2_03_A	Svingvoll	166
Mellomområdet	KB2_05	KB2_05_A	Fangvoll	25
Total				**294**

Tabell 30: Estimert gjennomsnittlig årlig vedlikeholdskostnad for konsept 2.

Område	Element	Type	Est. kostnad kNOK	Est. årlig vedl.kost nedre		Est. årlig vedl.kost øvre (realistisk)	
				%	NOK	%	NOK
Sentrumsomr.	KB2_04_A	Fangvoll	88 507	0,010	8 900	0,050	44 300
	KB2_04_B	Kjegler	15 140	0,020	3 100	0,100	15 200
Vannl.dalen	KB2_03_A	Svingvoll	165 803	0,010	16 600	0,050	83 000
Mellomomr.	KB2_05_A	Fangvoll	24 613	0,010	2 500	0,050	12 400
Total					**31 100**		**154 900**

7.3 Sikringskonsept 3: Bremsekjegler og fangvoll over sentrumsområdet, ledevoller langs Vannledningselva

Sikringskonsept 3 består i at Sentrumsområdet sikres med fangvoller samt bremsekjegler der skredhastighetene er størst. Ledevoller langs Vannledningselva sikrer mot sørpeskred. Mellomområdet sikres ikke med fysiske tiltak. Konseptet er vist i Figur 31 med estimerte investeringskostnader Tabell 31 og vedlikeholdskostnader i Tabell 32.



Figur 31: Foreslått sikringskonsept 3.

Tabell 31: Estimert investeringskostnad for sikringskonsept 3. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

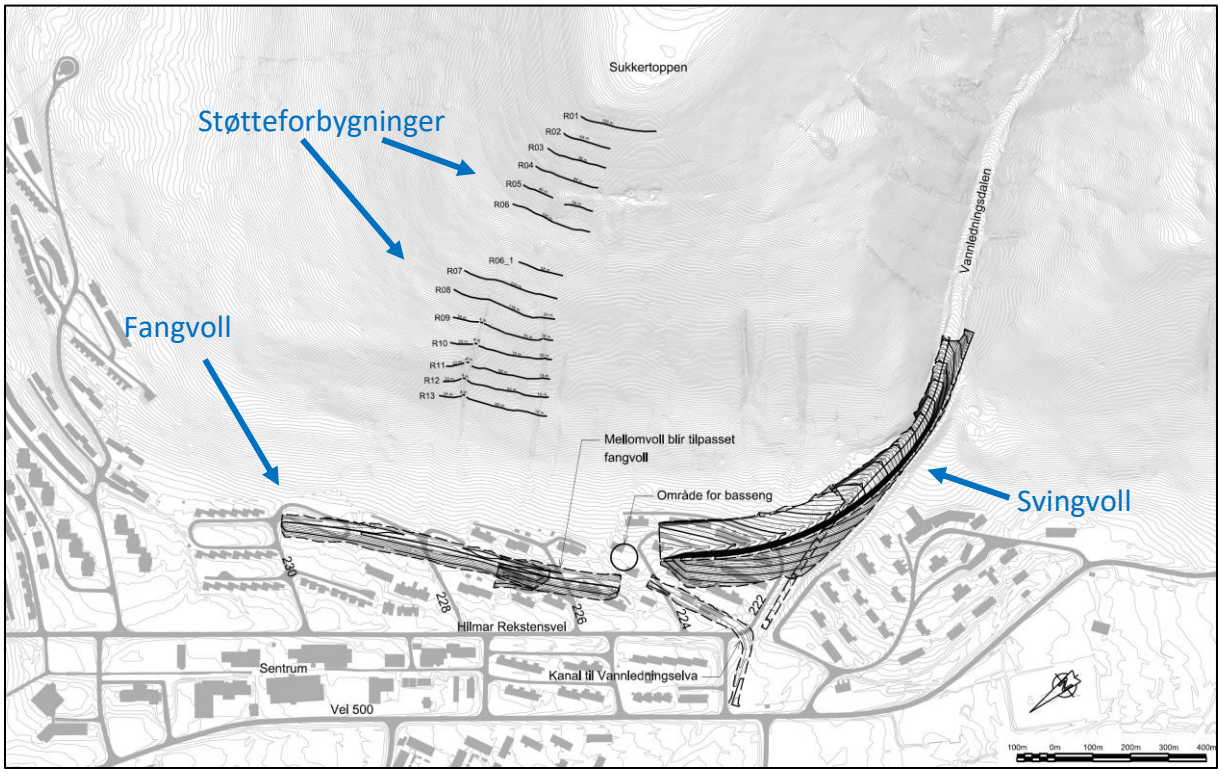
Område	Løsning	Element	Type	Estimert kostnad (mill. NOK)
Sentrumsområdet	KB2_04	KB2_04_A	Fangvoll	89
		KB2_04_B	Kjegler	15
Vannledningsdalen	KB2_02	KB2_02_A	Ledevoller	126
		KB2_02_B	Bro	24
Mellomområdet	Sikres ikke	-	-	-
Total				**253**

Tabell 32: Estimert gjennomsnittlig årlig vedlikeholdskostnad for konsept 3.

Område	Element	Type	Est. kostnad kNOK	Est. årlig vedl.kost nedre		Est. årlig vedl.kost øvre (realistisk)	
				%	NOK	%	NOK
Sentrum	KB2_04_A	Fangvoll	88 507	0,010	8 900	0,050	44 300
	KB2_04_B	Kjegler	15 140	0,020	3 100	0,100	15 200
Vannl.dalen	KB2_02_A	Ledevoller	125 698	0,010	12 600	0,050	62 900
	KB2_02_B	Bro	24 000	0,010	2 400	0,050	12 000
Mellomomr.	Ikke sikr.	-	-		-		-
Total					**27 000**		**134 400**

7.4 Sikringskonsept 4: Støtteforbygninger ovenfor sentrumsområdet, svingvoll fra Vannledningsdalen

Sikringskonsept 4 (Figur 32) består i at Sentrumsområdet sikres med støtteforbygninger samt en fangvoll nederst. Sørpeskred langs Vannledningsdalen styres med en svingvoll og fordrøyes i et basseng/voll. Mellomområdet sikres med disse vollene. Estimerte investeringskostnader er vist i Tabell 33, vedlikeholdskostnader i Tabell 34.



Figur 32: Foreslått sikringskonsept 4.

Tabell 33: Kostnadsestimat for konsept 4. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

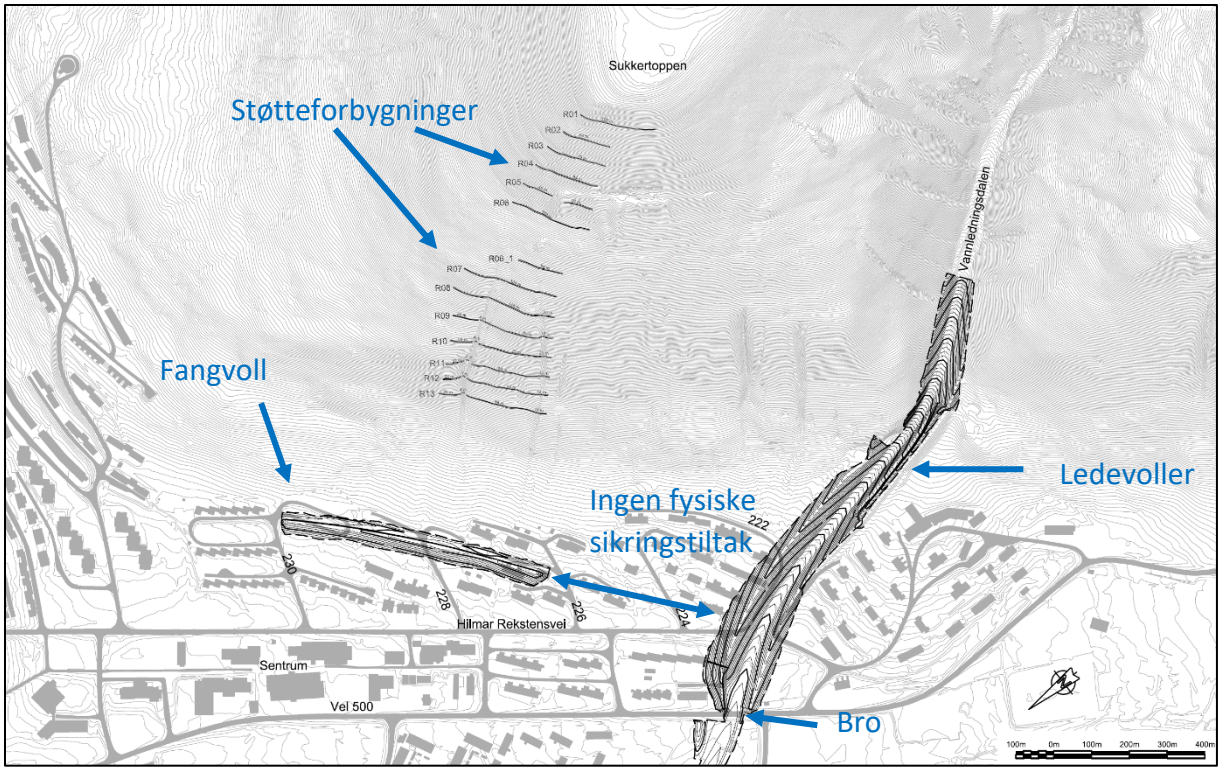
Område	Løsning	Element	Type	Estimert kostnad (mill. NOK)
Sentrumsområdet	KB2_01	KB2_01_A	Fangvoll	39
		KB2_01_B	Støtteforbygninger	52
Vannledningsdalen	KB2_03	KB2_03_A	Svingvoll	166
Mellomområdet	KB2_05	KB2_05_A	Fangvoll	25
Total				**281**

Tabell 34: Estimert gjennomsnittlig årlig vedlikeholdskostnad for konsept 4.

Område	Element	Type	Est. kostnad kNOK	Est. årlig vedl.kost nedre		Est. årlig vedl.kost øvre (realistisk)	
				%	NOK	%	NOK
Sentrum	KB2_01_A	Fangvoll	38 735	0,010	3 900	0,050	19 400
	KB2_01_B	Støtteforb.	51 660	0,300	155 000	1,500	774 900
Vannledningsdalen	KB2_03_A	Svingvoll	138 842	0,010	13 900	0,050	69 500
Mellomområdet	KB2_05_A	Fangvoll	24 613	0,010	2 500	0,050	12 400
Total					**175 300**		**876 200**

7.5 Sikringskonsept 5: Støtteforbygninger og fangvoll over sentrumsområdet, ledevoller langs Vannledningselva

Sikringskonsept 5 (Figur 31) består i at Sentrumsområdet sikres med støtteforbygninger og en fangvoll, mens sørpeskred ledes ned til Longyearelva med ledevoller. Mellomområdet sikres ikke med fysiske sikringstiltak. Estimerte investeringskostnader er vist i Tabell 31, vedlikeholdskostnader i Tabell 36.



Figur 33: Foreslått sikringskonsept 5. Som konsept 1, men uten sikring av området mellom Vannledningsdalen og sentrum.

Tabell 35: Kostnadsestimat for konsept 5. Kostnader ekskl. MVA. men inkl. rigg og drift (20 %).

Område	Løsning	Element	Type	Estimert kostnad (mill. NOK)
Sentrumsområde	KB2_01	KB2_01_A	Fangvoll	39
		KB2_01_B	Støtteforbygninger	52
Vannledningsdalen	KB2_02	KB2_02_A	Ledevoller	126
		KB2_02_B	Bro	24
Mellomområdet	Sikres ikke	-	-	-
Total				**240**

Tabell 36: Estimert gjennomsnittlig årlig vedlikeholdskostnad for konsept 5.

Område	Element	Type	Est. kost kNOK	Est. årlig vedl.kost nedre		Est. årlig vedl.kost øvre (realistisk)	
				%	NOK	%	NOK
Sentrum	KB2_01_A	Fangvoll	38 735	0,010	3 900	0,050	19 400
	KB2_01_B	Støtteforb.	51 660	0,300	155 000	1,500	774 900
Vannledningsdalen	KB2_02_A	Ledevoller	125 698	0,010	12 600	0,050	62 900
	KB2_02_B	Bro	24 000	0,010	2 400	0,050	12 000
Mellomområdet	Ikke sikret	-	-	-	-	-	-
Total					**173 900**		**869 200**

7.6 Anbefalt konsept

7.6.1 Restrisiko og usikkerheter

Det er skredteknisk usikkerhet rundt ledevollene ved Vannledningsdalen, fangvoller og bremsekjegler ovenfor sentrums- og mellomområdet. Usikkerhetene skyldes blant annet at man i dag bare har begrenset generell kunnskap om interaksjon mellom skredmasser i bevegelse og store elementer i skredbanen. Spesielt for sørpeskred er det usikkerheter rundt hvordan svært raske og store skredhendelser (scenario 1/1000 og sjeldnere) vil treffe og bevege seg rundt den øvre, sørlige, delen av ledevoller ved Vannledningsdalen. Gjennom utførte beregninger, analyser og vurderinger har vi forsøkt å minimere disse skredrelaterte usikkerhetene til et akseptabelt nivå på forprosjekt-stadiet.

Det er også knyttet skredtekniske usikkerheter til støtteforbygningene. Disse skyldes hovedsakelig usikkerhet med hvordan man skal håndtere at løsmasseskred treffer forbygningene, mens man har god forståelse for effekten av støtteforbygninger på utløsning av snøskred.

For samtlige konsepter, løsninger og elementer, er det usikkerhet rundt grunnforhold og fundamenteringsteknikk. Generelt er de største usikkerhetene knyttet til de største vollkonstruksjonene (ledevoller i Vannledningsdalen og stor fangvoll ovenfor sentrumsområdet).

De skred- og fundamenteringstekniske usikkerhetene kan medføre en viss restrisiko, men vi mener at man i stor grad kan redusere restrisiko til et akseptabelt nivå ved gjennomarbeidet design og konstruksjon. Det er usikkerheter og restrisiko knyttet til samtlige av de foreslåtte sikringskonseptene. Det er derfor ikke mulig å velge ut et konsept som kan anbefales over andre.

7.6.2 Kostnad og nytte

Det er stor forskjell i estimert investeringskostnad på de ulike konseptene, fra 412 mill. NOK (konsept 1) til 240 mill. NOK (konsept 5). Konsept 1 med støtteforbygninger over hele fjellsiden er den dyreste, og den er også forventet å ha høyest vedlikeholdskostnad. På den andre siden gjør dette konseptet det mulig for LL å utnytte den største delen av området

ovenfor Hilmar Rekstensvei. Dersom man ser mulighet for å dele kostnaden over flere etapper og over flere år, vil konseptet med støtteforbygninger i Lia egne seg godt til det. Man kan for eksempel først etablere støtteforbygninger nord i Lia, ovenfor sentrumsområdet, og deretter arbeide seg mot Vannledningsdalen (mot sør) i etapper.

Det er bare sikringskonsept 1 som gir et bra alternativ for å «redde» eksisterende bebyggelse i mellomområdet ovenfor Hilmar Rekstensvei. Dersom man går for en løsning der man aksepterer at bygningene i dette området ikke kan reddes, men må rives/avvikles over tid, mener vi at sikringskonsept 5 er det mest opplagte. I sikringskonsept 5 er det foreslått støtteforbygninger og en mindre fangvoll ovenfor sentrumsområdet, mens sørpeskred fra Vannledningsdalen sikres med ledevoller rett ned til Longyearelva. Konsept 5 er det rimeligste av de skisserte sikringskonseptene.

Basert på en enkel nytte/kostvurdering mener SHG at sikringskonsept 1 vil være den mest hensiktsmessige løsningen til tross for relativt høye estimerte investerings- og vedlikeholdskostnader. Dersom kostnadene gjør at man ikke ønsker å sikre mellomområdet med permanente, fysiske sikringstiltak, anbefaler vi å gå videre med sikringskonsept 5. Dersom man ønsker lavere vedlikeholdskostnader, men kan akseptere litt høyere investeringskostnader, er ikke støtteforbygninger en god løsning. Da vil konsept 3 være det mest aktuelle dersom man aksepterer at mellomområdet ikke sikres med permanente fysiske tiltak.

Dersom man av ulike grunner ønsker å gå videre med andre av de her skissert konseptene, mener vi at alle kan gi gode muligheter for å oppnå ønsket sikkerhetsnivå.

7.7 Videre arbeid

Ved valg av støtteforbygninger som en av sikringselementene som skal til detaljprosjektering er det viktig å befare planlagt utbyggingsområde og plassere radene i terrenget. Dette kan ikke skje om vinteren når fjellsiden er dekket med snø og terrengformene ikke er tydelige. En vinterbefaring bør allikevel utføres for å studere snøens fordeling i terrenget. SHG antar at oppdragsgiver ønsker en rask gjennomføring av detaljprosjektering og utlysningsdokumenter når beslutningen er tatt og det kan hende at det ikke er tid til å vente med utlysningsdokumentene til snøsmeltningen er over. Det kan derfor være nødvendig å lyse ut bygging av støtteforbygninger uten befaring og plassering av radene, men det kan skrives i utlysningsdokumentene at endelig plassering vil spesifiseres før oppstart av anleggsarbeidene. Det er anbefalt to befaringer, en om vinteren og en etter at snøen har smeltet bort og rett før anleggsarbeidene starter.

SHG anbefaler at forespørsel blir sendt til valgte leverandører av forsterkningsmateriale der hoved temaet er hva de anbefaler som løsning for sørpeskred i svingvollen eller ledevollen ned Vannledningsdalen, for å ta opp de store kreftene som oppstår ved skred langs vollsidene. SHG har uformelt forhørt seg med to leverandører bl.a. på konferanser, men formell forespørsel bør sendes til dem i god tide før oppstart av detaljprosjektering. De mest

aktuelle tilbydere er: ViaCon i Norge, Bewehrte Erde i Tyskland, Maccaferri i Italia, Tencate Storbritannia og Naue Tyskland.

Likeledes anbefaler SHG at det blir vurdert hvor bestandig lokalt steinmaterialet er mot forvitring fordi det vil kunne ha stor betydning for kostnadene. Dette er også tidligere foreslått av Rambøll. For å kunne bruke denne informasjonen til detaljprosjektering av løsmassevoller, er det ønskelig at dette arbeidet blir satt i gang så fort som mulig.

SHG anbefaler også sterkt å dele planlagt sikringsarbeid opp, slik at det ikke blir for mange store anleggsarbeider til enhver tid. Denne anbefalingen gjelder først og fremst hvis det blir planlagt å bygge sikringsvoller ovenfor sentrumsområdet og ved Vannledningsdalen.

Nordnorsk byggekontroll har målt inn deler av Lia og det finnes også data fra UNIS. Her er det foreslått at oppdragsgiver engasjerer f.eks. Nordnorsk byggekontroll til å utføre to målinger av snøforhold vinteren 2018-2019. Slik måling kan være i midten/slutten på februar 2019 og i slutten av april eller begynnelsen av mai 2019. Målingen kan være dronemålinger eller med laserskanner basert på terreng.

For å kunne dra lærdom av de utførte løsningene er her foreslått at monitorere tiltakene slik at det fås kunnskap om for eksempel bevegelser og sig i vollene, og sig i fundamentene på støtteforbygningene og jordmassen rundt dem.

8 Referanseliste

[1] J. O. Larsen, "Skredsikring og fundamentering i permafrost," 2016.

[2] S. Margreth, "Defense structures in avalanche starting zones. Technical guideline as an aid to enforcement," Bern, Switzerland, 2007.

[3] T. Jóhannesson, P. Gauer, D. Issler, and K. Lied, "The design of avalanche protection dams . Recent practical and theoretical developments PDF for publication," *Terrain*, 2008.

[4] ON-Regel, *ONR 24806 Permanenter technischer Bemessung und konstruktive Ausgestaltung*. Austria, 2011, p. 90.

[5] Norsk Standard, *NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016. Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*, vol. 1, no. 1. Norway, 2016, p. 123.

[6] NGI, "Longyearbyen, Svalbard, akuttbistand for snø - og sørpeskred. Vannledningsdalen - Et sammendrag av tidligere vurderinger av sikkerhet og tiltak," Oslo, Norge, 2012.

[7] NGI, "Longyearbyen, Svalbard. Tidligere skredvurderinger og skredgrenser ved NGI," Oslo, Norge, 2015.

[8] NGI, "Vannledningsdalen, Longyearbyen. Forprosjektering av sikringstiltak for bebyggelse og infrastruktur nedenfor Vannledningsdalen," Oslo, Norge, 2015.

[9] NVE, "Skredfarekartlegging i utvalgte områder på Svalbard," 2016.

[10] E. Hestnes and K. Kristensen, "The diversities of large slushflows illustrated by selected cases," in *Proceedings 2010 International Snow Science Workshop 2010 International Snow Science Workshop*, 2010, pp. 348–355.

[11] NGI, "Vannledningsdalen, Longyearbyen. Sikring av bebyggelse og infrastruktur mot sørpeskred. Oppsummering etter møter og befaring 18.-20.04.2012," Oslo, Norge, 2012.

[12] NGI, "Longyearbyen. Vurdering av tiltak mot snøskred, sørpeskred og drivsnø i Longyearbyen," Oslo, Norge, 1991.

[13] M. Christen, J. Kowalski, and P. Bartelt, "RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain," *Cold Reg. Sci. Technol.*, vol. 63, no. 1–2, pp. 1–14, 2010.

[14] K. Isaksen, E. J. Førland, A. Dobler, R. Benestad, J. E. Haugen, and A. Mezghani, "Klimascenarioer for Longyearbyen-området, Svalbard," 2017.

[15] Skred AS, "Svalbard, Longyearbyen – Skredfarevurderinger i Lia. Vurderinger for dimensjonerende skred," 2018.

[16] T. Jóhannesson, P. Gauer, D. Issler, and K. Lied, *The design of avalanche protection dams*. European Commission, 2009.

[17] J. O. Larsen, “Skredsikring og fundamentering i permafrost. Case: Arktiske strøk - Longyearbyen, Svalbard. Kompendium: 2016-12,” Almaviva AS, Drammen, 2016.

[18] F. Rudolf-Miklau, S. Sauermoser, and A. I. Mears, Eds., *The technical avalanche protection handbook*. Ernst & Sohn, 2015.

[19] Norges geotekniske institutt NGI, “Karakterisering av massene i Lia, Longyearbyen,” Oslo, 20180594–01–TN, 2018.

[20] NVE, “Skredrapport Sukkertoppen. Dimensjonerende skred fra Sukkertoppen og faresoner for Lia under Sukkertoppen,” Narvik, 201708556–27, 2018.

[21] NVE, “Gjennomgang og evaluering av skredhendelsen i Longyearbyen 21.02.2017,” Oslo, NVE Rapport nr 31-2017, 2017.

[22] NGI, “Geomorfologisk kartlegging av overflatestrukturer i Longyearbyen, Svalbard,” 1986.

[23] Sintef, “Skredsikring i Longyearbyen. Grunnundesøkelser i Lia ovenfor Hilmar Rekstens vei. Feltrapport - Grunnundersøkelser,” Trondheim, 2017.

[24] Rambøll Norge AS, “Skredsikring Sukkertoppen. Geoteknisk vurdering for forprosjekt fase B2,” G-not-001 135002937, 2018.

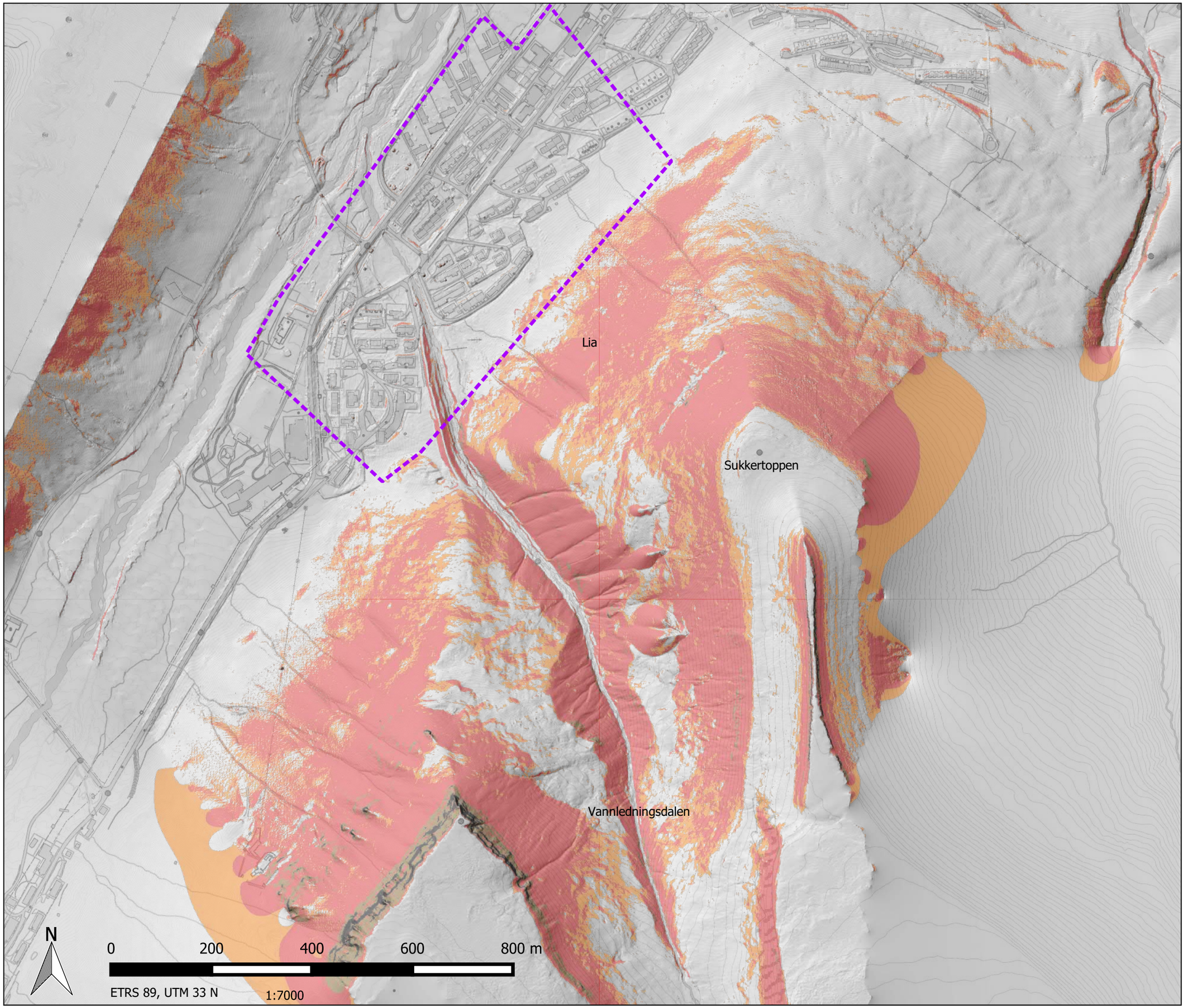
[25] Rambøll Norge AS, “Skredsikring Sukkertoppen. Oppsummering fra prøvegraving og befaring,” Longyearbyen, G-not-002 1350029372, 2018.

[26] Rambøll Norge AS, “Ingeniørgeologisk kartlegging og vurdering til forprosjektering av skredsikringstiltak for Sukkertoppen og Vannledningsdalen,” Trondheim, G-not-003 1350029372, 2018.

[27] Skred AS, “Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak, Sukkertoppen og Vannledningsdalen. Håndtering av overvann og sedimenter,” 2018.

[28] E. Júlíusson, K. Martha Hákonardóttir, and J. S. Indriðason, “Ástandsmat varnargarða. Ofanflóð,” Reykjavik, 2017.

[29] NVE, “Konseptstudie. Sikringstiltak Sukkertoppen og Vannledningsdalen,” 201706702–17, 2018.



Kartforklaring

Analyseområde

Terrenghelning

- 0-25°
- 25-30°
- 30-45°
- 45-60°
- 60-90°

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Prosjekt	18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak
Oppdragsgiver	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Rapport	18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak - fase B2
Tegning	18241-03-KB2_00-01 Analyseområdet og terrenget rundt
Dato	2018-11-19
Utført	Kalle Kronholm
Kontroll	Arni Jonsson

Sukkertoppen

R01 100 m
R02 64 m
R03 76 m
R04 84 m
R05 40 m 34 m
R06 100 m
R06_1 88 m
R07 124 m
R08 118 m 20 m
R09 34 m 4 m 76 m 16 m
R10 28 m 4 m 76 m 20 m
R11 22 m 4 m 88 m 14 m
R12 22 m 4 m 94 m 14 m
R13 28 m 4 m 88 m 18 m

Vannledningsdalen

230
228
226
224
222

Hilmar Rekstensvei

Sentrum

Vei 500

100m 0m 100m 200m 300m 400m

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6			
5			
4			
3			
2			
1			
△	Breytingar:		Dags.:

Status: Forprosjektering

Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241

Design: AJ Tegn.: AJ QC: -

Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad

Pnr.: 160359-5289/160359-18748 Dato: 19/11/2018

Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE
Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen
Sikringsforslag KB2_01
-

Orignal: ISO A1 M: 1:4000

Tegn. nr.: 18241-03-KB2_01-01 Utg.: 0

C:\Users\arnl\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Teikningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-KB2_01_Report.dgn

Kartforklaring

Analyseområde

01A Fangvoll

01B Støtteforbygninger

Faresoner samlet uten sikring

≥1/100

≥1/333

≥1/1000

≥1/5000

Faresoner - Løsning KB2_01

≥1/100

≥1/333

≥1/1000

≥1/5000

N

0 70 140 210 280 m

ETRS 89, UTM 33 N

1:2000

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Prosjekt	18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak
Oppdragsgiver	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Rapport	18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak - fase B2
Tegning	18241-03-KB2_01-02 Faresoner før og etter sikringsløsning KB2_01
Dato	2018-11-19
Utført	Kalle Kronholm
Kontroll	Arni Jonsson

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6			Status: Forprosjektering
5			
4			Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241
3			Design: AJ Tegn.: AJ QC: -
2			Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad
1			Prn.: 160359-5289/160359-18748 Date: 19/11/2018
△	Breytingar:	Dags.:	Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS
HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE
Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen
Sikringsforslag KB2_02
-

Orignal:	ISO A1	Tegn. nr.:	Utg.:
M:	1:4000	18241-03-KB2_02-01	0

C:\Users\arni\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Teikningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-KB2_02_Report .dgn

Kartforklaring

Analyseområde

Faresoner samlet uten sikring

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

Faresoner - Løsning KB2_02

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

N

0 70 140 210 280 m

ETRS 89, UTM 33 N

1:2000

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Prosjekt	18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak
Oppdragsgiver	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Rapport	18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak - fase B2
Tegning	18241-03-KB2_02-02 Faresoner før og etter sikringsløsning KB2_02
Dato	2018-11-19
Utført	Kalle Kronholm
Kontroll	Arni Jonsson

Sukkertoppen

Vannledningsdalen

Område for basseng

55.0m

0.0m

230

228

226

224

222

Hilmar Rekstensvei

Kanal til Vannledningselva

Kulvert for Vannledningselva igjennom voll

Sentrum

Vei 500

100m 0m 100m 200m 300m 400m

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6			
5			
4			
3			
2			
1			
△	Breytingar:	Dags.:	

Status: Forprosjektering

Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241

Design: AJ Tegn.: AJ QC: -

Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad

Pnr.: 160359-5289/160359-18748 Dato: 19/11/2018

Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE

Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen

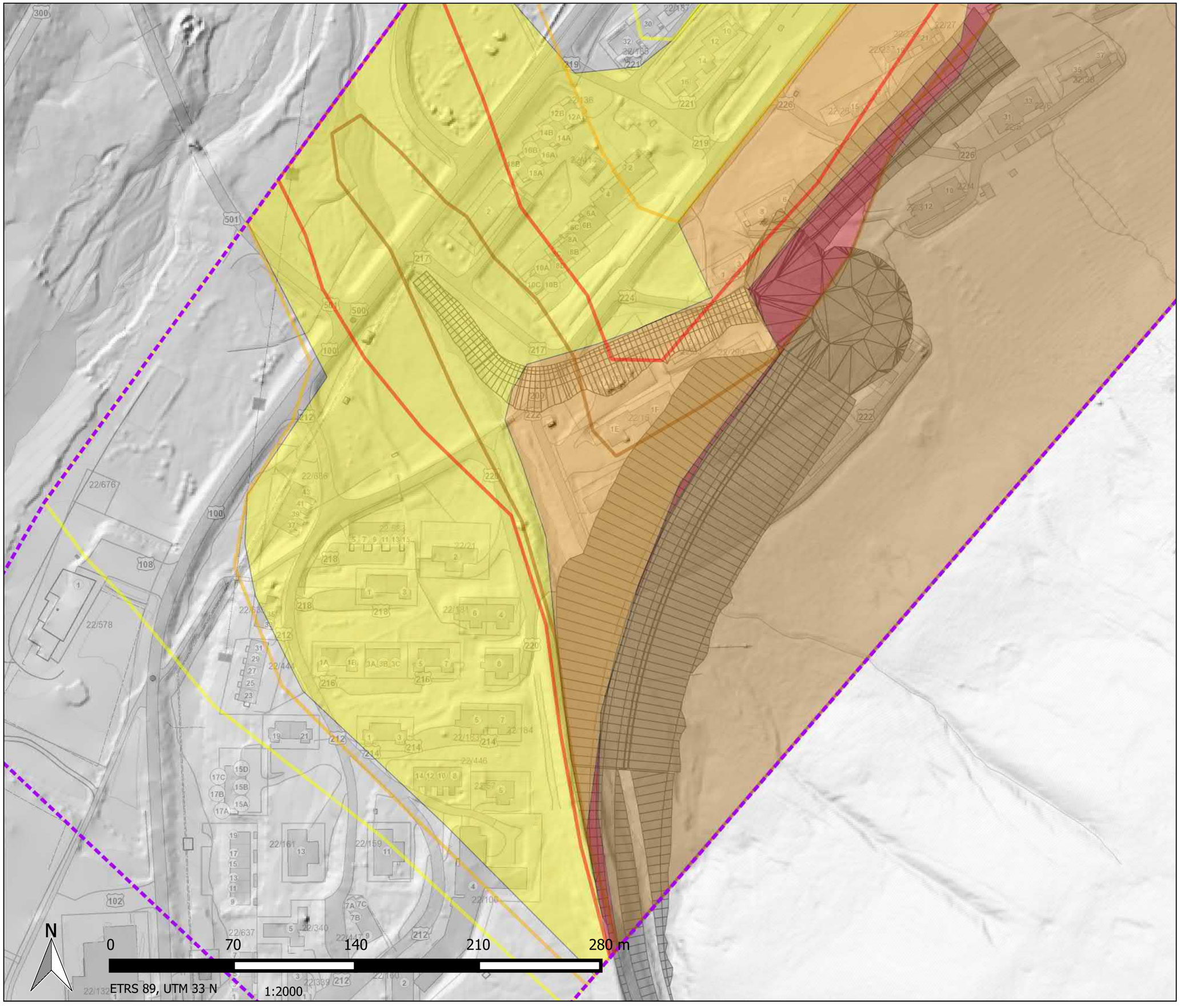
Sikringsforslag KB2_03

-

Orignal: ISO A1 M: 1:4000

Tegn. nr.: 18241-03-KB2_03-01 Utg.: 0

C:\Users\arni\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Teikningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-KB2_03_Report .dgn



Kartforklaring

Analyseområde

Faresoner samlet uten sikring

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

Faresoner - Løsning KB2_03

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Prosjekt	18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak
Oppdragsgiver	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Rapport	18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak - fase B2
Tegning	18241-03-KB2_03-02 Faresoner før og etter sikringsløsning KB2_03
Dato	2018-11-19
Utført	Kalle Kronholm
Kontroll	Arni Jonsson

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6		
5		
4		
3		
2		
1		
△	Breytingar:	Dags.:

Status: Forprosjektering

Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241

Design: AJ Tegn.: AJ QC: -

Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad

Pnr.: 160359-5289/160359-18748 Dato: 19/11/2018

Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE

Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen

Sikringsforslag KB2_04

-

Orignal: ISO A1 Tegn. nr.: Utg.:

M: 1:4000 18241-03-KB2_04-01 0

C:\Users\arnl\OneDrive - Hnlt verkfræðlstofa hf\Vinna\18247\08-Teikningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-KB2_04_Report .dgn

Kartforklaring

Analyseområde

Faresoner samlet uten sikring

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

Faresoner - Løsning KB2_04

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

N

0 70 140 210 280 m

ETRS 89, UTM 33 N

1:2000

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Prosjekt	18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak
Oppdragsgiver	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Rapport	18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak - fase B2
Tegning	18241-03-KB2_04-02 Faresoner før og etter sikringsløsning KB2_04
Dato	2018-11-19
Utført	Kalle Kronholm
Kontroll	Arni Jonsson

Sukkertoppen

Vannledningsdalen

Den korte fangvollen er forlenging av fangvoll KB2_04
og supplerer sikring med ledevoll KB2_03 (Svingvoll).
Tilnærmet samme forlenging kan forlenge fangvoll KB2_01.

230

228

226

224

222

Hilmar Rekstensvei

Sentrum

Vei 500

100m 0m 100m 200m 300m 400m

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6		
5		
4		
3		
2		
1		
△	Breytingar:	Dags.:

Status: Forprosjektering

Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241

Design: AJ Tegn.: AJ QC: -

Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad

Pnr.: 160359-5289/160359-18748 Dato: 19/11/2018

Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

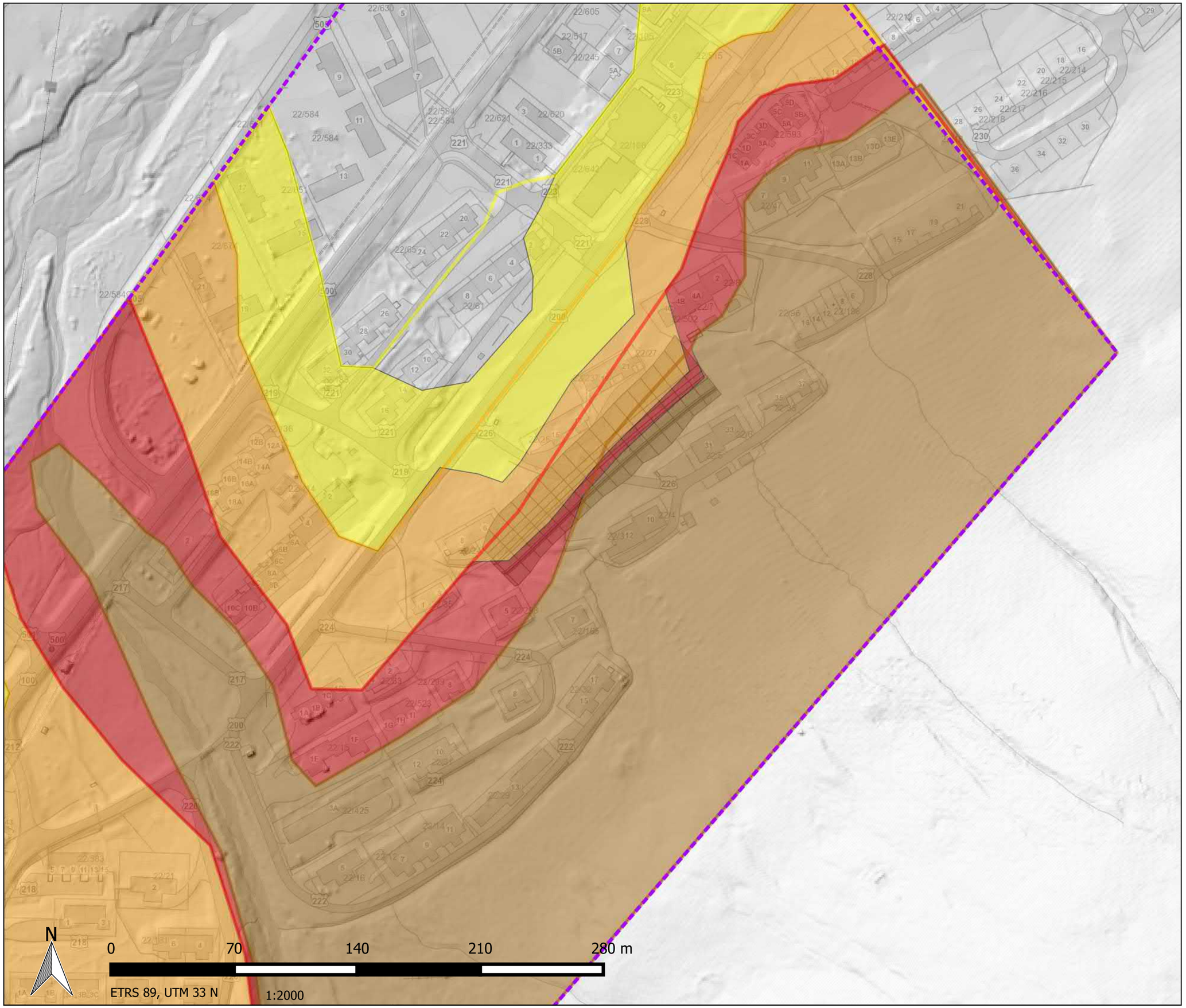
Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE
Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen
Sikringsforslag KB2_05
-

Orignal: ISO A1 M: 1:4000

Tegn. nr.: 18241-03-KB2_05-01 Utg.: 0

C:\Users\arnl\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Teikningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-KB2_05_Report.dgn



Kartforklaring

Analyseområde

Faresoner samlet uten sikring

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Prosjekt
18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak

Oppdragsgiver
Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

NVE

Rapport
18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak - fase B2

Tegning
18241-03-KB2_05-02
Faresoner før og etter sikringsløsning KB2_05

Dato	2018-11-19
Utført	Kalle Kronholm
Kontroll	Arni Jonsson

Sukkertoppen

Område for støtteforbygninger i sikringsforslag KB2_01

Vannledningsdalen

74 m

210

228 m

234 m

194 m

294 m

308 m

304 m

320 m

324 m

330 m

146 m

114 m

230

228

226

224

222

Hilmar Rekstensvei

Sentrum

Vei 500

100m 0m 100m 200m 300m 400m

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6		
5		
4		
3		
2		
1		
△	Breytingar:	Dags.:

Status: Forprosjektering

Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241

Design: AJ Tegn.: AJ QC: -

Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad

Pnr.: 160359-5289/160359-18748 Dato: 27/11/2018

Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE

Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen

Sikringsforslag KB2_06

-

Orignal: ISO A1 Tegn. nr.: Utg.:

M: 1:4000 18241-03-KB2_06-01 2

C:\Users\arnl\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Teikningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-KB2_06_Report.dgn

Sukkertoppen

R01 100 m 74 m
R02 64 m
R03 76 m
R04 82 m 210
R05 40 m
R06 34 m 228 m
100 m 234 m
194 m
R06_1 88 m 294 m
R07 154 m
R08 308 m
R09 34 m 4 m
110 m 20 m 304 m
R10 28 m 4 m
76 m 16 m 320 m
R11 22 m 4 m
70 m 20 m 324 m
R12 22 m 4 m
88 m 14 m 330 m
R13 28 m 4 m
94 m 14 m 146 m
88 m 16 m 114 m

Vannledningsdalen

230
228
226
224
222

Hilmar Rekstensvei

Sentrum

Vei 500

100m 0m 100m 200m 300m 400m

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6			
5			
4			
3			
2			
1			
△	Breytingar:		Dags.:

Status: Forprosjektering

Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241

Desåjn: AJ Tegn.: AJ QC: -

Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad

Pnr.: 160359-5289/160359-18748 Date: 27/11/2018

Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE

Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen

Sikringsforslag KB2_10-01. Konsept 1

-

Orignal: ISO A1 Tegn. nr.: Utg.:

M: 1:4000 18241-03-KB2_10-01 1

C:\Users\arni\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Telkningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-KB2_10-01_Konsept1_Report.dgn

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6			
5			
4			
3			
2			
1			
△	Breytingar:	Dags.:	

Status: Forprosjektering

Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241

Desig.: AJ Tegn.: AJ QC: -

Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad

Pnr.: 160359-5289/160359-18748 Dato: 27/11/2018

Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE

Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen

Sikringsforslag KB2_10-02. Konsept 2

-

Orignal: ISO A1 M: 1:4000

Tegn. nr.: 18241-03-KB2_10-02 Utg.: 1

C:\Users\arni\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Teikningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-KB2_10-02_Konsept2_Report.dgn

Sukkertoppen

Vannledningsdalen

222

230

228

226

224

Hilmar Rekstensvei

Sentrum

Vei 500

100m 0m 100m 200m 300m 400m

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6			Status: Forprosjektering
5			
4			Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241
3			Design: AJ Tegn.: AJ QC: -
2			Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad
1			Pnr.: 160359-5289/160359-18748 Date: 27/11/2018
△	Breytingar:	Dags.:	Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE

Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen

Sikringsforslag KB2_10-03. Konsept 3

-

Orignal:	ISO A1	Tegn. nr.:	Utg.:
M:	1:4000	18241-03-KB2_10-03	1

C:\Users\arni\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Telkningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-KB2_10-03_Konsept3_Report.dgn

Sukkertoppen

R01 100 m
R02 64 m
R03 76 m
R04 84 m
R05 40 m 34 m
R06 100 m
R06_1 58 m
R07 124 m
R08 118 m 20 m
R09 34 m 4 m 76 m 16 m
R10 28 m 4 m 76 m 20 m
R11 22 m 4 m 88 m 14 m
R12 22 m 4 m 94 m 14 m
R13 28 m 4 m 88 m 18 m

Vannledningsdalen

Mellomvoll blir tilpasset fangvoll

Område for basseng

230
228
226
224
222

Hilmar Rekstensvei

Sentrum

Vei 500

Kanal til Vannledningselva

100m 0m 100m 200m 300m 400m

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6			
5			
4			
3			
2			
1			
△	Breytingar:	Dags.:	

Status: Forprosjektering

Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241

Desiign: AJ Tegn.: AJ QC: -

Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad

Pnr.:160359-5289/160359-18748 Dato: 27/11/2018

Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS
HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE
Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen
Sikringsforslag KB2_10-04. Konsept 4
-

Orignal: ISO A1 M: 1:4000

Tegn. nr.: 18241-03-KB2_10-04 Utg.: 1

C:\Users\arni\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Teikningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-KB2_10-04_Konsept4_Report.dgn

Sukkertoppen

R01 100 m
R02 64 m
R03 76 m
R04 84 m
R05 40 m 34 m
R06 100 m
R06_1 88 m
R07 124 m
R08 110 m 20 m
R09 24 m 4 m 78 m 16 m
R10 28 m 4 m 76 m 20 m
R11 22 m 4 m 88 m 14 m
R12 22 m 4 m 94 m 14 m
R13 28 m 4 m 88 m 16 m

Vannledningsdalen

222
230
228
226
224

Hilmar Rekstensvei

Sentrum

Vei 500

100m 0m 100m 200m 300m 400m

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6			Status: Forprosjektering
5			
4			Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241
3			Design: AJ Tegn.: AJ QC: -
2			Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad
1			Pnr.: 160359-5289/160359-18748 Date: 27/11/2018
△	Breytingar:	Dags.:	Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS
HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE
Longyearbyen
Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen
Sikringsforslag KB2_10-05. Konsept 5
-

Orignal:	ISO A1	Tegn. nr.:	Utg.:
M:	1:4000	18241-03-KB2_10-05	1

C:\Users\arni\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Telkningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-KB2_10-05_Konsept5_Report.dgn

Kartforklaring

Analyseområde

Revurderte faresoner - Dagens forhold

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

Faresoner - Konsept 1

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

N

0 100 200 300 400 m

ETRS 89, UTM 33 N 1:3000

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Prosjekt	18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak
Oppdragsgiver	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Rapport	18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak - fase B2
Tegning	18241-03-KB2_10-06 Faresoner med konsept 1
Dato	2018-11-29
Utført	Kalle Kronholm
Kontroll	Arni Jonsson

Kartforklaring

Analyseområde

Revurderte faresoner - Dagens forhold

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

Faresoner - Konsept 2

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

N

0 100 200 300 400 m

ETRS 89, UTM 33 N 1:3000

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Prosjekt	18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak
Oppdragsgiver	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Rapport	18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak - fase B2
Tegning	18241-03-KB2_10-07 Faresoner med konsept 2
Dato	2018-11-29
Utført	Kalle Kronholm
Kontroll	Arni Jonsson

Kartforklaring

Analyseområde

Revurderte faresoner - Dagens forhold

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

Faresoner - Konsept 3

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

N

0 100 200 300 400 m

ETRS 89, UTM 33 N 1:3000

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Prosjekt
18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak

Oppdragsgiver
Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

NVE

Rapport
18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak - fase B2

Tegning
18241-03-KB2_10-08
Faresoner med konsept 3

Dato	2018-11-29
Utført	Kalle Kronholm
Kontroll	Arni Jonsson

Kartforklaring

Analyseområde

Revurderte faresoner - Dagens forhold

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

Faresoner - Konsept 4

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

N

0 100 200 300 400 m

ETRS 89, UTM 33 N 1:3000

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Prosjekt	18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak
Oppdragsgiver	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Rapport	18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak - fase B2
Tegning	18241-03-KB2_10-09 Faresoner med konsept 4
Dato	2018-11-29
Utført	Kalle Kronholm
Kontroll	Arni Jonsson

Kartforklaring

Analyseområde

Revurderte faresoner - Dagens forhold

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

Faresoner - Konsept 4

- ≥1/100
- ≥1/333
- ≥1/1000
- ≥1/5000

N

0 100 200 300 400 m

ETRS 89, UTM 33 N 1:3000

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Prosjekt
18241 Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak

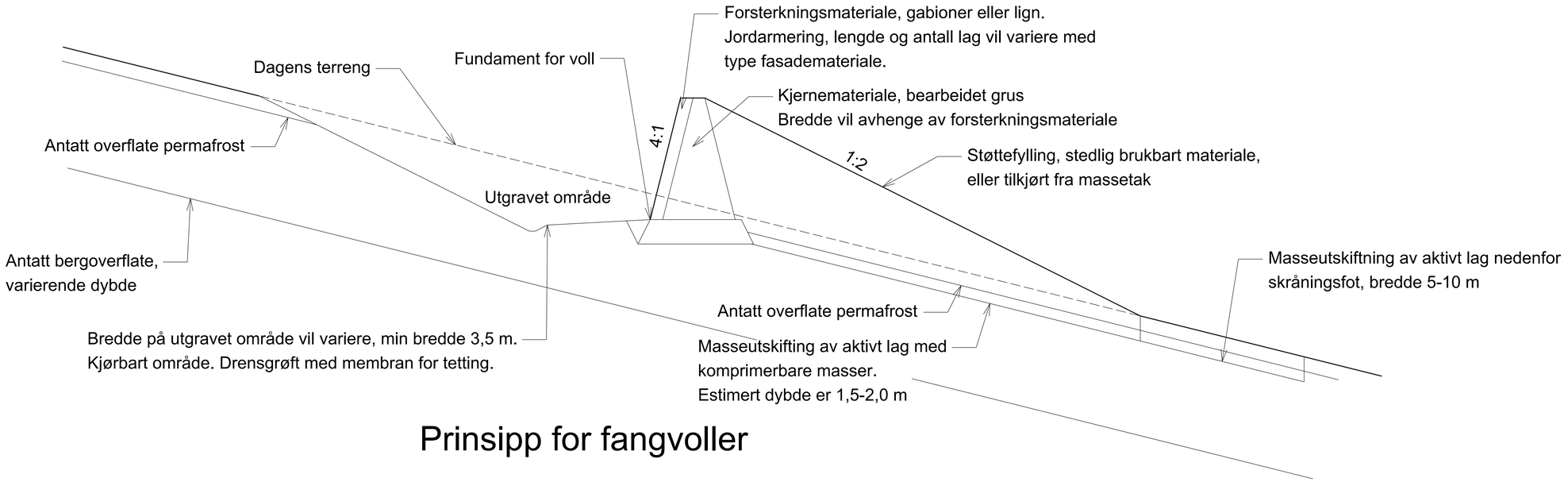
Oppdragsgiver
Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

NVE

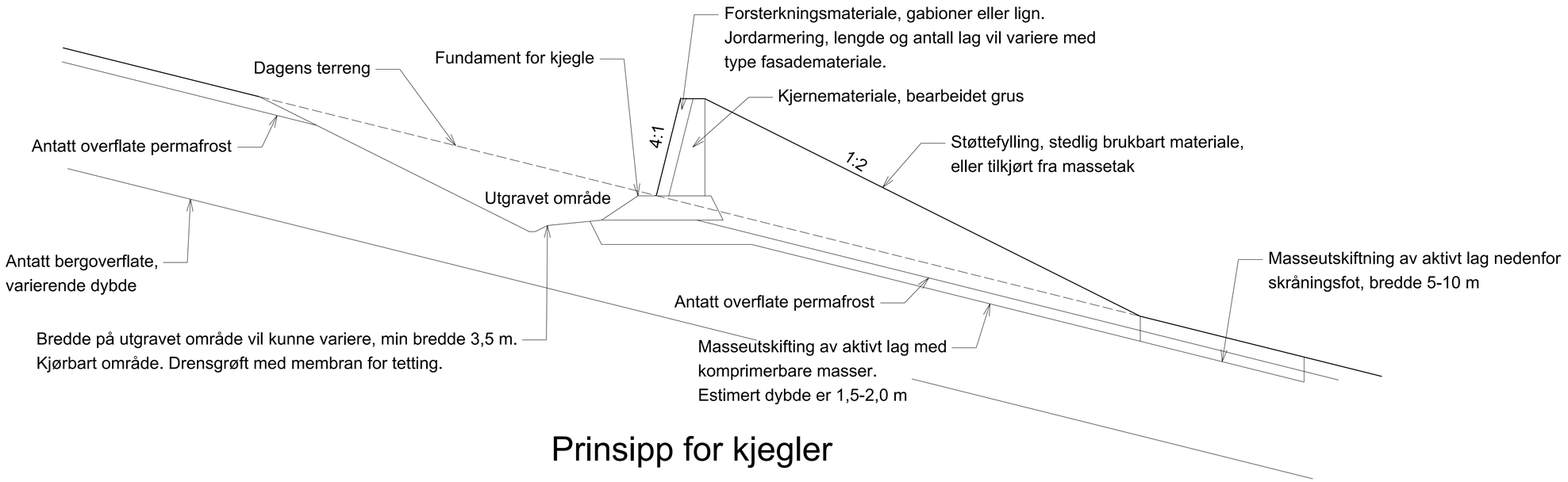
Rapport
18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak - fase B2

Tegning
18241-03-KB2_10-10
Faresoner med konsept 5

Dato	2018-11-29
Utført	Kalle Kronholm
Kontroll	Arni Jonsson



Prinsipp for fangvoller



Prinsipp for kjegler

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6			
5			
4			
3			
2			
1			
△	Breytingar:	Dags.:	

Status: Forprosjektering

Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241

Design: AJ Tegn.: AJ QC: -

Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad

Pnr.: 160359-5289/160359-18748 Dato: 19/11/2018

Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

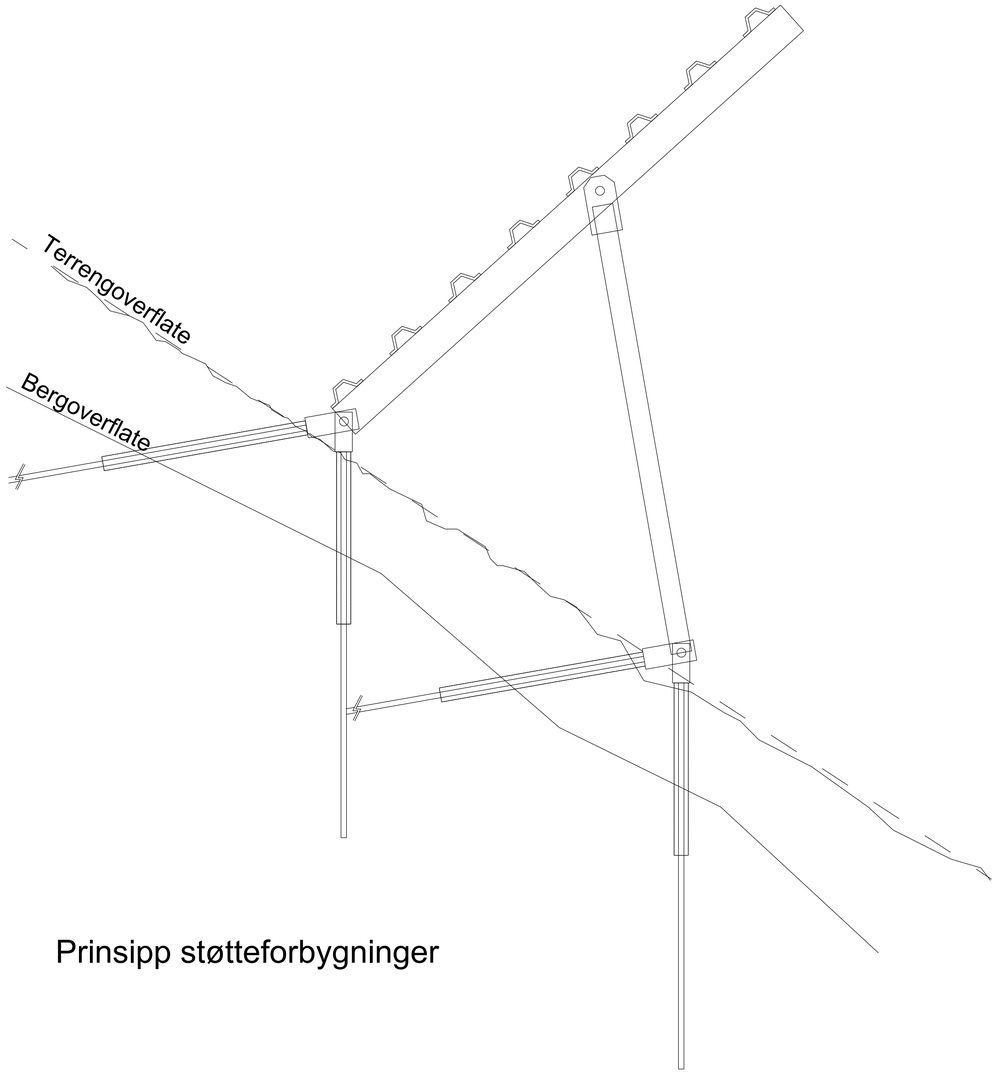
Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE
Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen
Prinsipp skisser fangvoll og kjegler
-

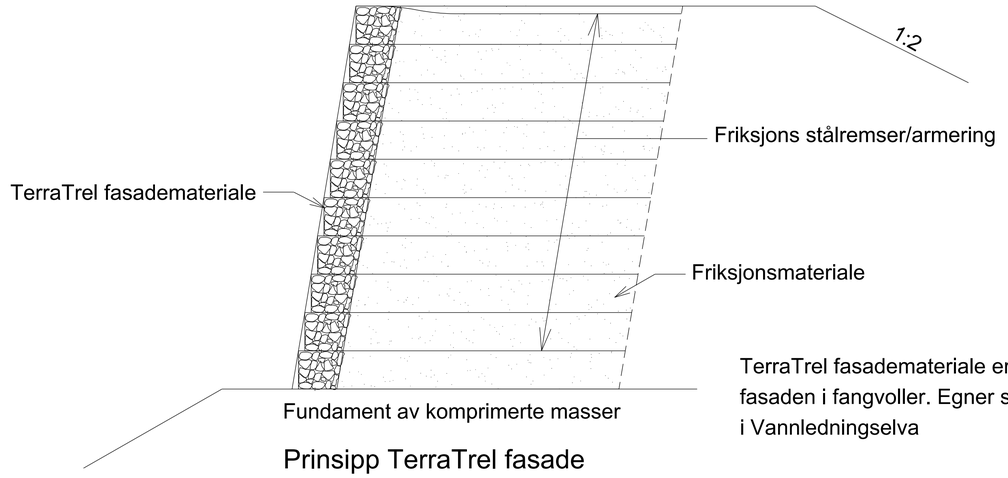
Orignal: ISO A1 Tegn. nr.: Utg.:

M: - 18241-03-KB2_90-01 0

C:\Users\arnl\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Teikningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-DET .dgn



Prinsipp støtteforbygninger



Prinsipp TerraTrel fasade

TerraTrel fasademateriale er en mulighet for fasaden i fangvoller. Egner seg trolig ikke for ledevoller i Vannledningselva

Forklaring:

Koordinatsystem:	UTM 33
Høydesystem:	Longyearbyen
Kartdata:	Norsk Polarinstitutt
Terrengmodell:	HNIT

6			
5			
4			
3			
2			
1			
△	Breytingar:	Dags.:	

Status: Forprosjektering

Prosj. HNIT: 18247 Prosj. Skred AS: 18241

Design: AJ Tegn.: AJ QC: -

Kontakt NVE: Stian Bue Kanstad

Pnr.:160359-5289/160359-18748 Dato: 19/11/2018

Godkjent: Sign. Arni Jonsson

SKRED AS

HNIT VERKFRÆÐISTOFA

Norges Vassdrags- og Energidirektorat NVE

Longyearbyen

Sikringstiltak - Sukkertoppen og Vannledningsdalen

Prinsipp skisser voller og støtteforbygninger

-

Orignal: ISO A1 M: -

Tegn. nr.: 18241-03-KB2_90-02 Utg.: 0

C:\Users\arnl\OneDrive - Hnit verkfræðistofa hf\Vinna\18247\08-Teikningar\04-Hönnunarskrár\HNIT-B-PRO-T-DET .dgn