

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 18241-25-1 Utført av Kalle Kronholm, Arni Jonsson (HNIT), Hallvard S. Nordbrøden	Dato 2021-04-13 Kontrollert av Andrea Taurisano

Forprosjektering av nettløsning mot sørpeskred i Vannledningsdalen

Sammendrag

Området på Haugen i Longyearbyen, og videre ned mot Longyearelva er utsatt for sørpeskred. Skred AS og HNIT har tidligere foreslått ulike sikringsløsninger, hvorav en løsning med kanal ned gjennom vifta og en svingvoll med et masseavlagringsbasseng ovenfor bebyggelsen ble detaljert på forprosjektnivå. En sikringsløsning med nett (flomskredgjerd) har tidligere blitt nevnt som en mulig sikringsløsning, men på grunn av manglende eksempler på dette andre steder i verden, ble det tidligere valgt å ikke gå videre med nett som sikringsløsning.

Målet med denne rapporten er å bringe en sikringsløsning som involverer nett, opp på samme detaljnivå som de tidligere skisserte tiltakene. Denne rapporten er ment som en forprosjektering som skal danne grunnlag for videre arbeid med detaljprosjektering av sikringstiltak for bebyggelsen på Haugen i Longyearbyen.

Vi vurderer at sikring med nett er en realistisk sikringsløsning, og foreslår 14 nett nedover i Vannledningsdalen. På vifta er det behov for ledevoller med en omtrentlig høyde på 3 m, for å lede flomvann trygt forbi bebyggelsen. Broene ved Perleporten og Veg 500 trenger ikke å endres, men det må renskes masser i elveløpet som en del av det allerede eksisterende drift og vedlikehold. Faresoner etter sikring er vurdert og tegnet. Vi mener man vil kunne sikre skole og barnehage opp til kravet for sikkerhetsklasse S3, men ikke Funken.

Basert på grove anslag, vil kostnad for en løsning med nett være 50-75 mill. NOK. De tidligere foreslåtte sikringsløsningene med voller var estimert til 120-170 mill. NOK.

Innhold

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Mål	5
1.3	Befaringer	6
1.4	Forbehold	6
1.5	Hva er «nett»?	6
1.6	Uavhengig kontroll	7
2	Premisser	8
2.1	Skredrelaterte føringer for type og omfang av tiltak	8
2.2	Landskap og utforming	8
2.3	Geoteknikk og grunnforhold	8
2.4	Mengdeberegninger og kostnadsestimat	8
3	Grunnlag	9
3.1	Terrengmodell og andre kartdata	9
3.2	Standarder og regelverk	9
3.3	Geoteknisk kategori, pålitelighetsklasse og kontrollklasse	10
4	Skredvurderinger	11
4.1	Bakgrunn	11
4.2	Relevante skredtyper	11
4.3	Tidligere vurderinger	11
4.4	Kjente sørpeskredhendelser i Vannledningsdalen	12
4.5	Sørpeskredscenarioer	12
4.6	Sørpeskred og klimaendringer	15
5	Metodikk for beregningene	17
5.1	Bruk av RAMMS for sørpeskred	17
5.1.1	Utløsningsområder og -volum	17
5.1.2	Friksjonsparametere	19
5.1.3	Fremgangsmåte for plassering av nett	20
5.2	Statiske laster på nett	20
5.3	Dynamiske laster på nett	22
5.3.1	Drag-koeffisient	22
5.3.2	Densitet av skredmasser	23
5.3.3	Lasttilfeller	23
5.4	Totale laster på nett	23
6	Foreslått sikringsløsning	24
6.1	Funksjon	24
6.2	Plassering	24
6.2.1	Stabiliserende effekt	26

6.2.2	Bremsende effekt	26
6.3	Utforming.....	27
6.3.1	Høyde	27
6.3.2	Maskestørrelse	27
6.3.3	Overvann og grunnvann	28
6.4	Laster på nettene.....	28
6.5	Design av nettene	29
6.6	Behov for ytterligere tiltak på vifta	30
6.7	Faresoner.....	31
6.7.1	Effekt på S2 faresonen ($\geq 1/1000$)	31
6.7.2	Effekt på S3 faresonen ($\geq 1/5000$)	32
6.7.3	Skredvind.....	33
6.8	Tilkomst til nettene.....	34
6.9	Samlet berørt område	35
6.10	Teknisk infrastruktur i området	37
6.11	Grunnforhold	37
6.12	Håndtering av overvann og sedimenter	38
6.13	Kulturminner/-miljø	38
6.14	Usikkerheter og restrisiko	38
6.14.1	Ingen tidligere tiltak med nett mot sørpeskred	38
6.14.2	Vann og finkornet sørpe.....	39
6.15	Fordeler og ulemper	39
6.16	Forvaltning, drift og vedlikehold.....	39
6.16.1	Årlig	39
6.16.2	Etter en skredhendelse	40
6.17	Bestandighet/brukstid, og levetid av materialer og konstruksjoner.....	40
6.18	Mengder og kostnad	40
6.18.1	Forutsetninger	40
6.18.2	Kostnader	41
7	Diskusjon	43
8	Referanseliste	44

Figurer

Figur 1: Eksempel på nett som er brukt som sikring mot flomskred. I dette eksemplet er det kort avstand mellom dalbunn og nedre del av nettet. Foto fra Geobrugg.....	6
Figur 2: Kart med terrenghelning nedover i Vannledningsdalen og de ulike områder beskrevet i teksten.	14
Figur 3: Gjengivelse av løsneområdet for sørpeskredet i 1989 fra (NGI, 1991).	15
Figur 4: Eksempel på beregning med RAMMS, fra løsneområdet nedstrøms nett 5, med nett 4 plassert slik at hastigheten ved det nettet ligger rundt 10 m/s.....	18

Figur 5: Prinsipp for beregning av laster på nettene og hver horisontal wire.	22
Figur 6: Forslag til plassering av nett i Vannledningsdalen.	25
Figur 7: Foreslått design av nett 4.	29
Figur 8: Foreslått design av nett 11.	30
Figur 9: Foreslåtte tiltak på vifta, T1-T3.	31
Figur 10: Faresoner for sørpeskred før og etter sikring med nett i Vannledningsdalen.	32
Figur 11: Beregning av skredbevegelse med et stort løsnesevolum fra øvre del av dalen. A) med mer friksjon rundt nettene (røde polygoner), og B) uten den bremsende effekt av nettene.	34
Figur 12: Tiltak og berørt område i nedre del av Vannledningsdalen og på vifta. Områder i nærheten av kulturminner, med begrensninger i arealbruk, er vist med gul farge. ...	36
Figur 13: Tiltak og berørt område i øvre del av Vannledningsdalen. Områder i nærheten av kulturminner, med begrensninger i arealbruk, er vist med gul farge.	37

Tabeller

Tabell 1: Verdier for designskred for de ulike årlige sannsynlighetene uten nett i skredbanen, brukt i (Skred AS/HNIT Consulting, 2018a).	17
Tabell 2: Beregning av statiske laster på nettene, se forklaring på Figur 5.	21
Tabell 3: Designverdier for hvert av nettene. Plassering av nettene er vist i Figur 6. Dimensjonerende laster og kostnadsestimat er beregnet og gitt for nett 4 og 11, fremhevet med blå farge.	26
Tabell 4: Laster på nett 4 og 11, beregnet av Geobrudd, basert på våre skreddynamiske beregninger.	28
Tabell 5: Geobrudd har estimert kostnader for nett 4 og nett 11, merket i tabellen. Kostnader for de øvrige nettene er estimert ut fra disse to nettene.	42
Tabell 6: Oppsummering av totale kostnader for sikringsløsningen med nett.	42

Vedlegg

Lastberegninger fra Geobrudd for nett 4 og 11 (Geobrudd AG, 2021a, 2021b).

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Området på Haugen i Longyearbyen, samt området fra Haugen og ned mot Longyearelva er utsatt for sørpeskred. Skred AS og HNIT har tidligere foreslått ulike sikringsløsninger, og to av disse ble detaljert på forprosjektnivå (Skred AS/HNIT Consulting, 2018a):

- 1) En kanal som ved hjelp av ledevoller leder skredmassene forbi bebyggelsen, over Vei 500 og ned til Longyearelva. Kostnad for denne løsningen ble i rapporten estimert til NOK 150 mill.
- 2) En «svingvoll», som svinger sørpeskred fra munningen av Vannledningsdalen mot nord, der det stoppes i et basseng. Kostnad for denne løsningen ble i rapporten estimert til NOK 165 mill.

Sikringsløsning 1, med en kanal til sørpeskred, ble av Longyearbyen Lokalstyre (LL) og NVE valgt som den løsningen de ønsket å gå videre med. På grunn av arbeid med sikringsløsninger for sentrumsområdet (støtteforbygninger og voll), ble detaljprosjektering satt på vent. I ettertid har LL og lokalsamfunnet sett at både kanalen og svingvollen er svært store konstruksjoner, som vil gi store terrenginngrep og en del andre utfordringer for annen infrastruktur.

I tidligere arbeid med sikring mot sørpeskred i Vannledningsdalen, har nett blitt nevnt som en mulig sikringsløsning (NGI, 2015; Skred AS/HNIT Consulting, 2018b). Sikring med nett mot sørpeskred er ikke kjent fra andre steder, og blant annet på grunn av denne usikkerheten, valgte NVE og LL å ikke gå videre med nett som sikringsløsning. Senere, på grunn av kostnader på kanalen og svingvollen, de landskapsmessige inngrepene ved så store konstruksjoner i området, og usikkerheten med grunnforholdene, valgte NVE og LL å se nærmere på muligheten for å sikre mot sørpeskred med nett.

1.2 Mål

Sikringsmålet er som tidligere å sikre mot skred med årlig sannsynlighet på 1/1000, svarende til kravet for sikkerhetsklasse S2 gitt i TEK17 med veileder, og definert slik i utlysningen:

Oppdraget skal resultere i prosjertert løsning for sikringstiltak til sikkerhetsnivå S2 (1/1000) i henhold til TEK17/Byggeforskriften for Longyearbyen.

På Haugen og i nedre del av vifta ligger flere bygg som faller under sikkerhetsklasse S3, blant annet hotellet Funken, samt barnehage og skole. I tillegg til målet over, ønsker LL og NVE i så stor grad som mulig at disse byggene skal komme utenfor faresonen for S3 etter sikring, uten av dette formelt er lagt inn som et krav. Vi har derfor designet tiltakene med tanke på faresonen for sikkerhetsklasse S2, men vurdert effekten av tiltakene på faresonen for sikkerhetsklasse S3.

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.

Målet med denne rapporten er å bringe en sikringsløsning som involverer nett opp på samme detaljnivå som de tidligere skisserte tiltakene. Denne rapporten er ment som en forprosjektering, som skal danne grunnlag for videre arbeid med detaljprosjektering av sikringstiltak for bebyggelsen på Haugen i Longyearbyen. En del av arbeidet med vurdering av sørpeskred er allerede utført i forbindelse med tidligere forprosjektrapport 18241-03 om sikringstiltak i Vannledningsdalen (Skred AS/HNIT Consulting, 2018a).

1.3 Befaringer

Det er ikke gjennomført egne befaringer for arbeidet rapportert her.

1.4 Forbehold

Sikringstiltakene beskrevet i rapporten tar utgangspunkt i dagens terreng. Ved eventuelle endringer i disse forholdene bør det gjøres en ny farevurdering og effekten av sikringstiltakene revurderes. Til grunn for vurderingene ligger det også at eksisterende skredvoll øverst på vifta ovenfor Haugen har tilstrekkelig stabilitet for å bli truffet av en større skredhendelse. Forventet klimautvikling for området er beskrevet i vår rapport 18241-09 (Skred AS mfl., 2019).

1.5 Hva er «nett»?

I denne rapporten brukes ordet «nett» til å beskrive nett av en type som typisk brukes som sikring mot flomskred, også kallet «flomskredgjerder». Et eksempel er vist i Figur 1.



Figur 1: Eksempel på nett som er brukt som sikring mot flomskred. I dette eksempel er det kort avstand mellom dalbunn og nedre del av nettet. Foto fra Geobrugg.

1.6 Uavhengig kontroll

Norges Geotekniske Institutt (NGI) har på oppdrag for NVE gjennomført uavhengig kvalitetssikring av denne rapporten. NGI fikk først tilsendt et utkast til en del av rapporten, som de kommenterte på. De fleste av kommentarene fra NGI har vi innarbeidet i teksten i vår endelige rapport. I enkelte tilfeller er det fortsatt mindre uoverensstemmelser mellom våre vurderinger og NGI sine kommentarer. Det gjelder blant annet faresonene presentert i avsnitt 6.7.

NGI fikk også mulighet for å foreslå bedre sikringsløsninger enn det som vi foreslår i denne rapporten, men det har de ikke gjort. Vi antar dermed at de godtar den løsningen vi presenterer.

2 Premisser

I dette kapittelet beskrives de ulike premisser og grunnlaget for design av de foreslåtte sikringstiltakene. Mye av dette er allerede beskrevet i vår rapport fra fase 2B (Skred AS/HNIT Consulting, 2018a), men gjengitt her i forkortet form, og med eventuelle endringer som har betydning for dette arbeidet.

2.1 Skredrelaterte føringer for type og omfang av tiltak

Ut over ønsket sikkerhetsnivå etter etablering av tiltak (avsnitt 1.2), er det ingen andre føringer for tiltakene, enn at det skal baseres på nett ned gjennom Vannledningsdalen.

2.2 Landskap og utforming

I denne fasen av forprosjekteringen har vi lagt et utkast til sikringsløsningen inn i figurer med terrenget i bakgrunnen. Flere steder har dette ført til justering av den skisserte løsningen. Dette gjelder blant annet tilkomstvei, som diskutert senere. I en eventuell detaljprosjektering kan man vurdere å gjøre mer detaljerte vurderinger av tiltakenes plassering i terrenget, blant annet ut fra estetikk.

2.3 Geoteknikk og grunnforhold

Rambøll Norge AS har levert et notat som inneholder en tidligfase geoteknisk vurdering på forprosjektnivå for alternativ med etablering av nett som sikring i Vannledningsdalen (Rambøll Norge AS, 2021a). Rambøll har utført befaring opp gjennom Vannledningsdalen for å kartlegge grunnforhold, og høsten 2020 ble det utført prøvetrekkinger i fordefinerte punkt opp gjennom dalen. En oppsummering av resultatene er gitt i notat nevnt over, samt på engelsk i (Rambøll Norge AS, 2021b). Begge rapportene ble utarbeidet parallelt med arbeidet beskrevet i denne rapporten, men de foreløpige resultatene fra Rambøll er forsøkt innarbeidet i våre vurderinger underveis.

2.4 Mengdeberegninger og kostnadsestimat

Mengdeberegninger og kostnadsestimater er basert på grove estimater, som beskrevet i avsnitt 6.6. Usikkerheten i kostnadsestimatene er estimert til å være $\pm 40\%$.

Årlige kostnader til drift og vedlikehold er satt til 3 % av investeringskostnadene, se diskusjon og begrunnelse i Tabell 5 i vår rapport 18241-03 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018a). Denne verdien tilsvarer et verst-tenkelig scenario. Et mer nøyaktig estimat må utarbeides i en eventuell detaljprosjekteringsfase. En foreløpig beskrivelse av arbeidet med drift og vedlikehold er gitt i avsnitt 6.16.

3 Grunnlag

3.1 Terrengmodell og andre kartdata

Terrengmodellen som er anvendt til nye beregninger av skredbevegelse, er den samme som ble benyttet i fase B2 forprosjektering av sikringstiltak i Longyearbyen (Skred AS/HNIT Consulting, 2018a). Terrengmodellen 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 for beregning av skredbevegelser. LAS data fra NNBK ble brukt for plasseringer av nett og uttak av tverrsnitt.

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

3.2 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 delvis prosjektering av skredsikringstiltak. 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
 - o §7. Sikkerhet mot naturpåkjenninger, og spesielt §7-3. Sikkerhet mot skred
 - o §10. Konstruksjonssikkerhet.
- NVEs veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (<https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng/>)

I tillegg er følgende dokumenter benyttet:

- 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. (Margreth, 2007a).

3.3 Geoteknisk kategori, pålitelighetsklasse og kontrollklasse

Disse må settes ved detaljprosjektering, og er ikke diskutert i denne forprosjektfasen.

4 Skredvurderinger

4.1 Bakgrunn

Dette kapitlet beskriver metodikken som er anvendt for beregninger av dimensjonerende sørpeskred. Målet er å få frem verdier (som skredretning, hastighet og utbredelse) som benyttes som grunnlag for design av nettene. Metodikken ligger også til grunn for en kartlegging av faresoner med de foreslåtte sikringstiltakene med nett, og er førende for beregningene som er beskrevet i kapittel 5.

Det finnes i dag ingen standard måte å utføre beregninger for sørpeskred på, og derfor har vi sett det som nødvendig å beskrive detaljert hvordan vi har definert designhendelsene. Kapitlet er ikke ment som forskning med diskusjon, men som en pragmatisk beskrivelse av vår tilnærming til problemet.

4.2 Relevante skredtyper

Relevante skredtyper i Vannledningsdalen er tidligere vurdert og beskrevet i vår rapport 18241-03 1 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018a):

- Sørpeskred, dvs. vannmettet snø i rask bevegelse. Sørpeskred er dimensjonerende skredtype for området ved utløpet av Vannledningsdalen.
- Snøskred, våte og tørre. Snøskred er ikke dimensjonerende for sikringstiltak, men kan bidra til å marginalt øke utløsningssannsynlighet for sørpeskred ved oppdemming (se avsnitt 4.5). Snøskred fra sidene av dalen må også vurderes ved plassering av nettene i detaljprosjekteringsfasen.
- Flomskred er aktuelt langs Vannledningsdalen, men er ikke dimensjonerende skredtype i analyseområdet.
- Grunne utglidninger/jordskred som utløses i det aktive laget er aktuelt i skråningene på siden av Vannledningsdalen. Disse er ikke dimensjonerende for tiltakene, men kan påføre laster på nettene. Det er ikke god tidsmessig sammenheng mellom utløsning av grunne jordskred (sommer og høst) og utløsning av sørpeskred (vinter og vår). Vi anser derfor sannsynligheten for at disse skredtypene skal forekomme samtidig, som svært liten. Jordskred fra sidene av dalen må vurderes ved plassering av nettene i detaljprosjekteringsfasen.

4.3 Tidligere vurderinger

Tidligere vurderinger av sørpeskred i Vannledningsdalen er detaljert beskrevet i vår rapport 18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak – Fase B2, spesielt avsnitt 3.3.1 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018a). Vi har ikke kjennskap til rapporter som er utarbeidet siden da. Vår rapport 18241-03 inneholder følgende relevant informasjon

- Vurdering av utløsningssannsynlighet og utløpslengder for sørpeskred, etterregnet med RAMMS::DEBRIS FLOW.
- Forslag til sikringstiltak med svingvoll og kanal.
- Forslag til faresoner 1/100, 1/1000 og 1/5000 før og etter tiltakene.

Tidligere utarbeidede faresoner for området ved utløpet av Vannledningsdalen er vist i avsnitt 6.7.

4.4 Kjente sørpeskredhendelser i Vannledningsdalen

Kjente sørpeskredhendelser er beskrevet i vår rapport 18241-03 Forprosjektering av sikringstiltak – Fase B2, i avsnitt 3.3.2 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018a).

4.5 Sørpeskredscenarier

Vår tilnærming til ulike scenarier er viktig fordi det bestemmer hvor vi vurderer at sørpeskred kan utløses, og det bestemmer hvordan skredmassene oppfører seg når det er i bevegelse. Dette igjen har betydning for design av nettløsningen.

Sørpeskred kan utløses på mange ulike måter, og skredbevegelsen kan være forskjellig, og avhenger blant annet av snøforhold. I Vannledningsdalen vurderer vi at det kan forekomme to «typer» av sørpeskred, som definert primært ved typen av bevegelse:

- A) Sørpeskred utløses i dalbunnen, og i et snødekke bestående av grovkornet snø, som er ubunden, myk (hardhet F eller 4F). Det kan være kantkorn eller begerkrystaller, eller det kan være nysnø. I en situasjon med kraftig snøsmelting eller/og regn på denne snøen, vil strømning av vann lett erodere snødekket, som har svært lav kohesjon. Resultatet er en strøm av vann med enkelte snøkorn blandet inn i vannet. Denne typen sørpeskred vil typisk bare rive med seg de øvre deler av snødekket nedover i Vannledningsdalen. Volum vil øke nedover i dalen, men så lenge det bare er overflatesnøen som rives med, vil det totale volum være begrenset.
- B) En strøm av sørpeskredmasser med utløsning og første del av bevegelsen som beskrevet i punkt A, eller bekker av vann som renner på toppen av snødekket, og begynner å brette opp større flak av snødekket. Disse kan bestå av vindpakket snø, eventuelt med islag (hardhet 1F eller hardere). Dermed blir deler av snødekket med stor kohesjon revet med i skredstrømmen som større eller mindre blokker, i motsetning til A ovenfor. Samme typen sørpeskred kan også starte ved at en bekk renner under snødekket. Når vanngjennomstrømningen blir så stor at kanalen fylles, kan flak på toppen av kanalen løftes opp. Deretter bryter vannet ut av kanalen, og begynner å brette opp flaket, og transportere blokkene med i strømmen.

En annen mulighet for utløsning av sørpeskred er at snøskred fra dalsidene kan gå ned i Vannledningsdalen og danne en demning av skredmasser. Bak denne demningen kan det bygge seg opp et vannspeil. Det er da flere muligheter for hvordan vannet bak demningen kommer seg ut:

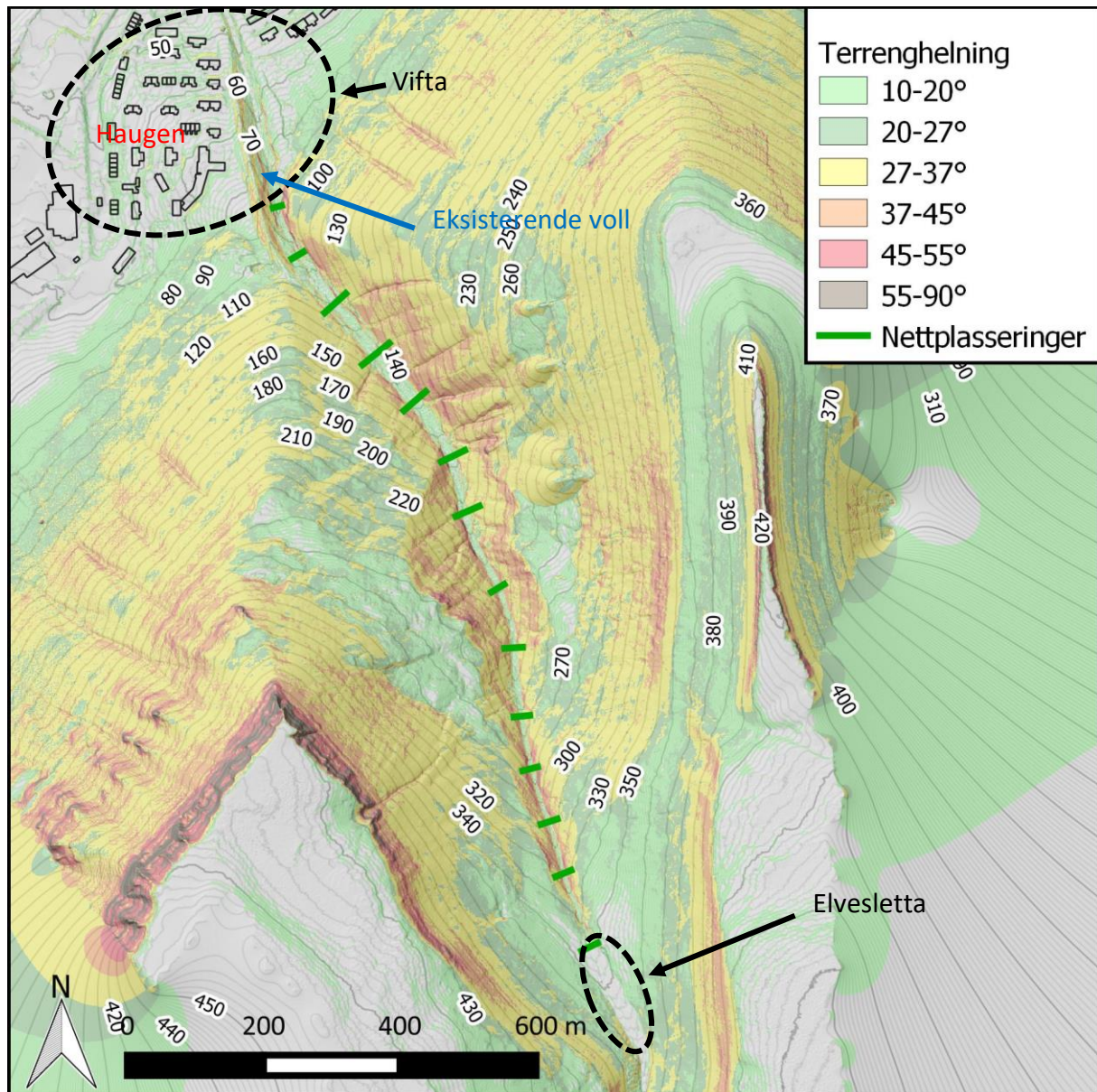
- 1) Vannet kan begynne å drenere ut gjennom skredmassene i demningen. Da står man igjen med en situasjon som A eller B, der vannet nedenfor demningen kan føre til sørpeskred nedenfor demningen
- 2) Vannet bak demningen kan begynne å overtoppe demningen, og renne ned baksiden. Dersom vannet begynner å erodere med seg masse fra nedsiden av

demningen, kan det føre til sørpeskred nedover i dalen. Dersom skredmassene på baksiden av demningen ikke eroderer, har man situasjonen i A eller B, nedenfor demningen.

- 3) Demningen kan bryte fullstendig, og frigjøre vannet. Dette tilsvarer et dambrudd, og kan føre til sørpeskred som i B.

Dette er dog ikke en prosess som er kjent fra tidligere hendelser. Se også diskusjon av sekundære skredprosesser i avsnitt 6.2 nedenfor.

Utløsningsmekanismen vil i alle tilfeller være en kraftig og gjerne plutselig økning i vanntilførsel til snødekket. Det slake terrengpartiet på toppen av Vannledningsdalen (Elvesletta; Figur 2) kan fungere som magasin for vann, men vi mener sannsynligheten for at sørpeskred skal utløses herfra er lav.



Figur 2: Kart med terrenghelning nedover i Vannledningsdalen og de ulike områder beskrevet i teksten.

I en situasjon uten nett som sikringsløsning, mener vi at store sørpeskred vil utløses fra toppen av den brattere del av Vannledningsdalen, rett nedenfor elvesletta (Figur 2). Store skred vil ha en bevegelse og inneholde skredmasser som beskrevet i B ovenfor: Skredstrømmen vil inneholde til dels store blokker av snø og is, spesielt rett etter utløsning. Slik sett minner initialfasen av sørpeskred om flakskred. Etter hvert som skredstrømmen beveger seg nedover dalen, vil det dras med flere snøblokker. Disse vil etter hvert knuses til mindre klumper, som i flakskred. Initialfasen av skredet vil altså ha flere store blokker enn i en mer velutviklet skredstrøm lenger nede i skredløpet. Det er denne typen utvikling av bevegelse som er lagt til grunn for design av nettene og sikringsløsningen generelt.

Bilder av sørpeskredet i Vannledningsdalen i 1989 tilsier at det kan ha løsnet slik (Figur 3). Vurdert fra bildet, var det ikke så mye snø i dalen, som vi mener det vil være i en dimensjonerende hendelse.

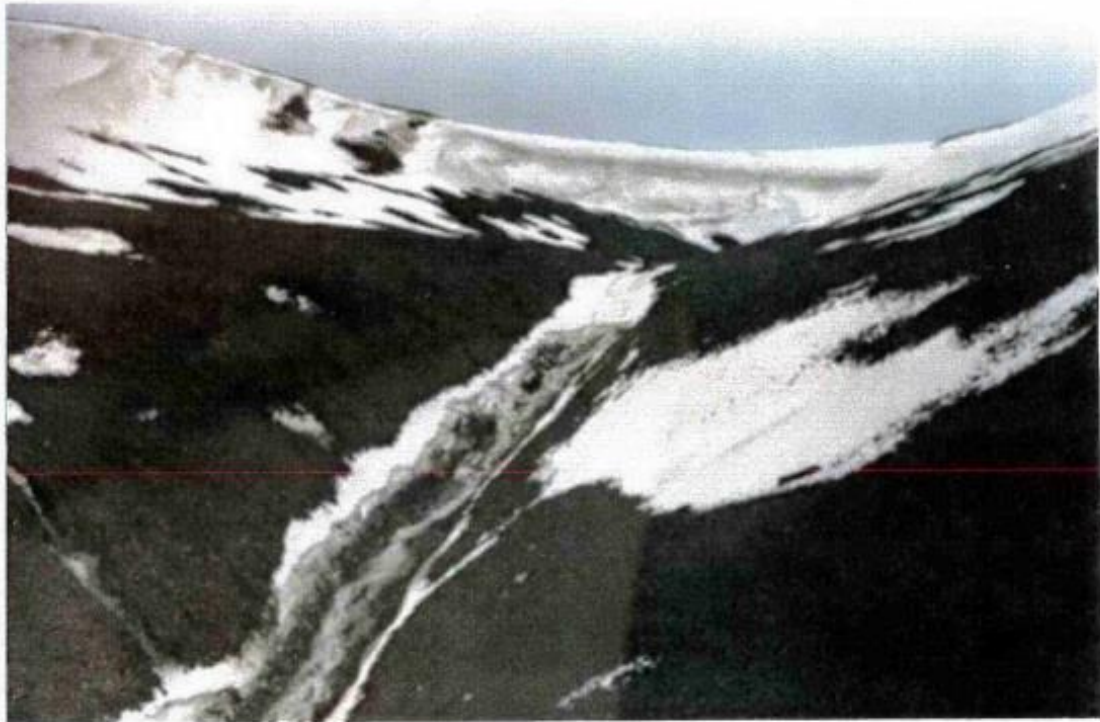


Foto 4. Elveløpet var ikke doset før skredet 14.06.89.
Skredet løsnet 30-40 m nedafor elvesletta.
All gjenværende snø nedover elveløpet gikk ut.
(Foto K. Onarheim)

Figur 3: Gjengivelse av løsnemrådet for sørpeskredet i 1989 fra (NGI, 1991).

4.6 Sørpeskred og klimaendringer

I vår rapport 18241-09 har vi beskrevet forventet utvikling av klima i området, og beskrevet forventet effekt på skredforholdene (Skred AS mfl., 2019). Blant annet kan klimaendringer føre til at 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 når som helst i løpet av vintersesongen, og ikke bare på vårparten, der det gjennomføres dosing.

Det er vanskelig å håndtere forventede klimaendringer 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.

5 Metodikk for beregningene

Dette kapitlet beskriver beregningene som er anvendt i design av sikringsløsningen. Målet med beregningene er å forsøke å overføre vurderingene som er beskrevet i kapittel 4 til numeriske modeller.

5.1 Bruk av RAMMS for sørpeskred

Bruken av RAMMS::DEBRIS FLOW til beregning av sørpeskred ble beskrevet i blant annet vår rapport med forprosjektering av kanalen og svingvollen, 18241-03. Vi har utført beregninger med RAMMS::DEBRIS FLOW versjon 1.7.20 (Christen mfl., 2010). Alle beregninger er kjørt med en horisontal oppløsning på 2 m x 2 m.

Vårt utgangspunkt for valg av verdier for friksjonsparameterne M_y og X_i samt løснеområder og -volum er som vår tidligere rapport og gjengitt her i Tabell 1, når det gjelder skredfaren under dagens forhold, og med tanke på design av tiltak på vifta ved Haugen. I den situasjonen antar vi at det dimensjonerende 1000-års sørpeskred er et fullt utviklet sørpeskred.

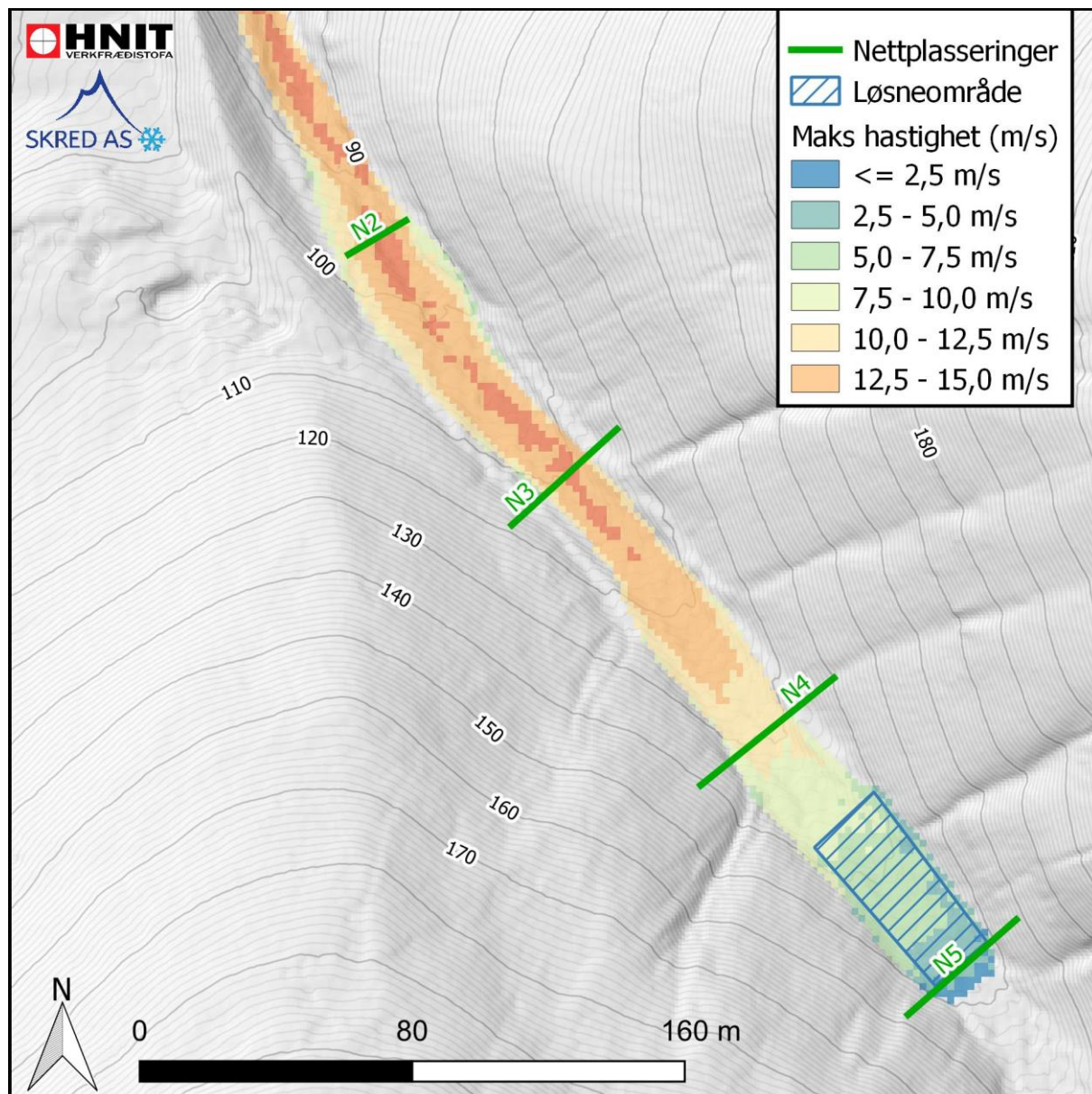
Tabell 1: Verdier for designskred for de ulike årlige sannsynlighetene uten nett i skredbanen, brukt i (Skred AS/HMIT Consulting, 2018a).

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

Ved valg av parametersett for en situasjon der det er plassert nett nedover i dalen, mener vi at parametersettet bør justeres. Det bør blant annet tas høyde for at skredmasser som har løsnest som flak mellom to nett kanskje ikke er fullstendig brutt opp til små partikler, men fortsatt vil være relativt store snøblokker. Dette har vi beskrevet nedenfor.

5.1.1 Utløsningsområder og -volum

Utløsningsområdene i beregningene er definert ut fra nettenes plassering. Vi har konsekvent beregnet nye utløsningsområder som har øvre avgrensning like nedenfor forrige nett (Figur 4), for å kunne ta høyde for en ugunstig plassering av løснеområdet for å få maksimal akselerasjon ned mot neste nettplassering. Plasseringen av det øverste nettet, nr. 14, er rett ovenfor overgangen mellom slakt terreng på elvesletta, og det brattere terrenget i dalen. Det øverste løśnieområdet er lagt inn med toppunkt i overgangen mellom den slake elvesletta og det brattere terrenget i dalen.



Figur 4: Eksempel på beregning med RAMMS, fra løsneområdet nedstrøms nett 5, med nett 4 plassert slik at hastigheten ved det nettet ligger rundt 10 m/s.

Den arealmessige utstrekning og volum av løsneområdene ble satt som følger:

- Lengde langs dalbunnen: En fast lengde på ca. 50 m ble valgt fordi innledende beregninger antydte at avstand mellom nettene ville bli ca. 70-100 m. Da ble 50 m valgt fordi det ble vurdert å være omtrent den løsnelengden som vi anså at var realistisk at kunne løsne i en skredhendelse mellom nettene med erosjon tilsvarende full bruddhøyde i hele løsneområdets lengde.
- Bredder på tvers av dalbunnen: Avgrenset av området med relativt flate bunn, altså ikke de bratte dalsidene.

- Bruddkant: Ble satt som en fast verdi på 2 m, da vi antar dette er en maksimal bruddhøyde sett opp mot antatte snødybder i dalbunnen.

Typiske løsnenvolumer i beregningene har vært 800 – 1200 m³ i øvre del, og 1500 – 2500 m³ i nedre del. Økningen nedover i dalen skyldes økt bredde av dalbunnen. Disse verdier er altså med nettene på plass. Volumene er betydelig mindre enn de dimensjonerende volumene vi tidligere brukte til å beregne sørpeskred med årlig sannsynlighet på 1/1000 mot vollkonstruksjonene (45.000 m³, Tabell 1) uten nett, og med en antakelse om at det var medrivning av masser langsetter hele Vannledningsdalen. Volumene vi har brukt med nett er noe lavere, men i samme størrelsesorden, som det vi tidligere vurderte som en hendelse med årlig sannsynlighet på 1/10 uten nett (4.000 m³, Tabell 1).

5.1.2 Friksjonsparametere

Valg av friksjonsparametere er av stor betydning for plassering og dimensjonering av nettene, da hastigheten ved hvert nett i stor grad bestemmes av valget av My og Xi. I vår rapport 18241-03 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018a) ble det definert et sett med friksjonsparametere for ulike gjentakintervall basert på etterregning av enkelte hendelser og tidligere erfaringer (Tabell 1).

5.1.2.1 Forventet effekt av nettene på friksjonsparametere

Oppdelingen av dalbunnen i ulike «celler» mellom nettene, vil ha betydning for hvor utløsning av skred mest sannsynlig kan forekomme. Utløsning vil være mest sannsynlig rett nedstrøms hvert nett, altså øverst i hver «celle», der snødekket ikke er direkte støttet av det nedenforliggende nettet. Dersom et sørpeskred løsner med større blokker (som B i avsnitt 4.5), vil det ved neste nett trolig ikke være et fullt utviklet sørpeskred. Det vil blant annet være en del større blokker i skredstrømmen. I denne innledende fasen av skredbevegelsen mener vi at det er høyere intern friksjon i skredmassene (RAMMS parameter Xi), og høyere friksjon mot bakken (RAMMS parameter My), enn i en mer velutviklet sørpeskredstrøm. Vi mener altså at ved å plassere nett med jevn og relativ kort avstand fra hverandre nedover i dalbunnen, vil man forvente at skredstrømmen vil ha større friksjon enn beregning av en fullt utviklet sørpeskredstrøm. Dette har vi forsøkt å implementere i RAMMS, ved å justere friksjonsparametrene.

5.1.2.2 Valg av friksjonsparameter Xi

Verdier for friksjonsparameteren Xi har stor betydning for skredutbredelse og spesielt beregnet hastighet på skredmassene.

Selv om nettene har en bremsende effekt på et sørpeskred som løsner mellom dem, har vi i beregningene allikevel valgt verdier som er mer passende for et fullt utviklet sørpeskred, enn for et i initial fase, da vi er usikre på hvor raskt skredmasser vil akselerere etter utløsning. Friksjonsverdi er satt til $\text{Xi} = 2500 \text{ m/s}^2$ i alle beregninger. Dette tilsvarer, for enkeltparameteren Xi, verdier midt mellom verdiene for 1/100 og 1/1000 og litt lavere enn verdien for 1/333 i Tabell 1.

5.1.2.3 Valg av friksjonsparameter My

Verdier for friksjonsparameteren My har betydning spesielt for beregnet skredutbredelse, men også hastighet på skredmassene.

My er satt til 0,1 for alle beregninger, og tilsvarer verdiene i (Skred AS/HNIT Consulting, 2018a) for årlige sannsynligheter på hhv. >1/100 og like i underkant av 1/50. I nedre del av Vannledningsdalen er My = 0,08 fordi vi ikke forventer så store friksjonseffekter der dalen er slak og bred. Blant annet forventer vi i nedre del av dalen ikke at utløsning som beskrevet i avsnitt 4.5 punkt B er like aktuelt som lengre opp i dalen hvor det er brattere.

5.1.3 Fremgangsmåte for plassering av nett

Ved valg av plassering av hvert nett, har vi hatt følgende føringer:

- Hastigheten av skredmasser skulle ikke overskride 10 m/s. Denne verdien ble valgt etter diskusjoner med leverandører av nett, blant annet Geobrugg, som mente at det ville bli vanskelig å bruke nett som sikring, ved hastigheter over 10 m/s, og spesielt dersom hastighetene kom opp mot 15 m/s. Dersom denne føringen førte til svært kort avstand mellom to nett (<50 m; typisk i de øvre, brattere deler av dalen), kunne vi tillate 12-13 m/s for neste nett.
- Øvre løsneområde var i «terrengknekket» nedenfor elvesletta (Figur 2).
- I nedre deler av dalen måtte det være en ekstra sikkerhetsmargin i sikringsløsningen, da det er de nettene som er siste skanse før bebyggelsen på Haugen.
- Nedre løsneområde er rundt den øvre del av dagens voll.

Deretter gikk vi frem på følgende iterative måte:

- 1) I RAMMS, plasser et løsneområde (som definert i avsnitt 5.1.1), og kjør beregningen med RAMMS, med friksjonsparametre som definert i avsnitt 5.1.2.
- 2) Der beregnet hastighet overskrider 10 m/s (eller 12-13 m/s, som nevnt ovenfor), plasseres neste nett.
- 3) Juster denne plasseringen i forhold til observasjoner av kvalitet av berggrunn, skredbaner fra sidene, etc. Dette resulterte typisk i justeringer på inntil ±10 m.
- 4) Fortsett nedover i dalen, til siste løsneområde.

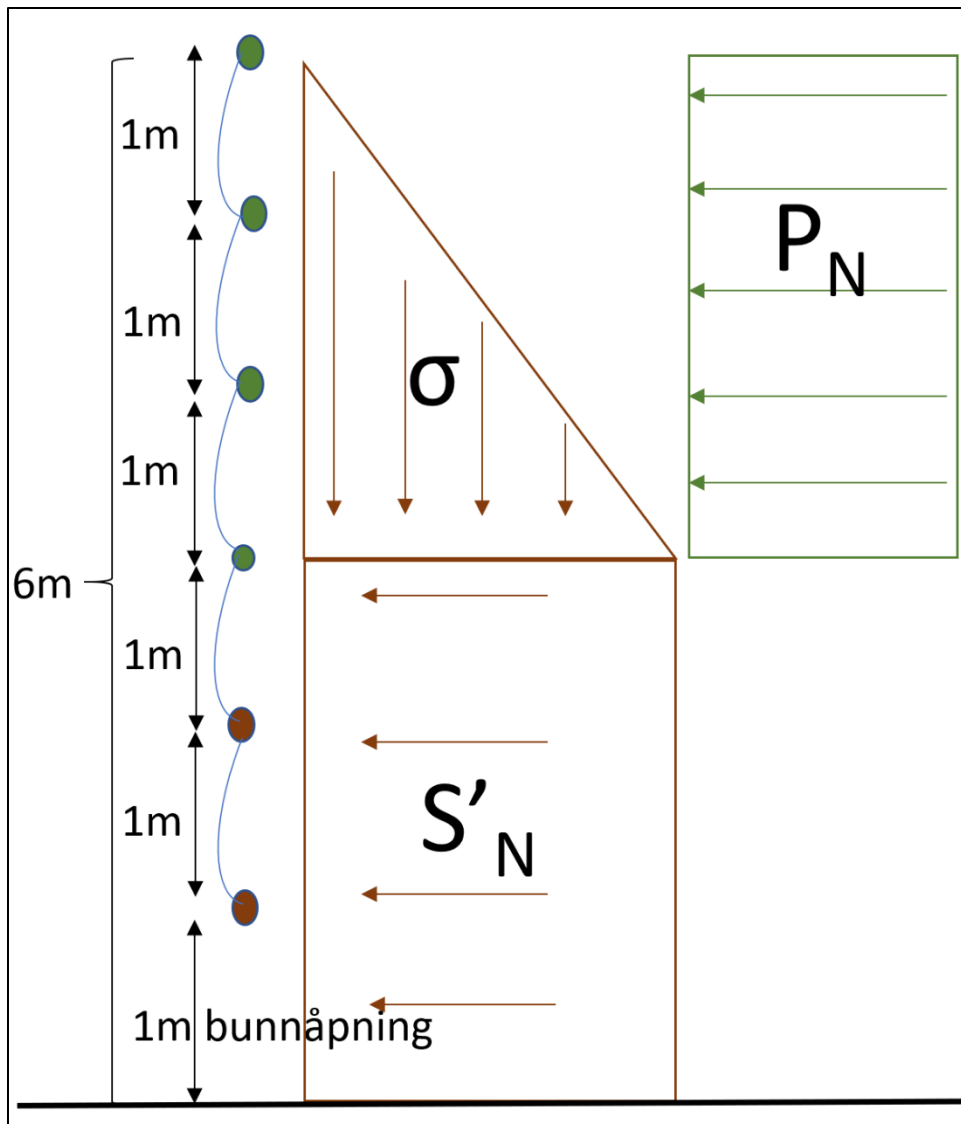
Denne prosedyren ble fulgt flere ganger, med litt justeringer av parametre i RAMMS beregninger og justerte antakelser rundt nettene.

5.2 Statiske laster på nett

De statiske laster på nett 4 og nett 11 er beregnet av Geobrugg, som en del av deres leveranse (Geobrugg AG, 2021a, 2021b). Resultatene er oppsummert i Figur 5 og Tabell 2.

Tabell 2: Beregning av statiske laster på nettene, se forklaring på Figur 5.

Beskrivelse	Verdi	Kommentar
Total statistisk last	$S_N = S'_N + \sigma$	
Last fra snøsig i fallretning (Margreth, 2007b)	$S'_N = \rho_{snø} \cdot g \cdot K \cdot N \cdot \frac{h_s^2}{2}$	1) Det er ikke lagt inn reduksjonsfaktor for fleksible nett i forhold til stive konstruksjoner. 2) Det er ikke lagt inn en høyde-faktor.
Vekt fra sørpeskred på toppen	$\sigma = \rho_{skred} \cdot g \cdot \frac{(h_N - h_s)^2}{2}$	
Densitet av vintersnø	$\rho_{snø} = 500 \frac{kg}{m^3}$	
Densitet av skredsnø	$\rho_{skred} = 700 \frac{kg}{m^3}$	
Sigefaktor	$K = 1,05 \cdot \sin(2 \cdot \psi)$	
Terrenghelning	ψ	
Glidefaktor	$N = 2,2$	Denne verdien kan vurderes økt til 3,0 i en eventuell detaljprosjektering. Vi mener at verdier høyere enn 3,0 er urealistiske, da snø glir på grove blokker på bakken.
Netthøyde	h_N	
Snøhøyde	h_s	



Figur 5: Prinsipp for beregning av laster på nettene og hver horisontal wire.

5.3 Dynamiske laster på nett

De dynamiske laster på nettene er skissert i Figur 5 og gitt ved (ONR, 2010):

$$\text{Dynamisk last: } P_N = C_d \cdot \rho_{skred} \cdot v^2$$

$$\text{Drag-koeffisient: } C_d = 1,0$$

Hastighet på skredmasser: v

$$\text{Densitet av skredsnø: } \rho_{skred} = 700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

5.3.1 Drag-koeffisient

Drag-koeffisienten for interaksjonen mellom sørpeskred og nett kjenner vi ikke til verifiserte verdier for. Verdien vil avhenge av blant annet maskestørrelsen i nettene og eventuelle klumper i sørpeskredmassene.

Verdien på $C_d=1,0$ er valgt basert på verdier brukt av Geobrudd for lettflytende flomskred, og også nevnt i den Sveitsiske håndbok om design av flomskredgjerder (Berger mfl., 2020). Koeffisienten kan revurderes i detaljprosjekteringsfasen.

5.3.2 Densitet av skredmasser

Som i modelloppsettet for beregninger har vi brukt 700 kg/m^3 som densitet for lastberegning. Det tar høyde for høy vannmetning, samtidig som det kan være erodert noe løsmasser inn i skredmassene som øker egenvekten.

5.3.3 Lasttilfeller

Sørpeskred antas å kunne treffe nettene både når de har snø opptil dimensjonert høyde (som i Figur 5), og når det stort sett ikke er snø på bakken. Dynamiske laster vil derfor være aktuelle for alle høydenivå på hvert nett. Som vist i Figur 5, kan dynamiske laster innvirke på øvre del av nettene mens statiske laster virker på nedre del.

5.4 Totale laster på nett

$$\text{Total last: } Q_{tot} = (S_N \cdot b_o) + (b_o \cdot (h_N - h_s) \cdot P_N)$$

Bredde på toppen av nettet: b_o .

Ved bruk av b_o anses lasten som konservativ fordi det ikke er tatt hensyn til at tverrsnittet er trapes-formet og at gjennomsnitts bredde er noe mindre enn b_o .

6 Foreslått sikringsløsning

Sikringsløsningen består av 14 nett opp gjennom Vannledningsdalen, for å håndtere hovedparten av skredfare. I tillegg har vi foreslått mindre tiltak på vifta nedenfor utløpet av Vannledningsdalen (avsnitt 6.6).

6.1 Funksjon

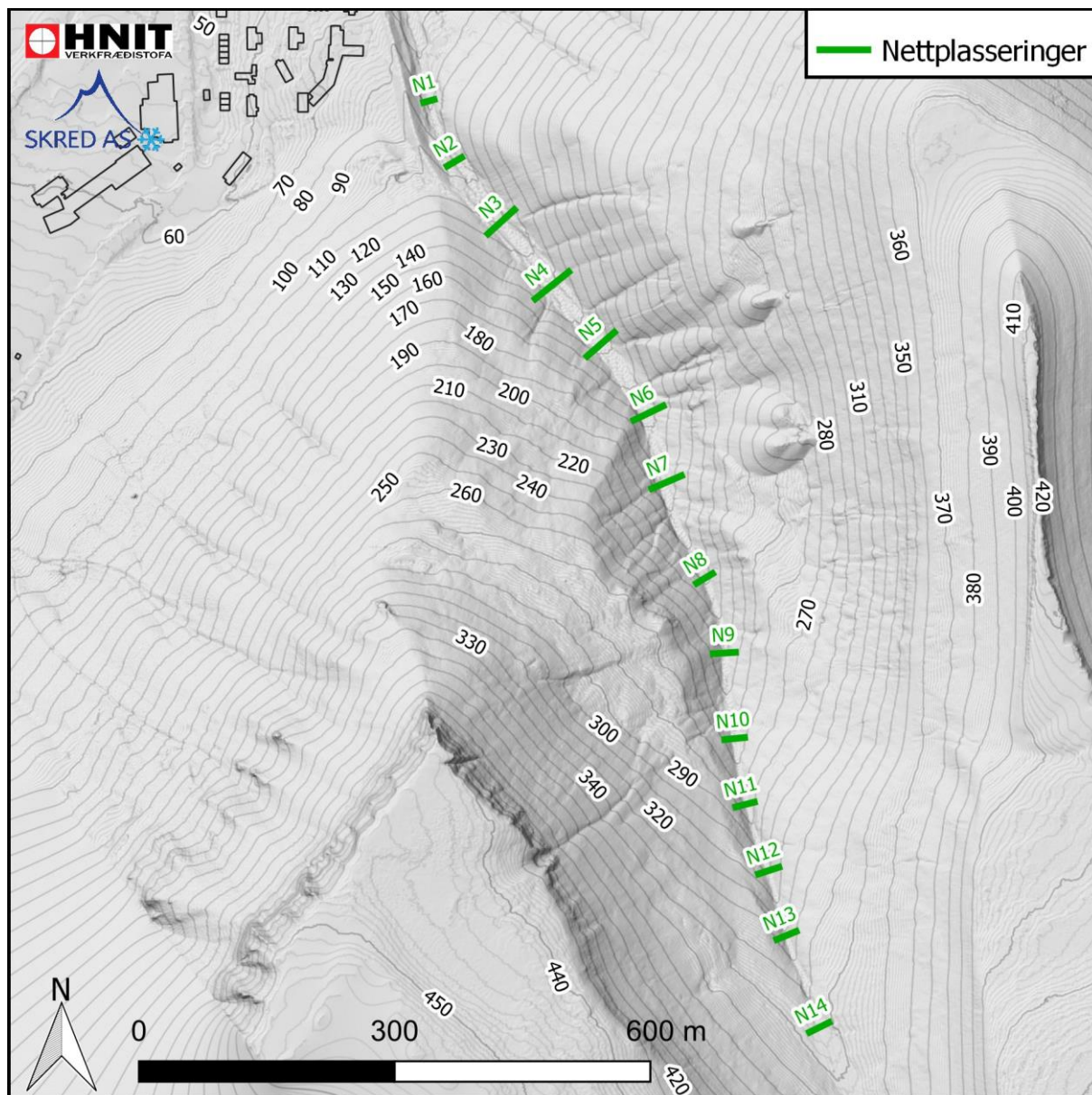
Nett i Vannledningsdalen som sikring mot sørpeskred er tenkt å ha to funksjoner:

- 1) Redusere sannsynlighet for utløsning. Ved å stabilisere snødekket ovenfor hvert nett, vil sannsynligheten for utløsning av sørpeskred reduseres. Dette er som for støtteforbygninger mot utløsning av tørre snøskred. På grunn av slakere terreng i løseområdene for sørpeskred, kan man ha lengre avstand mellom hvert nett, og fortsatt oppnå sikringseffekt. Vann som drenerer gjennom og på toppen av snødekket kan fortsatt passere nettene, noe som ikke vil være tilfeller med en tett barriere.
- 2) Bremse en del av massene, dersom sørpeskred løsner. Dette er som for den typiske bruken av flomskredgjerder (Figur 1) som sikring mot flomskred. Effekten oppnås ved at den vannholdige delen av massestrømmen passerer gjennom maskene på nettet, mens grovere masser (her: klumper med hard snø) stoppes opp av nettet. Dette fungerer bare dersom maskestørrelsen er slik at snø- og isklumpene ikke passerer uhindret gjennom nettene. Maskestørrelse og formen på isklumper i massestrømmen utgjør derfor viktige punkt i design av denne sikringsløsningen.

6.2 Plassering

Nettene er foreslått plassert ut fra de to punktene som beskriver funksjon i avsnitt 6.1, og vist i Figur 6. Utforming av hvert nett er oppsummert i Tabell 3. Plasseringen av hvert nett må også ta høyde for eventuelle skred fra sideterreng, samt grunnforhold.

Vi oppfatter skred fra sideterreng som en sekundær skredprosess til den primære prosessen tiltaket er designet til å sikre mot, nemlig sørpeskred langsletter Vannledningsdalen. Sekundære skredprosesser er bare delvis tatt høyde for i forprosjektfasen, og må vurderes nærmere i eventuelle detaljprosjektering. Vi forventer at det vil være mulig å finne plasseringer på nettene, slik at man minimerer sannsynligheten for større skader.



Figur 6: Forslag til plassering av nett i Vannledningsdalen.

Tabell 3: Designverdier for hvert av nettene. Plassering av nettene er vist i Figur 6. Dimensjonerende laster og kostnadsestimat er beregnet og gitt for nett 4 og 11, fremhevet med blå farge.

Nett	Pel (m)	Avstand fra forrige (m)	Snøhøyde (m)	Helning (°)	Hastighet av sørpeskred (m/s)	Flyte høyde av sørpeskred (m)	Høyde nett (m)
1	683	-	3	8,5	10	2	5
2	760	77	3	11	10	2	5
3	850	90	3	10	10	2	6
4	945	95	3	11	10	2	6
5	1035	90	3	11	10	2	6
6	1132	97	3	11	10	2	6
7	1215	83	3	12	12	2	6
8	1337	122	3	13	12	2	6
9	1430	93	4	12	12	2	7
10	1530	100	4	15	12	2	7
11	1608	78	4	17	13	2	7
12	1690	82	5	16	12	2	8
13	1770	80	5	14	12	2	8
14	1884	114	3	5	-	-	4

6.2.1 Stabiliserende effekt

For å ha en stabiliserende effekt på snødekket, må det ikke være for langt mellom nettene. Vi kjenner ikke til verdier som tilsvarende retningslinjene for avstand mellom støtteforbygninger plassert i løsnemråder for snøskred, gitt for eksempel i «Defense structures in avalanche starting zones» (Margreth, 2007b). Vi har ikke grunnlag for å anslå slike verdier.

6.2.2 Bremsende effekt

Den bremsende effekt av nett vil i stor grad avhenge av hvordan massestrømmen er. Dersom det er store, harde snø- og isbøkker i massestrømmen, vil nettene kunne stoppe eller bremse disse, selv med store masker (flere titalls centimeter i diameter). Dersom massestrømmen består av bare enkelte iskrystaller som er transportert av vann, vil nett ikke kunne stoppe så store mengder av massene, selv med små masker (mindre enn ti centimeter i diameter).

Når skredmasser treffer nettene, oppstår det store krefter som nettene overfører via wire til forankringene til sidene og i bunnen. Gjennom arbeidet med Geobrugg, og de foreløpige resultater fra prøvetrekking i Vannledningsdalen, har vi kommet frem til at nett og forankringer kan dimensjoneres for hastigheter på over 13 m/s med antatt densitet og Cd verdi som beskrevet i avsnitt 5.3. Vi har dog sett at hastigheter på 10 m/s gir behov for betydelig færre ankerpunkt, som igjen har innvirkning på kostnadene.

Vi har derfor foreslått plasseringer av nettene slik at skred som løsner i en «celle» mellom to nett, ikke oppnår hastigheter større enn ca. 10 m/s. Dette har vi fått til for noen nett, men ikke alle. Måten vi har beregnet hastigheter på, og den iterative fremgangsmåten for plassering av nett, er beskrevet i avsnitt 5.1.3.

6.3 Utforming

6.3.1 Høyde

Nødvendig høyde på hvert nett er vurdert ut fra:

- 1) Antatt snøhøyde på stedet
- 2) Dimensjonerende flyte høyde på sørpeskred

6.3.1.1 Snøhøyde

Det er gjennomført flere oppmålinger (Lidar og punktmåling av snøhøyde) av snøoverflaten i perioden fra 2013 til 2019. Disse er sammenliknet med terrengmodellen uten snø på bakken. Basert på disse målingene, er det anslått typiske verdier for dimensjonerende snøhøyder ved hvert nett (Tabell 3).

6.3.1.2 Flyte høyde

Flyte høyde av skredmassene er tatt fra beregningene i RAMMS (se avsnitt 5.1), og avrundet oppover. Ved samtlige nett er flyte høyden satt til 2 m (Tabell 3).

Vi kjenner ikke til modellforsøk eller observasjoner, som gir informasjon om klatrehøyde av sørpeskred på nett. Vi vurderer dog at klatrehøyden vil være betydelig mindre enn dersom massene treffer en tett og statisk vegg. Dette på grunn av at nettene er dynamiske konstruksjoner, og fordi en del av massene ved første treff med nettene vil presses gjennom maskene. Vi har derfor ikke dimensjonert nettene for klatrehøyde på mer enn 1 m. Dette kan justeres i en detaljprosjektering.

6.3.1.3 Kapasitet

Kapasitet (potensielt fangvolum) av hvert nett er ikke beregnet og ikke sammenliknet med volum på dimensjonerende sørpeskred. Dette bør gjøres i en eventuell detaljprosjektering.

6.3.2 Maskestørrelse

Som nevnt i avsnitt 6.2.2, har maskestørrelsen en stor innvirkning på gjennomstrømningen av masser i nettene. Vanligvis har maskeåpningene i «hovednettet» på flomskredgjerder en diameter på rundt 30 cm. Dersom man forventer at det i skredmassene er blokker som er mindre enn dette, kan det plasseres et sekundært nett på oversiden av hovednettet, med diameter på maskene på 5-10 cm.

Et sekundært nett vil trolig gi mer vedlikehold, både etter skredhendelser og etter en vanlig vintersituasjon, der snøsig har påvirket nettene, men det vil avhenge hvordan sekundære nettet er festet til hoved nettet.

Et sekundært nett med mindre masker, vil også ha en betydelig større innvirkning på vindforholdene i dalen. Dette gjelder både når åpningene er fri for snø, men spesielt i

situasjoner med vind og snø rundt frysepunktet, eller solinnstråling samtidig med snødrift, der det kan bygge seg opp is på nettene, som delvis tetter maskene.

Vi foreslår å dekke omtrent 50 % av hvert nett med et sekundært nett. Plassering av det sekundære nettet, for eksempel som sjakkruiter, horisontale eller vertikale striper, må gjøres i detaljprosjekteringen.

Uansett valg av maskedimensjoner, må man forvente at det bygger seg opp noe større avsetninger av snø rundt nettene. Siden vinden hovedsakelig blåser ned Vannledningsdalen, forventer vi at det vil avsettes mer snø på nedsiden av nettene. Det er blant annet denne snøen vi antar mest sannsynlig vil løsne som sørpeskred, og derfor vi har valgt å bruke dette området som løsneområde i modellberegningene.

6.3.3 Overvann og grunnvann

For å sikre at Vannledningselva kan renne fritt under nettene i en situasjon uten snø på bakken, foreslår vi en bunnåpning på inntil ca. 1 m. Bunnåpningen vil trolig variere en del over tverrsnittet, da tverrsnittet i dalbunnen ikke er jevn. Høyden på bunnåpningen må ikke være så stor at større sørpeskred som løsner på et tidspunkt der det ikke er snø under flere av nettene kan passere under, uten av de bremses. Større åpning kan gjøre tilkomst enklere, da man muligens kan kjøre mindre maskiner under nettet. En nærmere vurdering av bunnåpning kan gjøres i detaljprosjekteringen.

Fundamentene på stolpene i nettene må plasseres slik at erosjon fra Vannledningselva ikke forekommer, eller dimensjoneres for å tåle dette.

6.4 Laster på nettene

Statiske og dynamiske laster er beregnet av Geobrudd for nett 4 (bredde i topp $b_0=38$ m) og nett 11 (bredde i topp $b_0=22$ m) (Geobrudd AG, 2021a, 2021b). Nett 14 antas å være plassert slik at det ikke får dynamiske laster. Lastene kort oppsummert i (Tabell 4). Dersom man velger en mer konservativ verdi for glidefaktor N, for eksempel $N=3,0$ (se Tabell 2), vil den totale lasten øke, men design av nettene vil være uendret fra det som er beskrevet i avsnitt 6.5.

Tabell 4: Laster på nett 4 og 11, beregnet av Geobrudd, basert på våre skreddynamiske beregninger.

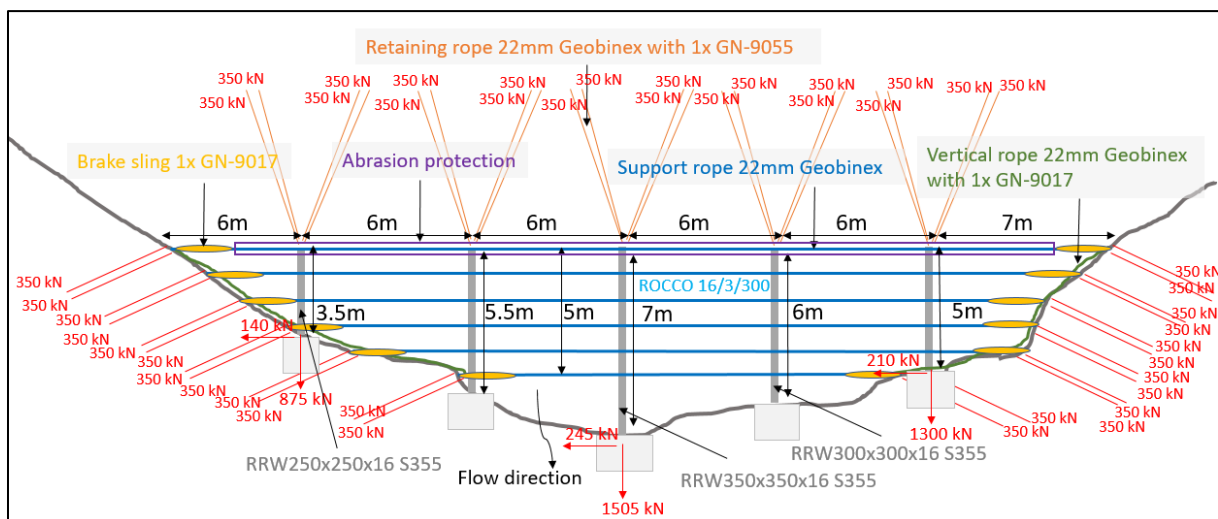
Verdi		Nett 4	Nett 11
Statiske laster (avsnitt 5.2)	Last fra snøsig i fallretning	$S'_N = 19,09 \frac{kN}{m}$	$S'_N = 50,67 \frac{kN}{m}$
	Vekt fra sørpeskred på toppen	$\sigma = 30,89 \frac{kN}{m}$	$\sigma = 30,89 \frac{kN}{m}$
	Total statisk last	$S_N = 49,98 \frac{kN}{m}$	$S_N = 81,56 \frac{kN}{m}$
Dynamisk last (avsnitt 5.3)		$P_N = 70 \frac{kN}{m^2}$	$P_N = 118,3 \frac{kN}{m^2}$
Total last		$Q_{tot} = 9879 kN$	$Q_{tot} = 9602 kN$

6.5 Design av nettene

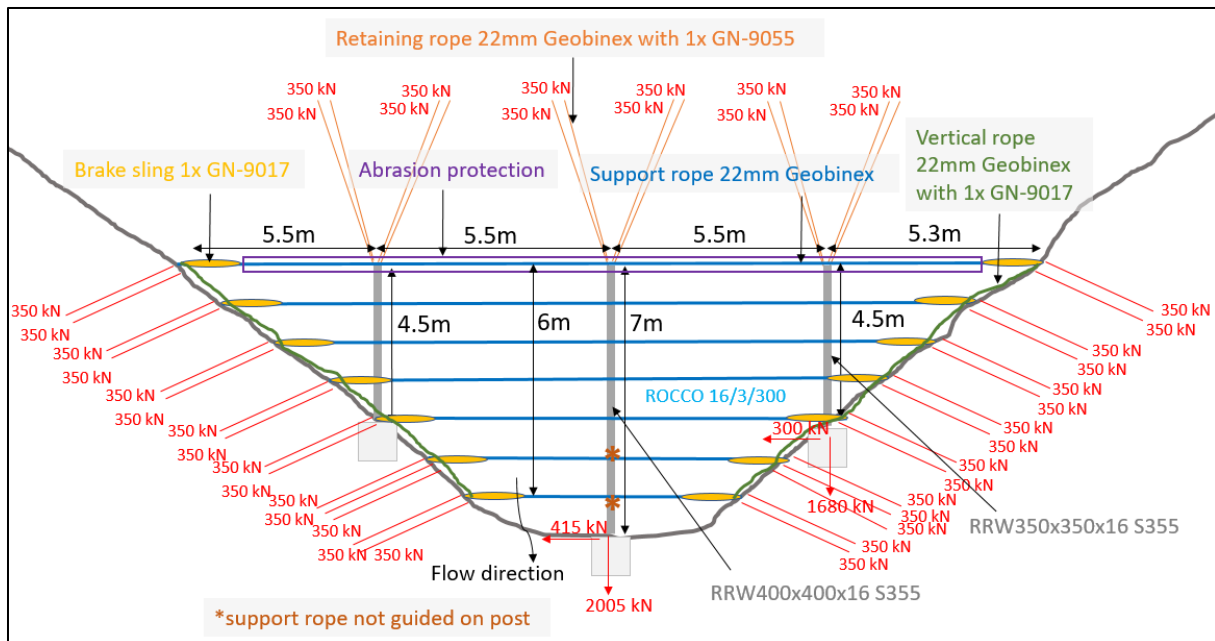
Basert på lastene gitt i avsnitt 6.4 og konservative antakelser rundt grunnforholdene ved nettene, har Geobrugg laget et foreløpig design, som kan ta opp dimensjonerende laster. Design foreslått av Geobrugg er vist i Figur 7 (nett 4), og Figur 8 (nett 11).

Noen nøkkelpunkter ved designet er:

- Horizontal avstand mellom vertikale stolper: 5-6 m, avhengig av bredden på nettet
- Vertikal avstand mellom horisontale wirer (support ropes): 1 m
- Bremseelement i hver side av de horisontale wirer er dimensjonert til å ikke strekke seg ved statisk snøsig, bare ved dynamisk last (sørpeskred). Dette reduserer vedlikehold etter en normal vinter uten treff av sørpeskred.
- Vi har foreløpig spesifisert erosjonsbeskyttelse på den øvre horisontale wire. Dette kan revurderes i detaljprosjekteringen.



Figur 7: Foreslått design av nett 4.



Figur 8: Foreslått design av nett 11.

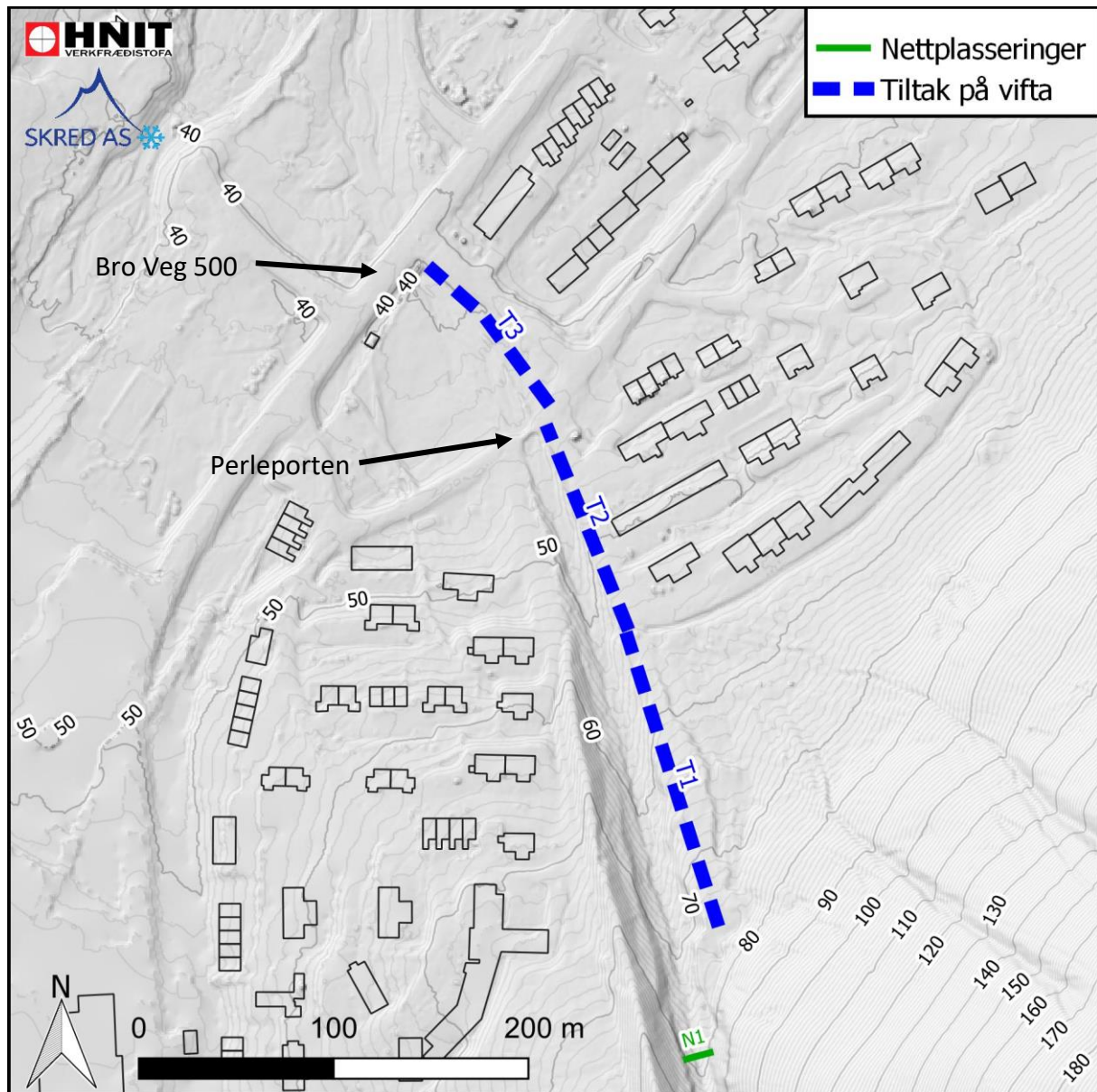
6.6 Behov for ytterligere tiltak på vifta

I situasjoner der sørpeskred stoppes av ett eller flere av nettene, vil det fortsatt være vann og fine partikler av snø og is, som kan passere nettene og komme ned på vifta, på nedsiden av nedre nett (nett 1). I slike situasjoner vil trolig vannmengden øke som en raskt voksende flom. Det er derfor viktig at terreng og infrastruktur nedstrøms nett 1 kan håndtere en slik hendelse. Basert på grove overslag, foreslår vi følgende tiltak nedstrøms nett 1 (Figur 9):

- Sørge for tilstrekkelig overhøyde på den høyre side av Vannledningselva (på nordsiden av elva).
 - o T1: Vull på toppen av dagens terrengheving ovenfor Veg 222, omtrentlig høyde på 3 m over dagens terreng. Denne vullen må trolig erosjonssikres.
 - o T2: Vull langs dagens Veg 222, omtrentlig høyde på 3 m over dagens bunn i elveløpet. Denne vullen må trolig erosjonssikres.
 - o T3: Vull langs Veg 217, omtrentlig høyde på 3 m over dagens terreng. Vullen må trolig erosjonssikres.

Dersom det planlegges å utnytte arealet på sørsiden av Vannledningselva nedenfor Veg 220, må det også gjøres tiltak der. Dette er dog ikke inkludert her, da vårt oppdrag bare omfatter sikring for eksisterende bebyggelse.

Lysåpningen under Perleporten og broen ved Veg 500 varierer med mengden av avsatt sediment. Vi mener at man ved regelmessig rensk og graving kan opprettholde tilstrekkelig åpning. Dette er allerede i dag en del av driftsrutinene for LL, og er derfor ikke beskrevet videre her, og det er ikke prissatt.



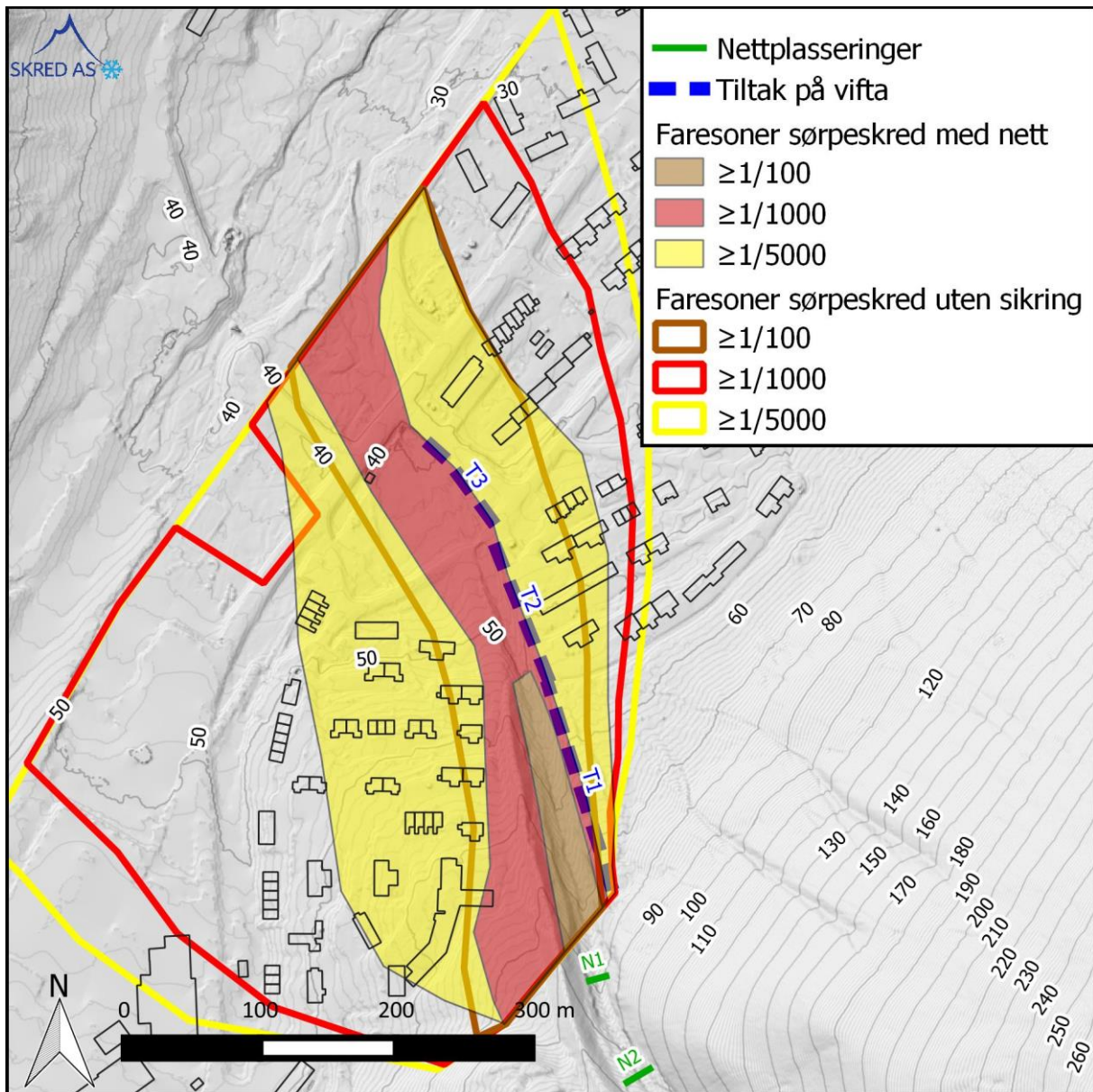
Figur 9: Foreslåtte tiltak på vifta, T1-T3.

6.7 Faresoner

Endringen av faresoner før og etter tiltak er en av de tydeligste effektmålene av de foreslåtte sikringstiltakene. Vi har derfor sammenstilt faresoner for området på vifta ved utløpet av Vannledningsdalen. Faresoner med tiltak er tenkt som grunnlag for en grov vurdering av frigjort areal ved den foreslåtte sikringsløsningen. Faresoner etter tiltak bør justeres i forhold til hvordan den endelige løsningen eventuelt blir bygget.

6.7.1 Effekt på S2 faresonen ($\geq 1/1000$)

Sikringstiltakene er designet for å fjerne eller redusere faresonen for S2 ($\geq 1/1000$) i Haugen området og videre nedover mot Longyearelva. Med nettene som vist i Figur 6, mener vi at faresonen for 1/1000 ser ut som i Figur 10.



Figur 10: Faresoner for sørpeskred før og etter sikring med nett i Vannledningsdalen.

6.7.2 Effekt på S3 faresonen ($\geq 1/5000$)

For å vurdere effekten på faresonen for S3 ($\geq 1/5000$), har vi satt opp en dimensjonerende hendelse, og utført beregning med RAMMS.

I en dimensjonerende 1/5000 hendelse ser vi for oss følgende forløp:

- Sørpeskred løsner helt øverst i dalen.
- Akselerasjon av skredet er så rask, og massene så store, at nett 13 enten fylles (for eksempel grunnet større snømengder i dalbunnen enn antatt i vår design) eller at nettet går til brudd. Dersom nettet går til brudd, vil en stor del av skredmassene flyter over eller forbi nettet, men nettet vil tross alt ha en bremsende effekt på skredmassene.

- Akselerasjon av massene fortsetter mot neste nett, og dette går til brudd eller fylles opp som nettet ovenfor.
- Dette fortsetter nedover i dalen, og alle nett fylles eller går til brudd, som beskrevet ovenfor for nett 13.
- En stor del av skredmassene kommer ned på vifta.

Dette forløpet har vi forsøkt å modeller i RAMMS på følgende måte:

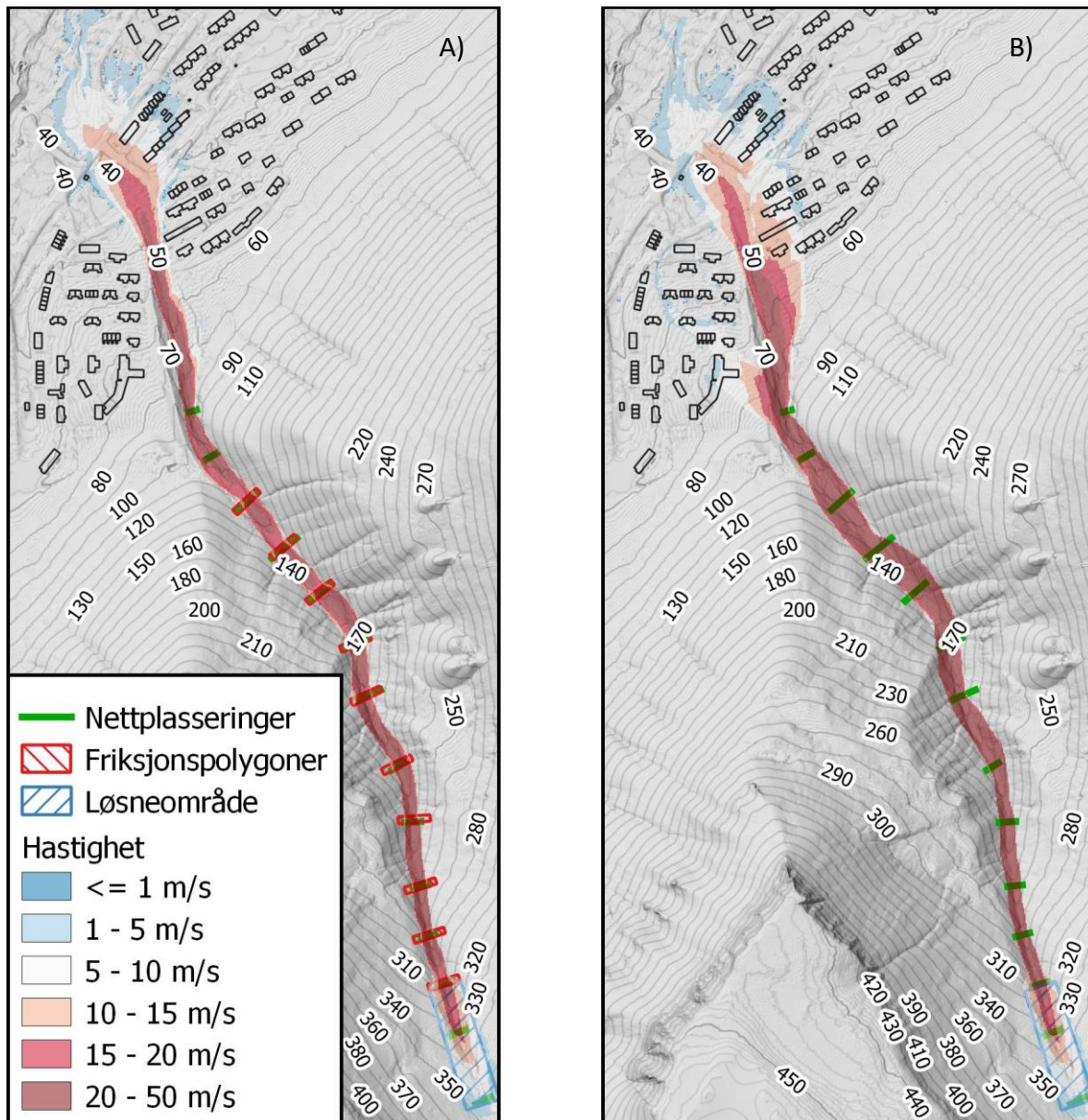
- Et stort løsneområde øverst i dalen (Figur 11). Bruddkanten er 2 m og løsnevolum er 24.000 m³.
- Massene modelleres med friksjonsparametre $X_i=2500 \text{ m/s}^2$ og $M_y=0,05$.
- Unntaket for disse friksjonsverdier er ved nett 3-13, der det er lagt inn høyere friksjon på $X_i=200 \text{ m/s}^2$ og $M_y=0,2$ i mindre polygoner rundt plasseringen av nettene. Dette for å representere energitapet rundt hvert nett.

Resultatet av beregningene er vist i Figur 11. Beregningene viser at den lille hastighetsreducerende effekt av hvert nett, reduserer den oscillerende bevegelse i skredmassene ned gjennom dalen. Dette har spesielt stor betydning i området ved eksisterende voll øverst på vifta, der skredmassene ikke overtopper vollen, fordi angrepsvinkelen blir mer gunstig. Vi mener derfor det er realistisk å redusere faresonen 1/5000 bak vollen i stor grad (Figur 10). Hotellet Funken ligger fortsatt i faresonen 1/5000, men skole og barnehage ligger utenfor faresonen etter foreslått sikring.

6.7.3 Skredvind

I en hendelse fra 1910 er det rapportert at skredvinden fra et sørpeskred ut Vannledningsdalen skal ha gjort en liten skade på et bygg på vestsiden av Longyearelva. Vi har ikke hatt mulighet for å sjekke om dette stemmer. Med svært store hastigheter av sørpeskredmassene i en slik smal dal, er det dog ikke unaturlig at skredvind kan oppstå i forbindelse med svært store sørpeskred, men det er lite sannsynlig at skredvinden kan sammenlignes med skredvind fra snøskred.

Vi forventer at sannsynligheten for store sørpeskred reduseres med den foreslåtte løsningen. Dermed vil også sannsynligheten for skredvind fra svært store hendelser reduseres, til tross for at det ikke direkte er skredvinden vi foreslår å sikre imot.



Figur 11: Beregning av skredbevegelse med et stort løснеvolum fra øvre del av dalen. A) med mer friksjon rundt nettene (røde polygoner), og B) uten den bremsende effekt av nettene.

6.8 Tilkomst til nettene

Innledningsvis hadde vi planer om en tilkomstvei i dalsiden langs dalbunnen, med avstikkere ned til dalbunnen mellom hvert nett. En slik vei ble svært omfattende, med utfordringer i forhold til permafrost, stabilitet og vedlikehold, og hadde trolig blitt dyr sammenlignet med selve sikringsløsningen. Derfor foreslår vi en annen løsning.

Det er behov for tilkomst til nettene med større maskiner oppover i dalen for større vedlikeholdsarbeider og reparasjon etter hendelser. Hyppigheten av slikt arbeid avhenger av kvaliteten på utført arbeid og hyppigheten av sørpeskred. Vi anslår grovt at dette må gjøres hver 5-10 år (se avsnitt 6.16). Dette gjøres ved å montere ett eller flere festepunkt/anker ovenfor nettene 3-13. Ovenfor veien til Svalsat står det slike festepunkter, som tidligere ble

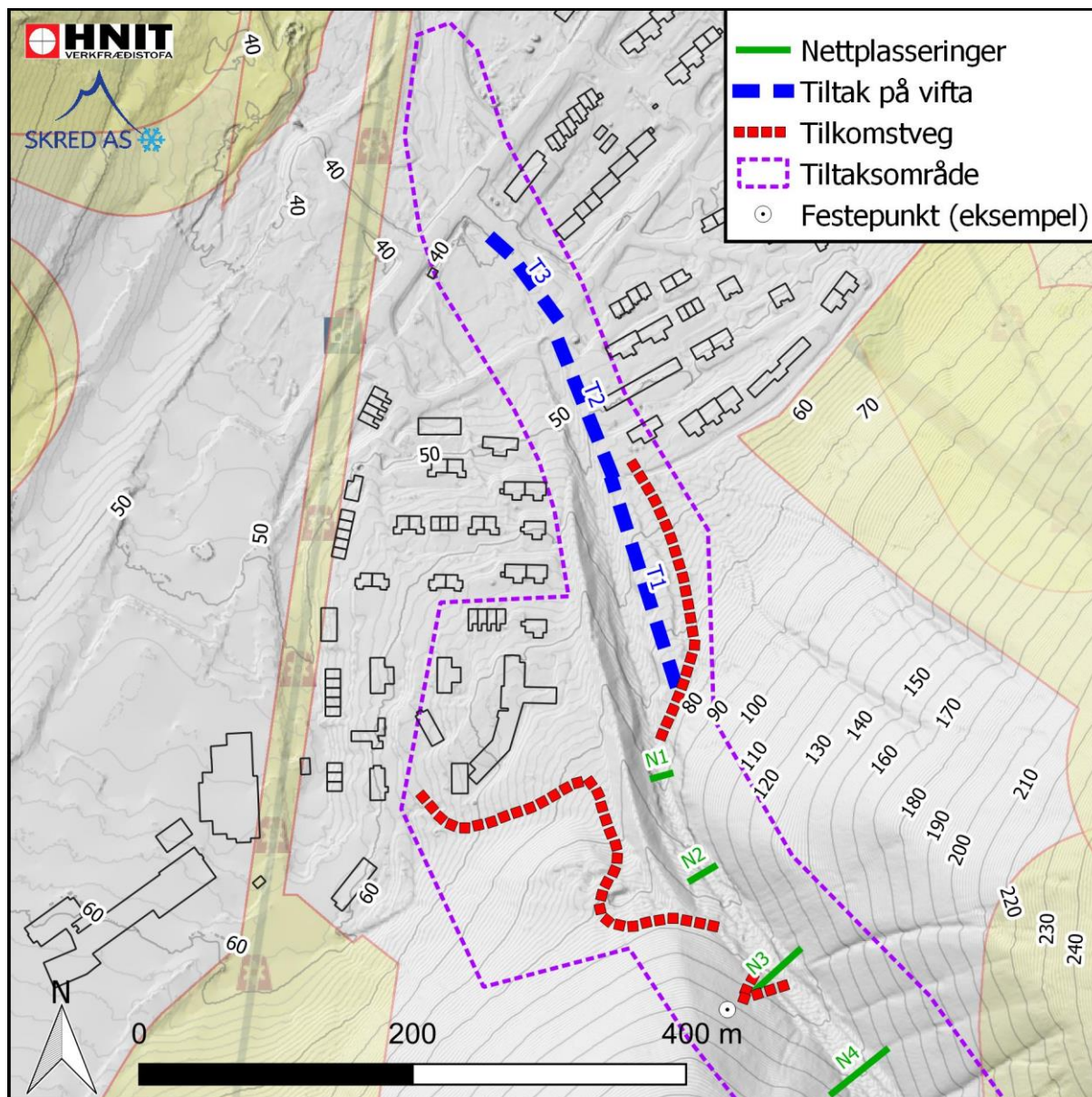
brukt som feste til en tråkkemaskin. En «klatre»-gravemaskin (for eksempel fra Kaiser eller Menzi Muck) hekter seg på ankeret med wire og vinsj, og klatrer opp på den ene siden av nettet, og ned på den andre siden.

Et forslag til plassering av festepunkter ovenfor nett 3 er vist i Figur 13, men festepunktene kan stå i begge dalsider. Disse plasseringene må justeres i detaljprosjekteringen i forhold til endelig plassering av nettene, og mer detaljerte vurderinger av terrenget. I områdene der klatre-graverne skal kjøre opp over nettene, må det renskes i terrengoverflaten, slik at de er lettest mulig å kjøre der. Et eksempel på et slikt område med rensk er vist ovenfor nett 3 i Figur 13.

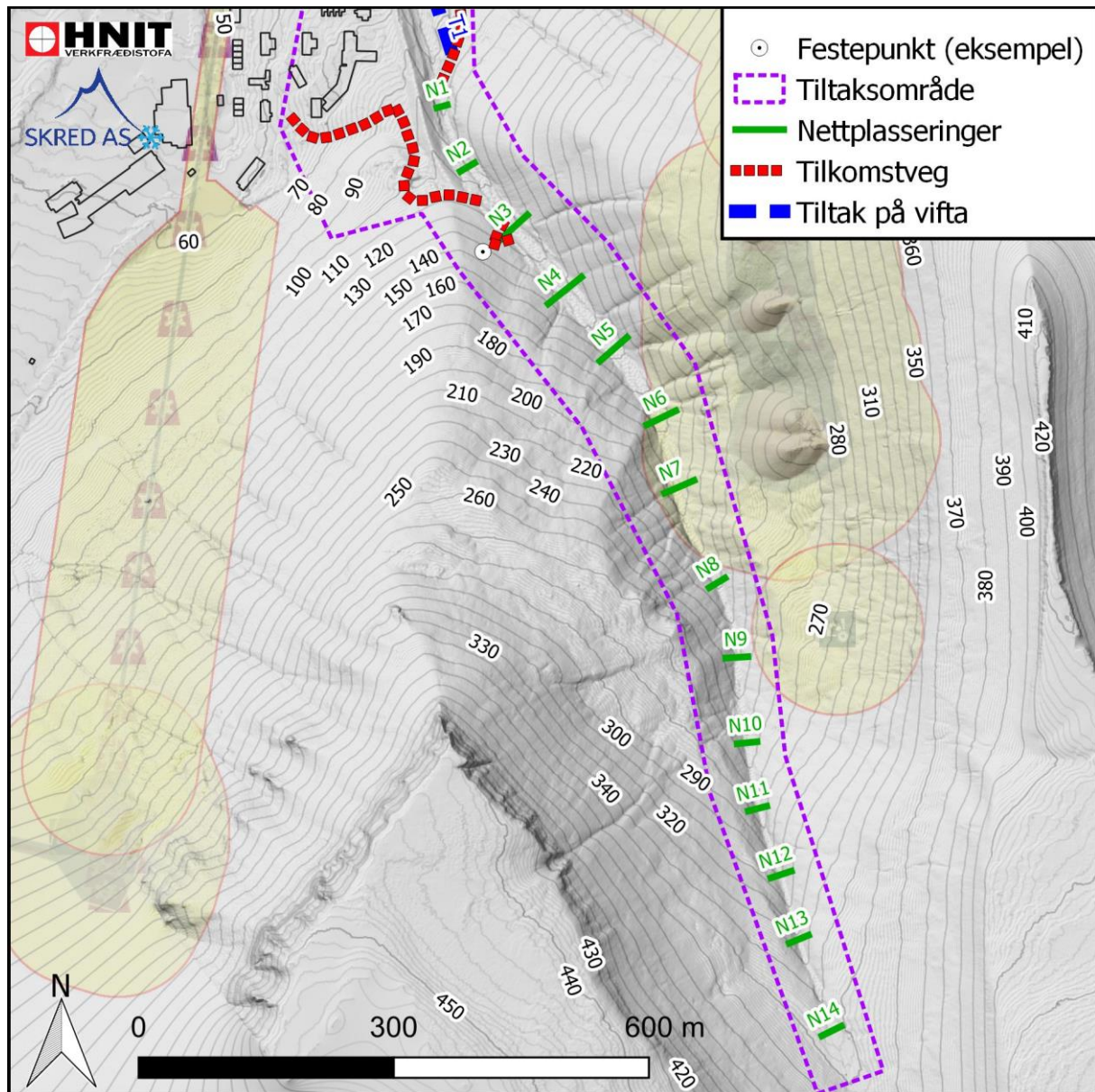
Mindre vedlikehold og ettersyn skal typisk gjøres hvert år (se avsnitt 6.16). Det kan gjøres når dalen er fri for snø, og med mindre, lettere maskiner eller til fots. I slike situasjoner kan det være mulig å kople ut den nederste horisontale wire, og komme under nettene. Slikt bør gjøres etter avtale med nettleverandør.

6.9 Samlet berørt område

Området som antas å bli berørt under konstruksjon av den skisserte sikringsløsningen er vist i Figur 12 og Figur 13.



Figur 12: Tiltak og berørt område i nedre del av Vannledningsdalen og på vifta. Områder i nærheten av kulturminner, med begrensninger i arealbruk, er vist med gul farge.



Figur 13: Tiltak og berørt område i øvre del av Vannledningsdalen. Områder i nærheten av kulturminner, med begrensninger i arealbruk, er vist med gul farge.

6.10 Teknisk infrastruktur i området

Litt nedenfor nett 1 krysser en kraftlinje Vannledningsdalen. I dette området er det foreslått en voll og tilkomstvei (Figur 12). Vi er ikke kjent med annen teknisk infrastruktur opp gjennom Vannledningsdalen.

6.11 Grunnforhold

Grunnforhold er undersøkt ved visuell inspeksjon og prøvetrekning. Rambøll har beskrevet dette i deres notat G-not-014 1350029372 (Rambøll Norge AS, 2021a).

Rambøll har gjort beregninger for nødvendig forankringslengde på stag, gitt laster på 350 kN, og kommer frem til en nødvendig lengde i berg på 3,0 m for situasjon med Ø70 mm borehull.

Gitt forholdene rundt løsmasser på toppen av berg, islag, kullsoner eller svake bergartslag, mener Rambøll at staglengde fra terreng på rundt 7-8 m er realistisk. Rambøll konkluderer med følgende:

- Fundamentering av nettløsning mot sørpeskred vurderes med foreliggende grunnlag gjennomførbart. Det bør gjøres en kontroll av dimensjoner og plassering så snart last på fundament foreligger.
- Med tanke på forankring og skjærkraft i foringsrør, bør det etterstrebes en løsning som gir minst mulig variasjon i vinkel fra skredlast på fundament.
- I videre detaljering bør plassering av hvert enkelt nett optimaliseres ved å plassere de i områder med minst mulig løsmasse.
- For betongfundament som plasseres i dalsidene bør det, ved stor løsmassetykkelse, vurderes om det finnes alternativ løsning for fundament som er mer egnet.
- Prinsipp per i dag inneholder en svært stor mengde stag, det må etter at endelig plassering av fundamentene er klar, kontrolleres for eventuell kollisjon mellom stagene.
- Med tanke på drift av sikringsløsning bør også endelig plassering av nettene tilpasses slik at de står minst mulig utsatt til for løsmasser som sklir ned fra sideterreng i dalen.

6.12 Håndtering av overvann og sedimenter

Vi forventer at elva i Vannledningsdalen har perioder med en del sedimenttransport, men er ikke kjent med egentlige flomskred. Flomskred inngår ikke som en del av skredprosessene nettene er tenkt å sikre mot, men de vil trolig ha betydelig effekt mot flomskred, uten at vi i denne fasen har kvantifisert det ytterligere.

I denne forprosjekteringen er det ikke gjort konkrete flomvurderinger eller vurderinger av sedimenttransport. Det må gjøres i en eventuell detaljprosjekteringsfase, for å se om det vil sette premisser for plassering og design av fundamenter for ankre og stolper. Med nåværende informasjon mener vi dog at grunnforholdene vil være av større betydning for plassering av nett enn vann og sedimenter. Håndtering av vann og sedimenttransport vil også bli en del av drift og vedlikehold av tiltakene, både ved nettene og ved tiltakene på vifta.

6.13 Kulturminner/-miljø

På hjemmesiden til Riksantikvaren, er det et kart som viser kulturminner i Longyearbyen. Kulturminner og områdene rundt er gjengitt i Figur 12 og Figur 13. Tiltaksområdet berører en sone rundt flere tipper fra gruvene ovenfor Vannledningsdalen.

6.14 Usikkerheter og restrisiko

6.14.1 Ingen tidligere tiltak med nett mot sørpeskred

Vi er ikke kjent med sikringsløsninger der nett er brukt til å sikre mot sørpeskred i samme omfang som her. Vi er kjent med at nett er satt opp i bekker der sørpeskred er en aktuell skredtype, for eksempel langs Bergensbanen vest for Voss, men vi kjenner ikke til at de har

blitt testet av reelle hendelser, og vi kjenner ikke til at de har blitt prosjektert på en spesiell måte. Det er derfor en del usikkerheter rundt om løsningen fungerer i praksis.

6.14.2 Vann og finkornet sørpe

Som beskrevet i kapittel 4 og 5, vil vann og vann med finkornet snø kunne renne gjennom nettene. Selv om vi venter en reduksjon av hastighetene av slike typer massestrømmer, kan man ikke utelukke at det vil forekomme situasjoner med raskt voksende vannføring nedenfor nettene. Denne restrisikoen og har vi i den beskrevne sikringsløsningen forsøkt å håndtere med tiltakene på vifta, nedenfor nett 1. Det gjenstår fortsatt en usikkerhet fordi vi ikke vet hvilke hastigheter «de resterende masser» kan få nedenfor det siste nettet. Det kan dog gjøres noen anslag i detaljprosjektering.

6.15 Fordeler og ulemper

De nederste nettene vil være synlige fra bebyggelsen i Longyearbyen, men i mye mindre grad enn de tidligere foreslåtte tiltakene med store voller i løsmasser.

Kostnad, nevnt i avsnitt 6.18 nedenfor, er en stor fordel i forhold til de tidligere forprosjekterte sikringsløsningene med løsmassevoller.

Den primære ulempen med den foreslåtte løsningen med nett, er usikkerheten rundt hvordan effekten av nett er mot sørpeskred. Tilkomst til nettene etter hendelser og for jevnlig vedlikehold, er også en ulempe ved løsningen, men det mener vi er mulig å håndtere.

6.16 Forvaltning, drift og vedlikehold

LL skal overta sikringstiltakene etter ferdigstilling. For best mulig oversikt over antatt omfang av drift og vedlikehold, har vi nedenfor beskrevet hva vi forventer av vedlikehold på konstruksjonene. Detaljer rundt drift og vedlikehold vil komme fra produsenten av nett som eventuelt settes opp. Et eksempel er gitt av Geobruigg sin manual (Geobruigg AG, 2019). Beskrivelsen nedenfor er utelukkende ment som en informasjon til LL slik at de kan ta med dette inn i en overordnet vurdering av sikringsløsningens egnethet.

Vi forventer to typer av vedlikehold:

- Årlig (eller hyppigere): normalsituasjon, etter hver vinter med drift
- Hendelsesbasert: etter hvert skredhendelse.

Hver av disse er beskrevet i mer detalj nedenfor.

6.16.1 Årlig

Følgende punkter undersøkes visuelt minst årlig:

- Tilsyn av nett, spesielt sekundærnettet med den minste diameter hull, og innfesting av dette til hovednettet.
- Sjekke alle bremseelementer, wirer, vertikale støtter og forankringer for skader.

Det årlige vedlikeholdet utføres uten snø på bakken, og kan typisk utføres med lett utstyr som fraktes oppover i dalen til fots. Enkelte år kan det være behov for å kjøre opp utstyr på

en liten maskin (4- eller 6-hjuling). En slik maskin kan muligens passere under nettet, eller man kan hekte av de nedre horisontale wirer, før passasje. Det kan også være aktuelt å fly opp material og utstyr med helikopter.

6.16.2 Etter en skredhendelse

Tidligere estimater av gjentakintervall av sørpeskred var på rundt 10 år uten tiltak (Skred AS/HMIT Consulting, 2018a). Med nettene vurderer vi en reduksjon av små hendelser som løsner i en celle mellom to nett, og stoppes av det nedre nettet, til omtrent halvparten, altså et gjentakintervall på 20 år. Skredhendelser fra sideterrenget kan også skade nettene, så grovt estimert trengs det større vedlikeholdsarbeid hvert tiende år. Disse estimatene er usikre, men kan gi en indikasjon på omfanget av forventet vedlikehold.

Etter et sørpeskred eller anden større hendelse mot nett eller fundamentere, må de inspiseres manuelt, eller dersom det er stor skredfare, med drone eller helikopter. Etter inspeksjon må man vurdere hvordan effekten av tiltakene er ved en eventuell ny hendelse før skadene er utbedret.

Ved små hendelser med små skader og lite volum av skredmasser i ett nett, vil det trolig være så stor sikkerhetsfaktor i designet, at tiltaket vurderes å fortsatt fungere etter hensikten. Da kan vedlikehold gjennomføres etter snøsmelting, som en del av det årlige vedlikeholdet.

Dersom mange av nettene er påført store skader, må man for eksempel vurdere å evakuere området på vifta. En mulighet er da å ta utgangspunkt i faresonene før tiltak. Dette vil trolig ikke være nødvendig hvert tiende år, men det kan ikke utelukkes, og det må lages en plan for slike hendelser. Etter hendelser kan det for eksempel være aktuelt å bytte hele nett.

6.17 Bestandighet/brukstid, og levetid av materialer og konstruksjoner

Da tilkomsten til nettene oppover i dalen er utfordrende med større maskiner, foreslår vi å bruke bedre og dyrere materialer med antatt lenger levetid og mindre behov for regelmessig vedlikehold. Dette inkluderer for eksempel valg av type og korrosjonsbeskyttelse på sekundærnettet. Disse valgene er priset inn i kostnadsestimatene i avsnitt 6.18.

Nettene er designet til å ha dimensjonerende brukstid på minst 40 år. Brukstiden er relativt lav for denne typen konstruksjon, men med bakgrunn i permafrostforholdene på Svalbard har tiltakshaver bestemt lavere brukstid enn standarden gir.

6.18 Mengder og kostnad

6.18.1 Forutsetninger

Vi har brukt følgende forutsetninger for kostnadsberegningene:

- 1 € = 10,19 NOK. Priser for materialer og transport er angitt av Geobrugg i €.
- Materialkostnader for nett er basert på beregninger gjort av Geobrugg for nett 4 og nett 11 i februar 2021, på følgende måte:

- Materialpris per m² for nett 4 er av Geobruigg estimert til knapp 7000 NOK. Tilsvarende pris per m² for nett 11 er 7500 NOK.
- Basert på terrengform der nettene er foreslått, samt høyde og bredde av de foreslåtte nettene, anslår vi at nett 1-7 har samme materialpris per m² som nett 4, mens nett 8-14 har samme materialpris per m² som nett 11.
- Areal for hvert nett er estimert fra terrengmodell og foreslått høyde.
- Gjennomsnittlige årlige kostnader til drift og vedlikehold er estimert til 3 % av investeringskostnadene, som nevnt ovenfor.
- Hvert nett kan pakkes i en container, og hver container har en fraktkost.
- Fraktkost for en container fra sentral Europa til Tromsø er 7000 €, tilsvarende 71.300 NOK. Dette beløpet er estimert av Geobruigg i februar 2021.
- Fraktkost for en container fra Tromsø til Longyearbyen er estimert til 1,5 x fraktkostnaden for en container fra sentral Europa til Tromsø. Dette har vi estimert ut fra tidligere tilbud på materialer til sikringstiltak nedenfor Sukkertoppen.
- Totalt blir da fraktkostnader for en container rundt 178.000 NOK.
- Monteringskostnader er estimert som 2 x materialkostnadene og inneholde bl.a. rigg- og driftskostnader i tillegg til montering. Dette er et konservativt estimat, basert på tidligere arbeid og tilbud på tidligere sikringstiltak i Longyearbyen.

6.18.2 Kostnader

Kostnadsestimat for nettene er oppsummert i Tabell 5. Kostnad for tiltakene T1-T3 på vifta er grovt estimert til 10 mill. NOK. Oppsummerte kostnader for den foreslåtte sikringsløsningen er vist i Tabell 6, og er på knapp 52 mill. NOK. I den tabellen har vi også vist kostnaden med en usikkerhet på +40%.

Tabell 5: Geobruigg har estimert kostnader or nett 4 og nett 11, merket i tabellen. Kostnader for de øvrige nettene er estimert ut fra disse to nettene.

Nett	Areal (m ²)	Materialkost per m ² (NOK)	Materialkost (NOK)	Frakt til Longyearbyen (NOK)	Montering (NOK)
1	80	7.000	560.000	178.000	1.120.000
2	80	7.000	560.000	178.000	1.120.000
3	150	7.000	1.050.000	178.000	2.100.000
4	180	7.000	1.260.000	178.000	2.520.000
5	170	7.000	1.190.000	178.000	2.380.000
6	140	7.000	980.000	178.000	1.960.000
7	110	7.000	770.000	178.000	1.540.000
8	100	7.500	750.000	178.000	1.500.000
9	140	7.500	1.050.000	178.000	2.100.000
10	130	7.500	975.000	178.000	1.950.000
11	120	7.500	900.000	178.000	1.800.000
12	140	7.500	1.050.000	178.000	2.100.000
13	110	7.500	825.000	178.000	1.650.000
14	160	7.500	1.200.000	178.000	2.400.000
Sum	1810	-	13.120.000	2.492.000	26.240.000

Tabell 6: Oppsummering av totale kostnader for sikringsløsningen med nett.

Post	Investeringskostnad (NOK)	Årlig drift og vedlikehold (NOK)
Nett, material	13.120.000	-
Nett, frakt til Longyearbyen	2.492.000	-
Nett, montering	26.240.000	-
Tiltak på vifta	10.000.000	-
Total	51.852.000	1.555.560
Usikkerhet +40%	72.592.800	2.177.784

7 Diskusjon

Gjennom arbeidet med forprosjektering av en sikringsløsning basert på nett i Vannledningsdalen, har vi, sammen med Rambøll og Geobrugg utført følgende:

- Vurderinger av hvor og hvordan sørpeskred kan utløses, og hvordan skredmasser ventes å bevege seg nedover i Vannledningsdalen.
- Beregninger av hastigheter på skredmassene ned gjennom dalen, og vurderinger av hvor nett kan plasseres i forhold til dette.
- Sammen med Geobrugg, design av nett for å stoppe sørpeskredmasser.
- Sammen med Geobrugg, design av nett for å ta opp krefter fra snøsig og sørpeskred.
- Rambøll har undersøkt grunnforhold med tanke på fundamentering av nettene.
- Vurdering av snøhøyder og drivsnøproblematikk.
- Vurdering av effekten av eksisterende tiltak på viften
- Vurdert muligheter for adkomst og vedlikehold av nettene i Vannledningsdalen
- Estimert effekt av nettene på faresonene etter sikringstiltak.

Samlet sett mener vi at en sikringsløsning basert på nett vil være en løsning som er gjennomførbar, og som vil ha en stor effekt på faresoner for både sikkerhetsklasse S2 og S3 på vifta. Et tiltak basert på nett vil være betydelig mindre visuelt skjemmende for Longyearbyen enn de tidligere skisserte løsningene basert på voller i løsmasser nær bebyggelsen. Kostnadsestimatet for den skisserte løsningen 55-70 mill. NOK ligger betydelig lavere enn kostnadene for voller, som var estimert til 120-170 mill. NOK. En del av den reduserte kostnaden skyldes at det ikke er behov for endringer ved de to broene over Vannledningselva, ved Veg 500 og Perleporten. Den skisserte sikringsløsningen med nett vil redusere risiko ved krysningen av Vannledningselva ved de to broene, slik den skisserte «svingvollen» gjorde.

Ulempen med en sikringsløsning basert på nett er den gjenstående usikkerhet rundt effekten av løsningen fordi det ikke finnes tilsvarende løsninger i verden så vidt vi er kjent med. Gjennom arbeidet har vi dog fått redusert denne usikkerheten, og i stor grad fått streke indikasjoner på at den skisserte løsningen vil fungere som planlagt. En ulempe med en løsning basert på nett er tilkomst til nettene ved regelmessig vedlikehold og etter skredhendelser. Dette mener vi dog er mulig å løse med moderne maskiner og i detaljprosjekteringen.

Nettløsningen vil bare fungere etter hensikten hvis tiltakshaver/eier forvalter og vedlikeholder nettene. Derfor er det viktig at eier planlegger vedlikehold i god tid og følger planene inn i fremtiden.

8 Referanseliste

- Berger, C., Denk, M., Graf, C., Stieglitz, L., Wendeler, C., 2020. Praxishilfe Murgang- und Hangmurenschutznetze. Im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA und des Bundesamtes für Umwelt BAFU, WSL Berichte.
- Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P., 2010. RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. Cold Reg. Sci. Technol. 63, 1–14.
doi:10.1016/j.coldregions.2010.04.005
- Geobruigg AG, 2021a. Dimensioning Slush flow barrier (Net 4) Vannledningsdalen valley Longyearbyen, Svalbard, Geobruigg note.
- Geobruigg AG, 2021b. Dimensioning Slush flow barrier (Net 11) Longyearbyen, Svalbard, Geobruigg note.
- Geobruigg AG, 2019. Maintenance manual RXE-, GBE and ATT series, Report.
- Margreth, S., 2007a. Defense structures in avalanche starting zones. Technical guideline as an aid to enforcement, Environment in Practice.
- Margreth, S., 2007b. Defense structures in avalanche starting zones. Technical guideline as an aid to enforcement., Environment in practice. Bern, Switzerland.
- NGI, 2015. Vannledningsdalen, Longyearbyen. Forprosjektering av sikringstiltak for bebyggelse og infrastruktur nedenfor Vannledningsdalen, 20120650-01-R. Oslo, Norge.
- NGI, 1991. Longyearbyen. Vurdering av tiltak mot snøskred, sørpeskred og drivsnø i Longyearbyen, NGI Rapport. Oslo, Norge.
- ONR, 2010. ONR 24805: Permanenter technischer Lawinenschutz — Benennungen und Definitionen sowie statische und dynamische Einwirkungen.
- Rambøll Norge AS, 2021a. Vannledningsdalen, sikring med nett mot sørpskred - Geoteknisk og ingeniørgeologisk vurderng for forprosjekt, Rambøll Notat.
- Rambøll Norge AS, 2021b. Adhesion of rock mass in Vannledningsdalen, Rambøll Technical note.
- Skred AS/HNIT Consulting, 2018a. Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak, Sukkertoppen og Vannledningsdalen. Forprosjektering av sikringstiltak – Fase B2, Skred AS Rapport.
- Skred AS/HNIT Consulting, 2018b. Forprosjektering fase 1 - sikringskonsepter presentert i faktaark.
- Skred AS, HNIT, Rambøll Norge AS, Meteorologisk Institutt, 2019. Mulige effekter av klimaendringer på valgte sikringstiltak, Skred AS Rapport.
- Berger, C., Denk, M., Graf, C., Stieglitz, L., Wendeler, C., 2020. Praxishilfe Murgang- und Hangmurenschutznetze. Im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA und des Bundesamtes für Umwelt BAFU, WSL Berichte.

- Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P., 2010. RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. Cold Reg. Sci. Technol. 63, 1–14.
doi:10.1016/j.coldregions.2010.04.005
- Geobrudd AG, 2021a. Dimensioning Slush flow barrier (Net 4) Vannledningsdalen valley Longyearbyen, Svalbard, Geobrudd note.
- Geobrudd AG, 2021b. Dimensioning Slush flow barrier (Net 11) Longyearbyen, Svalbard, Geobrudd note.
- Geobrudd AG, 2019. Maintenance manual RXE-, GBE and ATT series, Report.
- Margreth, S., 2007a. Defense structures in avalanche starting zones. Technical guideline as an aid to enforcement, Environment in Practice.
- Margreth, S., 2007b. Defense structures in avalanche starting zones. Technical guideline as an aid to enforcement., Environment in practice. Bern, Switzerland.
- NGI, 2015. Vannledningsdalen, Longyearbyen. Forprosjektering av sikringstiltak for bebyggelse og infrastruktur nedenfor Vannledningsdalen, 20120650-01-R. Oslo, Norge.
- NGI, 1991. Longyearbyen. Vurdering av tiltak mot snøskred, sørpeskred og drivsnø i Longyearbyen, NGI Rapport. Oslo, Norge.
- ONR, 2010. ONR 24805: Permanenter technischer Lawinenschutz — Benennungen und Definitionen sowie statische und dynamische Einwirkungen.
- Rambøll Norge AS, 2021a. Vannledningsdalen, sikring med nett mot sørpskred - Geoteknisk og ingeniørgeologisk vurdering for forprosjekt, Rambøll Notat.
- Rambøll Norge AS, 2021b. Adhesion of rock mass in Vannledningsdalen, Rambøll Technical note.
- Skred AS/HNIT Consulting, 2018a. Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak, Sukkertoppen og Vannledningsdalen. Forprosjektering av sikringstiltak – Fase B2, Skred AS Rapport.
- Skred AS/HNIT Consulting, 2018b. Forprosjektering fase 1 - sikringskonsepter presentert i faktaark.
- Skred AS, HNIT, Rambøll Norge AS, Meteorologisk Institutt, 2019. Mulige effekter av klimaendringer på valgte sikringstiltak, Skred AS Rapport.