
RAPPORT

Skredfarekartlegging Svalbard

OPPDRAGSGIVER

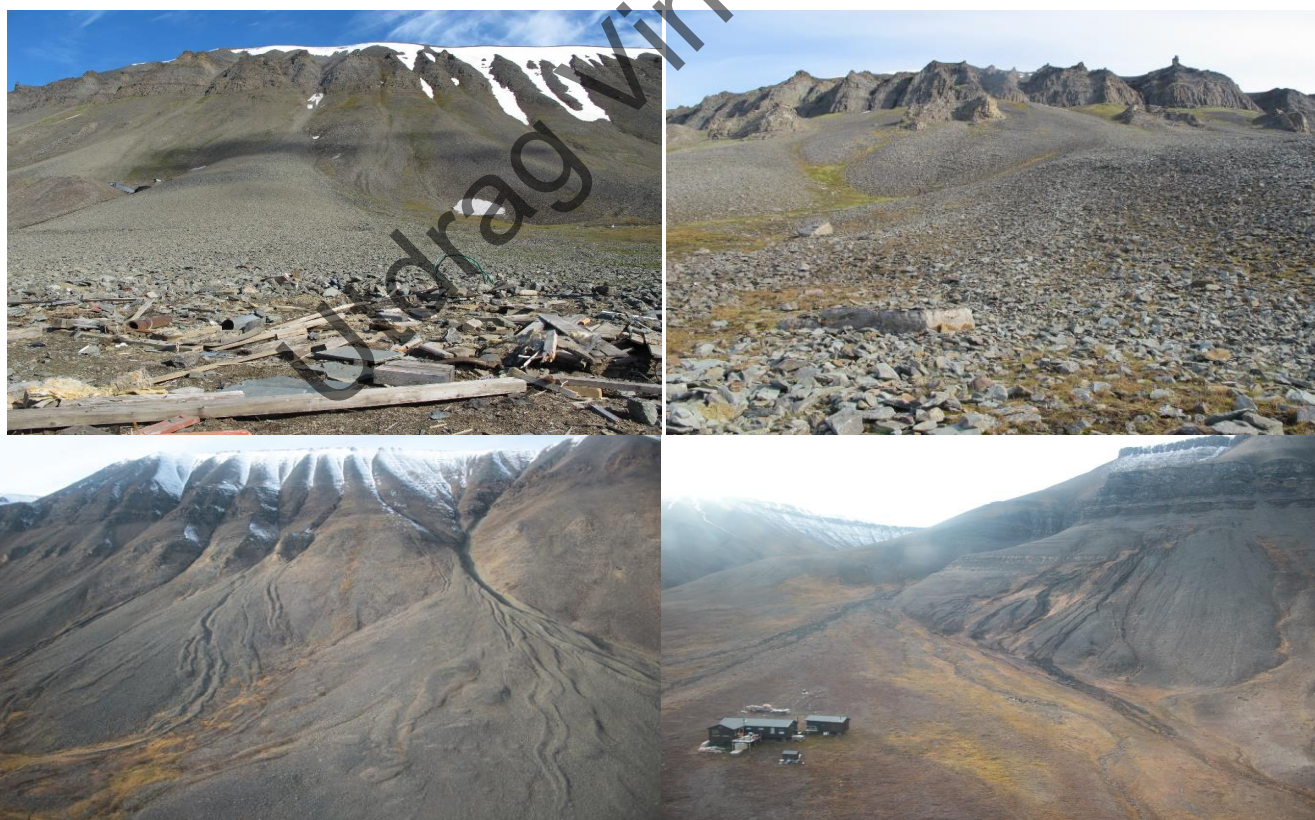
Longyearbyen Lokalstyre

EMNE

Kartlegging av skredfare i hytteområder på Svalbard

DATO / REVISJON: 5. mai 2017

DOKUMENTKODE: 713525-RIGberg-RAP-001



Multiconsult

Utdrag Vindodden

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Tredjepart har ikke rett til å anvende rapporten eller deler av denne uten Multiconsults skriftlige samtykke.

Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

Fotografier på framsiden viser rester av hytte i Bjørndalen. Skråning på vei inn i Bjørndalen. Skredvifter i Todalen og hytte i skredutsatt område på Vindodden.

RAPPORT

OPPDRAAG	Skredfarekartlegging for Longyearbyen Lokalstyre og Store Norske	DOKUMENTKODE	713525-RIGberg-RAP-001
EMNE	Kartlegging av skredfare i hytteområder på Svalbard	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	Longyearbyen lokalstyre	OPPDRAAGSLEDER	Maria Hannus
KONTAKTPERSON	Kjersti Olsen Ingerø	UTARBEIDET AV	Maria Hannus/Mariia Pihlainen/Jan Otto Larsen
KOORDINATER	SONE: 33N ØST: 519200 NORD: 8682345	ANSVARLIG ENHET	4014 Tromsø Bergteknikk

SAMMENDRAG

Multiconsult har utført detaljert skredfarekartlegging i bratt terreng for utvalgte områder på Spitsbergen/ Svalbard. På oppdrag for Longyearbyen lokalstyre og Store Norske Spitsbergen Kullkompani AS (SNSK) har Multiconsult gjennomført skredfarekartlegging av eksisterende hytteområder rundt Longyearbyen. Områdene listet nedenfor er detaljert kartlagt og vurdert i henhold til TEK10 og NVEs kravspesifikasjon for offentlige oppdrag. Det er utarbeidet faresonekart med årlig nominell sannsynlighet 1/100, 1/1000 og 1/5000 for de ulike områdene. Alle aktuelle skredtyper i bratt terreng (snø-, sørpe-, stein-, jord- og flomskred) er vurdert.

Følgende områder er kartlagt på oppdrag for Longyearbyen lokalstyre og Store Norske

- Bjørndalen
- Revneset-Hjorthamn
- Todalen
- Bolterdalen-Foxdalen
- Vindodden

Flere av områdene med eksisterende hytter er vurdert å ligge innenfor faresonegrensene for skred i henhold til TEK 10, med årlig nominell sannsynlighet 1/100, 1/1000 og 1/5000.

Faresonekartene kan brukes som grunnlag i forbindelse med arealplanlegging og ved godkjenning av reguleringsplaner og byggesøknader. Kartene kan også fungere som retningslinje for å vurdere om områder bør prioriteres med tanke på eventuelle forebyggende skredskringstiltak eller flytting av hytter som ligger skredutsatt.

Faresonekartene kan også benyttes som et verktøy i beredskapsplaner mht. skredfare.

00	05.05.2017	Skredfarekartlegging, hytteområder på Svalbard	Maria Hannus, Mariia Pihlainen	Sverre Barlundhaug og Jan Otto Larsen	Kurt Roger Fredriksen
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

ABSTRACT

Multiconsult has performed a detailed hazard mapping of the main cabin areas prone to slides and avalanches on Svalbard. The project is organized by the local city administration, «Longyearbyen Lokalstyre» and the mining company «Store Norske Spitsbergen Kullkompani», with the goal to make zoning plans for areas with cabins. Areas listed below have been mapped in relation to Norwegian Building Act § 25 and Norwegian technical guidelines described in «Teknisk forskrift» TEK 10. The work complies with the Norwegian Water Researches and Energy Directorate NVE's requirements for public consulting work. The zoning plans have specific borders for frequencies of natural hazards related to the requirements, where a yearly probability of 10^{-2} , 10^{-3} and $2 \cdot 10^{-4}$ are demanded. All types of natural hazards as avalanches, slush flows, rock slides, debris flows and slides in soils are included in the study.

Areas mapped for «Longyearbyen lokalstyre» and «Store Norske Spitsbergen Kullkompani» are listed below:

- Bjørndalen
- Revneset-Hjorthamn
- Vindodden
- Todalen
- Bolterdalen-Foxdalen

Parts of the cabin areas have been found to be exposed for slides or avalanches with a yearly probability of 1/100, 1/1000 and 1/5000.

The zoning maps can be used in future planning of settlements and in approval of «reguleringsplaner» and in decision of applications for new building projects. The maps can also be used in priority plans for mitigation measures and protection plans.

Added the zoning plans can be a tool when planning for warning against natural hazards.

Utdrag Vindodden

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Innledning	7
1.1	Formål med kartleggingen, bruk av kartene og detaljnivå	8
2	Generell oversikt over kartleggingsområdene	9
2.1	Topografi.....	9
2.2	Geologiske forhold	9
2.3	Klima	11
2.3.1	Permafrost	15
2.4	Klimaendringer på Svalbard	16
2.5	Skredaktivitet	18
3	Skredtyper	20
3.1	Beskrivelse av skredtyper i bratt terreng	20
3.2	Aktuelle skredtyper innenfor kartleggingsområdene	22
4	Tidligere vurderinger/kartlegginger som delvis er benyttet i vurderingen	25
5	Metodikk for fastsettelse av faresoner	25
5.1	Terrengmodeller	25
5.2	Ortofoto, flybilder og fotografier	26
5.3	Topografi, geologi og terrengforhold.....	26
5.4	Klimaforhold	26
5.5	Skredhistorikk	26
5.6	Feltarbeid/registreringskart	27
5.7	Modeller for beregning av utløpslengder	28
5.7.1	RocFall 5.0.....	28
5.7.2	RAMMS	28
5.7.3	α / β - modellen	29
5.8	Fastsettelse av faresoner	29
6	Bjørndalen	31
6.1	Topografi og grunnforhold	31
6.2	Skredhendelser	34
6.3	Vurdering av skredfare	37
6.4	Modelleringsarbeid.....	40
6.5	Faresoner	44
7	Revneset-Hjorthamn.....	45
7.1	Topografi og grunnforhold.....	45
7.2	Skredhendelser	48
7.3	Vurdering av skredfare	50
7.4	Modelleringsarbeid.....	53
7.5	Faresoner	56
8	Todalen	58
8.1	Topografi og grunnforhold.....	58
8.2	Skredhendelser	59
8.3	Vurdering av skredfare	61
8.4	Modelleringsarbeid.....	67
8.5	Faresoner	69
9	Bolterdalen-Foxdalen	70
9.1	Topografi og grunnforhold.....	70
9.2	Skredhendelser	70
9.3	Vurdering av skredfare	73
9.4	Modelleringsarbeid.....	77
9.5	Faresoner	78
10	Vindodden	80
10.1	Topografi og grunnforhold.....	81
10.2	Skredhendelser	82
10.3	Vurdering av skredfare	85
10.4	Modelleringsarbeid.....	88
10.5	Faresoner	91
11	Referanser	92

Vedlegg

Vedlegg A	Faresonekart
Vedlegg B	Helningskart/Registreringskart
Vedlegg C	Beskrivelse av registreringspunkt
Vedlegg D	Modelleringskart

Utdrag Vindodden

1 Innledning

På oppdrag for Longyearbyen lokalstyre og Store Norske Spitsbergen Kullkompani AS (SNSK) har Multiconsult gjennomført skredfarekartlegging av utvalgte hytteområder i nærheten av Longyearbyen på Svalbard. Områdene er kartlagt og vurdert i henhold til TEK 10 og NVEs kravspesifikasjon for offentlige oppdrag. Med bakgrunn i kartleggingen er det utarbeidet skredfaresonekart for de aktuelle områdene for skredfare fra bratt terreng, med årlig nominell sannsynlighet 1/100, 1/1000 og 1/5000 i henhold til TEK 10.

Følgende områder er kartlagt for Longyearbyen lokalstyre og SNSK: Bjørndalen, Revneset-Hjorthamn, Todalen, Bolterdalen-Foxdalen og Vindodden. Se Figur 1.

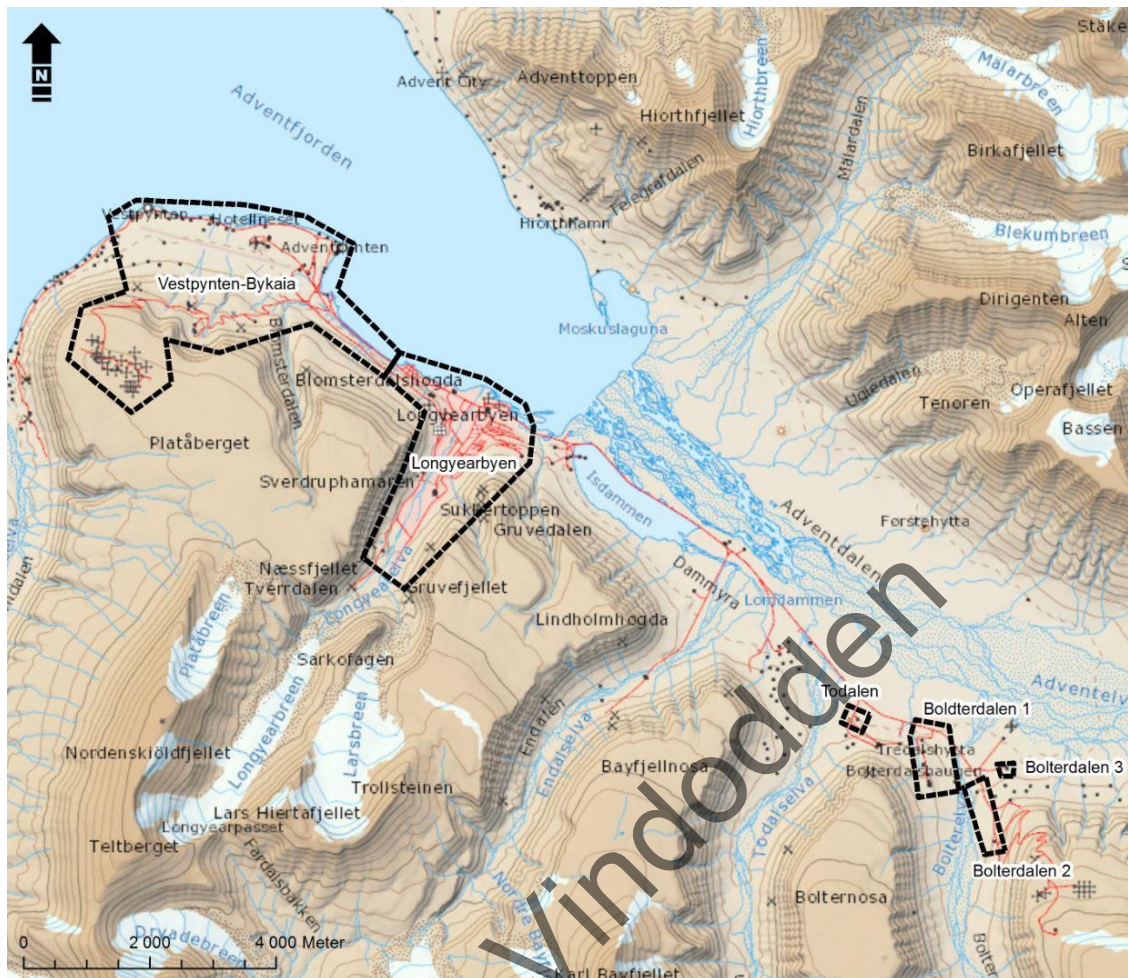
Områdene Vestpynten-Bykaia, Longyearbyen, et mindre område ved inngangen til Todalen og tre mindre områder ved Bolterdalen-Foxdalen, ble i 2016 kartlagt på oppdrag for NVE og er presentert i rapport 713416-RIGberg-RAP-001, 2016 også omtalt som NVE Rapport 91, 2016. Se Figur 2.

Feltkartleggingen ble foretatt i flere omganger i perioden juli-september 2016. Befaringer ble gjennomført til fots, med bil, fra båt og med helikopter. Det har ved alle befaringene vært god sikt og klart vær.

Befaringene er utført av Maria Hannus og Mariia Pihlainen fra Multiconsult.



Figur 1: Kartlagte områder for Longyearbyen lokalstyre og Store Norske avmerket med stiptet linje.



Figur 2. Områder avmerket med svart er kartlagt for NVE og presentert i NVE Rapport 91, 2016.

1.1 Formål med kartleggingen, bruk av kartene og detaljnivå

I forbindelse med NVEs skredfarekartlegging i 2016, ble det bestemt at også hytteområder på Svalbard skulle kartlegges for skredfare fra bratt terreng. Lokalstyret og Store Norske inngikk da en avtale med Multiconsult om denne kartleggingen. Kartleggingen utføres i samme detaljeringsgrad som kartleggingen til NVE, leveringen blir i en egen leveranse med litt annen utforming og vedlegg. Hovedleveransen er faresonekart som viser de ulike skredfaresonene i henhold til TEK 10 for de ulike hytteområdene som er vurdert.

Faresonekartene kan brukes som grunnlag for utarbeidelse av arealplaner og ved godkjenning av reguleringsplaner og byggesøknader.

Kartene kan også fungere som et verktøy for å belyse områder med bebyggelse som er skredutsatt og som bør prioriteres med tanke på eventuelle forebyggende skredsikringstiltak eller flytting av hyttene til sikkert område. Faregrensene kan også benyttes til risikoreduserende tiltak som anbefalinger til brukstider for enkelte hytter, dersom de ligger utsatt til for sesongbasert skredfare.

De digitale kartene og vurderingene er utført med en nøyaktighet ned til skala 1:5000 eller bedre. De utskriftsvennlige versjonene er visualisert i en større skala for å gjøre framstillingen mer leservennlig.

Grunnlaget for vurderingene av skredfare og fastsettelse av faresonene for alle typer skred i bratt terreng bygger på kartlegging på stedet og tilgjengelige opplysninger som:

- Geologiske forhold.
- Terreng- og klimaforhold.
- Norsk Polarinstitutt's berggrunnskart og Geoscience Atlas of Svalbard.
- Kart over Bjørndalen-Vestpynten og georefererte bilder (geoTiff format) fra NGU vedrørende pågående kartlegging av løsmasser/landskapsformer for Todalen, Foxdalen og Vindodden.
- Terrengmodeller tilsendt fra NVE.
- Informasjon om tidligere skredhendelse, i hovedsak innhentet fra databasen Cryoslope, annen litteratur/rapporter, lokalbefolkning og varsom.no.
- Feltbefaring utført i flere omganger både til fots, med båt, bil og helikopter.
- Ortofoto og flybilder.
- Fotografier er brukt for å vurdere årstidsvariasjoner, akkumuleringsområder og avsetninger. Historiske foto er også benyttet.
- Programvare for å beregne og simulere teoretisk utbredelse, strømming og rekkevidde av potensielle skred og steinsprang. Simuleringer har blitt kalibrert med dokumenterte skredhendelser i området.

2 Generell oversikt over kartleggingsområdene

2.1 Topografi

Topografien i de aktuelle områdene består i stor grad av platåfjell med steile fjellsider. Det er videre typiske U-formede daler og tydelige elvedeltaer og skredvifter. Skråningene strekker seg fra havnivå opp til om lag 500 m.o.h. i de fleste områdene. De høyeste toppene i området når dog om lag 1000 m.o.h.

De vurderte skråningene er generelt brattest øverst ($\geq 35^\circ$), middels bratte lenger ned (10° - 35°) og flater ut nederst.

2.2 Geologiske forhold

Siste istid sluttet for om lag 10 000 år siden på Svalbard. I perioden etterpå har området opplevd både varmere og kaldere perioder. Under den lille istiden omkring år 1850, rykket breene kraftig fram og det antas at de har hatt sin maksimale størrelse på Svalbard i denne tidsperioden (Ref. Piepjohn K., m.fl., 2012).

Bergmassen i området er generelt mekanisk svak, forvitret lett og er sterkt preget av nedbrytende erosjonsprosesser. Skråningene og terrenget bærer tydelig preg av omfattende forvitningsprosesser. Om lag alle skråninger med helning under 35° i de aktuelle områdene består av urer av forvitningsmateriale (Ref. Dallman W.K. m.fl., 2015).

I bergskråninger er det vanlig at erosjonsprosesser har dannet kløfter. I randsonen av platåene dannes bergpinakler og mellom disse forsenkninger. Forsenkningene fungerer som dreneringsveger og skredløp, som bidrar til å konsentrere erosjonsprosessene.

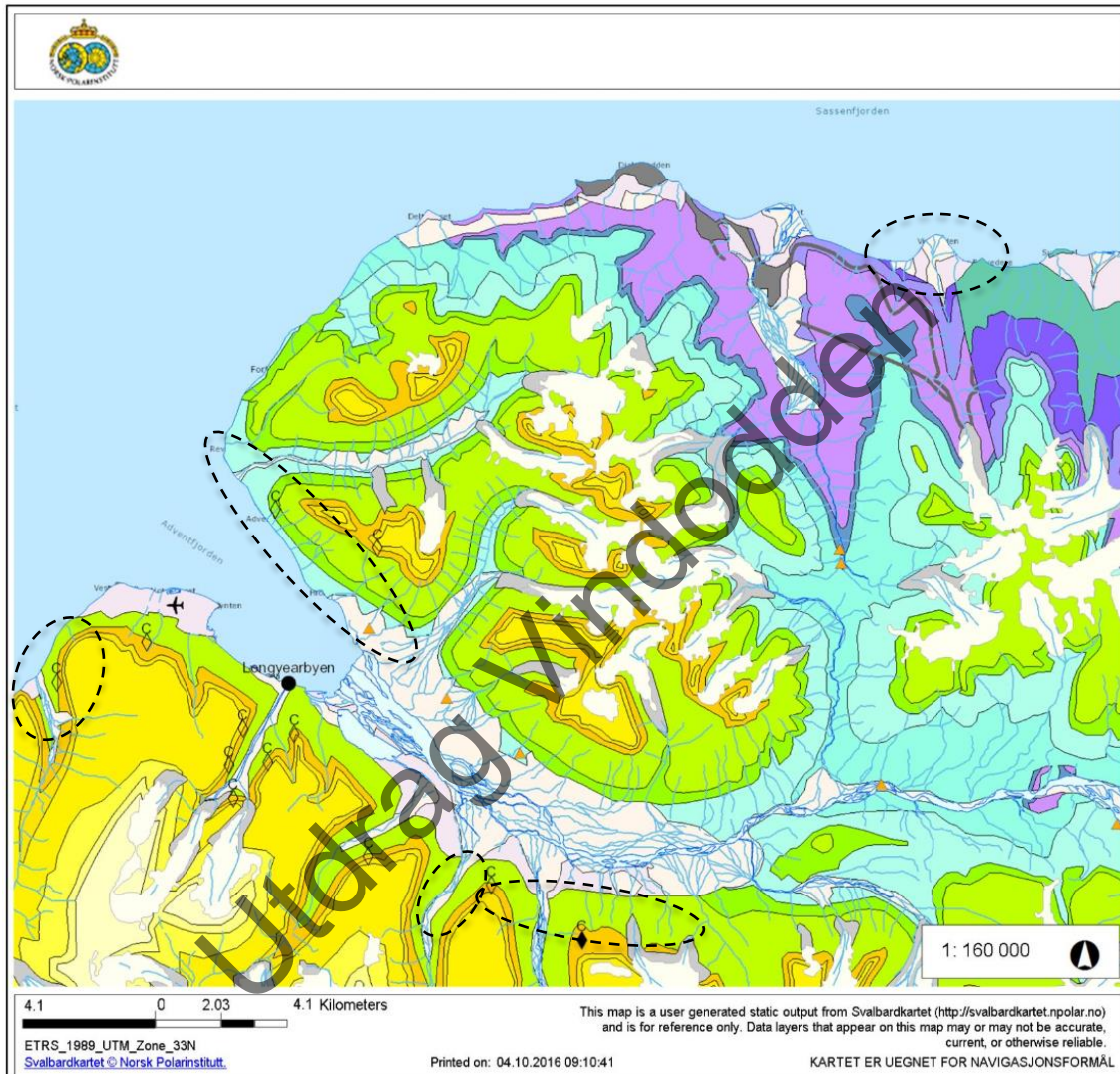
Terrenget bærer også preg av flere andre geomorfologiske prosesser, som gir landskapsformer som er typisk for periglasielle områder. Solifluksjonsvalker er et resultat av kontinuerlige prosesser i tinstabile morenemasser som kan utvikle seg til skred.

Berggrunnen i de vurderte områdene er svært lik. De sentrale områdene rundt Longyearbyen består av sedimentære bergarter og inneholder skiftende lag med sandsteiner og leirstein fra Jura/Kritt perioden (210 mill. år) og fra Tertiær perioden (65 mill.år). Området Vindodden består av eldre

sandsteiner fra Perm (300 mill. år) og yngre. De sedimentære lagene er nær flatliggende eller svakt hellende, se Figur 3.

Marin grense på Svalbard varierer noe fra øst mot vest. I området nær Longyearbyen er det marine avsetninger opp til om lag kote 60-70 (Ref. Rubensdotter, 2015).

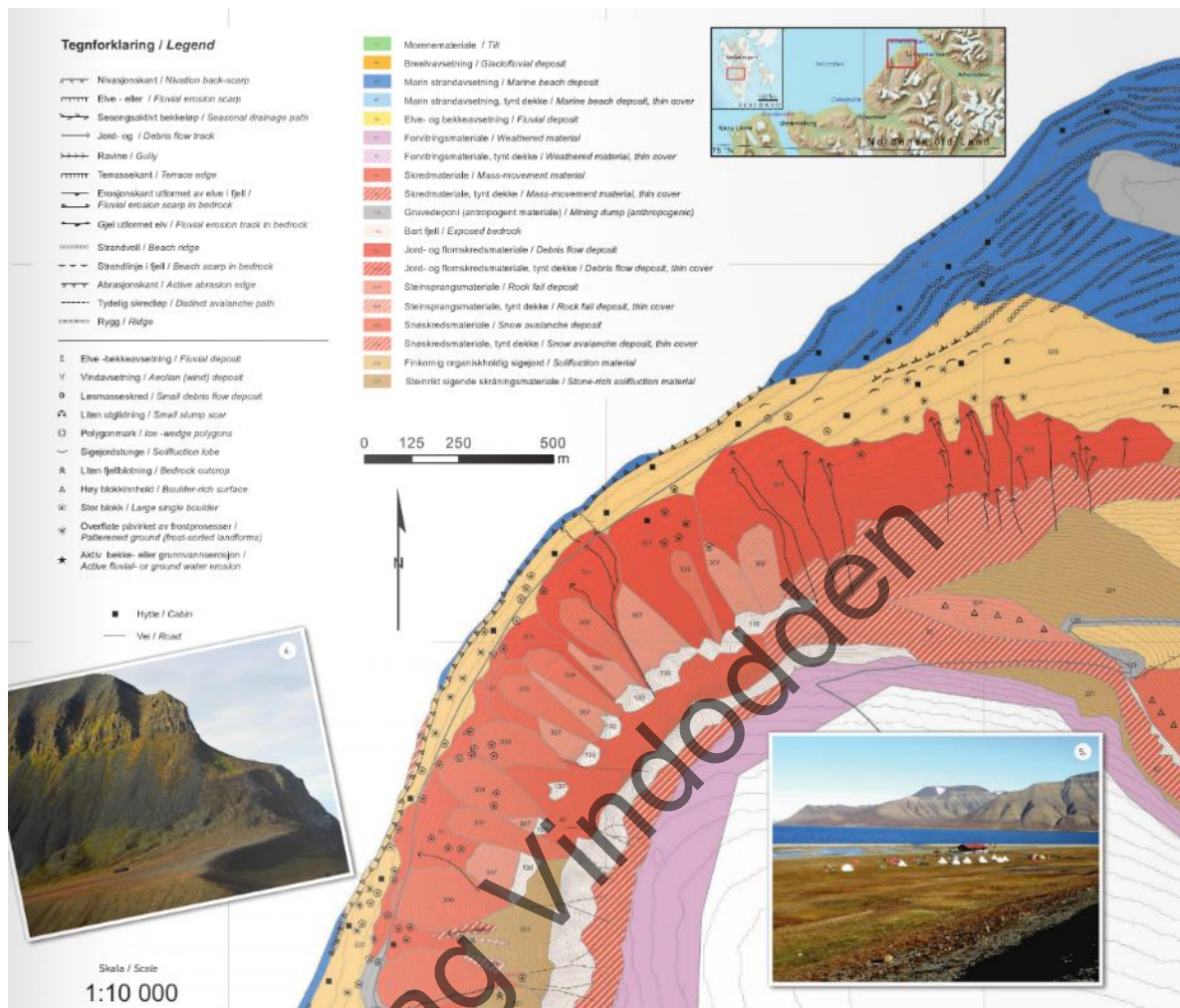
Alle områder har permafrost.



Figur 3. Berggrunnskart. Kartet viser tilnærmet horisontal lagdeling med sedimentære avsetninger fra Jura- og Kritt som ligger under Tertiære lag. De aktuelle kartleggingsområdene er omtrentlig avmerket. Modifisert fra <http://svalbardkartet.npolar.no> sept. 2016.

NGU utarbeider geologiske kart som viser landskapsformer og løsmasser i enkelte områder på Svalbard. Fram til nå er det produsert kart for Bjørndalen-Vestpynten i skala 1:10 000 og for Todalen og øvre Gangdalen og Bødalen i skala 1:25 000. Foreløpige kart (GeoTiff format) over ytre Todalen, Bolterdalen-Foxdalen og Vindodden har også vært tilgjengelig. Kartene er detaljerte og viser bl.a. avsetningstyper og løsmasser, se Figur 4 og beskrivelse under hvert område.

Løsmassene i de fleste kartleggingsområdene er preget av stedlig forvitningsmateriale som er dannet ved fysisk/kjemisk nedbryting av berggrunnen. Det er også fluviale-, glasifluviale- samt morene avsetninger i områdene. Disse er stort sett konsentrert i dalene. I all hovedsak er skråningene dekket av masser fra ulike skredprosesser.



Figur 4. Kartutsnitt fra geologisk kart over Bjørndalen-Vestpynten, (ref. Rubensdotter mfl., 2015)

2.3 Klima

For å beskrive områdets klimatiske trekk er det brukt meteorologiske data innsamlet fra 1912 og frem til i dag. Værstasjon ble opprettet i 1964 og ligger nå ved Longyearbyen flyplass (28 m.o.h). I dag måles nedbør, temperatur, snø og vind ved stasjonen. Stasjonen er plassert på østsiden av flyplassen og ligger i et åpent område. Flyplassen er øst-vest vendt og området er sterkt påvirket av vind.

Universitetssenteret på Svalbard (UNIS) har værstasjon i Adventdalen. Der måles temperatur og vind. I 2001 etablerte UNIS også værstasjon på Gruvefjellet, som ligger rett ovenfor vegen mellom skolen-Nybyen. Denne stasjonen ble benyttet i forskningsprosjekt «Cryoslope». Vinddata fra denne stasjon er benyttet for å tolke de varierte vindforholdene i området, da den ikke er påvirket av topografi. Resultatene fra Cryoslope målingene fra Gruvefjellet viser at vinden som regel kommer fra sør, men med sterkest og lengst varig vind fra sørøst. Dette fører til at skavler bygges opp på de vestvendte fjelltoppene (Eckerstorfer m.fl., 2009).

Værdata fra stasjonen i Adventdalen og Gruvefjellet kan også benyttes for hytteområdene som ligger nær Longyearbyen. Likevel må det tas hensyn til at store, lokale forskjeller kan forekomme. Eksempelvis finnes det ikke noen værstasjon nært Vindodden, som er lokalisert ca. 25 km nordøst for Longyearbyen.

Vær og vind på Spitsbergen påvirkes av Atlanterhavsstrømmen som går nordover langs vestkysten (Serreze m.fl., 2015). Klimaet kan klassifiseres som tundraklima der høyeste gjennomsnittstemperatur på sommeren er $<6^{\circ}\text{C}$, se Figur 5. Longyearbyen er generelt sterkt preget av vind fra sørøst, men det er variasjon i de ulike områdene på grunn av topografi, is og åpent hav, se Figur 7 (ref. eklima.no, 2016).

Områdets unike snøklimate kan beskrives som «High Arctic maritime snow climate» basert på en kombinasjon av metrologiske forhold og stratigrafi av snølag (ref. Eckerstorfer & Christiansen, 2011).

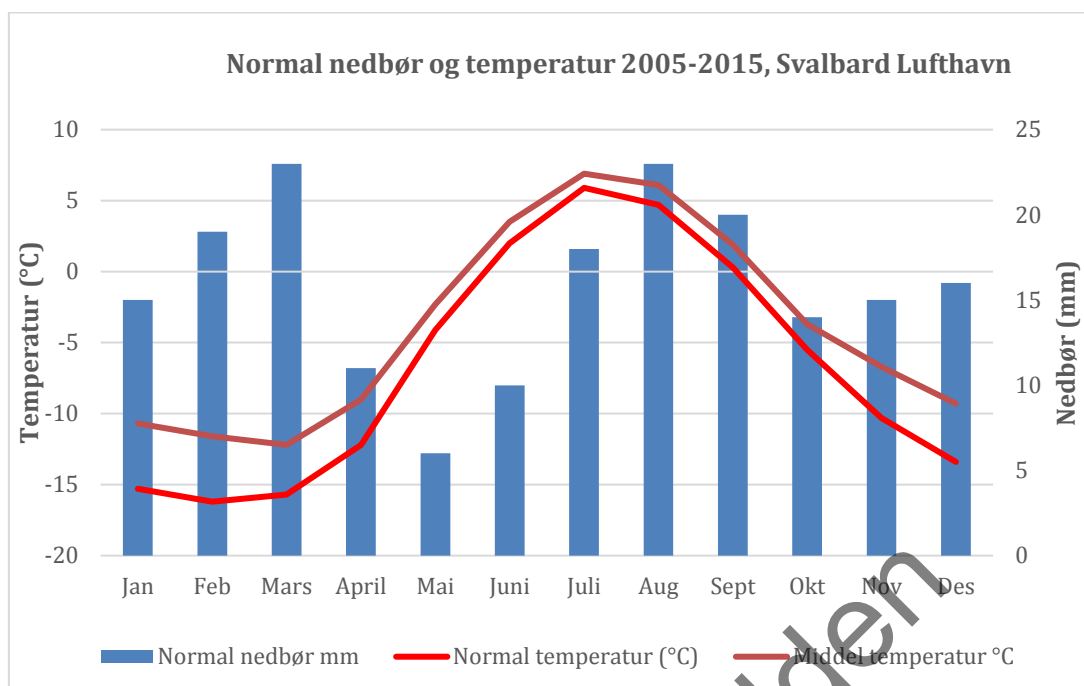
Ved Longyearbyen flyplass måles det små mengder nedbør, om lag 200 mm/i vannekvivalent per år, noe som er 2-3 ganger mindre enn ved andre værstasjoner i Spitsbergen (ref. Førland m.fl., 2011). Dersom man ser mer spesifikt på enkelte år, for eksempel 2010-2015, er det store variasjoner på nedbør og temperaturer ved Longyearbyen. Det kan også komme mye nedbør på kort tid, f.eks. som snø i desember 2015 (47,7mm) og som regn 8. november 2016 (41,7 mm) (Ref. eklima.no, 2016 og yr.no 2016).

De beregnede ekstremverdiene for nedbør viser mengden nedbør som kan forventes med ulike gjentaksintervall, se Figur 6. Målt mengde nedbør kan imidlertid være systematisk underestimert, da hovedmengden av nedbør kommer som snø under sterk vindpåvirkning. Dermed er reel snømengde vanskelig å få målt (ref. Eckerstorfer, m.fl., 2009). Dette gjelder også værstasjonen ved flyplassen, der det kan være stor under-catch på grunn av mye vind.

Dominerende vindretning på Svalbard er sør/sørøst. Også i vintermånedene er dominerende vindretning fra øst/sørøst, som dermed er den viktigste vindretningen for snøtransport, se Figur 7, Figur 8 og Figur 9. Det kan imidlertid ikke utelukkes at det kan komme nedbør som snø med andre vindretninger. Dette vil i tilfelle kunne gjøre at snøskredfaren øker i skråninger der det normalt ikke er høy skredfare. Med endrede isforhold i havet vil også nedbørsførende vindretninger fra sør-sørvest kunne bli mer dominerende da havet i vest vil ha økt innflytelse.

Det ser ut som vind fra SV-V er dominerende nedbørsførende vindretning under nedbørsforhold med regn, som nå er blitt vanligere vinterstid. Økende frekvens av regn vil kunne føre til endrede skredforhold i skråninger, der det ikke tidligere ikke har vært observert skred vil disse ved endrede forhold kunne bli skredutsat.

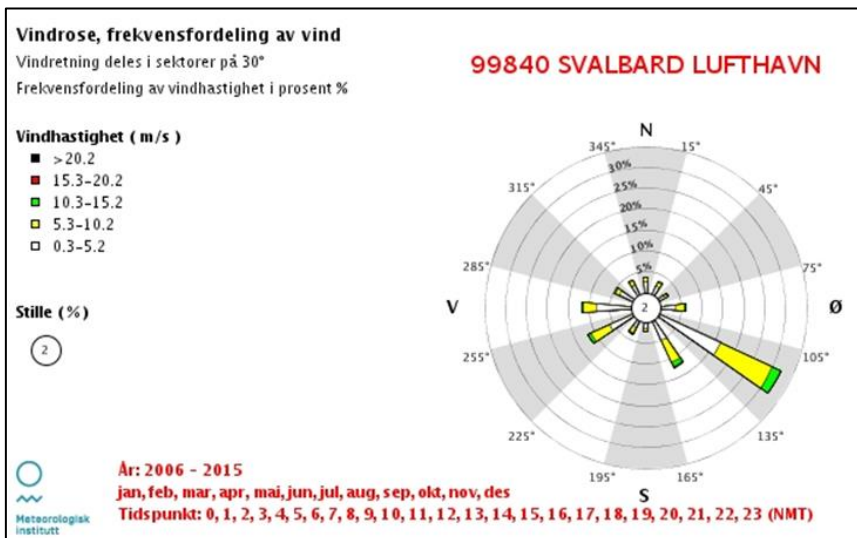
Generelt ville flere, lokale værstasjoner med digital tilkobling på Svalbard kunne gi økt kompetanse i forbindelse med lokale værforhold, skredfarekartlegging og varsling. Dette er spesielt viktig i disse tider, ettersom været på Svalbard er i endring.



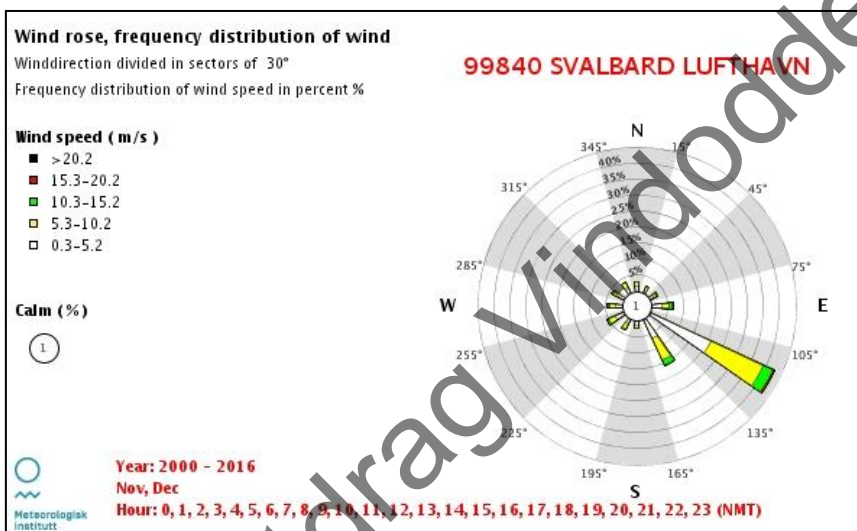
Figur 5: Månednormaler for nedbør og temp. ved Svalbard Lufthavn (www.eklima.no, 2016)

Returperiode	Sesong	Nedbørsperiode			
		1 døgn		3 døgn	
		Gumbel	NERC	Gumbel	NERC
100 år	År	35	36	53	53
	Vinter	28	25	44	40
	Vår	21	19	32	29
	Sommer	30	27	41	38
	Høst	23	23	35	35
1000 år	År	46	60	72	85
	Vinter	39	42	62	65
	Vår	29	32	44	49
	Sommer	42	45	57	62
	Høst	32	39	47	57

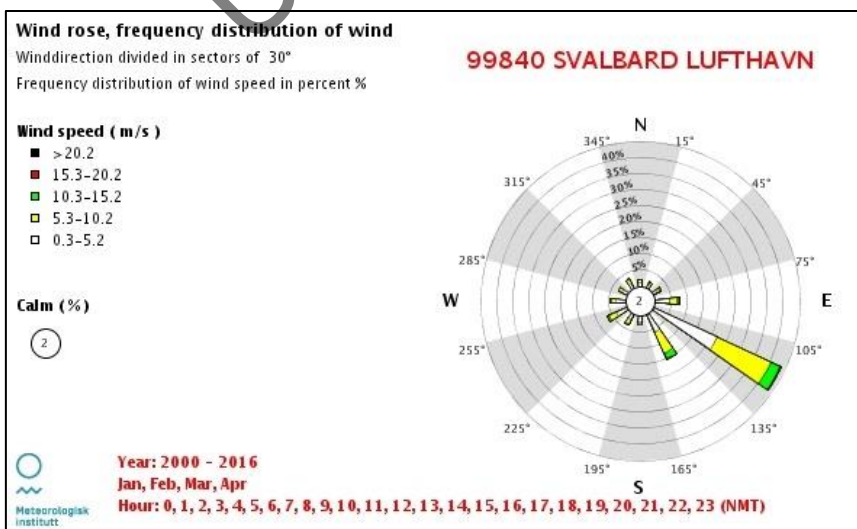
Figur 6: Ekstremnedbør for sesonger, verdier i mm – returperiode 1-døgns og 3-døgnsnedbør for Svalbard Lufthavn for hele stasjonens driftsperiode (1964-2015). Data er hentet fra www.eklima.no, 2016.



Figur 7: Frekvensfordeling av vind gjennom hele året for de siste ti år (www.eklima.no, 2016)



Figur 8: Hovedvindretning i november og desember, målt over en periode på 16 år (www.eklima.no, 2016).



Figur 9: Hovedvindretning i januar til april, målt over en periode på 16 år (www.eklima.no, 2016).

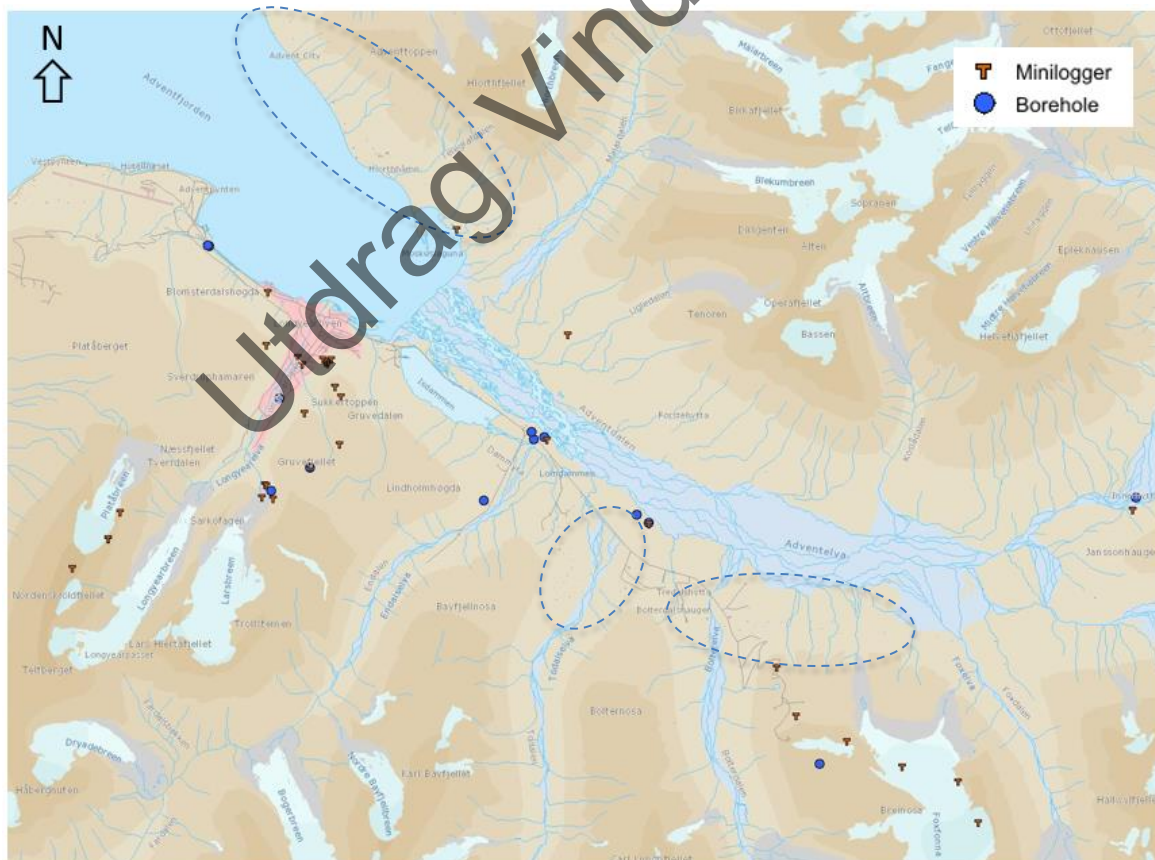
2.3.1 Permafrost

Det er permafrost i området, som betyr at bakken under det laget som tiner om sommeren, holder en temperatur på mindre enn null grader (0°C). Permafrost forekommer i fast berg og i løsmasser. Det laget som tiner om sommeren, omtales som det aktive laget. Tykkelsen på det aktive laget kan variere, og på Svalbard regnes det å variere fra 0,5 m til 3,0 m. Laget er tynnere i ikke-konsoliderte sedimenter og dypest i fast berg (ref. Dallman W.K., 2015). Multiconsults undersøkelser ved Frøhvelvet ved Longyearbyen i 2016, indikerte et aktivt lag på om lag 3,0 m mektighet.

Permafrostens temperatur måles i borehull i forskjellige landskapsformer i området rundt Longyearbyen. Data fra disse målingene er tilgjengelig i NORPERM, den norske permafrost database, http://geo.ngu.no/kart/permafrost_svalbard, hos Norges Geologisk Undersøkelse NGU, se Figur 10.

Målinger viser at permafrosten på Svalbard for tiden blir varmere, som respons på generelle lufttemperaturøkninger. I målinger utført av UNIS over 15 år, blir det aktive laget gradvis dypere. Økning i temperatur og dybden i det aktive laget fører til økende temperatur i permafrosten (Isaksen K. 2016). Det aktive lagets dybde og permafrostens temperatur vil bli påvirket av lokale forhold som løsmasstype, vanninnhold, vegetasjon og snøvarighet og -tykkelse. Sesongvariasjoner, som bl.a. mengde snø akkumulert på bakken og når på året snøen legger seg, vil også ha påvirkning. Mindre kompakte løsmasser har også en tendens til å transportere varm luft og «varmt» smeltevann dypere ned i terrenget og øke det aktive lagets dybde.

Temperaturøkning vil gi et dypere aktivt lag med mulighet for økt fare for løsmasseskred.



Figur 10: Oversikt over Adventdalen og punkter for måling av temperatur i bakken, utført i nærheten av enkelte kartleggingsområder. På figuren er noen av de aktuelle områdene omtrentlig avmerket. Modifisert ngu.no, 2016.

2.4 Klimaendringer på Svalbard

Forskning har vist at temperaturen på Svalbard har steget betydelig mer enn på fastlandet siden 1900-tallet. På Svalbard har gjennomsnittstemperaturen steget med 3° mot 1° på fastlandet. Temperaturen har steget mest om vinteren (ved Longyearbyen flyplass 3,5°). Sommertemperaturene har steget noe mindre. Dette er en trend som forventes å fortsette. (Ref. Førland m.fl. 2011 og Isaksen m.fl. 2016).

I samme tidsperiode har nedbørmengden økt med ca. 20-30 % (Vikhamar-Schuler m.fl. 2016). Denne økningen forventes å fortsette. Det forventes at det blir økt nedbør i form av regn, og at frekvensen av flommer i regnperioder vil øke. Bresmelting kan også øke flomføringen. Økt nedbør i form av snø vinterstid sammen med forventet økt stormaktivitet kan føre til økt skredaktivitet, se Bilde 1.

Det forventes mer ekstremvær bl.a. i form av kortvarige, intense hendelser med regn og mildvær om vinteren. De siste årene har det vært flere tilfeller med nedbørintensitet på over 10 % av års-nedbøren i løpet av 1-2 døgn. Faren for jordskred øker generelt med økende porevannstrykk i løsmassene som følge av økende vanninfiltrasjon. Mer enn 20 mm/døgn og 3 mm/time (ref. Larson 1982) medfører betydelig økt fare for jord- og flomskred. Regn vinterstid vil føre til isdannelse på bakken, og kan dessuten føre til islag og skarelag i snødekket. Det er funnet at tette islag og skarelag kan gi grunnlag for dannelse av svake lag i snødekket med begerkrystaller etter senere kuldeperioder. Se Bilde 2.

De årlige variasjonene på isforholdene rundt Svalbard påvirker klimaet på øya, bl.a. forventes det mindre sjøis (ref. Vikhamar-Schuler m.fl. 2016).

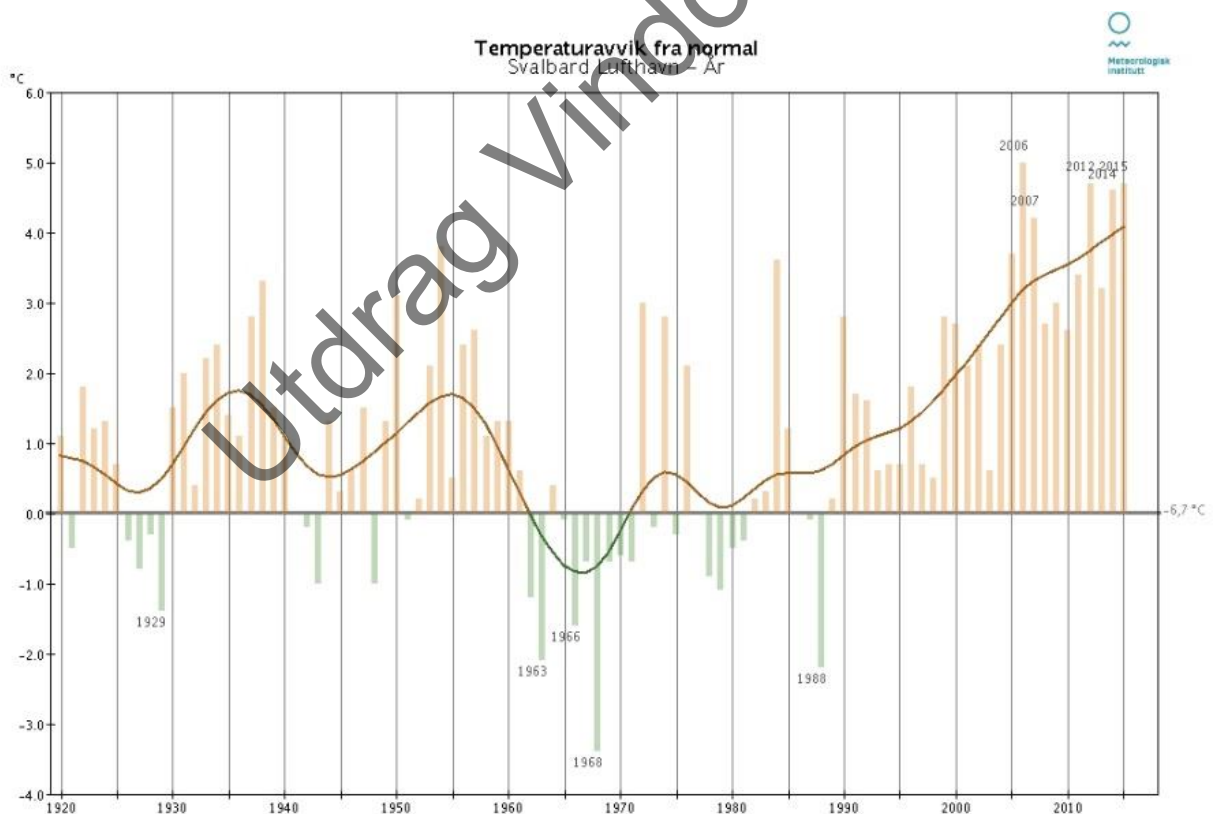
Figur 11 viser temperaturvariasjoner på Svalbard fra 1920 fram til i dag. Variasjonene har tidligere gått i om lag 10-års sykluser. (Ref. met.no, 2016)



Bilde 1: Viser deler av boligfeltet Lia som ble rammet av snøskred 19 desember 2015. Ref. Nordlys.no, 20. desember 2015.



Bilde 2: Fjellet Sukkertoppen med vind-skare dannet av vind. Ref. Svalbardposten.no, 26.04.2015



Figur 11: Graf som viser temperaturvariasjoner på Svalbard fra 1920 fram til i dag. Grafen viser at gjennomsnittstemperaturen på 2000-tallet er høyere enn tidligere. (ref. www.met.no, 2016).

Det er utarbeidet en helt fersk (april-mai 2017) rapport av SWIPA (Snow, Water, Ice and Permafrost in Arctic), som konkluderer at områder i Arktis endres raskere og på uventede måter. Informasjon om denne er å finne under www.amap.no/swipa. Material fra den rapporten er ikke inkludert i foreliggende rapport.

2.5 Skredaktivitet

Svalbard er et av de beste og mest tilgjengelige områdene i verden å studere spor etter tidligere skredaktivitet og aktive skredprosesser når det gjelder skredtyper i bratt terreng (stein-, snø-, sørpe-, jord- og flomskred). Omtrent alle skråninger viser prosesser som styres av skredaktivitet.

Det er vanskelig å si med sikkerhet hva som er den mest dominerende og mest frekvente skredtypen på Svalbard. Sørpeskred er en vanlig skredtype i Arktis, og også på Svalbard. Da disse skredene ofte eroderer ned i undergrunnen, frakter de med seg løst materiale som jord og stein. Dette fører til at skredavsetninger fra sørpeskred i utløpsområder kan forveksles med flomskred. Sørpeskred kan ha omfattende skadeomfang når de treffer infrastruktur som bebyggelse på grunn av høy densitet og lange utløp. Bilde 3 viser rester av en hytte tatt av sørpeskred i 2013.

Løsmasseskred som flom- og jordskred er også vanlige. Når løsmasser i skråninger blir vannmettede, kan det oppstå jordutglidninger og jordskred. Jord- og flomskred utløses som regel langs forsenkninger som leder vann. Se Bilde 4.

Flaskred og nedfall av skavler er dominerende tørrsnøtyper på Svalbard, se Bilde 5 og Bilde 6.

Generelt på Svalbard er det potensiell steinsprangfare i bergskråninger brattere enn 45°. De aktive frostforvitningsprosessene i området, kombinert med mekanisk svakt og sterkt oppsprukket berg, gjør at steinsprangfaren er meget stor i nærhet til eksponerte fjellskråninger.



Bilde 3: Til venstre i bildet restene av hytte som ble tatt av sørpeskred i 2013. Sett mot sør.



Bilde 4: Avsetning etter jord- flomskred sørvest for flyplassen ved Longyearbyen, sommer 2016.



Bilde 5: Restene av hytte i Bjørndalen som ble tatt av snøskred i 2015, Sett mot øst.



Bilde 6: Snøskred i Loneyardalen 2006. Foto J. Larsen.

3 Skredtyper

3.1 Beskrivelse av skredtyper i bratt terreng

Snøskred (tørre og våte snøskred) utløses vanligvis i terreng med mellom 30-50° helning. Vanlige naturlige utløsningsmekanismer er store nedbørsmengder, sterk vind eller plutselig temperaturvariasjoner. I områder der snøen blir sterkt påvirket av vind, både ved og etter akkumulering, kan det oppstå flakskred. Tørre løssnøskred utløses ofte i brattere helninger, og når snøen ikke er vindpåvirket. I områder der store snøskavler kan bygges opp, kan det også forekomme nedfall av skavler som kan utløse flakskred.

Våte snøskred kan starte som tørre snøskred høyt oppe i terrenget, og bli mer og mer våte når snøen blir fuktig på veg ned. Det har også forekommet at tørre snøskred har utviklet seg til sørpeskred i nedre del av skredbanen ved vannmettet snø i denne delen av banen.

Våte løssnøskred registreres ofte i bratte fjellskråninger om våren når solen har varmet opp snøen. Skred av denne typen løsner i overflaten av snødekke og stopper som regel i selve skråningen før den slakker ut. Denne snøskredtypen er som regel ikke dimensjonerende med tanke på utløpslengde.

Tørre snøskred av typen flakskred kan ha hastigheter opp mot 70 m/s og densitet på mellom 200 kg/m³ og 300 kg/m³. Skredene har utløpslengder som avhenger av skredvolumet, massenes fuktighetsforhold og underlaget det beveger seg på. Våte snøskred har oftest lavere hastighet og utløpslengder som er kortere. Densiteten i de våte skredene er imidlertid noe høyere på grunn av fuktigheten, og kan ofte ligge mellom 300 kg/m³ og 400 kg/m³.

På Svalbard kan snødekket generelt beskrives som kaldt og tynt, men det oppstår store variasjoner i snødybde avhengig av lokasjon (ref. Eckerstorfer, 2012). Eckerstorfer & Christiansen (2011) beskriver at snødekket i Longyearbyen ofte har flere svake lag. Vedvarende svak bunn med begerkrystaller dekket av vindpåvirket snø og islag, hvor dannelsen er sterkt påvirket av arktisk kystklima.

Sørpeskred er vannmettet snø som utløses naturlig ved at økt poretykk i snømassene reduserer stabiliteten og forårsaker brudd. Skredet løsner ofte i avrenningsområder som bekkedaler og forsengkninger der vann samles. Skredene kan starte i områder med helning mellom 5° og 25°. Ved liten helning kan hastigheten nærmest kalles kryp, men ved større helning, eller tiltagende helning nedover i terrenget, kan hastigheten øke betydelig. Hastigheten kan imidlertid ikke sammenliknes med tørre snøskred. Denne skredtypen forekommer også ved utløpet ved snødemte sjøer, ved skreddemte elver eller som følge av skredgenererte bølger (kan initieres av snøskred ned i et magasin) som fører store vannmengder mot et utløp som er helt eller delvis blokkert av fokksnø. Skredene kan også utløses i myrområder med vannmettet snø. Da er initialskredet gjerne i et bekkeløp som fører et mindre skred ut i myrområdet og påfører den vannmettede snøen på myra en ekstra belastning som gjør snødekket ustabil. Skredet beveger seg om en flyende masse av gjennomvåt snø (sørpe) som har vesentlig større densitet enn tørre snøskred. Sørpeskred følger oftest naturlige vannveger som bekkedaler, men kan bre seg ut over store områder nedstrøms utenfor utløpet av dalene som en viskøs masse. Skredhastigheten er oftest langt lavere enn ved tørre snøskred, men massene kan bevege seg mer tilfeldig i utløpsområdet, også perpendikulært på den naturlige bevegelsesretning i terrenget.

Skredtrykket fra sørpeskred kan bli relativt betydelig som følge av at skredene ofte fører jord og stein som eroderes i skredbanen, og kan gi en samlet densitet på godt over 1000 kg/m³. Selve snømassene har en densitet på mellom 700 kg/m³ og 800 kg/m³ avhengig av vanninnholdet.

Sørpeskred skjer oftest i perioder med kraftig regn og/eller intens snøsmelting ved brå temperaturøkninger. Rekkevidden av slike skred kan være stor også i relativt flatt terreng. På Svalbard er det sannsynlig at skred som starter som sørpeskred får en likhet med flomskred på grunn av massene som eroderes med i skredet.

«**Jord og flomskred** er raske utglidninger og bevegelse av vannmettede løsmasser i bratte skråninger som kan opptre utenfor definerte vannveger eller langs elve- og bekkeløp, også der det vanligvis ikke er permanent vannføring».

«Utglidning er en langsom bevegelse av løsmasser langs et glideplan som kan være flatt eller skålformet, omtales ofte som grunne skred 0,5 m -2-3 m» ref. NVE faktaark 2013-01

Jordskred kan løsne i skråninger med løsmasser og helning større enn 25-30°, mens løsmasseskred med stort finstoffinnhold kan bli utløst i enda slakere terreng. Jordskred forekommer i bratte skråninger, utenfor definerte vannveger og oftest etter perioder med mye nedbør når poretrykket øker til et kritisk nivå med hensyn til skråningens stabilitet. Dette kan også skje ved hurtig snøsmelting eller når den øverste delen av jordlaget på en annen måte blir vannmettet. I områder hvor det er permafrost vil permafrosten vanligvis kunne fungere som en glideflate for jordlaget og skredene kan forekomme i relativt slakt terreng.

Flomskred er hurtige, flomlignende skred som opptrer langs bratte (25-45°) elve- og bekkeløp, også der det vanligvis ikke er permanent vannføring. Flomskred starter vanligvis som jordskred i en skråning der poreovertrykk fører til ustabilitet, ofte etter langvarig regn eller intens snøsmelting i kombinasjon med nedbør i form av regn.

Massene som blir transportert kan komme fra erosjon av løsmasser langs og i elveløpet. Når skredet beveger seg nedover kan mer vann og sedimenter opptas og skredvolumet økes betraktelig. Massene avsettes i foten av skråningen som en vifte, men også som langsgående rygger/leveer på sidene av skredløpet. Dersom skredmassene har høyt vanninnhold og får påfyll av vannmettede løsmasser langs skredløpet, kan flomskred ha stor rekkevidde.

Flomskred kan også forekomme som følge av dambrudd i morene eller som følge av flomvassføring etter brudd i en bredemt sjø. Dette er et vanlig problem i høyfjellene som eksempelvis i Alpene, Kaukasus og Himalaya.

Steinsprang og **steinskred** brukes ofte om hverandre. Per definisjon består steinsprang av enkelte blokker av mindre volum (<100 m³). Steinskred består av større bergmasser (ca. 100-10 000 m³), der blokkene splittes nedover skråningen. Begge skredtypene forekommer i bratte, oppsprukne fjellpartier der terrenghelning er større enn 40-45°. Vanlige utløsningsmekanismer er fryse-tineprosesser eller høyt vanntrykk i sprekke og erosjon av svakere bergarter i en struktur der det er veksling mellom harde og svake lag.

På grunn av mekanisk svakt berg og aktiv frostsprengning er ikke store **fjellskred** med steinmasser >10 000 m³ vurdert som aktuelt i dette arbeidet. Eventuelle partier av berg i denne størrelse, som kan være i bevegelse, blir omtalt under vurdering av steinskred og steinsprang.

3.2 Aktuelle skredtyper innenfor kartleggingsområdene

Kartleggingsområdene har ulik topografi, helning, orientering på skråningene og vindforhold. Det kan også være store variasjoner innenfor samme område. Dimensjonerende skredtype vil derfor variere fra område til område og kan variere internt i enkeltområdene.

Ved kartlegging av de forskjellige områdene er det registrert skredavsetninger fra i all hovedsak fire skredtyper. Dette er fra steinsprang, snøskred og jordskred/flomskred og sørpeskred. Se Figur 12.



Figur 12: Skredavsetninger på Svalbard. Ref. Landskapsformer og Løsmasser, Rubensdotter m.fl., 2015.

Det kan være utfordrende å skille mellom avsetninger fra sørpeskred og flomskred siden begge skredtypene inneholder mye vann. Ved tydelige flomskredavsetninger vil man dog ofte kunne se tydelige leveer, dvs. mindre rygger/avsetninger som bygges opp langs sidene av selve flombanen. Se Bilde 7.



Bilde 7: Sørpeskred på Haugen 1989 i Longyearbyen. Fra SNSK arkiv.

Aktuelle skredtyper i de vurderte områdene er:

Steinsprang/steinskred

Berggrunnen i kartleggingsområdene på Svalbard er dominert av mekaniske svake bergarter som sandstein og leirstein. Normalt er leirstein så svak at den over tid brytes ned når den blir eksponert for luft. Sandstein er noe sterkere og representerer ofte steile flater når den blir eksponert. Kraftig forvitring/is-sprengning kombinert med mekanisk svak bergart, gjør at berget i de steile flatene er kraftig oppsprukket.

Der eksponert sandstein har brattere helning enn om lag 45° , er det potensielt løснеområde for steinsprang, se Bilde 8. Skråninger i nedre del av fjellsiden, $< 40^\circ$ består ofte av stedege forvitningsblokker/ur. På grunn av at berget er tett oppsprukket og mekanisk svakt, forventes steinsprang i all hovedsak å bestå av mindre blokker, $< 1 \text{ m}^3$.



Bilde 8: Bergpartiene langs Platåfjellet er potensielle løśnieområder for steinsprang, på veg ut i Bjørndalen. Sett mot sørøst.

Snøskred

Skavler dannes ofte i randsonen av platåberg der bratte fjellsider ligger i le for fremherskende vindretning. Skavlnefall kan løse ut flakskred i den bratte fjellsiden under.

Snødekket på Svalbard består ofte av lag avsatt under ulike vindforhold. På grunn av det kalde klima og det relativt tynne snødekket forekommer ofte svake lag med begerkrystaller i snødekket. Disse forekommer oftest nær bakken, men kan også utvikles under islag og tette skarelag i snødekket. (Ref. Eckerstorfer M., 2013). I snødekker med slike lag, er det ofte fare for flakskred, som er en av de vanligste snøskredtypene på Svalbard. Tynne snødekker med høye temperaturgradienter er ofte gunstige for oppbygging av svake lag.

Store snøskred med betydelig volum vil kunne utvikle et skredvindtrykk som går mye lengre enn skredets tette kjerne. Dette skredvindtrykket forekommer først og fremst der skredene går ut for stup, som medfører at hastigheten øker ut over det som forekommer i terreng med jevnt fall. Aktuelle skredbaner, har ikke et profil som fører til at skredvindkreftene blir store, og infrastruktur forventes derfor ikke å ta skade ut over utløpsområdet for skredets faste masser.

Jord- og flomskred

I enkelte av de aktuelle områdene er det større bekkedaler/raviner som drenerer store mengder vann, mens andre områder eller deler av skråningene ikke har definerte vannveger. I sistnevnte tilfeller er det mer utfordrende å definere fareområder for jord- og flomskred, da det ikke er noen faste vannveger. Økt vannmengde i terrenget øker generelt faren for vannmetting i det aktive laget, som følge av at grunnen under er frosset og ikke vil absorbere vann. Dette kan resultere i skred som opptrer som mer langsomme utglidninger av jordmasser. Denne problemstillingen gjelder for hele Svalbard, der hele det undersøkte området har permafrost.

Smelting av tinnestabile masser, samtidig som massene blir tilført vann ved kraftig snøsmelting eller regn, kan resultere i større utglidninger og defineres da som **jordskred**. Slike større utglidninger skjer oftest i skråninger med helning større enn 20° (skråningene kan også være slakere) og trenger ikke følge definerte vannløp. Disse utglidningene vil normalt ha begrenset utløp.

Større akkumuleringsområder for snø kan gi stor tilgang på smeltevann, og massene kan bli ustabile slik at det utvikles skred. Disse skredene starter som regel i perioder av året da det er størst vanninfiltrasjon fra smeltevann eller regn og i definerte områder. Skredene omtales da som **flomskred**. Avsetninger finnes flere steder ved munningen på raviner.

Sørpeskred

De største materielle skredskadene på Svalbard har tidligere vært forårsaket av sørpeskred. Det er først og fremst skredet i Vannledningsdalen som har ført til skade på bebyggelsen på Haugen. Bebyggelsen her er lokalisert på en skredvifte formet gjennom århundrer med flom, sørpe- og flomskred.

Lavtrykkssystemer med nedbør i form av regn og store variasjoner i lufttemperatur på Svalbard, har særlig utløst sørpeskred om våren, men også om vinteren (ref. Eckerstorfer M., 2013). Et varmere klima i Arktis har ført til flere tilfeller av varm luft også om vinteren. Dette kan føre til hyppigere sørpeskredaktivitet også i vinterhalvåret ved intens nedbør i form av regn kombinert med snøsmelting. Slike forhold fant sted på Svalbard i januar 2012.

Med et varmere klima antas de vannrelaterte skredtypene som sørpe-, jord- og flomskred å få høyere frekvens.

Det er også en tendens til at snøskred etter relativt korte perioder med ekstrem vær, i form av snø og sterk vind, blir mer frekvent som i desember 2015 og i februar 2017.

4 Tidligere vurderinger/kartlegginger som delvis er benyttet i vurderingen

Den foreliggende rapporten er i all hovedsak et resultat av en uavhengig kartlegging og vurderingsarbeid.

Multiconsult har i forbindelse med utarbeidelse av tidligere rapport (713416-RIGberg-001) levert til NVE i 2016, hatt tilgang på mye materiell som har vært utarbeidet av andre aktører i forbindelse med skredfarevurderinger i hovedsak rundt Longyearbyen. I forbindelse med denne foreliggende rapport som omhandler hytteområder (Bjørndalen, Revneset-Hjorthamn, Todalen, Bolterdalen-Foxdalen og Vindodden) er det ikke kjent for Multiconsult om tidligere rapporter vedrørende skredfarekartlegging.

Denne foreliggende rapporten bygger på en utvidet revisjon av rapport 713416-RIGberg-RAP-001 også omtalt som NVE rapport, 91, 2016. Det er derimot ikke tatt med beskrivelser eller annet fra områdene Bykaia-Vestpynten eller Longyearbyen fra den rapporten i denne. Det er innhentet informasjon fra lokalbefolkningen fra hvert av de aktuelle hytteområdene.

I forbindelse med et forskningsprosjekt holder Norges geologiske undersøkelser (NGU) på å kartlegge landskapsformer og løsmasser i flere av de aktuelle områdene. To av områdene er publisert i papirformat: Bjørndalen-Vestpynten som kartblad i skala 1:10 000, og Todalen, øvre Gangdalen og Bødalen som kartblad i skala 1:25 000. Øvrige områder som Longyearbyen, Foxdalen og Vindodden er under produksjon. Multiconsult har hatt anledning til å studere den utførte kartlegging gjennom GEO-refererte tiff-filer, som er rene bildefiler. NGUs kartlegging er en grundig kartlegging. Avsetningene er i stor grad i samsvar med den kartleggingen som Multiconsult har utført.

5 Metodikk for fastsettelse av faresoner

Arbeidet med fastsetting av faresonegrenser er en kompleks prosess og er utført gjennom flere steg. Viktige momenter, som er tatt med i vurderingen er historiske hendelser, feltregistreringer/observasjoner, registreringskart utarbeidet og brukt ved vurderinger for de ulike områdene, kart og foto analyser, klimaanalyser med innspill på lokale variasjoner og ikke minst erfaring og skjønn ut fra utførte feltregistreringer. Grunnlag er også listet i kap. 1.

For vurdering av skredfare, utbredelse av skred og ulike returperioder er det benyttet følgende grunnlagsmateriale og metoder:

- Terrengmodeller
- Ortofoto, flybilder og fotografier
- Geologiske forhold (berggrunn, løsmasser og geomorfologi)
- Terreng- og klimaforhold
- Informasjon om tidligere skredhendelser og tidligere utarbeidete løsmasse/landformskart fra NGU.
- Feltbefaring i terrenget til fots, bil, båt og helikopter.
- Registrerte observasjoner i felt, observasjoner på tidligere avsetninger, registreringskart og informasjon fra lokalbefolkning angående tidligere skredaktivitet.
- Programvare og beregninger for å beregne strømning og utbredelse/rekkevidde av skred.

5.1 Terrengmodeller

Det er benyttet digitale terrengmodeller (DTM) med ulik oppløsning. Oppløsning som er brukt er: 1,0 x 1,0 m, 2,5 x 2,5 m og 20 x 20 m. Terrengmodellen brukes som grunnlag for å lage helningskart, hillshade/skyggebilder samt som grunnlag for modellering med programvare RAMMS og RocFall.

Helningskart er med på å identifisere potensielle løснеområder for ulike skredtyper. Sannsynligheten for at snøskred løsner øker i terrenghelning mellom 30-50°, steinsprang der helningen er brattere enn ca. 45°, og jord- og flomskred i terrenghelninger mellom 25-45°. Skred av alle ovennevnte typer kan opptre ved lavere helning også.

5.2 Ortofoto, flybilder og fotografier

I forbindelse med forarbeider samt under og etter befaringer er flybilder/ortofoto nøye studert. Tidligere avsetninger, som er synlige på bilder, er avmerket på arbeidskart. Potensielle løснеområder for de ulike skredtypene er også studert. Bilder tatt på ulike tidspunkter av året samt historiske bilder er studert i detalj for å vurdere reelle akkumuleringsområder, overflatedrenering, skredavsetninger m.m. Det eksisterer store mengder historiske bilder fra de aktuelle områdene i og med at naturen rundt Svalbard ofte er avbildet i ulike sammenhenger. Ved å sammenligne bilder er det tydelig at snømengder i området har variert opp gjennom årene.

5.3 Topografi, geologi og terrengforhold

Topografi, lokal geologi, terreng- og grunnforhold har stor betydning for hvor skred kan oppstå, hvilken retning evt. skred beveger seg og hvor lang utløpsdistansen blir. Terrenghelning, type og forvitringsgrad av løsmasser og berg, terrengformer som forsenkninger eller terrasse- og ryggformasjoner kan påvirke både sannsynlighet, bevegelsesmønstre og rekkevidde for skred.

Flybilder, terrengmodeller, kartdata og observasjoner ved feltarbeid gir mye informasjon om tidligere skredaktivitet. Endringer i terrenget kan også tyde på skredfare. Skredbaner, forsenkninger, urer og vifter er eksempler på endringer i terrenget etter skred. Det råder en stor usikkerhet å bestemme når disse er dannet, mtp. om de også representerer fare under dagens klima og erosjonsforhold. Menneskelig inngrep kan også ha stor innvirkning på skredfare.

5.4 Klimaforhold

Klimaforhold vil i stor grad påvirke alle typer skred. F.eks. har dominerende vindforhold og nedbørsmengder betydning for akkumulering av snø samt utløsning av snøskred/sørpeskred. Særlig ekstremnedbør kan direkte påvirke utløsning av alle typer skred. Eksisterende data fra værstasjoner i området gir informasjon om temperatur og nedbør (gjennomsnitt/måned- og døgnnedbør), samt vindretning. Lokale klimaforhold og forventede returperioder av ekstremvær, har også stor betydning for utløsning av skred. Se kap. 2.

Men dette er historiske data og vi vet lite om framtidig klimaendringer som kan være forventet som baserer seg på det «gamle klimaet» som, dessverre ikke er representativt i dag. Se også kap. 2.4.

5.5 Skredhistorikk

Informasjon om tidligere skredhendelser og skredavsetninger er viktig i arbeidet med skredfarevurderinger, da naturlig utløste skred ofte gjentar seg på steder der det har gått skred tidligere.

For fastlands-Norge er tidligere skredhendelser (snø-, stein-, jord- og flomskred) registrert i den nasjonale skred databasen til NVE (www.skrednett.no). For Svalbard finnes det pr. i dag etter vår kjennskap ikke en samlet oversikt over tidligere skredhendelser som strekker seg over en lengre periode. Det har fra i år 2017, blitt registrert enkelte skredhendelser i varsom.no.

I forbindelse med prosjektet «The CRYOSLOPE Svalbard Project» for Norklima ble det opprettet en database. Forskningsprosjektet pågikk i perioden 2007-2009, og startet bl.a. en systematisering av snøskredhendelser innenfor et område rundt Longyearbyen og Todalen. Det er registret 577 snøskred

av ulik størrelse i den aktuelle perioden. Data er tilgjengelig på nettsiden <http://www.skred-svalbard.no>, der snøskredhendelser i perioden 2002-2010 er lagret. Mange av de dokumenterte skredhendelser i de aktuelle områdene er hentet fra Cryoslopes database.

Det er i denne rapporten gjort kort oppsummering på dokumenterte nyere og eldre skredhendelser for de aktuelle områdene. Hendelser er omtalt under hvert område. Opplysningene er samlet inn ved å oppsøke miljøer og personer som har relevant informasjon.

Aktuell skredhistorikk er beskrevet nærmere for hvert delområde i kapittel 6, 7, 8, 9 og 10.

Så lenge det har vært menneskelig aktivitet på Svalbard, har det vært kjennskap til skred i ulike former. I forbindelse med gruvedrift i b.la. Gruve 2b var det vanlig at snøskavler langs gruvefjellet ovenfor gruveinngangen og taubanen ble sprengt ned. Den gamle dynamittbua kan fortsatt sees oppe på Gruvefjellet. Det ble også etablert enkle støttemurer som beskyttelse mot mindre skred og steinsprang.

Den omfattende kartleggingen som NGU/UNIS har pågående vedrørende landformer og løsmasser i enkelte av områdene er også en god indikasjon på områder med tidligere skredaktivitet. Kartleggingen tidfester imidlertid ikke avsetningene. På Svalbard er det generelt utført lite datering av skredhendelser. Dette skyldes i stor grad permafrosten som gjør utgravinger vanskelig og kompliserer datering av steinoverflater med kosmogene nuklider. Intensive forvitningsprosesser, spesielt frostforvitring, er også med på å svekke kvaliteten av kosmogen datering. Totalt sett er det derfor lite arbeid gjort på presis datering av skråningsprosesser på Svalbard over tusenårige tidsskalaer (ref. Rubensdotter, 2017).

På fastlandet er det ofte vanskeligere å finne synlige spor i terrenget etter tidligere skredhendelser. Terrenget kan også ha blitt endret av menneskelig inngrep, slik at tidligere tydelige skredavsetninger har blitt fjernet. Tidligere skredhendelser på Svalbard er derimot betydelig enklere å se spor etter, da området ikke har vegetasjon. Menneskelige inngrep har også bare blitt utført i begrenset skala.

På Svalbard er det kort historisk informasjon om skred, men tidligere avsetninger er til dels godt synlig i terrenget. Enkelte områder er sterkt påvirket av infrastruktur og der kan det være utfordrende å se tidligere avsetninger.

5.6 Feltarbeid/registeringskart

En av de viktigste oppgavene i arbeidet med skredfarevurderinger er å kartlegge de faktiske forholdene i et område og dette arbeidet må i all hovedsak gjøres på stedet. Informasjon innhentet via kart og flyfoto er også viktig. Lang lokal erfaring fra de aktuelle stedene er viktig for å kunne belyse de store årlige variasjonene i områdene. Lokalkunnskap er bl.a. benyttet for å vurdere menneskelig virksomhet/inngrep, nedbørmønster, vindretninger, landskapsformer m.m.

I forkant av befaringen ble helnings- og hillshade-kart, flyfoto og tidligere kjente skred studert, sammen med tilgjengelige kart og geoTiff filer fra NGU, som viser landskapsformer og løsmasser.

Observasjon/registeringspunkter er loggført med hjelp av håndholdt GPS-Garmin 62s og feltdagbok for notat. Det ble tatt mange bilder og områdene ble også grundig studert med kikkert.

Ved feltkartleggingen har det vært spesielt viktig å registrere skredavsetninger, skredløp og potensielle reelle løsneområder. Videre har det vært viktig å kartlegge eksponert berg og løsmassetypene. I tillegg til registrering av observasjonene på kart er det gjennomført omfattende fotodokumentasjon. Registreringene er vedlagt i egne tabeller, se vedlegg C.

Potensielle løsneområder for de ulike skredtypene er avmerket i helningskart, se vedlegg B. Størrelsen på løsneområdene er estimert i felt med justeringer som følge av helning, bildestudier og

lokalkunnskap. De skredtypene som er dominerende er i hovedsak avmerket selv om det er spor av flere skredprosesser og avsetninger i området.

Dokumentasjon fra feltkartleggingen har også omfattet intervjuer og befaring med lokalbefolkning som har lang fartstid på Svalbard (± 40 år). Lokalbefolkningen har bidratt til å beskrive hendelser og verifisere potensielle skredområder.

For å vurdere materialets erosjonsømfintlighet ved vannmetting, ble det tatt prøver av løsmassene i skråningen ved flyplassen utenfor Longyearbyen. Prøven er rutineundersøkt på Multiconsults laboratorium i Tromsø og ble klassifisert som sandig grus.

5.7 Modeller for beregning av utløpslengder

Modellering og beregninger er benyttet som hjelpemiddel ved vurdering av utløpslengder og for å vurdere strømningsmønster. Det er benyttet flere ulike parametere for å få mest mulig realistiske modelleringer. Der det finnes dokumenterte skredhendelser, har simuleringer blitt kalibrert mot reelle observasjoner for å få mest mulig realistiske parametere. Parametere brukt i simuleringene er vist under hvert område.

For utvalgte modelleringsresultater, se vedlegg D.

5.7.1 RocFall 5.0

Programmet RocFall 5.0, utviklet av Rocscience Inc., er et statistisk analyseringsprogram der blant annet energi, hastighet og distribusjon av fallende stein blir kalkulert langs manuelt utvalgte profiler. Sammen med digitale høydedata (1 m - 2,5 m koter) er det utarbeidet detaljerte skråningsprofiler. Parametersettet brukt i modellering av steinsprang er kalibrert mot faktiske, kjente hendelser i området. RocFall simuleringene er kun utført i begrenset omfang, da steinsprang sjelden er den dimensjonerende skredtypen for aktuelle områder.

5.7.2 RAMMS

Det er utført simuleringer av snøskred, og for enkelte områder flomskred/sørpeskred, med programvaren RAMMS utviklet av SLF i Sveits. RAMMS er et dynamisk 2D/3D-modelleringsprogram der resultatene kan visualiseres i 3D. Modelleringen inkluderer sannsynlige strømningsveger og utløp, skredets hastighet, høyde og trykk. Høyde- og friksjonsparametere er tilpasset forholdene og fysiske egenskaper for skred på Svalbard. Programmet er tilpasset sveitsiske snøforhold, men det er gjort tilpasninger og kalibreringer opp mot faktiske hendelser på Svalbard.

Modellering av snøskred - RAMMS Avalanche

Ved modellering av snøskred er default-verdiene for friksjonsparametere μ og ξ benyttet, og automatisk justert etter høydegrensene. Høydegrensene som er benyttet i RAMMS er satt til 0 m for nedre høydegrense og 200 m for øvre høydegrense. Med dette menes at snøen vil ha ulike egenskaper over og under disse høydegrensene. I alle lokasjonene ble det modellert snøskred med returperioder på 10 år og 300 år. Størrelsesparametere for skredet blir definert automatisk («tiny», «small», «medium» eller «large»), avhengig av hvor mye snø som defineres å løse i hvert løseområde. 300 kg/m³ er benyttet som densitet på snø.

For øvrige parametere, se tabeller under hvert område.

Modellering av jord- og flomskred, samt sørpeskred - RAMMS Debris flow

Ved modellering av flomskred på Svalbard ble friksjonskoeffisientene justert for å tilsvare lokale forhold best mulig i de ulike lokasjonene. Kalibreringer er gjort iht. kjente/observerte hendelser ved Longyearbyen.

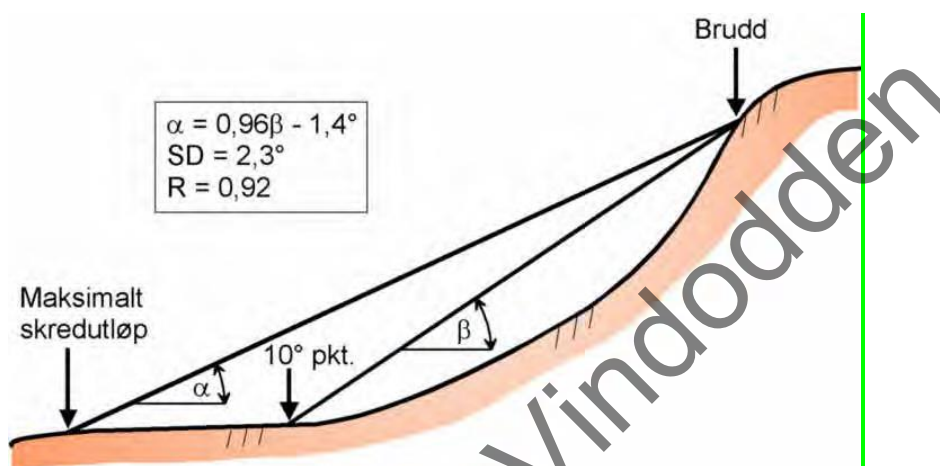
Mange av skredene som starter som sørpeskred drar med seg jordmasser og blir til et blandingskred, som ligner mer på et flomskred. Dette er også grunnen til at sørpeskred i dag er best simulert ved å bruke RAMMS debris flow (og ikke RAMMS avalanche).

Massene som kommer i bevegelse er ofte veldig grove på grunn av den dominerende bergarten sandstein som har høy friksjon. Med store mengder vann, blir friksjonen lavere. Densiteten til massene er satt til verdier mellom 1000-2000 kg/m³ avhengig av lokaliteten og type skred.

For øvrige parametere, se tabeller under hvert område.

5.7.3 α / β -modellen

På enkelte av skråningene er det utført simuleringer av snøskred i henhold til α/β -modellen, som er en statistisk/topografisk modell som tar utgangspunkt i fjellskråningens lengdeprofil. Ref. Lied og Bakkehøi, 1980. Se Figur 13.



Figur 13: Viser parametere i α/β -modellen (SD-standardavvik, R-korrelasjonskoeffisient). Ref. NVEs Kartlegging og vurdering av skredfare i arealplaner, 2011 og Lied og Bakkehøi, 1980.

Det er utført beregninger etter α/β -modellen i alle de aktuelle områdene. Profilene er valgt ut fra faktiske hendelser og gir et kompletterende grunnlag for å vurdere eventuelle skred i de områdene der skred antas å få størst konsekvens. Profilenes plasseringer og beregninger er vist i vedlegg D.

Det har i flere tilfeller vist seg at α/β -modellen, med ett standardavvik, stemmer godt med enkelte av de faktiske større skredhendelserne på Svalbard (ref. Larsen, 2016).

Alfa/beta modellen tar ikke hensyn til snødybde, snøens lagdeling/oppbygging eller underlaget faktorer som kan ha stor betydning for utløpslengden til snøskred.

5.8 Fastsettelse av faresoner

I henhold til dagens Byggteknisk forskrift, TEK 10, er det formulert 3 sikkerhetsklasser med ulik årlig sannsynlighet for skred (S1-1/100, S2-1/1000 og S3- 1/5000) der skredsannsynlighet er tallfestes med beregnet/antatt største nominelle sannsynlighet for skred. Alle de aktuelle skredtypene (stein-, snø-, sørpe-, jord- og flomskred) skal inngå. Sannsynlighetsgrensene som benyttes ved skred fra bratt terreng er betydelig mer konservative enn de som benyttes for naturfaretyper som flom og stormflo. Ved vurdering av disse faretyperne benyttes nominell årlig sannsynlighet på 1/20, 1/200 og 1/1000. (Ref. TEK 10, 2016).

På faresonekartene er den samlede skredfare avmerket for de ulike intervallene. Dimensjonerende skredtype for området er vist. Se vedlegg A.

Vurderingen av hvor sannsynlighetsgrensene går, er et krevende arbeid der mange momenter inngår. Den endelige vurderingen er en samlet vurdering av alt materiale men baserer seg også på skjønn og erfaring, med støtte av simuleringer.

Der det er synlige spor etter tidligere ferske skredhendelser blir kalibreringen av simuleringene mer eksakt, og det er bedre grunnlag for å vurdere utløp ved simuleringer. Dagens dataverktøy gir ikke eksakte svar på naturlige fenomener, men ved simuleringer vektlegges innsamlet materiell om forholdene på stedet for å få best mulig tilpasning mellom simulering og faktiske registreringer. Siden dataverktøyet normalt gir svært konservative resultater blir modellering derfor i hovedsak benyttet for å vurdere strømningsmønstre og hvordan terrenget vil kunne lede eventuelle skred.

En nominell årlig sannsynlighet på 1/100 hhv. 1/1000 omtales ofte som 100-års skred hhv. 1000-års skred. Ett tusenårsskred utelukker ikke at det kan komme et nytt skred med samme returperiode året etter (ref. TEK 10, 2016).

Vurdering av skredutløp i forhold til 1000-års skred og 5000-års skred er i stor grad basert på modellberegning, erfaring med skredutbredelse på bakgrunn av synlige antatte eldre avsetninger på stedet, flybilder og klimaanalyser. Områder med potensielle løsneområder som har lav sannsynlighet for skred, er tatt med i vurderingen som 1000-års skred og 5000-års skred. For 100-års skredene vil nøyaktigheten være større, da det her finnes mer detaljert informasjon bl.a. om faktiske skredhendelser og ferske avsetninger.

I områder der enkelte faresoner avslutter et stykke ut i havet, er det valgt å ikke tegne inn ytterligere faresoner med lavere sannsynlighet, da dette ikke ansees som hensiktsmessig i de områder dette gjelder.

Skredfarekartene vil være et godt grunnlag for vurdering i potensielle utbyggingssaker, selv med den beskrevne usikkerheten.

Utdrag Vindpødslen

10 Vindodden

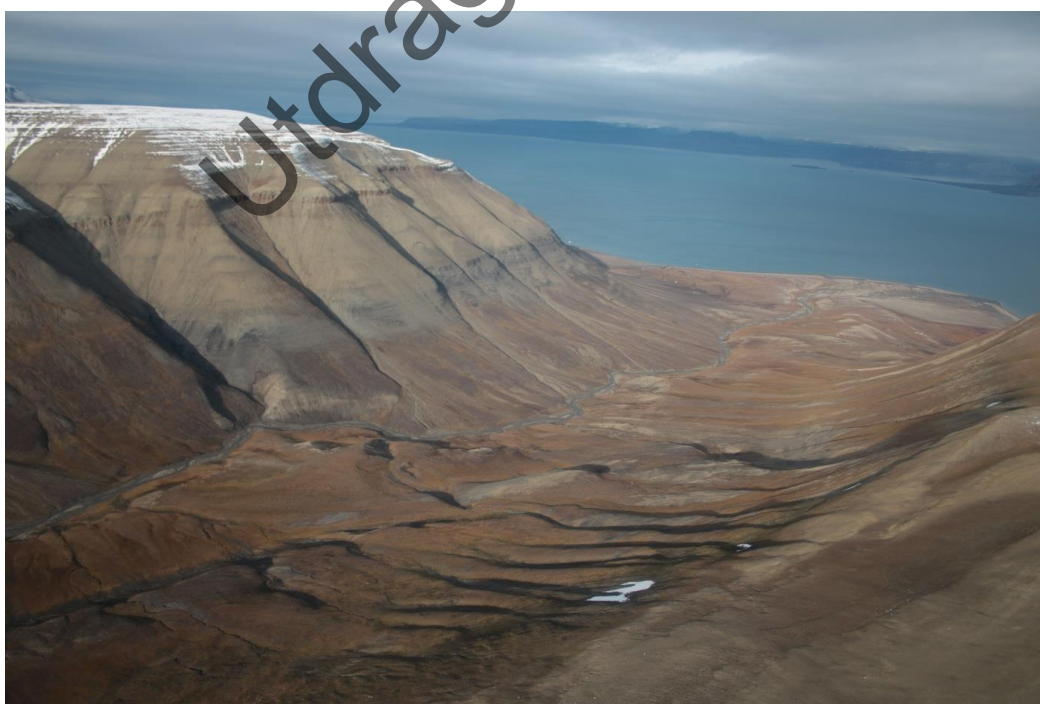
Området Vindodden ligger om lag 24 km nordøst for Longyearbyen. Undersøkellesområdet er i hovedsak nordvendt og strekker seg fra den mindre Ledalen i vest, forbi Flowerdalen over Kapp Belvedere og videre østover mot Sveltihel, se Bilde 50.

Flowerdalen er en mindre U-dal, som går fra sør med utløp i nord ved Sassenfjorden. Sassenfjorden er en vest-øst orientert fjordarm fra Isfjorden. Isfjorden strekker seg sørvest ut mot storhavet, se Bilde 51.

Området er et av de mest populære hytteområdene og brukes i all hovedsak som rekreasjonsområde. Hovedområde for dagens hytter ligger ved selve Vindodden, lokalisert ved munningen av Flowerdalen.



Bilde 50: Vindodden sett fra Sveltihel mot vest. Vurdert område er omtrent markert med rødt.



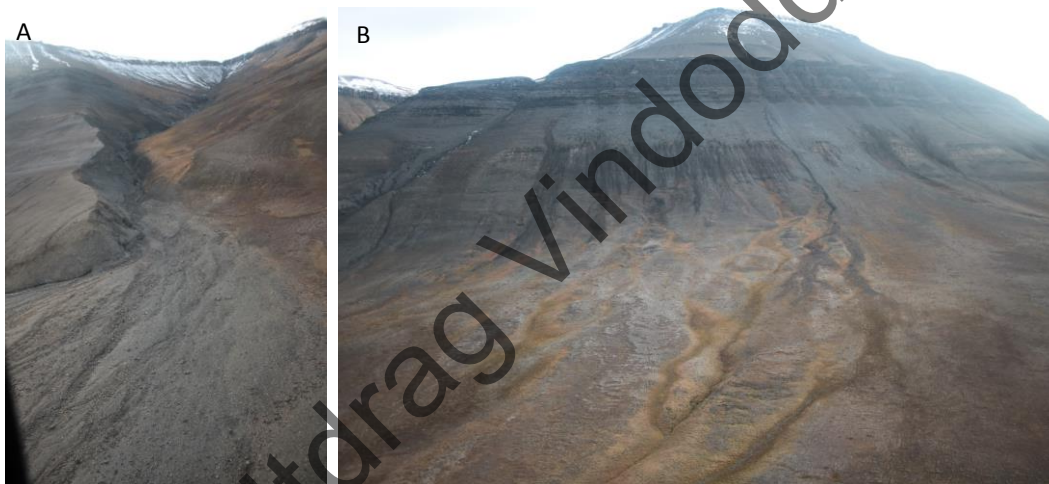
Bilde 51: Flowerdalen, sett mot nordvest ut mot Vindodden.

10.1 Topografi og grunnforhold

Vindoddens er karakterisert av elvedeltaer og strandterrasser. Fra havet stiger terrenget svakt med flere markante strandlinjer og elveavsetninger. Fra ca. kote 60 stiger terrenget brattere med skråningshelninger fra 27° til 45°. Det blir brattere bergpartier fra omkring kote 100, som strekker seg videre opp mot Botneheiafjellet lengst vest og Belvedere og Marmierfjellet lengst øst. Se vedlegg B.

De vurderte skråningene på Vindodden er i all hovedsak nordvendte. Skråningene er gjennomskåret av enkelte mindre og større V-daler. Bergartene i området skiller seg noe fra de andre undersøkte områdene, ved at det er sandsteinen av eldre opprinnelse. Materialet i skråningene består i hovedsak av skredmateriale med ulik opprinnelse. Massene består i stor grad av finere forvittringsmateriale fra antatt svakere bergartsmateriale og skiller seg fra det grovere forvittringsur-materialet i for eksempel Longyeardalen.

På befaringen fremstod området generelt som tørt, ettersom det var frost på befaringstidspunktet, slik at det ikke var synlig vann i bekker og kløfter i skråningene. Det ble opplyst av lokalkjente at det hadde vært mye nedbør i form av regn i løpet av sommeren, noe det også kunne ses spor av i terrenget, se Bilde 52.



Bilde 52: A) Viser typiske mindre V-daler, som gjennomskjærer skråningene i området. B) Viser typiske skråninger i området med steilere partier av berg og finere forvittringsmateriale. Begge bildene sett mot sør.



Bilde 53: Vestvendt skråning på østsiden av Flowerdalen. Sett mot sørøst.



Bilde 54: Nordvendt skråning helt i østre delen av vurdert område. Bildet viser tydelige strukturer av fast berg, som tyder på mer faste bergartslag i dette område. Sett mot sør.

10.2 Skredhendelser

Det er ikke registrert skredhendelser på Vindodden i databasen for Cryoslope, da området ikke var en del av forskningsprosjektet.

I forbindelse med foreliggende rapport, er det innhentet informasjon fra lokalkjente i området, som opplyser om en økning av mindre snøskred de siste årene i enkelte områder. Ved kraftig nedbør er det også observert flere mindre jordutglidninger i skråningene. I det følgende beskrives enkelte hendelser de siste årene. Det kan ha vært flere hendelser som Multiconsult ikke har fått kjennskap til eller som ikke har blitt registrert.

Det er tydelige avsetninger av flomskred og mindre jordutglidninger flere steder i skråningene. Se Bilde 52.

Enkelte områder på Vindodden har hatt økt skredaktivitet de senere årene. I området lengst vest, som ligger nærmest fjellfoten, har det blitt registrert flere skredhendelser;

- Snøskred (flakskred) våren 2015, gikk mens eier var på hytta, se Bilde 55.
- Da hytteeieren ankom kvelden 6. januar 2017 var det gått et snøskred, som hadde stoppet et stykke ovenfor hytta. Det har også gått nytt snøskred i samme område nå i mars 2017.
- Ved Multiconsult befaring i september 2016 ble det registrert flere mindre ferske jord- og flomskredsavsetninger i skrånningene som ble befart. Alle skredene hadde stoppet i skrånningen og nådde ikke ned til hyttene i området.
- Det opplyses av lokalkjent at det hovedsakelig løsner snøskred ved sterk vind i sektoren SØ-SV i kombinasjon med mye nedbør. Ref. Onarheim, 2017.



Bilde 55: Flakskred våren 2015, stoppet ovenfor hytte. Sett mot nord. Foto, Onarheim 2015.



Bilde 56: Viser ferske spor (avmerket) av mindre flomskred og løsmasse-utglidninger i skråningen. Sett mot sør.

10.3 Vurdering av skredfare

Jord- og flomskred

Løsmassene i de nedre delene av skråningene på Vindodden består generelt av finkornig forvittringsmateriale. Dette er masser som potensielt kan bli ustabile ved vannmetting. På Svalbard begrenser permafrosten muligheten for dyp drenering av vann. Ved kraftig snøsmelting eller nedbør i form av regn, vil massene derfor fort blir vannmettet og potensielt ustabile. I områder uten definerte vannveger eller forsenkninger kan utglidninger og mindre jordskred forekomme. Utglidningene antas å stoppe i møte med grovere materiale et stykke ned i skråningen. Se Bilde 57.



Bilde 57: A) Viser typiske utglidninger, som finnes i de større skråningene. Sett mot sør. B) Typiske flomskredavsetninger ved utløp av definerte raviner. Sett mot sør.

Der det er større akkumuleringsområder for snø og mer tilførsel av vann, vil vannmettede, ustabile masser kunne gi større flomskred. Avsetninger fra slike flomskred er tydelig i munningsområdet ved enkelte raviner. Se Bilde 57.

Skredfaren i flere av skråningene på Vindodden kan knyttes til vannrelaterte skred. I perioder med mye vann kan jord- og flomskred opptre langs markante skredbaner, men også i deler av skråninger med løsmasser som kan bli ustabile dersom de blir vannmettet.

Både jord- og flomskred er de dimensjonerende skredtypene i flere av de skredutsatte områdene på Vindodden. Se vedlegg A.



Bilde 58: Skråningen øst for hytta LJFF «Gåsebu». Tydelige spor (avmerket) av jord-utglidninger nordvest for hytta. Sett mot sør.

Steinsprang

Det er bare enkelte partier med tydelig eksponert berg i de steile fjellssidene ved Vindodden. Synlig berg er sterkt oppsprukket og nedfall vil derfor i hovedsak være fint forvitningsmateriale.

Det er små områder med eksponert berg, som er kraftig oppsprukket. Det forventes derfor kun små steinsprang med begrenset utløp. På bakgrunn av våre observasjoner vurderes derfor steinsprang og steinskred ikke å representere fare for hytteområdene på Vindodden. Det er derfor ikke utført mer detaljert vurdering av denne skredtypen.

Snøskred

Det er flere potensielle løснеområder for snøskred i de vurderte områdene på Vindodden. Akkumuleringsområder som kløfter, bekkedaler og raviner kan ved enkelte vindretninger samle store mengder snø. Enkelte skråninger i leområder kan også ved nedbør og sterk vind samle en del snø. Det meste av snøen, som ikke blir liggende i le for vind, blir transportert bort. Snødekket blir derfor tynt i vindeksponerte skråninger.

Flere snøskred har gått i markante kløfter med tilhørende raviner i de vestlige områdene. Her akkumuleres det mye snø som kan bli ustabil. Det vil med sikkerhet gå nye skred i dette området.

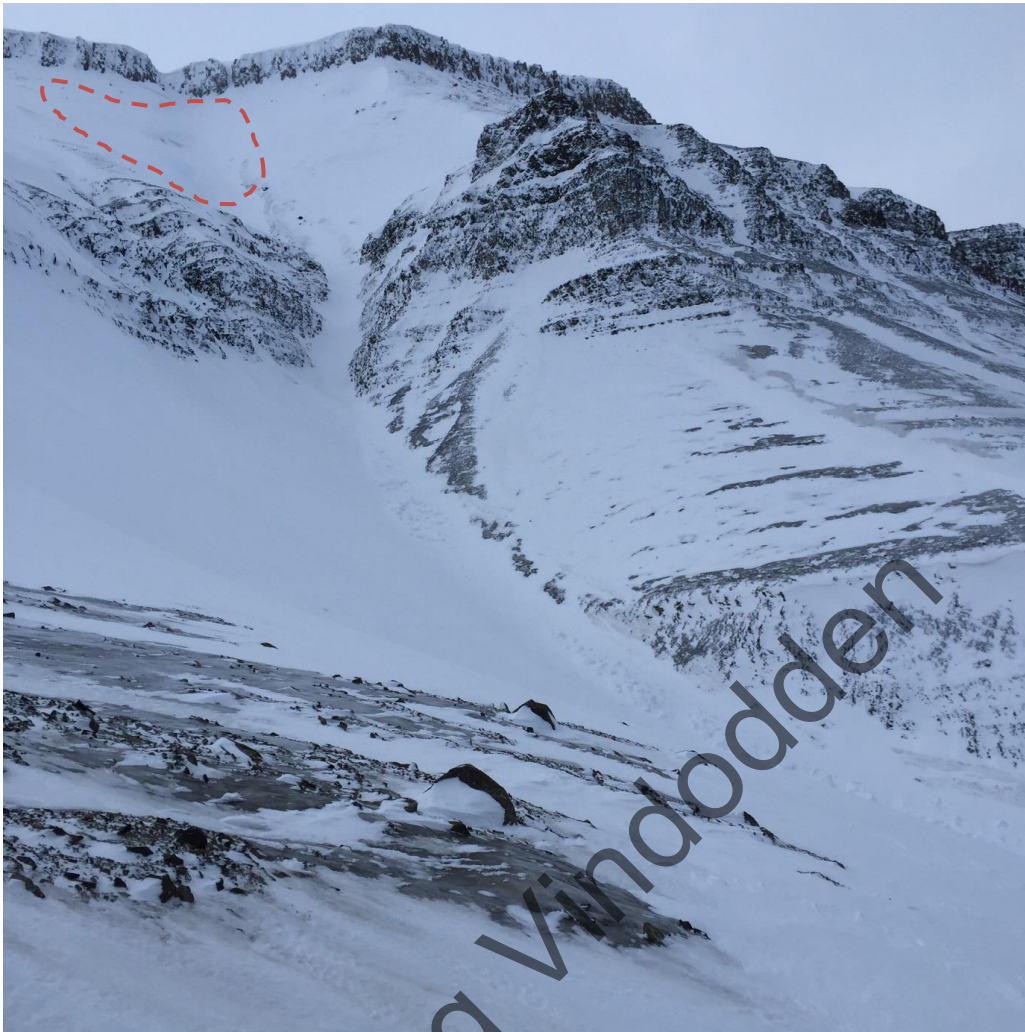
Skråningsflanker, som er potensielle leområder, kan i perioder med ekstreme værforhold akkumulere store mengder snø på kort tid og dermed være potensielle løснеområder for store snøskred med lange utløp. Utløpsområdene for snøskred er vurdert i henhold til disse ekstreme forholdene.

Simuleringer i RAMMS og teoretiske beregninger på snøskredutløp, verifiserer utløp og strømningsbaner i området der det finnes dokumenterte hendelser. Se vedlegg D.



Bilde 59: Hytte plassert midt på en gammel flomavsetning. Tydelige spor etter fersk flomskredaktivitet i skråningen. Fra bekkedal vist på bildet er det registrert flere snøskredhendelser med ulik lengde på utløp. Sett mot sørøst.

Utdrag Vindodden



Bilde 60: Løsneområde, (se omriss) i kløft ovenfor hytte i Bilde 59. Foto etter skredhendelse mars 2016. Sett mot sørvest. Modifisert fra S. Onarheim, 2017.

Sørpeskred

Sørpeskred er en aktuell problemstilling i både mindre og større bekkedaler og raviner. Typiske løsneområder for sørpeskred er i dreneringsløp som elve- og bekkedaler og i grunne forsenkninger der vann kan akkumuleres i snødekket. I perioder med mye regn eller ved rask snøsmelting, kan snømasser bli så ustabile at det utvikles sørpeskred. Dette skjer særlig i områder der vannet ikke har mulighet til å dreneres raskt nok gjennom snømassene. Dette kan skje i terreng som er så slakt som 5°.

Det er ikke kjent at det har gått større sørpeskred i dette området, men det kan ikke utelukkes at dette kan forekomme i alle de større bekkedalene. Vest for Flowerdalen finnes det avsetninger fra flom- og muligens sørpeskred over større områder sammen med elveavsetninger.

For sørpeskred kan utløpslengdene bli ekstremt lange. Sørpeskred har strømningsmønster som likner på flomskred.

10.4 Modelleringsarbeid

RockFall 5.0, RAMMS og α/β -beregninger er benyttet som modellering- og simuleringsverktøy ved vurdering av utløpslengder og for å vurdere strømningsmønster i de ulike områdene. Modelleringene er basert på digitale terrengdata. Tilgjengelighet på data gjør at det er brukt ulike datasett i de ulike områdene. I datasettet fra Vindodden er det 20 m x 20 m oppløsning i terrengmodellen. Modelleringsresultatene gir derfor relativt grove resultater, men vil likevel gi en pekepinn på

utløpslengder og strømningsmønstre. I områder der det har vært dokumenterte skredhendelser har parameterne blitt kalibrert mot disse for å få mest mulig realistiske simuleringer. Parameterne som er brukt i simuleringene er vist nedenfor. Se vedlegg D, kart D_V_01 og D_T_02.

RocFall 5.0

Det er ikke utført steinsprangsimuleringer for Vindodden-området, fordi denne skredtypen ikke er dimensjonerende i noen av de aktuelle områdene.

RAMMS

Modellering av flom-, sørpe- og jordskred med RAMMS debris flow

Det er utført modellering av sørpeskred i tre områder på Vindodden.

Skredene kan starte som sørpeskred og utvikle seg til flomskred pga. erosjon i skredbanen som gir tilførsel av jordmasser i skredet. Sørpeskred er derfor best simulert ved RAMMS debris flow (og ikke RAMMS avalanche). Parameterne brukt ved simulering av skredene er vist i Tabell 9.

Tabell 9: Viser parameterne benyttet i simuleringene av sørpeskred. Vist i vedlegg D.

Løsneområde	Dry-Coulomb type friction μ ()	Viscous-turbulent friction ξ (m/s ²)	Dybde utløsningsområdet (m)	Areal løsneområder (m ²)
1.	0.1	600	1.0	4000
2.	0.1	600	1.0	4400
3.	0.1	600	1.0	7600

Løsneområde 1 ligger i bunnen av en markant skålforsjning/ravine i den vestre delen av det vurderte området. Slike nordvendte kløft-formasjoner vil kunne akkumulere store mengder snø ettersom de ligger i le for vind fra vest, sør og øst. Dersom det blir liggende mye snø i bunn av ravinen og tilført mye vann ved kraftig nedbør eller snøsmelting, kan snøen bli vannmettet og ustabil og resultere i sørpeskred.

Løsneområde 2 er likt område 1. Fra dette området kan det komme skredutløp som har potensiale til å berøre eksisterende hytter.

Løsneområde 3 ligger i markante bekkeraviner i den østre delen av vurdert område. Her er det ikke noen hytter i dag, men for å fastsette faresoner er det viktig å se på potensielle framtidige faremoment for området.

Modellering av snøskred med RAMMS- Avalanche

Det er valgt ut 6 potensielle løsneområder for snøskred. Disse er valgt i områder hvor det er registrert tidligere hendelser, hvor helningen er brattere enn 30° og hvor det potensielt kan akkumuleres mye snø. Nærhet til hytter og kjente scootertraseer er også tatt med i vurderingen.

Det er sjeldent og usannsynlig at hele det definerte løsneområdet løsner under en reell hendelse. Arealet av løsneområdet vil derfor være noe større enn det som reelt løsner. Ettersom områdene generelt er 200-400 meter lange, antas det en viss medrivningseffekt. Denne effekten er ikke tallfestet, men kompenseres ved at løsneområdene er noe større enn det som er reelt.

Akkumulering av snø på Svalbard kan variere mye, avhengig av eksponering i forhold til dominerende vindretning. På grunn av vindtransport er det vanskelig å estimere reelle snømengder i de ulike skråningene kun basert på nedbørstatistikk. Svalbard er svært utsatt for vind, og snøen som faller blir erodert vekk i vindutsatte områder som platåer, fjellpartier på lo side eller sider orientert parallelt med vindretningen. Mengde snø som blir liggende i de enkelte skråninger er derfor avhengig av

terrengformen og hvordan terrenget er eksponert i forhold til fremherskende vindretning. Renner, søkk og le-heng under platåer er typiske terrengformer hvor det kan samles snø.

For Vindodden er en gjennomsnittsverdi for simulert bruddkanthøyde benyttet (0.7 m), som er avhengig av hvordan vinden er antatt/registrert å påvirke snøakkumulering i de ulike terrengformene. Effekten av skavlbrudd er tatt i betraktning gjennom at det er estimert et ekstra volum i estimert bruddhøyde.

Tabell 10: Viser parameterne benyttet i simuleringene av snøskred vist i vedlegg D. Areal på løsneområdene på kartet er også gitt i tabell.

Løsneområde	Bruddkanthøyde (m)	Areal (m ²)
1.	0.7	9600 + 6000 + 2400
2.	0.7	44000 + 22800
3.	0.7	24800 + 9200
4.	0.7	8800 + 5600
5.	0.7	6000 + 8400
6.	0.7	30800 + 7200

Løsneområde 1-2 ligger i øvre del av markante skålformasjoner/raviner i den vestre delen av det vurderte området. Her finnes nordvendte kløftformasjoner, som vil kunne akkumulere store mengder snø ved vind fra sørøst til sørvest med eller uten nedbør. Sørøst er den dominerende vindretninger på Svalbard, målt ved Longyearbyen flyplass. Det løsner ikke skred i Løsneområde 1-2 hvert år, men med framtidige klimaendringer kan det ikke utelukkes at dette er potensielt aktive skredområder. Fra disse områdene er det registrert snøskred med skredtunger opp til 0,5 m dypde i front.

Løsneområde 3 er en mer åpen flanke, der det ved ekstreme tilfeller kan løse snøskred.

Løsneområde 4 er områder som under ekstreme forhold kan gi skred med utløpslengder som vil nå eksisterende hyttebebyggelse.

Løsneområde 5 er et område der det er kjent at det kan akkumuleres mye snø, og der det kan forventes store skred under spesielle forhold.

Løsneområde 6 er to områder (nr. står mellom disse på kartet) som er avmerket lengst øst. Dette er nordvestvendte skråninger som kan akkumulere store mengder snø. Eventuelle skred vil dog følge markante raviner.

α/β -beregning av snøskredutløp

Det er utført beregninger for teoretisk snøskredutløp etter NGIs α/β -modell. Profiler er konstruert i alle områder der det er utført RAMMS snøskredsimuleringer. I tillegg er det utført beregninger langs profiler i enkelte skråninger i aktuelt område.

Beregningene er en komplettering til utførte simuleringer og vurderinger. Generelt stemmer α/β -beregninger godt med faktiske skredhendelser, som er registrert på Svalbard. Ved enkelte profil utforminger er de ikke like realistiske og må da ses på som ren beregning.

Det vestligste profilet er lagt i et kjent skredløp, dette er imidlertid en ravine så utløpsberegning vil bare være en teoretisk indikasjon basert på helning. Et av profilene i øst viser beregninger der det er korte teoretiske utløp, som skyldes at dette er en lav skråning med bratt øvre del.

Se vedlegg D.

10.5 Faresoner

Ved fastsettelse av faresoner er det tatt hensyn til både kjente skred og skredhendelser med tydelige spor/avsetninger i terrenget. Det er utført teoretiske simuleringer og beregninger på utløp for skredtyper som snø-, sørpe-, jord- og flomskred. Sannsynligheten for store sørpeskred er ikke vurdert som høy i det aktuelle området. Tatt i betraktning det mildere klima som forventes i framtiden og som er erfart på Svalbard det senere årene, kan sannsynlighetene for skred som sørpe- jord- og flomskred forventes å øke.

På den gamle breelv-avsetningen ved munningen av Flowerdalen, er det flomfare med mulighet for utbredelse av flomskred og sørpeskred. Lengre ut på viften ved foten på skråningen, er det mer ren flomfare. Muligheten og sannsynligheten for at bekker og elver endrer løp i elveavsetningene er stor.

Det er fare for snøskred på flere steder. Mindre flakskred erfares omtrent årlig. Flere områder ligger utsatt til med høy sannsynlighet for snøskred etter ekstreme værforhold. Snøskred vil under slike forhold kunne være den dimensjonerende skredtypen.

I området Vindodden er det i all hovedsak jord- og flomskred som er dimensjonerende skredtype. Enkelte områder og da spesielt faresoner med høyere sannsynlighet (1/100) har snøskred som dimensjonerende skredtype.

Se vedlegg A, kart A_V_01 og A_V_02.

Utdrag Vindodden

11 Referanser

Et utvalg av personer og lokalbefolkning som bidratt med nyttig muntlig og bilde informasjon til arbeidet med rapporten:

Anderssen, Tommy; Bodd ca. 10 år på Svalbard, har hytta i Bjørndalen.

Antonsen Gunnhild; På Svalbard siden 1987, hytte på Vindodden.

Brekken Atle; På Svalbard siden 1975, bor og har hytte i Bjørndalen. Lang felt erfaring, bl.a. arbeidet for Store Norske og SSD-Teknisk avd.

Christiansen Hanne; Avdelingsleder for Geologiavdelingen på UNIS, Spesialkompetanse på Permafrost. Bor på Svalbard siden ca. 2002.

Echenstrofer Markus; Forsker på Norut, har doktorgrad fra Svalbard om snøskred, 2013. Bodd og arbeidet 5 år på Svalbard. Bidratt også muntlig med faglige diskusjoner og egne erfaringer, sep. 2016.

Hekne Geir; Bor på Svalbard siden 1971, lang erfaring fra redningsarbeid på Svalbard, hytte på Revneset.

Haagensli Jørgen; Bor på Svalbard siden 1999. Har i lengre perioder ledet Røde Kors hjelpekorps på Svalbard og hatt ansvar for beredskap på områder som skred. Har også jobbet for UNIS i en periode.

Jusnes Karin; Bodd på Svalbard og Spisshusen ca. 1982-2009

Onarheim Stig; Fødd 1968 oppvokst på Svalbard, har hytte på Vindodden, i dag helikopterpilot på Svalbard.

Ringheim Anders; Bodd på Svalbard siden 1988, lang felt erfaring, har hytte på Revneset.

Kristoffersen Arne; Bor på Svalbard siden 1980, lang felt erfaring, har tidligere hatt hytte både på Hjorthamn og Vindodden.

Torgersen Daldorff Steve; Bodd på Svalbard siden ca.1990, lang felt erfaring, har hytte i Bjørndalen og bruker aktivt hytte på Vindodden.

Larsen Jan-Otto; Tidligere avdelingsleder for Teknologiavdelingen på UNIS. Har undervist der fra 2005 til 2016 og bodd fast på Svalbard i 8 år. Har hatt forskjellige oppgaver på Svalbard siden 1966 for Norsk Polarinstutt, Svalbard Samfunnsdrift og Lokalstyret, Norsk Hydro og Spitsbergen Kullkompani AS i tillegg til UNIS. Sakkyndig på området Skred og Skredsikring.

Nettsider:

http://www.skred-svalbard.no/avl_list.php	Cryoslope Svalbard, den 20.09.2016
http://svalbardkartet.npolar.no	Berggrunnskart over Svalbard, sep. 2016
http://www.npolar.no/no/arktis/svalbard/	Sep.2016
http://www.varsom.no/	mai. 2017
http://www.yr.no/stad/Noreg/Svalbard/Svalbard_lufthavn/statistikk.html	sep, 2016
http://publikasjoner.nve.no/vegleder/2014/vegleder2014_08.pdf	mars. 2016
https://www.dibk.no/no/byggereglar/tek/2/7/7-3/	mars.2017
http://www.eposters.net/pdfs/the-glacial-history-of-the-svalbard-archipelago-from-late-vistulian-to-the-present-time-in-late.pdf	

http://www.tspnorway.com/	sep. 2016
http://geo.ngu.no/kart/permafrost_svalbard/	okt.2016
https://www.rocscience.com/help/rocfall/webhelp/RocFall.htm	april. 2017
http://www.amap.no/documents/doc/swipa-2017-press-material/1544	mai.2017

Litteratur:

Dallman Winfried K. m.fl. 2015; Geoscience Atlas of Svalbard

Eckerstorfer Markus 2013; Snow avalanches in central Svalbard: A field study of meteorological and topographical triggering factors and geomorphological significance.Ph.D.

Eckerstorfer Markus m.fl. 2013; The geomorphological effect of cornice fall avalanches in the Longyeardalen valley, Svalbard.

Eckerstorfer Markus m.fl. 2009; Avalanches and snow mobile traffic around Longyearbyen, Svalbard.

Larsson, S. (1982). Geomorphological effects on the slopes of Longyear valley, Spitsbergen, after a heavy rainstorm in July 1972. Geogr. Ann. 64 A: 105-125

Lied og Bakkehøi, 1980. Empirical calculations of snow avalanche runout distance based on topographical parameters, Journal of Glaciology, Vol 26 (94)

Piepjohm Karsten m.fl. 2012; Longyearbyens geologi

Rubensdotter Lena m.fl. 2015; Landskapsformer og løsmasser Bjørndalen-Vestpynten, Svalbard

Rubensdotter L. & Hermanns R., 2011; NGU, notat, Bekymringsmelding om to potensielt ustabile fjellparti i Longyeardalen oppdaget ved kvartærgeologisk kartlegging.

Vikhamar-Schuler, Eirik J. Førland og Hege Hisda, 2016; Kort oversikt over klimaendringer og konsekvenser på Svalbard NCCS report no. 2/2016.

Cryoslope project 2007-2009, kart produsert i forbindelse med prosjektet. Landforms and sediments in Todalen and upper Gangdalen and Bødalen.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) 2016, Skredulykken i Longyearbyen 19. desember 2015.

NVE Rapport 91, 2016, Skredfarekartlegging på Svalbard, Multiconsult rapport, 713416-RIGberg-RAP-001, 2016.

NVEs veileder 8-2014; Sikkerhet mot skred i bratt terreng. Kartlegging av skredfare i arealplanlegging og byggesak.

NVEs veileder: Kartlegging og vurdering av skredfare i Arealplaner, Vedlegg 2 til NVEs retningslinjer: Flom- og skredfare i arealplaner, 2011.

NVEs retningslinjer 2.2011: Flaum- og skredfare i arealplaner.

NVE faktaark 2013-01, Jordskred og flomskred – naturfare.no

NVEs faktaark 2-13, Identifisering av skredvifter.

Statens vegvesen, Håndbok V139 2014, Flom- og sørpeskred.

TEK 10, Teknisk forskrift, Vegledning om tekniske krav til byggverk, kap.7 Sikkerhet mot naturpåkjenninger, september 2016.

RAMMS – A numerical model for snow avalanches in research and practice, User Manual v1.5 Avalanche, WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF (2013)

RAMMS – Avalanche 1.4, Friction Parameters, SLF (2011)

RocFall version 5.0-fra Rocscience., 2016

Utdrag Vindodden

Vedlegg A

Faresonekart

Tre faresoner er tegnet inn:

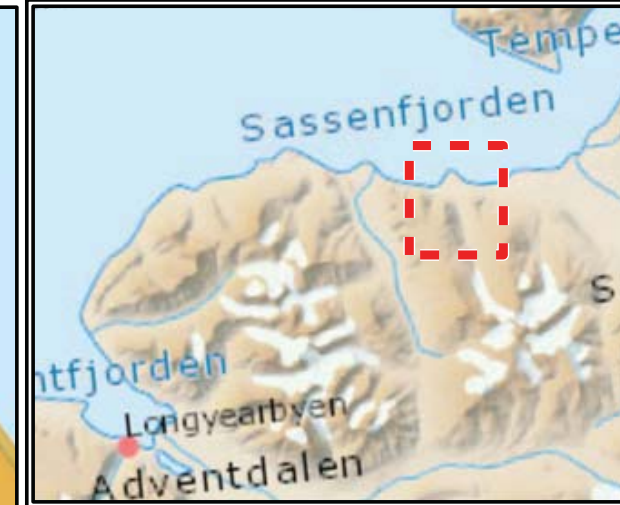
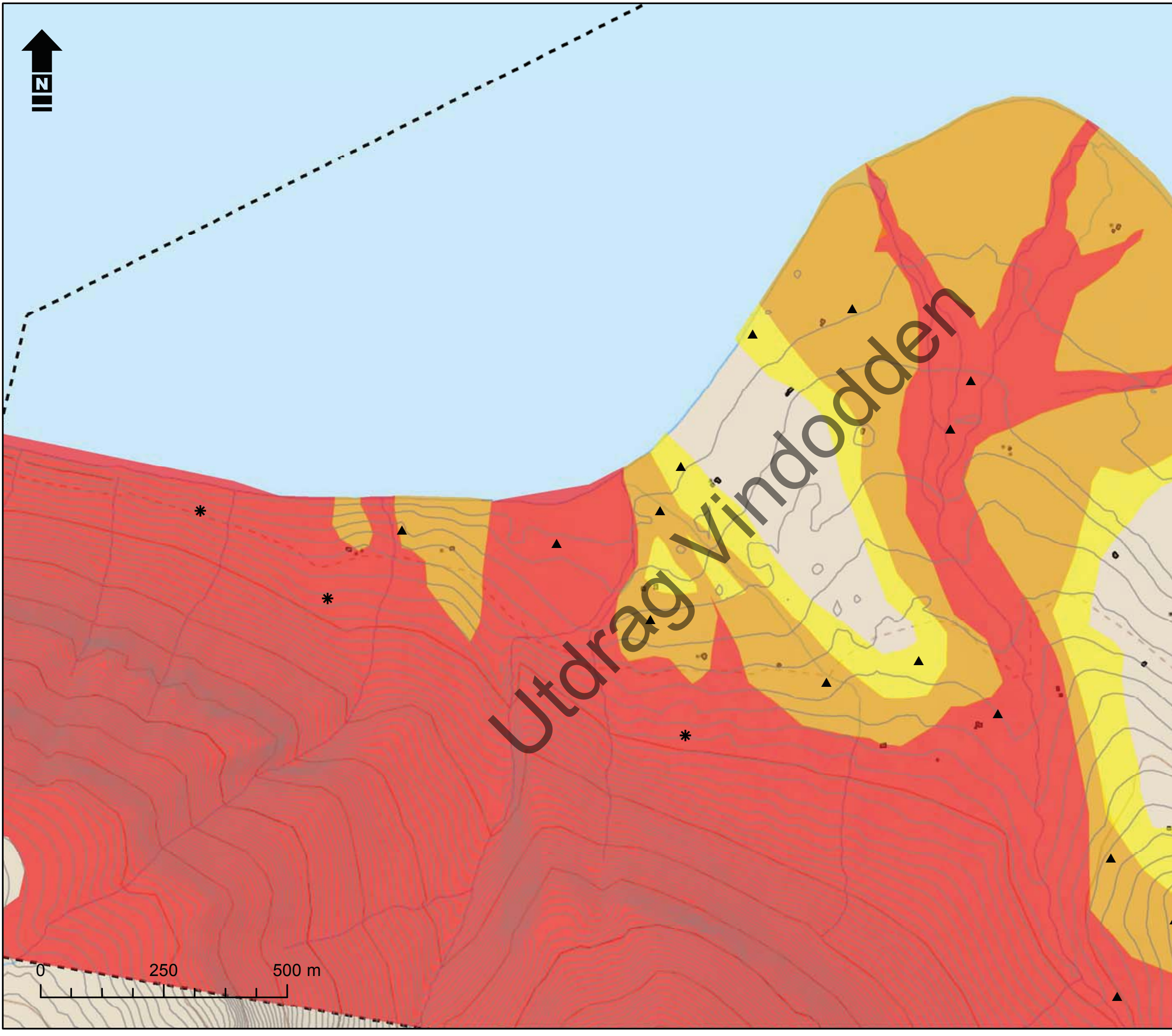
- Skredutbredelse med årlig nominell sannsynlighet 1/100
- Skredutbredelse med årlig nominell sannsynlighet 1/1000
- Skredutbredelse med årlig nominell sannsynlighet 1/5000

Dimensjonerende skredtype er avmerket. Skredtypene stein-, snø,- sørpe,- jord- og flomskred (fra bratt terreng) er vurdert.

Faresonekart

Områdene er delt opp i flere kart for å mest mulig oversiktlig vise de aktuelle faresonene for områdene. Kartene er utarbeidet med detaljeringsgrad 1:5000 eller bedre, her presentert i skala 1:10 000 og 1:12 000. Faresonekartene leveres også digitalt i shape/sosi-format til Longyearbyen lokalstyre og Store Norske.

A_B_01	Bjørndalen, Nord
A_B_02	Bjørndalen, Sør
A_RH_01	Reveneset-Hjorthamn, vest
A_RH_02	Reveneset-Hjorthamn, øst
A_RH_03	Reveneset-Hjorthamn, sør I
A_RH_04	Reveneset-Hjorthamn, sør II
A_T_01	Todalen, nord
A_T_02	Todalen, sør
A_BF_01	Bolterdalen-Foxdalen, vest
A_BF_02	Bolterdalen-Foxdalen, vest (II)
A_BF_03	Bolterdalen-Foxdalen, mot Adventdalen
A_BF_04	Bolterdalen-Foxdalen, øst
A_V_01	Vindodden, vest
A_V_02	Vindodden, øst



Tegnforklaring

- Kartlagt område
- Bygninger

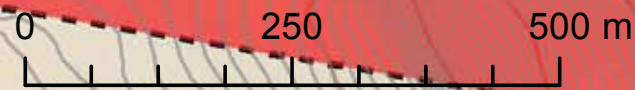
Faresone
Årlig nominell sannsynlighet

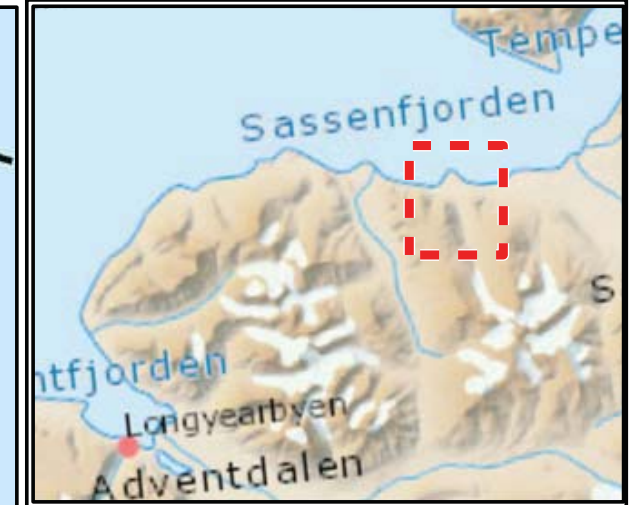
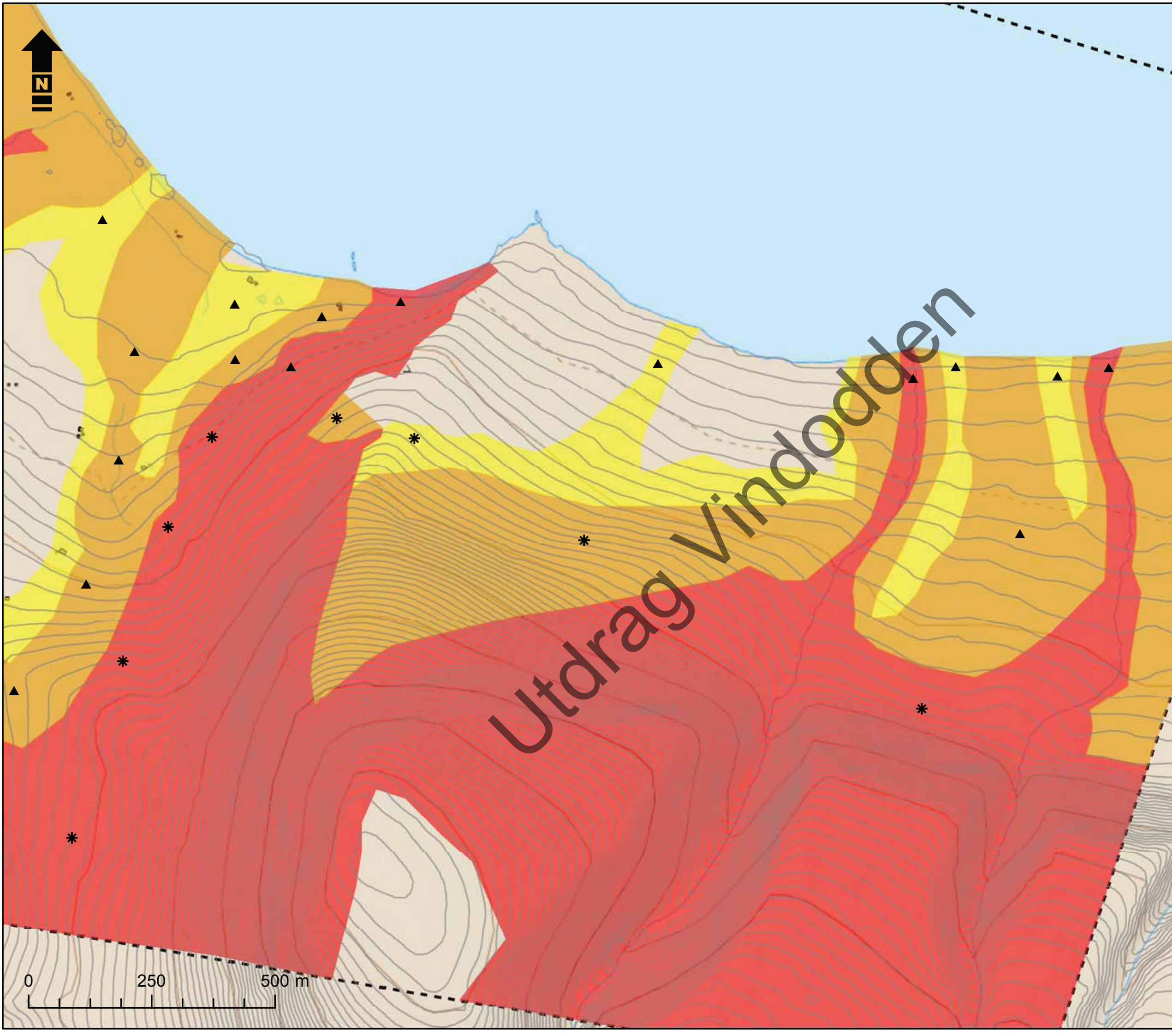
- $\geq 1/100$
- $\geq 1/1000$
- $\geq 1/5000$

Dimensjonerende skredtype

- Snøskred
- Jord- og flomskred/ sørpeskred

Skredfarekartlegging Svalbard	
Faresonekart Vindodden, vest	
A3 1:10 000	
Kunde: Longyearbyen Lokalstyre og Store Norske	
Oppdragsnummer: 713525	
Utført: MARIAH/MHP	Godkjent: KURF
Kontrollert: JOL	
Dato: 06-04-2017	Kart nr: A_V_01





Tegnforklaring

- Kartlagt område
- Bygninger

Faresone
Årlig nominell sannsynlighet

- $\geq 1/100$
- $\geq 1/1000$
- $\geq 1/5000$

Dimensjonerende skredtype

- Snøskred
- Jord- og flomskred/ sørpeskred

Skredfarekartlegging Svalbard

Faresonekart
Vindodden, øst

A3 1:10 000

Kunde: Longyearbyen Lokalstyre og
Store Norske

Oppdragsnummer: 713525

Utført: MARIAH/MHP	Godkjent: KURF
Kontrollert: JOL	

Dato: 06-04-2017	Kart nr: A_V_02
------------------	-----------------



Vedlegg B

Helningskart med befaringsrute, registreringspunkter og potensielle løснеområder for skred.

Kartene er bl.a. laget på følgende grunnlag:

- Observasjoner/registreringer gjort under befaringer
- Flyfoto- og bildestudier
- Kart fra NGUs pågående og tidligere kartlegging på Svalbard, GEO refererte tiff.filer
- Terrengmodeller

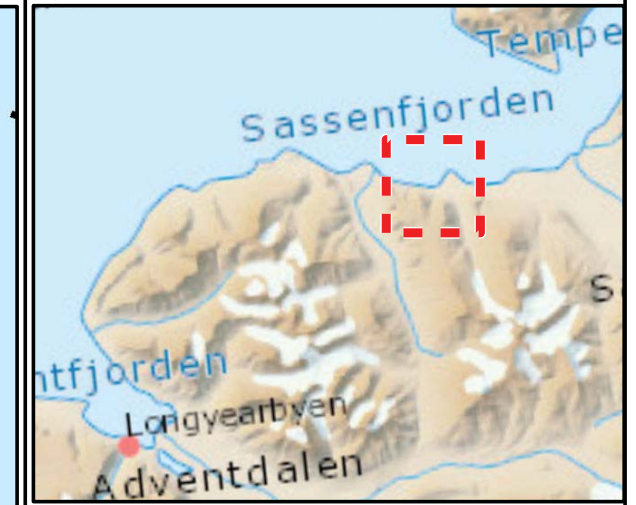
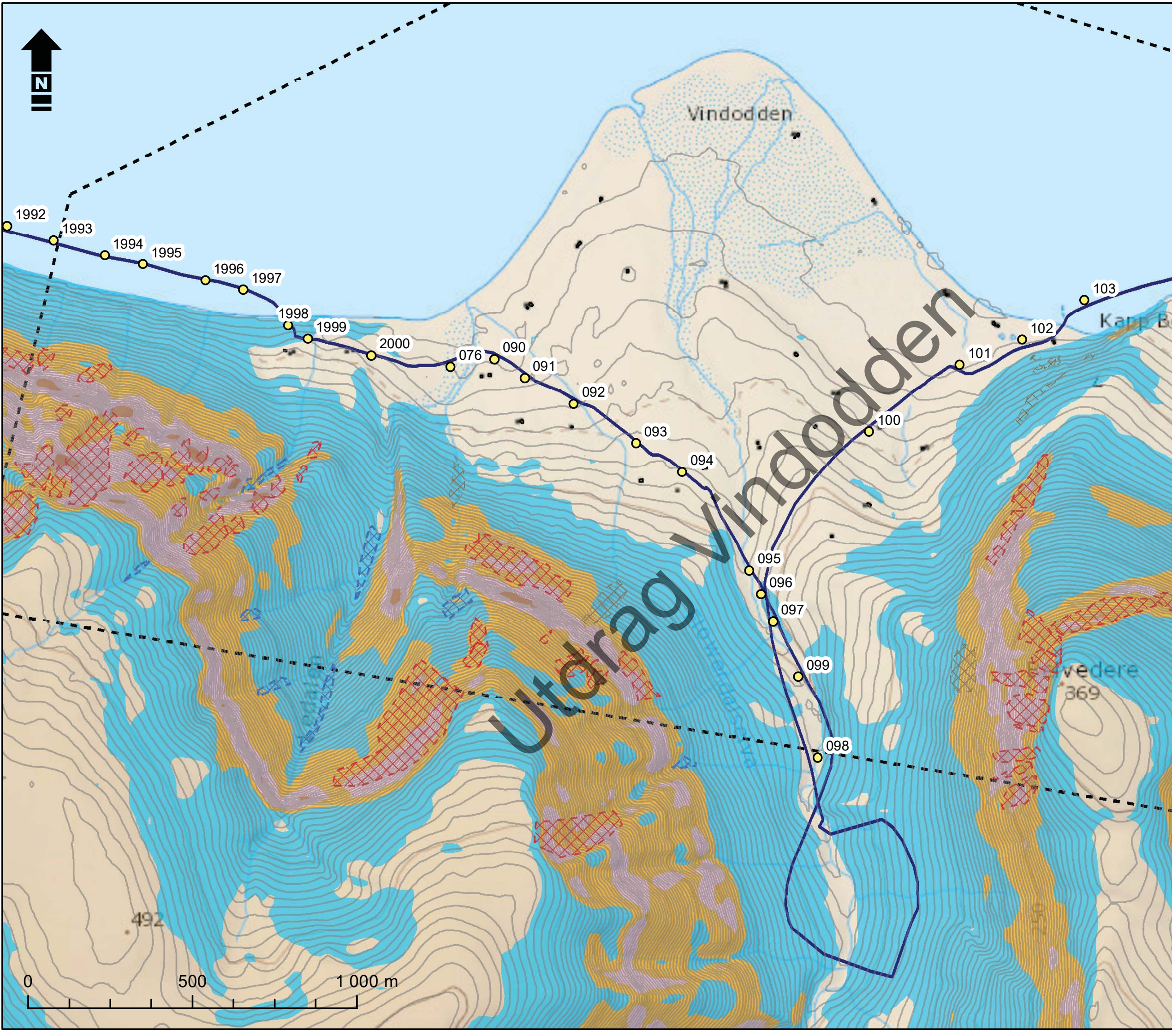
Kartene viser:

1. **Helning i terrenget** - Ulike helningsintervaller er markert med ulike farger.
2. **Registreringspunkt under befaring og befaringsrute** - Observasjoner av betydning som kan knyttes til skred og skredprosesser. Vedlegg C beskriver registreringspunktene i detalj.
3. **Potensielle løснеområder for skred** - basert på bl.a. helning, geomorfologi relatert til skred og skredhistorikk.

Helningskart

De ulike områdene er delt opp i flere kart og viser hovedtrekkene på elementer som kan ha betydning for vurderinger av skredfaren best mulig. Kartene er detaljerte helningskart dvs. laget med 1:5000 nøyaktighet el. bedre, men framvises her i en skala 1:10 000, 1:15 000 og 20:000

- B_B_01 Vestpynten-Bjørndalen, nord
- B_B_02 Vestpynten-Bjørndalen, sør
- B_RH_01 Reveneset-Hjorthamna, nord
- B_RH_02 Reveneset-Hjorthamna, sør
- B_T_01 Todalen, nord
- B_T_02 Todalen, sør
- B_BF_01 Bolterfalen-Foxdalen, vest
- B_BF_02 Bolterdalen-Foxdalen, midt
- B_BF_03 Bolterdalen-Foxdalen, øst
- B_V_01 Vindodden, vest
- B_V_02 Vindodden, øst



Tegnforklaring

- Kartlagt område
- Bygninger
- Registreringspunkt
- Befaringsrute

Potensielle løснеområder

- Stein
- Snø
- Sørpe
- Jord-/flom

Helning i grader

- 0 - 10
- 10 - 27
- 27 - 35
- 35 - 45
- 45 - 60
- 60 - 90

Skredfarekartlegging Svalbard

Helningskart med befaringsrute, registreringspunkter og potensielle løснеområder for skred.
Vindodden, vest. A3 1:15 000

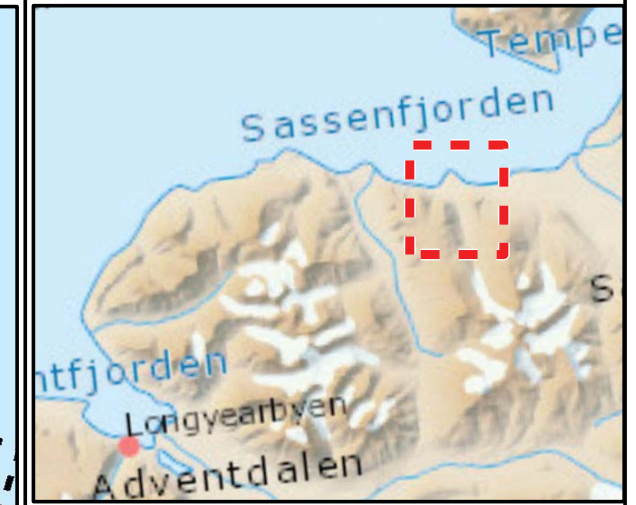
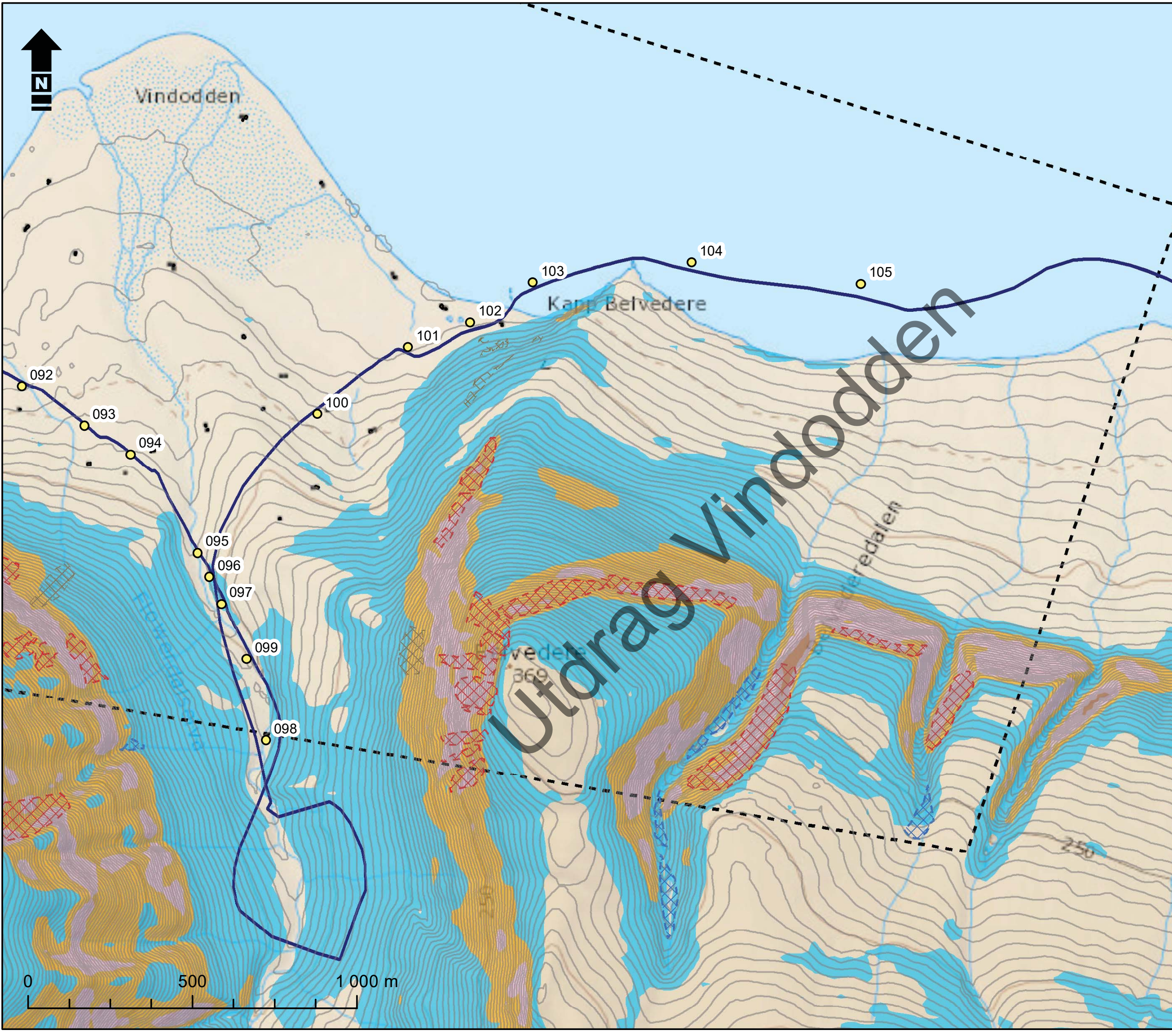
Kunde: Longyearbyen Lokalstyre og Store Norske

Oppdragsnummer: 713525

Utført: MARIAH/MHP	Godkjent: KURF
Kontrollert: JOL	

Dato: 06-04-2017	Kart nr: B_V_01
------------------	-----------------





Tegnforklaring

- Kartlagt område
- Bygninger
- Registreringspunkt
- Befaringsrute

Potensielle løснеområder

- Stein
- Snø
- Sørpe
- Jord-/flom

Helning i grader

- 0 - 10
- 10 - 27
- 27 - 35
- 35 - 45
- 45 - 60
- 60 - 90

Skredfarekartlegging Svalbard

Helningskart med befaringsrute, registreringspunkter og potensielle løснеområder for skred.
Vindodden, øst. A3 1:15 000

Kunde: Longyearbyen Lokalstyre og Store Norske

Oppdragsnummer: 713525

Utført: MARIAH/MHP
Kontrollert: JOL

Godkjent: KURF

Dato: 06-04-2017

Kart nr: B_V_02



Vedlegg C

Vedlegg C

Beskrivelse registreringspunkter under befarings

Det er her beskrevet observasjoner i form av ID- og med en tekst beskrivelse på hva som er registrert/observert.

Punktene angir observasjoner som kan ha betydning for vurdering av skredfaren i området, punktene kan også være angitt for annen lokalisering og orientering.

1. Bjørndalen, kart B_B_01 og B_B_02
2. Reveneset- Hjorthamn, kart B_RH_01 og B_RH_02
3. Todalen, kart B_T_01 og B_T_02
4. Bolterdalen-Foxdalen, kart B_BF_01, B_BF_02 og B_BF_03
5. Vindodden, kart B_V_01 og B_V_02

Utdrag Vindodden

1572	Tørt område.
1573	Fra dette punktet og innover dalen, mer ustabile masser som kan bli påvirket av drenering, utover mer intakt skråning.
1574	Del av gammel vei, erodert bort. Ovenfor dette punkt ustabil.
160	Snø- og flomskredavsetninger
161	Flomskredavsetning helt ned til elven
162	Flomskredavsetning ned til elven
163	Flomskredavsetning
165	Jordutglidninger, flere mindre
166	Flom og jord, mindre avsetninger.
167	Flom og jord, mindre avsetninger. Fine masser i skråningen.
168	Stor ravine, hytter ved skredbane
169	Stor ravine, hytte på eldre avsetning.
170	Elvevifte kommer ned fra stor ravine.
171	Jord-flom avsetninger, eldre
172	Jord-flom avsetninger, eldre
173	Jord-flom avsetninger, ferske.
174	Jord-flomvifte, aktiv fra en større ravine.
175	En hytte på kanten til ravinen, høydeforskjell ok. Potensielle erosjonsproblemer.
177	Hyttene, står på høyder i terrenget.
178	Sprekker i skråningen, evt. utglidninger/jordskred mulig. Hytte står på en gammel skredavsetning.

5 Vindodden

ID	Beskrivelse
1992	Bratte skråninger helt ned i fjæra, vest for kartleggings området.
1993	Tydelige skredbaner som går helt ned i fjæra. Omtrentlig start kartlegg.område.
1994	Bratt skråning rett ned i havet. Mye skredavsetninger alle typer.
1995	Snøskredavsetning
1996	Flomskredavsetning skjærer gjennom eldre avsetning.

1997	Skråning består av skredavsetning flere generasjoner og typer.
1998	Hytte plassert på bekke/skredavsetning. Snøskredavsetning, jord og flomavsetning fra skråning rett sørvest for hytte.
1999	Hytte. Tydelige spor fra flomskredaktivitet, kjent med snøskred ut vifta.
2000	Vifteavsetning i skråning.
076	Ytterkant av skredvifte, stor
090	Ytterkant av skredvifte, stor
091	Hytte, små flomavsetninger oppe i skråningen.
092	Gammel hytte. Bratt skråning i bakkant.
093	Gammel vifteform, ikke aktiv.
094	Gammel vifteform, ikke aktiv.
095	Inngangen Flowerdalen
096	Utglidning av løsmasser i skråningen.
097	Utglidning av løsmasser i skråningen.
098	Utglidning av løsmasser i skråningen, mest aktivitet på vestsiden av dal.
099	Skråning på vestsiden flere mindre skredbaner, på østsiden ikke skredspor.
100	Slakere terreng.
101	Sveltehiele, der trase for snøscooter kommer ned. Fareområde snøskred.
102	Sveltehiele, bart berg i skråningskant.
103	Hytta nært fjæra, mindre jordutglidninger i skråning ovenfor.
104	Platåliggende formasjon med brattere fjellskråning i bakkant.
105	Bekker som kommer ned fra skråningen høyere opp, går i definerte mindre bekkeraviner.

Vedlegg D

Utvalgte modelleringsresultater

Vedlagt er et utvalg av beregninger og modelleringer som er utført i de aktuelle områdene.

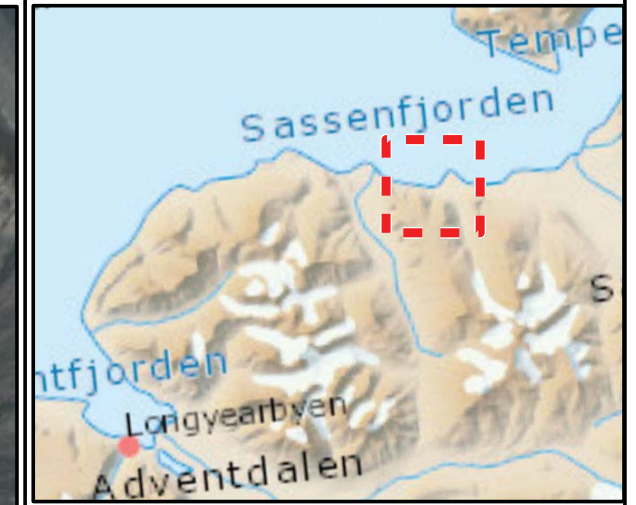
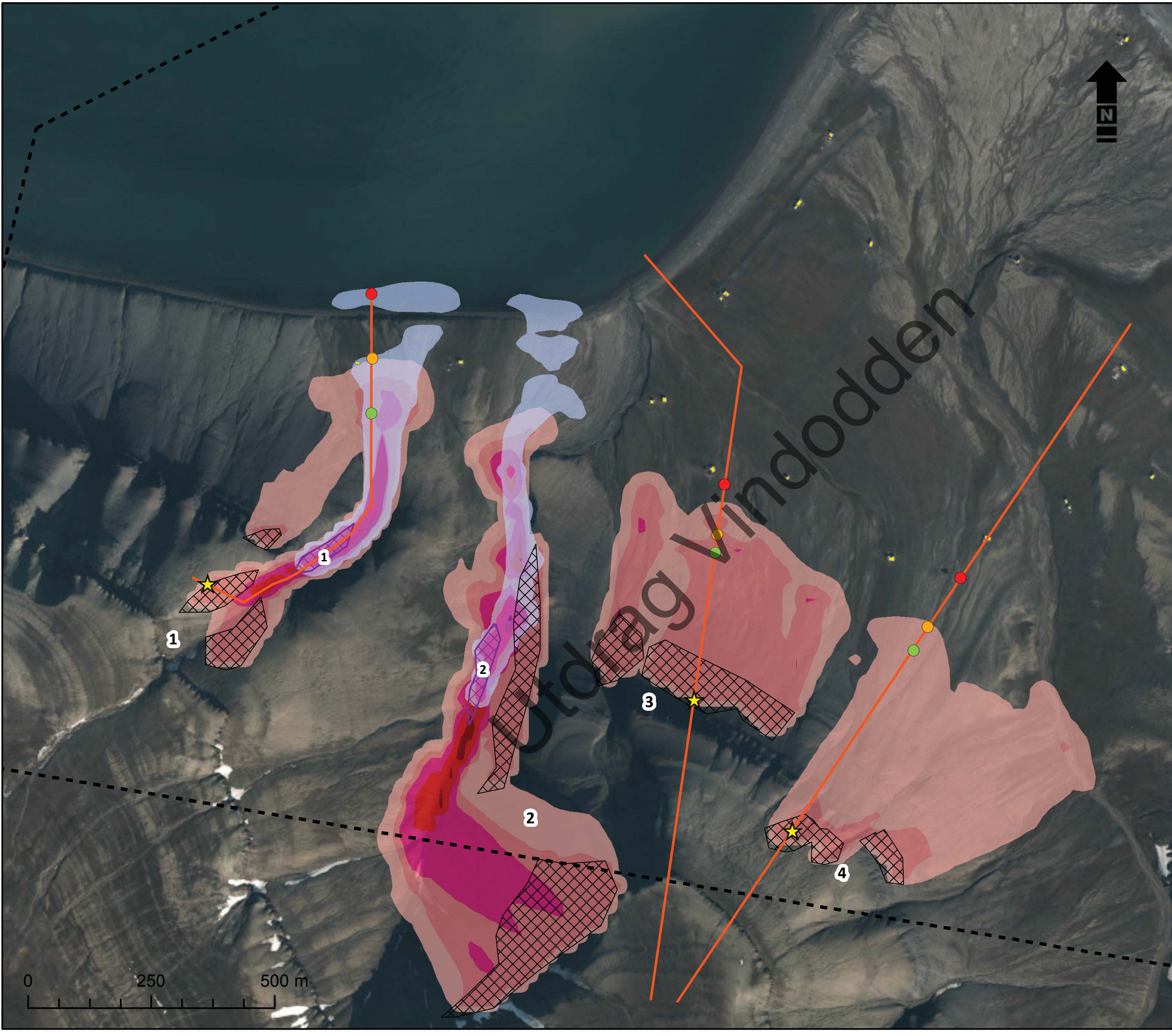
Det er med α/β - modellen utført beregninger på teoretiske snøskredutløp.

Det er med modelleringsverktøyet RAMMS utført simuleringer på snøskred og flom-/sørpeskred.

Det er med programmet RocFall utført simuleringer av steinsprang.

Kart:

D_B_01	Vestpynten-Bjørndalen, Nord
D_B_02	Vestpynten-Bjørndalen, Sør
D_RH_01	Reveneset-Hjorthamna, Nord I
D_RH_02	Reveneset-Hjorthamna, Nord II
D_RH_03	Reveneset-Hjorthamna, Sør I
D_RH_04	Reveneset-Hjorthamna, Sør II
D_T_01	Todalen, Vest
D_T_02	Todalen, Sør
D_T_03	Todalen, Øst
D_BF_01	Bolterdalen-Foxdalen, Vest
D_BF_02	Bolterdalen-Foxdalen, Vest II
D_BF_03	Bolterdalen-Foxdalen, Øst
D_V_01	Vindodden, Vest
D_V_02	Vindodden, Øst



Tegnforklaring

- Kartlagt område
- AlfaBeta-profil
- Beta
- Alpha
- Alpha-1SD
- Løsnepunkt
- løsnedområde RAMMS sørpeskred
- løsnedområde RAMMS snøskred

RAMMS sørpeskred maks flyte høyde (m)	RAMMS snøskred maks flyte høyde (m)
0 - 0.1	0.1 - 0.5
0.1 - 0.5	0.5 - 1
0.5 - 1.5	1 - 2
1.5 - 3	2 - 4
3 - 5	4 - 6
	> 6

Skredfarekartlegging Svalbard

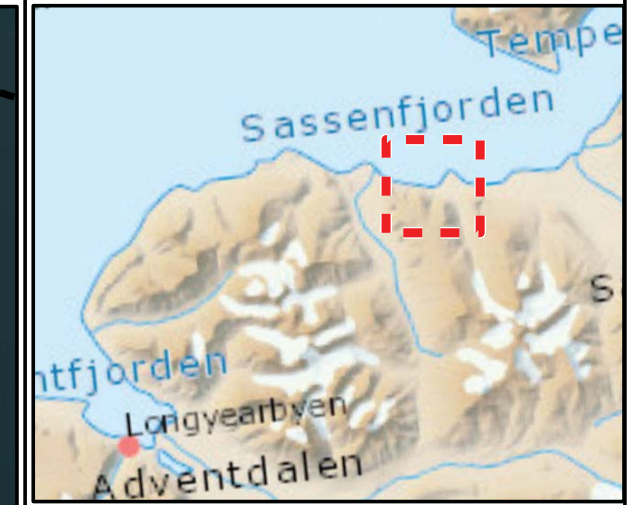
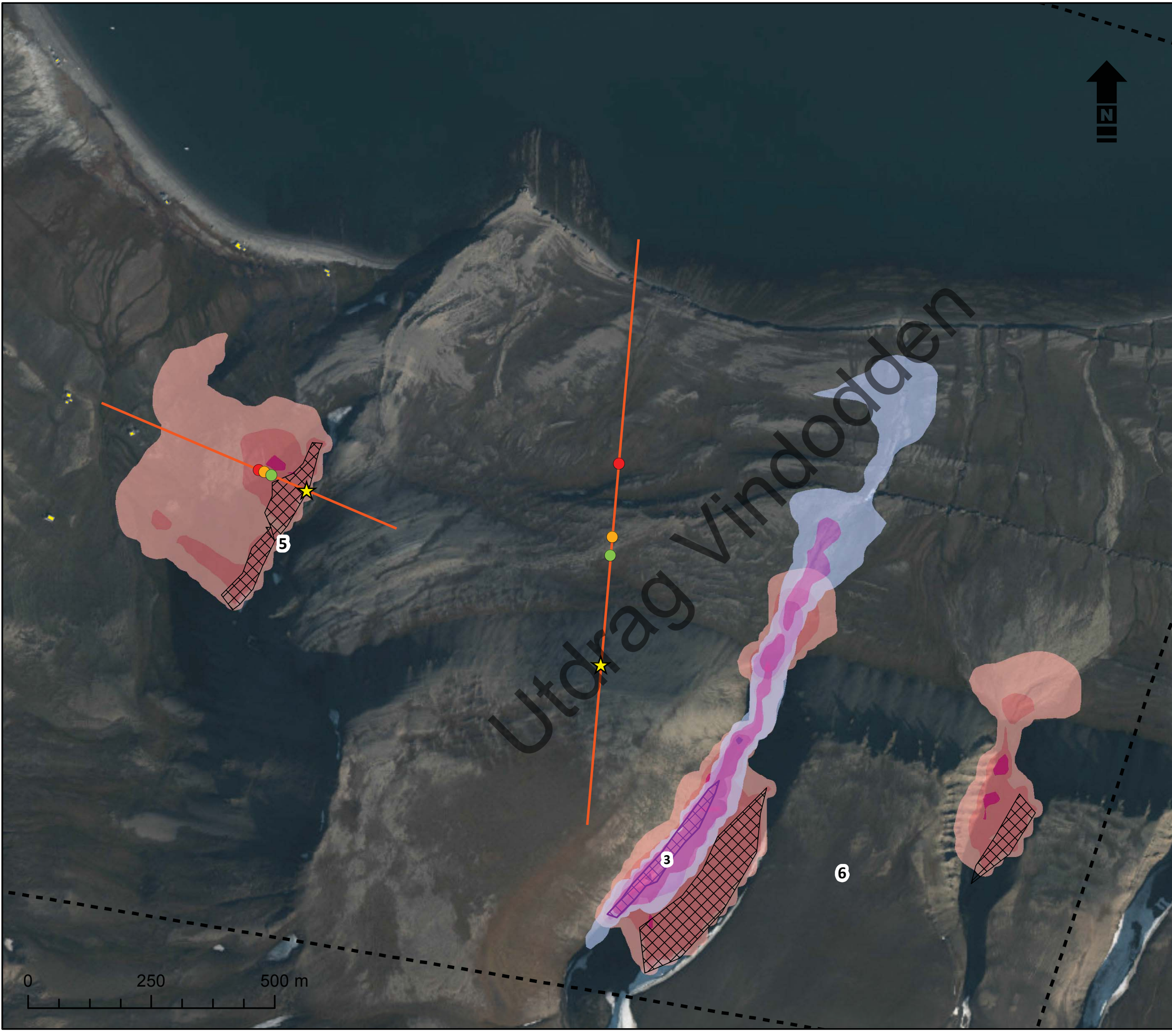
Utvalgte modelleringsresultater
Vindodden, Vest

A3 1:10 000
Kunde: Longyearbyen Lokalstyre og
Store Norske

Oppdragsnummer: 713525

Utført: MARIAH/MHP	Godkjent: KURF
Kontrollert: JOL	
Dato: 05-04-2017	Kart nr: D_V_01





Tegnforklaring

- Kartlagt område
- AlfaBeta-profil
- Beta
- Alpha
- Alpha-1SD
- Løsnepunkt
- løsneområde RAMMS sørpeskred
- løsneområde RAMMS snøskred

RAMMS sørpeskred maks flyte­høyde (m)	RAMMS snøskred maks flyte­høyde (m)
0 - 0.1	0.1 - 0.5
0.1 - 0.5	0.5 - 1
0.5 - 1.5	1 - 2
1.5 - 3	2 - 4
3 - 5	4 - 6
	>6

Skredfarekartlegging Svalbard

Utvalgte modelleringsresultater
Vindodden, Øst

A3 1:10 000
Kunde: Longyearbyen Lokalstyre og
Store Norske

Oppdragsnummer: 713525

Utført: MARIAH/MHP	Godkjent: KURF
Kontrollert: JOL	

Dato: 05-04-2017	Kart nr: D_V_02
------------------	-----------------

