



RAPPORT

# Vemorktoppen koblingsstasjon, Rjukan

SKREDFAREVURDERING

DOK.NR. 20150670-01-R

REV.NR. 0 / 2016-01-25

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

## Prosjekt

Prosjekttittel: Vemorktoppen koblingsstasjon, Rjukan  
Dokumenttittel: Skredfarevurdering  
Dokumentnr.: 20150670-01-R  
Dato: 2016-01-25  
Rev.nr. / Rev.dato: 0 / -

## Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Statnett SF  
Kontaktperson: Jan Bergseng  
Kontraktreferanse: KON-000269(13/01444)

## for NGI

Prosjektleder: Arni Jonsson  
Utarbeidet av: Arni Jonsson, Galina Ragulina, Peter Gauer  
Kontrollert av: Ulrik Domaas

## Sammendrag

NGI har blitt bedt om å redegjøre for skredfaren i området ovenfor Vemorktoppen koblingsanlegg samt å vurdere mulige sikringstiltak og estimere kostnad. I dokumentet "Sikkerhet mot naturpåkjenninger på Statnett sine stasjonsanlegg" fra Statnett SF framgår det at byggverk i flomutsatte områder skal være i sikkerhetsklasse F3 og i sikkerhetsklasse S1 for skredusatte områder. Dette gjelder for ubemannede stasjonsanlegg.

Klimastatistikken viser at nedbør av betydning (over 10 mm/døgn) vanligvis kommer fra vestlig sektor om vinteren og at mye nedbør (over 30 mm/døgn) i det varme halvåret kommer fra alle retninger med hovedvekt fra sørlig og til dels østlig sektor. Klimastatistikken viser også at det forekommer værforhold som kan føre til flom- og jordskred og sjeldnere til sørpeskredfare.

I arbeidsperioden ble mulig masseføring og hastigheter på flomskred ned mot anlegget studert. Likeledes ble sikringstiltak (voll/kanal) mot flom- og sørpeskred vurdert og skissert. Frekvensen av flom- og sørpeskred hendelser er vurdert å være lavere enn sikkerhetskravet for anlegget, derfor er sikringstiltak ikke inkludert i dette dokumentet.

## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>5</b>
1.1	Grunnlag for vurderingene	5
1.2	Befaring	5
1.3	Begrensninger og forbehold	5
1.4	Datagrunnlag	5
1.5	Tidligere arbeid	5
1.6	Beregningsmodeller	6
1.7	Sikkerhetskrav	6
<b>2</b>	<b>Sammenstilling av områdets egenskaper</b>	<b>6</b>
2.1	Topografi	6
2.2	Berg og løsmasse	8
2.3	Klimatiske forhold	9
<b>3</b>	<b>Ingeniørgeologiske/geotekniske/hydrogeologiske utfordringer</b>	<b>23</b>
3.1	Sikkerhetsnivå og gjentakelsesintervall	23
3.2	Snøskred, drivsnø og krefter fra snøsig	23
3.3	Steinsprang	23
3.4	Sørpeskred	24
3.5	Flom og jordskred	25
3.6	Overflatevann	27
<b>4</b>	<b>Avsluttende kommentarer</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>Referanse</b>	<b>28</b>

## Kontroll- og referanseside

# 1 Innledning

Statnett SF er i gang med ombygging av Vemorktoppen koblingsstasjon i Rjukan. Stasjonen ligger ca. 850 moh. På NVE Atlas er det vist potensiell jord- og flomskredfare i området ovenfor koblingsstasjonen.

Statnett SF har henvendt seg til NGI om ekspertise for å redegjøre for skredfaren i området samt å vurdere mulige sikringstiltak og estimere kostnad.

## 1.1 Grunnlag for vurderingene

Målet med oppdraget er å vurdere fare for snøskred, sørpeskred, steinsprang og flom- og jordskred i området ovenfor koblingsstasjonen.

## 1.2 Befaring

Området var befart den 25. september 2015 av Asgeir Midtbøen (AM) fra Statnett SF, og Galina Ragulina (GR) og Arni Jonsson (AJ) fra NGI. Informasjon fra befaringen er lagt til i ulike avsnitt.

## 1.3 Begrensninger og forbehold

Skredfarevurdering og foreslåtte sikringstiltak er gjennomført etter beste skjønn og er basert på informasjon som er tilgjengelig per dags dato. Dersom ny informasjon om snø- eller skredforhold skulle bli tilgjengelig kan det bli nødvendig å endre vurderingenes konklusjoner.

Dette dokumentet er ikke en geoteknisk rapport.

## 1.4 Datagrunnlag

Vurderingene i dette dokumentet er bl.a. basert på:

- ↗ Kartverkets digitale høydemodell (DEM) med 10 m oppløsning for hele landet.
- ↗ Flybilder, Topografisk kart m.m. fra digitale karttjenester.
- ↗ Lidar data (punktsky) av området tilsendt fra Statnett SF.
- ↗ Klimaanalysen er værdata fra met.no hentet fra eklima.no og gamle NGI rapporter fra Rjukan området.
- ↗ Opprinnelig e-post fra Statnett SF med informasjon om oppdraget og div. dokumentasjon. Ved oppstart ble den fulgt opp med diverse andre e-poster.

## 1.5 Tidligere arbeid

NGI har ikke kjennskap til at det har blitt utarbeidet skredfarevurdering for dette området før.

## 1.6 Beregningsmodeller

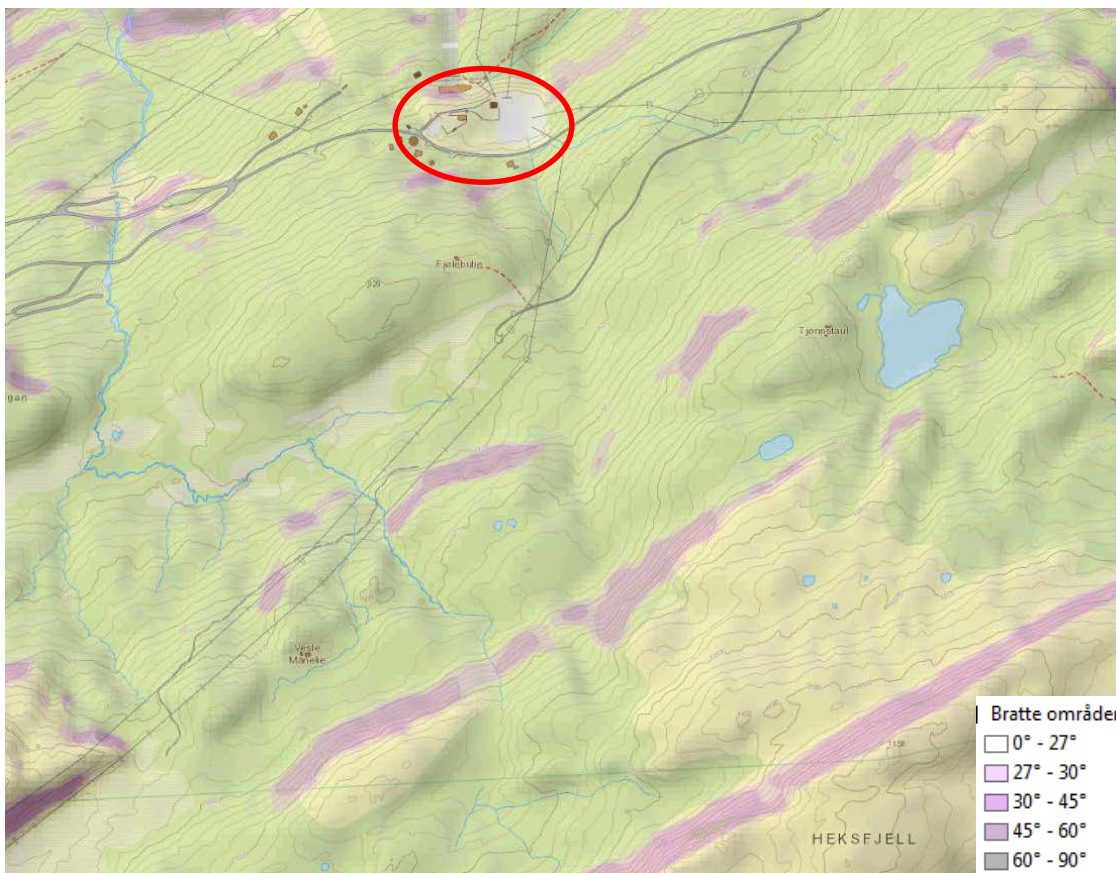
RAMMS-modellen [1] er brukt her som hjelpemiddel for å beskrive flomskred.

## 1.7 Sikkerhetskrav

Statnett SF har utarbeidet "Teknisk spesifikasjon" for sikkerhet mot naturpåkjenninger som bl.a. sier at stasjonene skal oppfylle de materielle kravene i TEK10. Dette dokumentet er ett av grunnlagsdokumentene.

# 2 Sammenstilling av områdets egenskaper

## 2.1 Topografi



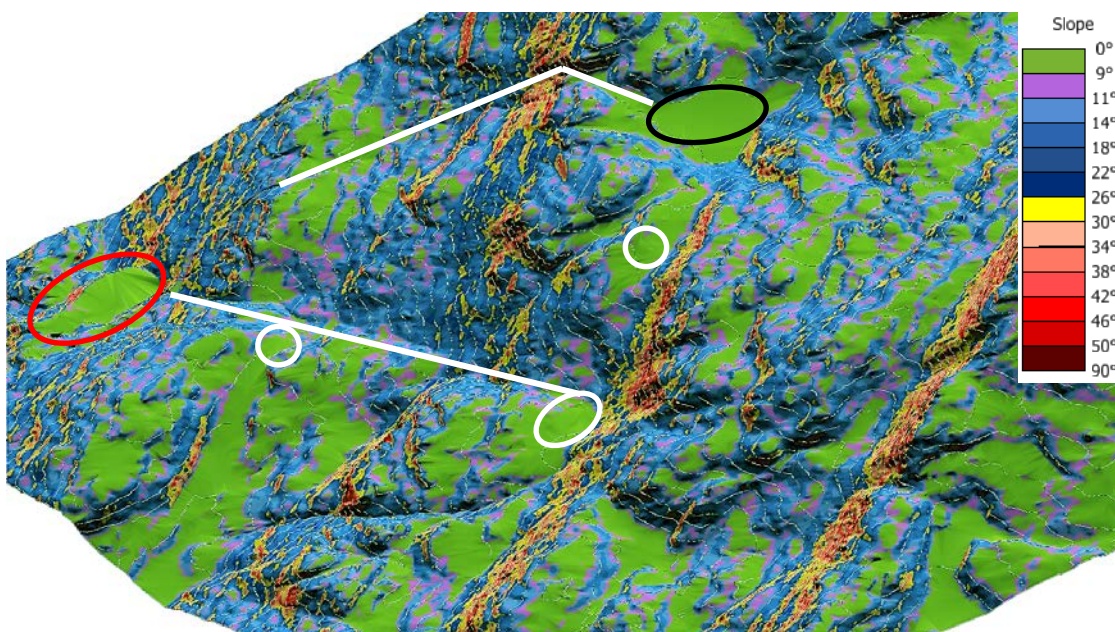
Figur 1. Kartet viser området mellom Vemorktoppen koblingsanlegg (rød ellipse) og Heksfjell toppen nederst på figuren.

Koblingsanlegget ligger i ca. 852 moh. i en N- til NØ-ventd fjellside og på en gammel tunnelmasse i en liten forsenkning (Figur 1 og Figur 2). Forsenkningen fører opp til ca.



990 moh. og slutter ved en myr og en bratt skrent. En bekk renner i forsenkningen. Like ovenfor koblingsanlegget opp til ca. 920 moh. er terrenghelningen mellom ca. 15° og 30° med noen steder mye brattere og andre steder flatere. Ved kote ca. 914 moh. er en myr som hovedsaklig har helning mot vest, men en liten del har helning mot øst til forsenkningen. Vest for forsenkningen er terrenget relativt flatt opp til ca. 925 moh., men østsiden av forsenkningen har en helning mellom ca. 15° og 30° opp til ca. 990 moh. Lite skar/bekk kommer ned til forsenkningen fra øst, fra en annen liten myr.

Generelt kan det sies at de fleste flate områdene har myr, men bare en liten del vann renner inn til forsenkningen og ned mot koblingsanlegget.



Figur 2. Skråbilde av terrengmodell med helningskart fra området. Rød ellipse viser koblingsanlegget i dag. Høydekurver i terrenget har 5 m avstand. Hvite ellipser viser observerte myrområder som vann renner fra og hvite strek viser i grove trekk små bekker som renner ned mot anlegget. Svart ellipse viser vann/demning som har utløp delvis ned mot anlegget.

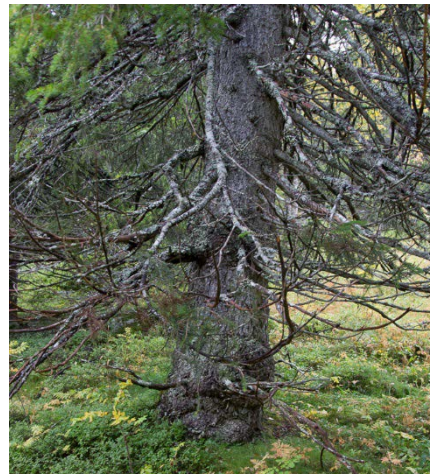
Øst på området er det en utgravid grøft som samler grunn- og overflatevannet i fjellsiden og fører det langs veien til forsenkningen og så videre forbi koblingsanlegget til tunnel vest for koblingsanlegget.

Størrelsen på nedbørsfeltet som fører til området ved koblingsanlegget er rundt 40 ha.

Området er vokst med gran- og bjørkeskog opp til ca. 1000 moh. Ovenfor er det glissen bjørkeskog i dette området.

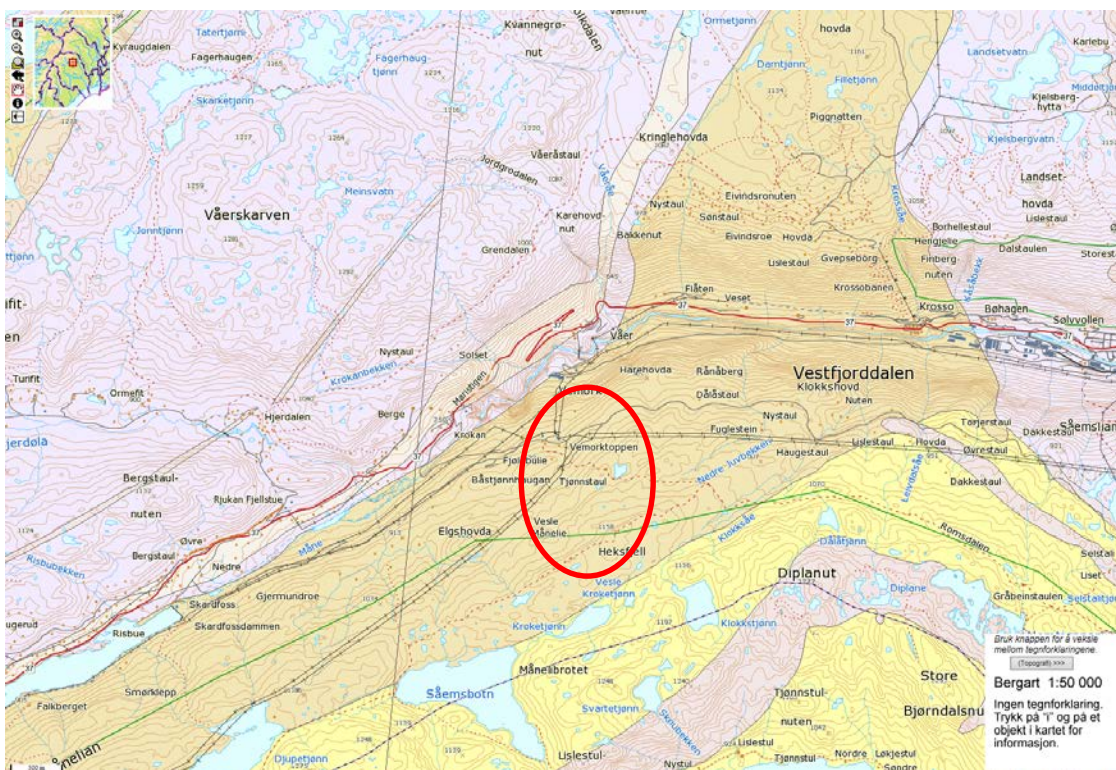
Langs forsenkningen var det relativt glissen skog, men innslag av gamle trær. AM estimerte at enkelte trær kunne være 200-300 år gamle (Figur 3) og mye av skogen var mest sannsynlig over 100 år gammel.

Det var ikke mulig å se noen spor i vegetasjonen etter sørpe- eller flomskred som har kommet ned forsenkningen i trærnes levetid. Avsetninger fra flomskred er heller ikke synlige fra digital terrengmodell.



Figur 3. Eksempel på trestamme i nærheten av bekken. Diameter er ca. 0,7 m.

## 2.2 Berg og løsmasse

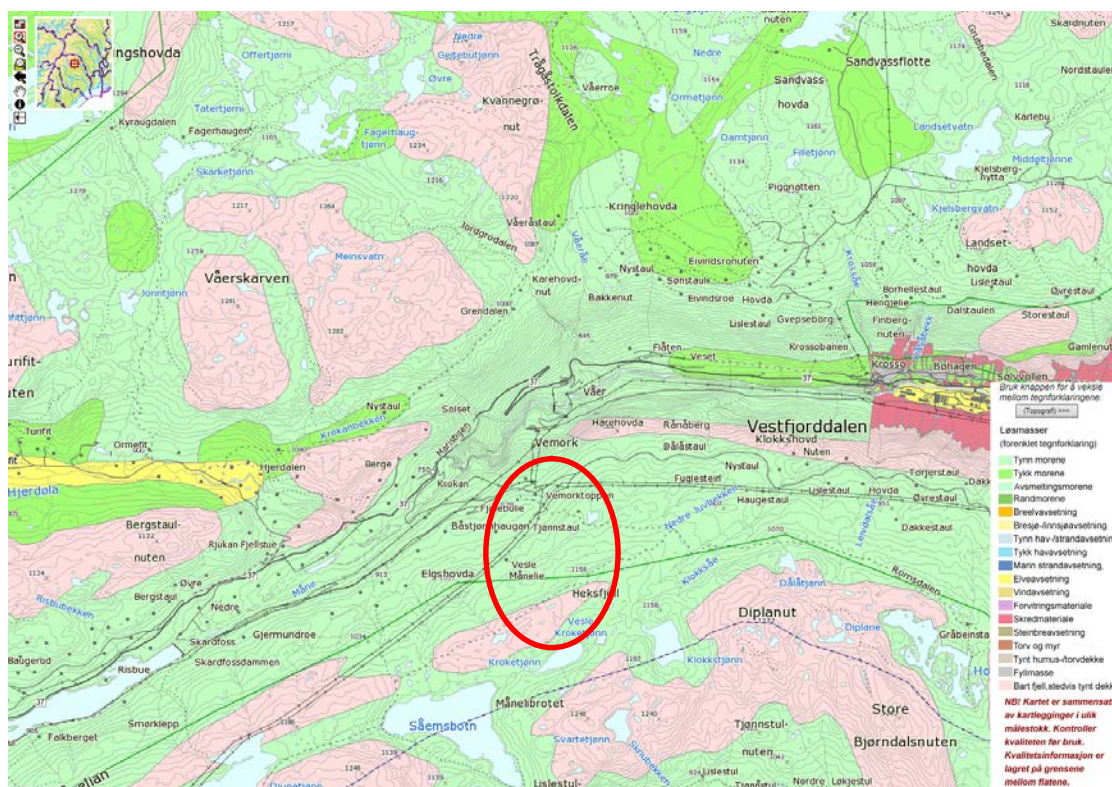


Figur 4. Berggrunnskart av området rundt Vemorktoppen. Rød ellipse viser undersøkelsesområdet. Kilde: [geo.ngu.no/kart/berggrunn](http://geo.ngu.no/kart/berggrunn), den 2015-09-29.



Tabell 1. Beskrivelse av bergartsflate fra [geo.ngu.no/kart/berggrunn](http://geo.ngu.no/kart/berggrunn), den 2015-09-29.

Bergartsbeskrivelse	Dekkeenhet	Geologisk gruppe	Geologisk formasjon
Metabasalt, metatuff, foliert, stedvis med kvartsittlag, kvartsskifer ( ) og konglomerat ( )	-	-	-



Figur 5. Løsmassekart av området rundt Vemorktoppen. Rød ellipse viser undersøkelsesområdet. Kilde: [geo.ngu.no/kart/berggrunn](http://geo.ngu.no/kart/berggrunn), den 2015-09-29.

Løsmassekartet viser at det er først og fremst tynn morene og/eller avsmeltingsmorene som er i anleggsområdet. På mange av de flate områder ovenfor er myr (ref. Figur 2) og/eller våte områder, men det er ikke mulig å si hvor tykt laget er uten grunnundersøkelser.

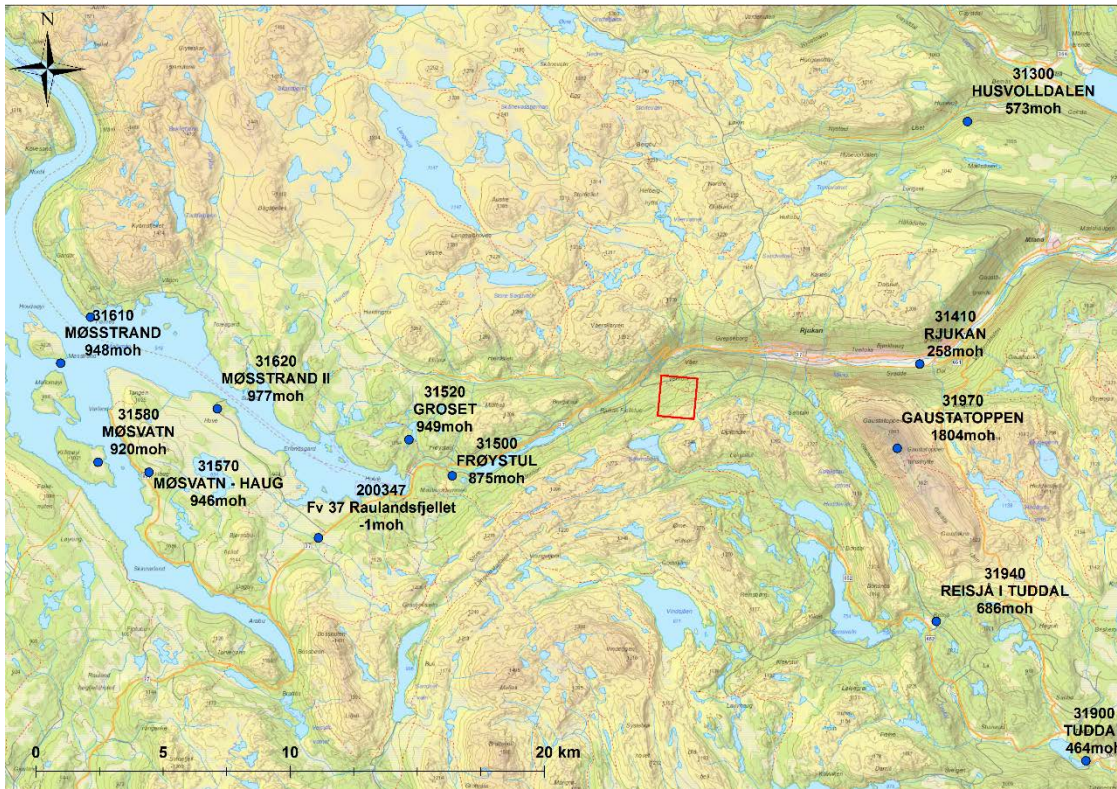
### 2.3 Klimatiske forhold

De nærmeste meteorologiske stasjonene til vurderingsområdet er vist i Figur 6.

Vi valgte 4 stasjoner med målingsperioder over 17 år for å analysere klimatiske forhold ved Vemorktoppen koblingsstasjon: 31410 Rjukan, 31500 Frøystul, 31970 Møsstrand II og 31970 Gaustatoppen. Alle ligger 10-12 km fra koblingsstasjonen, bortsett fra Møsstrand II som ligger ca. 22 km vest for området og på samme høyde som

undersøkellesområdet. Derfor kan værforholdene antas å være relativt like. Nedbør-  
 mengdene og temperaturene er sannsynligvis noe mer sammenlignbare enn vinden som er  
 avhengig av lokale effekter.

Opplysninger om stasjonenes driftsperioder, datatilgjengelighet og type, er gitt i Tabell  
 2.



Figur 6. Kart over meteorologiske stasjoner i nærheten av det vurderte området (markert med rød polygon).

Tabell 2. Informasjon om nærmeste meteorologiske stasjoner.

Stasjonsnr	Stasjonsnavn	Hoh, m	Type	Driftsperiode	Data tilgjengelige
31410	Rjukan	258	Nedbørstasjon	Fra 01.10.1920	Fra 01.01.1957 (snødybde fra 2004)
31500	Frøystul	875	Nedbørstasjon	Fra 01.01.1931	01.01.1957-09.07.1993
31520	Groset	949	Nedbørstasjon	11.03. - 09.10.1956	11.03. - 09.10.1956
31620	Møsstrand II	977	Værstasjon	Fra 01.11.1980	Fra 01.11.1980 (snødybde 1981-2006 og 2014-2015)
31970	Gaustatoppen	1804	Værstasjon	Fra 01.09.1953	01.01.1957 – 30.09.1974

I tidligere NGI-rapporter for Rjukanområdet (20031405-01 [2] og 20011207-01 [3]), ble detaljerte studier av klimatiske forhold utført i forbindelse med snøskredfarevurderinger. Noen av studienes resultater er brukt i denne rapporten.

Det er mengden av nedbør på kort tid som vanligvis avgjør faren for både snøskred, sørpeskred og flomskred/jordskred, og som også har betydning for steinsprangfaren. Vanligvis regner vi med at mellom 0,5-1 m snø i løpet av tre døgn kan utløse snøskred når det fra tidligere ligger snø i terrenget (1 cm snø tilsvarer normalt 1 mm nedbør). Samtidig er det kombinasjonen av det gamle snødekkets stabilitet og ny nedbørmengde som bestemmer sannsynlighet for snøskredutløsning. Tynt snødekke i forbindelse med lengre kuldeperioder uten snøfall fører ofte til snøforhold som kan gi skred.

Sørpeskred kan utløses som følge av sterkt regnvær på snødekket mark, helst tidlig på vinteren, etter lengre kuldeperioder med lite snø, eller etter sterk oppvarming (tøvær) på senvinteren eller på våren.

Jordskred/flomskred kan utløses når ettdøgnsnedbøren overstiger ca. 8% av normalnedbøren for vedkommende område. I dette tilfellet tilsvarer en slik nedbørmengde mellom ca. 65 mm og 75 mm ved stasjoner nær Vemorktoppen (Tabell 3).

Steinsprang og steinskred går også ofte som følge av store regnmengder, men her er nedbørmengdene i mindre grad relatert til faren for skred. Steinsprang er ikke relevant skredtype for det vurderte området ved Vemorktoppen i Rjukan.

Rjukan ligger i en del av landet som har forholdsvis moderat nedbør, områdene fra Rjukan og opp til ca. 1000 m over havet får mellom 800 – 950 mm årlig nedbør mens Gaustatoppen har en årsnormal på 1340 mm. Tabell 3 viser nedbørtall fra de nærmeste stasjonene rundt Rjukan både for hele året og separat for vinter og sommer samt årlige nedbørnormaler for 1961-90. I snøskreddistriktene på Vestlandet er årsnedbøren ofte det

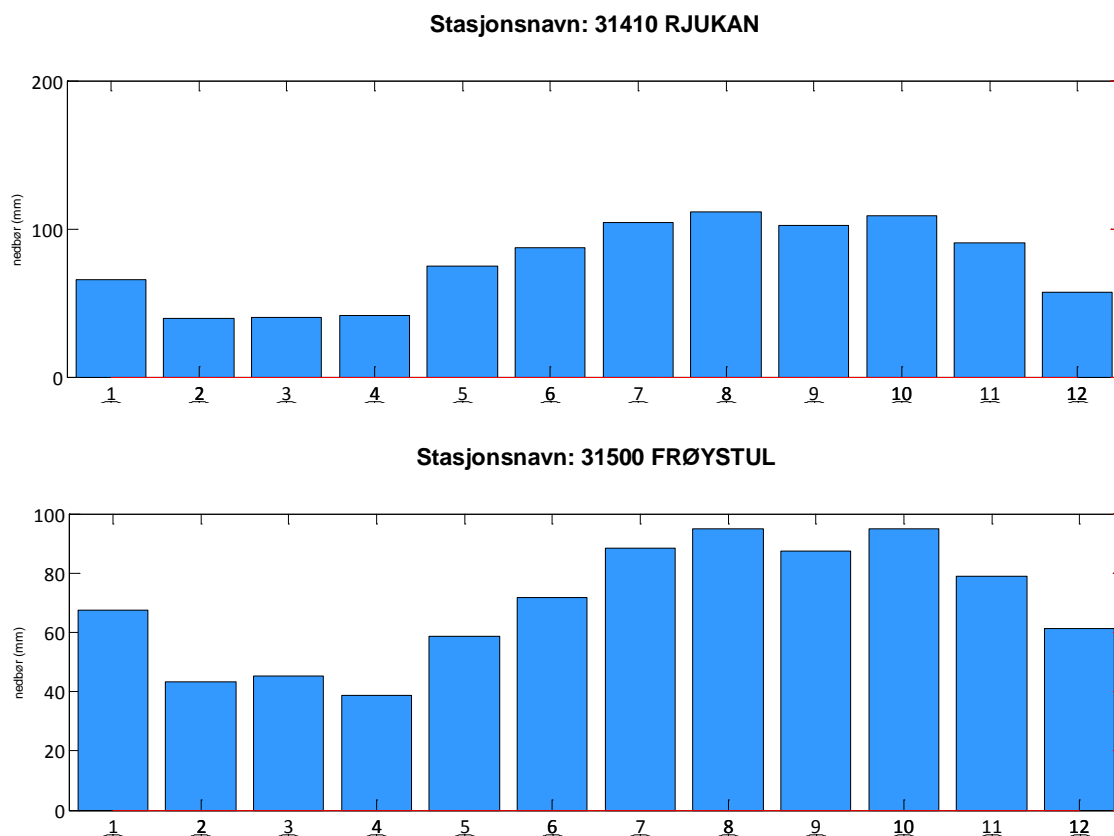


dobbelte av dette. Nedbørførende vinder fra vest taper mesteparten av nedbøren når de passerer fjellene og kommer frem til Gaustatoppen.

Tabell 3. Årlige nedbørsgjennomsnittsverdier i løpet av driftsperiodene ved utvalgte stasjoner

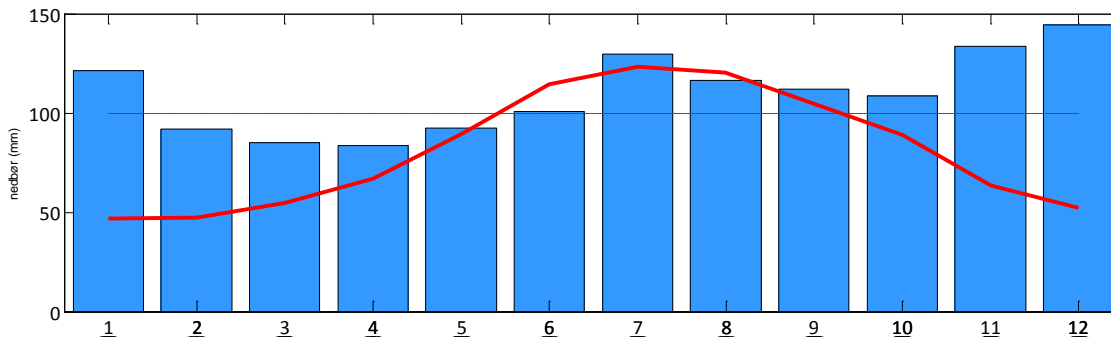
Stasjonsnr og navn	Årsnedbør	Vinter- nedbør	Sommer- nedbør	Nedbørnormaler 1961-90 (årlige)	8% av årsnedbør
31410 Rjukan	923 mm	403 mm	521 mm	834 mm	74 mm
31500 Frøystul	831 mm	391 mm	440 mm	848 mm	66 mm
31620 Møsstrand II	835 mm	406 mm	429 mm	860 mm	67 mm
31970 Gaustatoppen	1321 mm	685 mm	635 mm	1340 mm	106 mm

Ved alle stasjonene unntatt Gaustatoppen er gjennomsnittlig sommernedbør større enn vinternedbøren. Fordeling av nedbør gjennom året er vist i Figur 7, Figur 8 og Figur 9. Figur 9 viser i tillegg gjennomsnittlige verdier av lufttemperatur per måned samt vindroser.



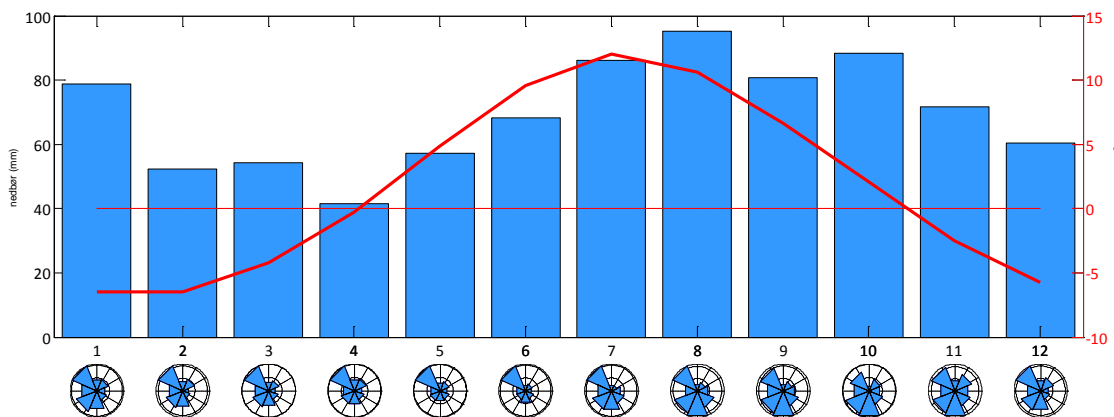
Figur 7. Nedbørsfordeling gjennom året ved Rjukan og Frøystul stasjoner.

Stasjonsnavn: 31970 GAUSTATOPPEN



Figur 8. Nedbørsfordeling gjennom året ved Gaustatoppen. Lufttemperatur er observert kun i to år på denne stasjonen. Så kort måleperiode er ikke representativ for gjennomsnittsberegninger, og derfor er temperaturkurven vist uten skala.

Stasjonsnavn: 31620 MØSSTRAND II



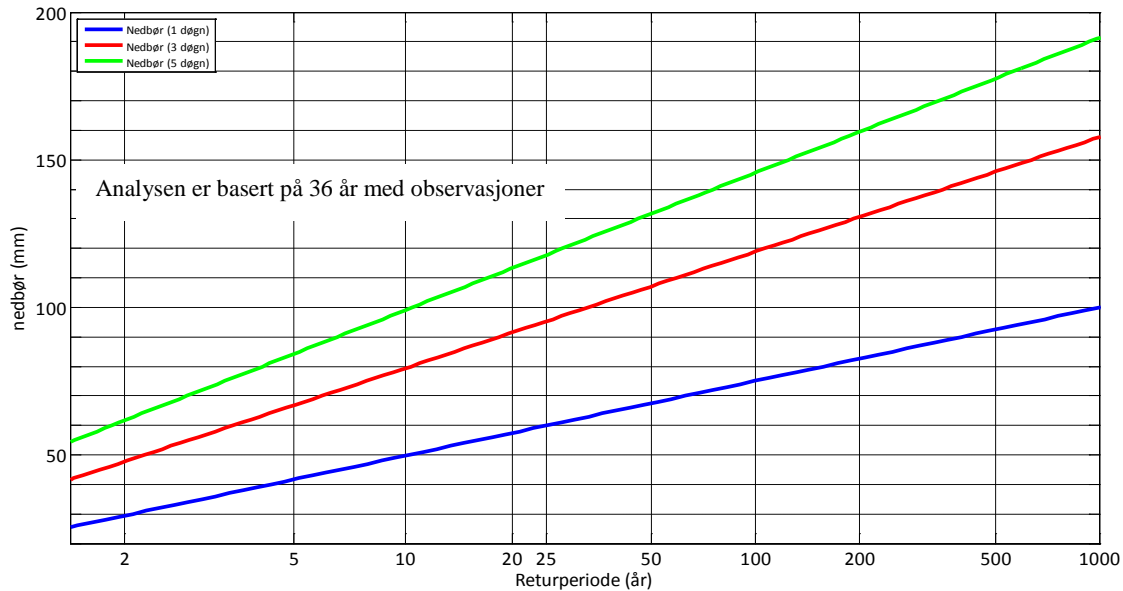
Figur 9. Klimaoversikt fra Møsstrand II stasjon med nedbørsfordeling gjennom året.

Mest nedbør kommer i månedene august til oktober, men også januar viser relativt høye nedbørmengder ved alle analyserte stasjoner.

Den statistiske forventede ekstremnedbøren ved Frøystul for vinterhalvåret (oktober-mars) og for sommerhalvåret (april-september) er vist i Figur 10 og Figur 11 henholdsvis. Det kan forventes ca. 120 mm nedbør på tre døgn i vinterhalvåret med gjentaksintervall på 100 år. Denne nedbørmengden tilsvarer ca. 1,2 m snø. Ved slike snømengder på kort tid er det stor fare for at snøskred kan bli utløst.

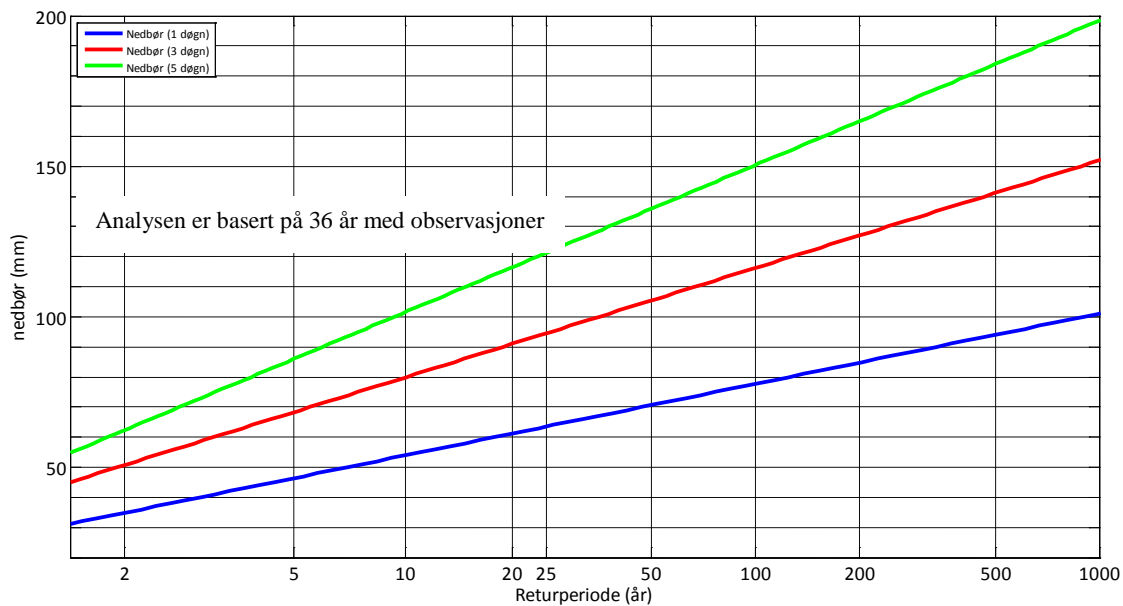


**Stasjonsnavn 31500 FRØYSTUL**



Figur 10. Forventet ekstremnedbør med forskjellige gjentaksintervaller i vinterhalvåret.

**Stasjonsnavn 31500 FRØYSTUL**



Figur 11. Forventet ekstremnedbør med forskjellige gjentaksintervaller i sommerhalvåret.

Forventet ekstremnedbørmengder i sommerhalvåret er litt lavere enn for vinterhalvåret, selv om gjennomsnittlige summer av observert nedbør (Tabell 3) viser mer nedbør om sommeren. Likevel overstiges 8 %-terskelen (66 mm; Tabell 3) ca. 3-4 ganger hvert hundre år. Dette er bekreftet av observasjoner: i løpet av 36 år da ble terskelen oversteget to ganger (Tabell 4).

Tabell 4. De ti høyeste verdiene av observert nedbør ved Frøystul stasjon i løpet av driftsperiode på 36 år (RR1 – ettdøgnsnedbør; RR3 – tredøgnsnedbør; RR5 – femdøgnsnedbør; SA - snøhøyde)

RR1 (mm)		RR3 (mm)		RR5 (mm)		SA (cm)	
Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:
71.6	04/07/1988	103.9	06/11/1957	145.2	05/09/1968	157.0	08/04/1967
69.2	17/10/1983	102.1	06/07/1988	135.4	04/09/1968	154.0	09/04/1967
64.5	28/09/1981	95.4	31/10/1990	122.6	08/07/1988	153.0	10/04/1967
62.3	21/09/1981	93.0	04/09/1968	120.5	06/11/1957	153.0	07/04/1967
58.9	04/12/1992	92.8	05/09/1968	117.7	06/09/1968	152.0	12/04/1967
56.5	01/08/1965	89.3	17/08/1959	117.3	07/07/1988	149.0	06/04/1967
54.6	16/10/1987	88.8	19/10/1983	114.4	16/10/1987	147.0	13/04/1967
54.5	09/10/1987	87.9	16/08/1959	113.0	14/10/1964	147.0	11/04/1967
54.0	10/07/1970	87.8	25/10/1961	112.1	19/10/1987	143.0	03/04/1967
52.1	28/10/1959	87.1	07/11/1957	112.0	07/11/1957	143.0	29/03/1967

De ti høyeste verdiene av observert nedbør ved andre analyserte stasjoner (Rjukan, Gaustatoppen og Møsstrand II) er listet i Tabell 5, Tabell 6 og Tabell 7. Ved disse stasjonene ble 8 %-terskelen ikke oversteget i løpet av tilgjengelige-data-perioder. Siden Møsstrand II stasjon er en værstation, inneholder Tabell 7 de ti høyeste verdiene av lufttemperatur og vindhastighet i tillegg.

Tabell 5. De ti høyeste verdiene av observert nedbør ved Rjukan stasjon i løpet av tilgjengelig periode på 59 år\* (RR1 – ettdøgnsnedbør; RR3 – tredøgnsnedbør; RR5 – femdøgnsnedbør; SA - snøhøyde)

RR1 (mm)		RR3 (mm)		RR5 (mm)		SA (cm)	
Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:
61.6	04/09/1968	113.0	28/08/2015	160.1	05/09/1968	96.0	07/03/2010
60.0	06/05/2004	105.5	05/09/1968	148.1	04/09/1968	96.0	06/03/2010
59.0	02/06/1984	104.5	17/10/1987	135.7	06/09/1968	93.0	05/03/2010
58.6	28/09/1981	102.5	06/09/1995	130.7	07/09/1968	93.0	04/03/2010
57.3	09/08/1963	101.0	27/08/2015	128.8	14/10/1964	93.0	03/03/2010
57.0	28/09/1996	101.0	30/09/1996	125.4	07/09/1995	93.0	02/03/2010
57.0	18/08/1970	98.8	06/09/1968	125.0	06/09/1995	93.0	01/03/2010
54.6	07/09/1965	98.5	04/09/1968	124.2	13/10/1964	93.0	28/02/2010
54.4	04/07/1978	97.7	11/11/1961	122.2	17/10/1987	91.0	27/02/2010
53.0	22/06/2013	94.0	05/09/1995	121.0	12/10/1964	91.0	26/02/2010

\*Kun 12 år med snøhøydeobservasjoner.

Tabell 6. De ti høyeste verdiene av observert nedbør ved Gaustatoppen stasjon i løpet av tilgjengelig periode på 18 år (RR1 – ettdøgnsnedbør; RR3 – tredøgnsnedbør; RR5 – femdøgnsnedbør)

RR1 (mm)		RR3 (mm)		RR5 (mm)	
Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:
86.5	08/06/1961	188.2	06/11/1957	228.6	06/11/1957
78.5	30/01/1966	151.1	06/11/1957	220.4	07/11/1957
77.2	14/01/1967	147.6	07/11/1957	189.6	08/11/1957
71.9	05/11/1957	147.6	07/11/1957	189.6	07/11/1957
69.5	06/12/1966	135.9	14/01/1965	188.2	09/11/1957
63.7	19/06/1972	126.3	05/11/1957	188.2	08/11/1957
63.3	06/11/1957	113.9	05/11/1957	183.3	06/11/1957
62.9	07/08/1972	109.3	08/12/1966	178.0	17/01/1965
57.5	11/01/1965	108.9	09/08/1972	176.5	16/01/1965
57.4	28/10/1959	107.4	09/08/1972	165.3	05/11/1957

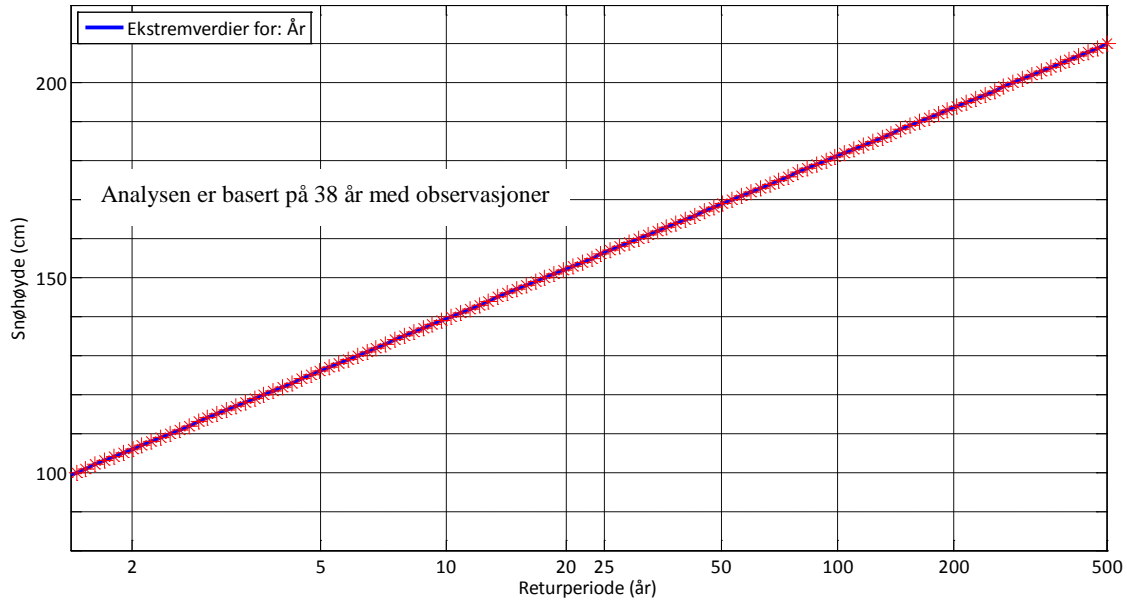
Tabell 7. De ti høyeste verdiene av observerte parametere ved Møsstrand II stasjon i løpet av driftsperiode på 35 år\* (TA – lufttemperatur; FF – vindhastighet; RR1 – ettdøgnsnedbør; RR3 – tredøgnsnedbør; RR5 – femdøgnsnedbør; SA - snøhøyde)

TA (°C)		FF (m/s)		RR1 (mm)		RR3 (mm)		RR5 (mm)		SA (cm)	
Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:
27.0	06/07/1991	28.6	23/03/2011	48.2	20/07/2008	75.7	05/08/1984	108.3	06/08/1984	212.0	24/01/1993
26.4	04/07/2009	23.9	14/02/2012	48.1	07/07/2008	75.7	05/08/1984	102.4	06/07/1988	205.0	25/01/1993
26.0	02/07/1986	23.4	23/03/2011	47.2	30/09/1982	75.4	04/08/1984	102.2	07/07/1988	203.0	26/01/1993
26.0	01/07/1986	23.1	17/02/2008	44.1	25/07/2005	71.5	05/07/1988	101.8	16/01/1993	201.0	27/01/1993
26.0	30/06/1986	22.6	08/02/2015	42.5	28/09/1996	68.1	17/10/1987	101.7	07/08/1984	201.0	23/01/1993
25.9	03/07/2009	22.6	05/04/2007	40.4	24/06/2003	66.6	17/10/1987	101.4	17/01/1993	201.0	22/01/1993
25.6	07/07/1991	22.6	15/11/2001	39.7	03/07/1988	66.2	03/08/1984	99.5	30/09/1982	200.0	29/01/1993
25.5	01/07/1986	22.6	14/02/1999	39.5	06/06/1985	64.4	14/01/1993	98.9	14/01/1993	200.0	28/01/1993
25.2	07/07/1991	22.3	24/03/2011	39.5	22/04/1983	64.2	16/10/1987	98.6	08/07/1988	199.0	16/01/1993
25.0	20/07/2013	22.1	10/01/2015	38.9	03/08/1984	64.1	30/09/1982	97.9	06/08/1984	198.0	31/01/1993

\*Snøhøyde er observert i 28 år (1981-2006 og 2014-2015).

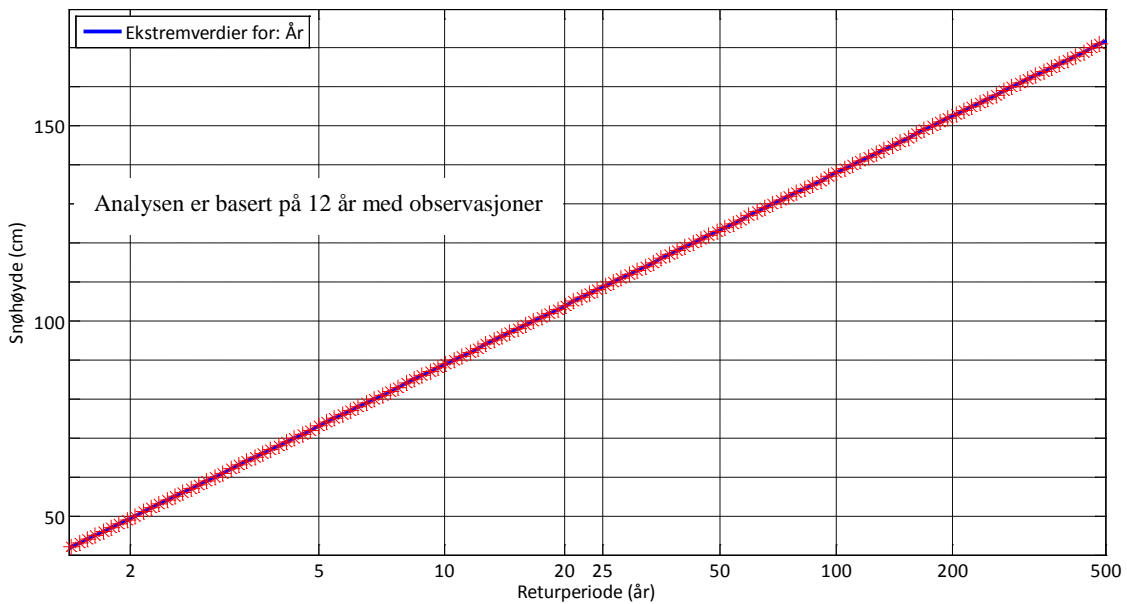
Forventninger for snøhøyde med gjentaksintervaller opptil 500 år ved Frøystul, Rjukan og Møsstrand II stasjoner er vist i Figur 12, Figur 13 og Figur 14 henholdsvis. Det er forventet snøhøyden på ca. 210 cm enn gang per 500 år i gjennomsnitt ved Frøystul, ca. 170 cm ved Rjukan og ca. 310 cm ved Møsstrand II.

**Stasjonsnavn 31500 FRØYSTUL**



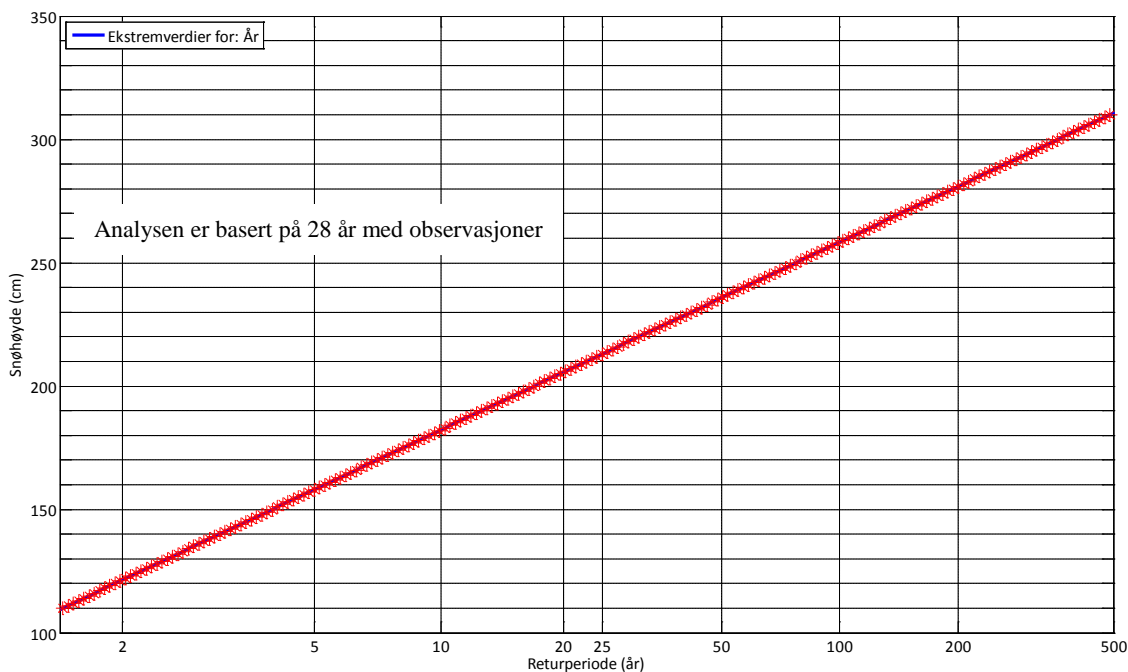
Figur 12. Forventet snøhøyde med forskjellige gjentaksintervaller.

**Stasjonsnavn 31410 RJUKAN**



Figur 13. Forventet snøhøyde med forskjellige gjentaksintervaller.

Stasjonsnavn 31620 MØSSTRAND II



Figur 14. Forventet snøhøyde med forskjellige gjentaksintervaller.

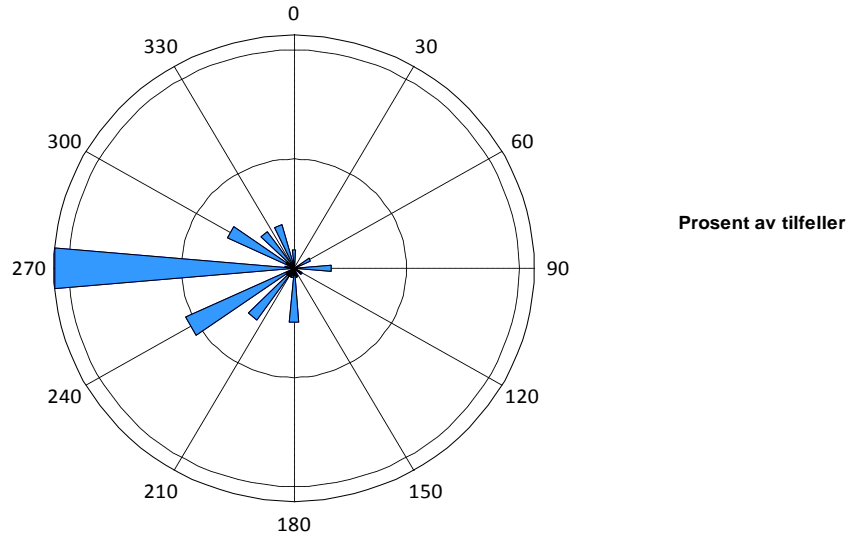
En gjennomgang av tilgjengelig klimadata utført i NGI-rapport nr. 20011207-01 [3] i 2001 viser at en for Gaustatoppområdet kan forvente mellom 1 og 5 store snøskred i en hundreårsperiode. Det vil si at det forventes et stort snøskred hvert 20 til 100 år i gjennomsnitt. Aktiviteten av mindre snøskred som løsner fra Gaustatoppen vil være en del større.

Utløsning av snøskred er gjerne en kombinasjon av sterk nedbør og vind i løpet av kort tid sammen med snødekkets forhistorie. Dersom det blåser rett mot ei fjellside, vil det normalt ikke avlagres noe snø i en slik skråning mens skråninger som ligger i lé for vinden kan få mangedoblet snøtilvekst. Videre vil også vindstyrken ha en stor betydning, ved vindhastigheter under 5 m/s er snødriften minimal. Snødriften øker med tredje potens av vindhastigheten. Det betyr at dersom vinden øker fra 10 m/s (frisk bris) til 20 m/s (sterk kuling), vil snødriften åttedobles ( $2^3=8$ ).

Fjellsider som ligger i le for de vanligste nedbørførende vindretningene har flest snøskred. Der fjellsidene vender mot vinden eller ligger parallelt med vinden blåser snøen gjerne bort. Vindrosen for Møsstrand II for tilfeller av vind sterkere enn 5 m/s som kommer med nedbør større enn 10 mm/døgn, med lufttemperatur under 0°C og 10 cm snø på bakken er vist i Figur 15. Oftest kommer vinden mot eller parallelt med den vurderte fjellsiden, dvs. fra vestlig retning.



Stasjonsnavn: 31620 MØSSTRAND II



Spøringsparameter:

Lufttemperatur < 0 °C  
 Vindhastighet > 5 m/s  
 Snøhøyde > 10 cm

Nedbør (1 døgn) > 10 mm  
 Nedbør (3 døgn) > 0 mm  
 Nedbør (5 døgn) > 0 mm  
 Vindsektor 0 til 360 degr.

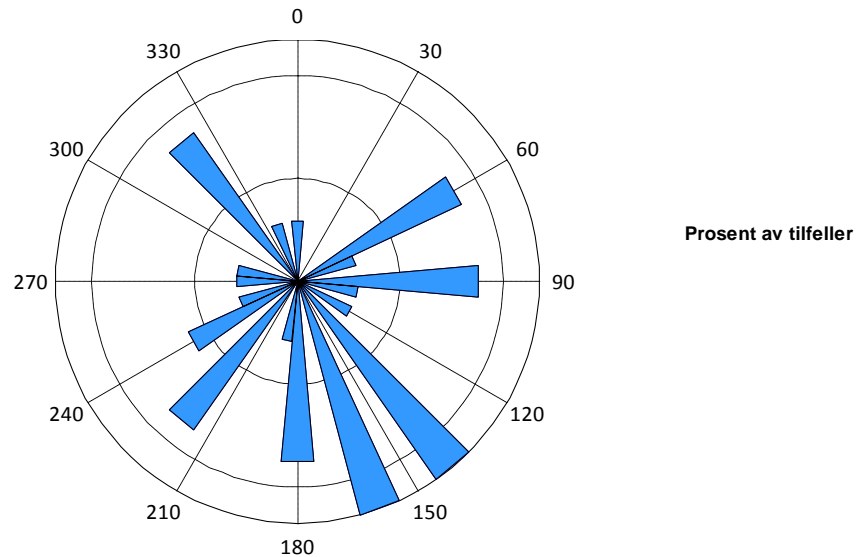
Valgt periode: all/all/all til all/all/all  
 Antall tilfeller funnet i perioden: 87 av 41559

Data tilgjengelig fra 1/11/1980 til 17/10/2015  
 Totalt antall observasjoner: 41559

Figur 15. Vindrosen ved Møsstrand II når det er minst 10 cm snø på bakken, lufttemperatur er under 0°C og vind som er sterkere enn 5 m/s, kommer med nedbør større enn 10 mm/døgn.

Når det gjelder faren for jordskred/flomskred og sørpeskred er faren størst i fjellsider som vender *mot* vinden. Vindretningene når det er plussgrader og vind kommer med nedbør større enn 10 mm/døgn ved Møsstrand II stasjon, er vist i Figur 16. Da kommer vind fra alle retninger med litt større vekt fra sørlig sektor.

**Stasjonsnavn: 31620 MØSSTRAND II**



<b>Spøringsparameter:</b>		Nedbør (1 døgn)	>	30 mm	
Lufttemperatur	>	0 °C	Nedbør (3 døgn)	>	0 mm
Vindhastighet	>	1 m/s	Nedbør (5 døgn)	>	0 mm
Snøhøyde	>	0 cm	Vindsektor		0 til 360 degr.

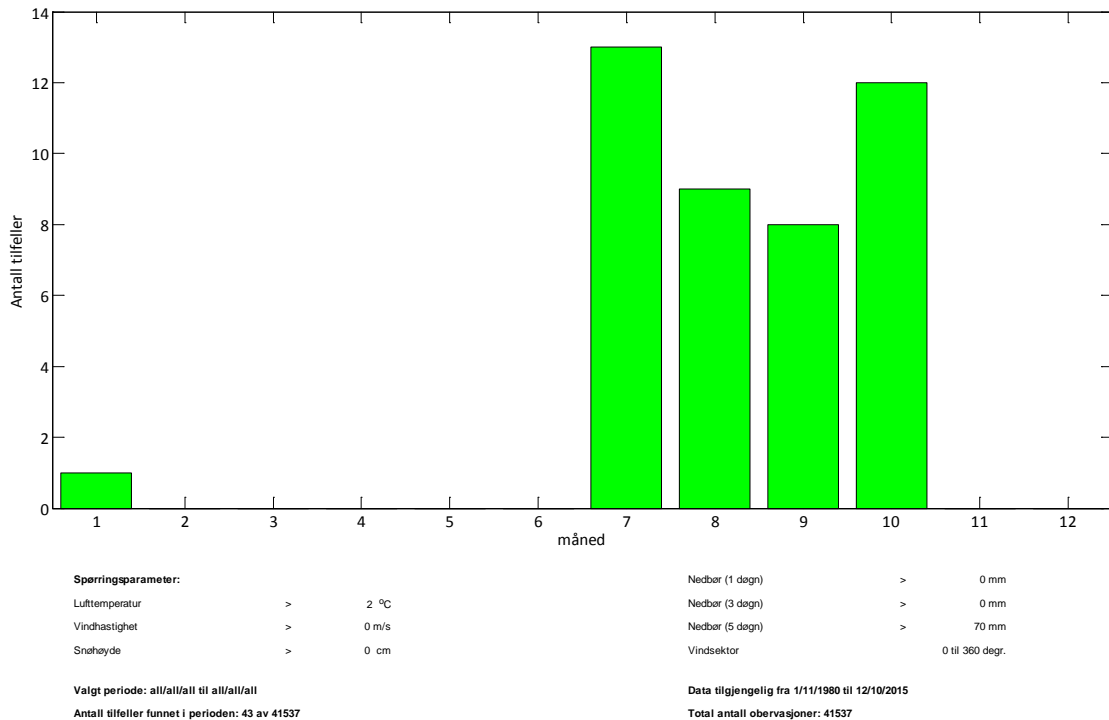
Valgt periode: all/all/all til all/all/all  
 Antall tilfeller funnet i perioden: 34 av 41559

Data tilgjengelig fra 1/11/1980 til 17/10/2015  
 Totalt antall observasjoner: 41559

*Figur 16. Vindrosen ved Møsstrand II når lufttemperatur er over 0°C og vind kommer med nedbør større enn 30 mm/døgn.*

Langvarig regn kan også forårsake jord- og flomskred samt sørpeskred om det regner på snødekke. Fordelingen gjennom året av slike tilfeller (femdøgnsnedbør over 70 mm med lufttemperatur over 2°C) er vist i Figur 17.

Stasjonsnavn: 31620 MØSSTRAND II

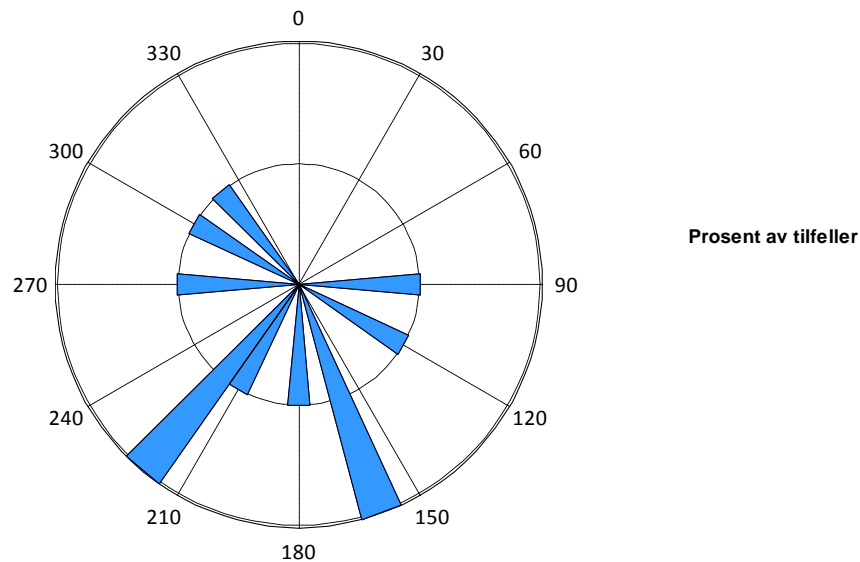


Figur 17. Fordelingen gjennom året av femdøgnsnedbør som er over 70 mm når lufttemperatur er over 2°C.

Figur 17 viser at langvarig nedbør inntreffer fra juli til og med oktober. Allikevel ble det observert slik langvarig nedbør med plussgrader i januar som kunne ha utløst sørpeskred i området.

Sannsynlighet for at et sørpeskred blir utløst, økter når det kommer varm vind og nedbør mot snødekket terreng. Vindrosen ved Møsstrand II når lufttemperatur er over 2°C, vind kommer med nedbør større enn 10 mm/døgn og det ligger 50 cm snø på bakken, er vist i Figur 18. Observasjonene viser at slike vinder kommer stort sett fra sørlig sektor.

**Stasjonsnavn: 31620 MØSSTRAND II**



<b>Spøringsparameter:</b>		Nedbør (1 døgn)	>	10 mm	
Lufttemperatur	>	2 °C	Nedbør (3 døgn)	>	0 mm
Vindhastighet	>	0 m/s	Nedbør (5 døgn)	>	0 mm
Snøhøyde	>	50 cm	Vindsektor		0 til 360 degr.
Valgt periode: all/all/all til all/all/all		Data tilgjengelig fra 1/11/1980 til 17/10/2015			
Antall tilfeller funnet i perioden: 11 av 41559		Totalt antall observasjoner: 41559			

*Figur 18. Vindrosen ved Møsstrand II når lufttemperatur er over 2°C, vind kommer med nedbør større enn 10 mm/døgn og det ligger 50 cm snø på bakken.*

**Oppsummering**

Figur 15 viser at nedbør av betydning (over 10 mm/døgn) vanligvis kommer fra vestlig sektor om vinteren. Figur 16 viser at mye nedbør (over 30 mm/døgn) i det varme halvåret kommer fra alle retninger med hovedvekt fra sørlig og til dels østlig kant. Figur 18 viser at regn på snø kommer stort sett fra sør. Dette vil si at østvendte fjellsider har flest snøskred når forholdene ellers er like, og fjellsider som vender mot sør, sørvest og til dels sørøst har størst sannsynlighet for jord/flomskred og sørpeskred.

Sammenfattet viser klimastatistikken at det forekommer værforhold som kan føre til flom- og jordskred og sjeldnere til sørpeskredfare.

### **3 Ingeniørgeologiske/geotekniske/hydrogeologiske utfordringer**

#### **3.1 Sikkerhetsnivå og gjentakelsesintervall**

I henvendelsen fra Statnett SF er vedlagt dokument om "Sikkerhet mot naturpåkjenninger på Statnett sine stasjonsanlegg". Det framgår av dokumentet at byggverk i flomutsatte områder skal være i F3 (1/1000) og for skredutsatte områder S1 (1/100), som gjelder for ubemannede stasjonsanlegg. Dette er utgangspunktet i vårt arbeid.

#### **3.2 Snøskred, drivsnø og krefter fra snøsig**

Generelt kan det sies at det er ikke fare for snøskred som kan true koblingsanlegget, fra de bratte skrentene ovenfor vei og koblingsanlegg. Grunnen er slak helning på terreng nedenfor og skred vil stanse raskt opp. Hva gjelder brattkantene like ovenfor- og nedenfor veien kan det ikke utelukkes at små skavler kan falle ned, men med begrenset rekkevidde. Nedenfor veien kan det skje ved at all vegetasjon/trær fjernes og snø kan skli ned skrenten over grøften, inn på veien og evt. inn på anlegget. Pr. i dag vet vi ikke hvordan snøen legger seg i terrenget eller hvordan evt. fonndannelser er.

Planlagt kontrollbygg er plassert på den vestre delen av området. På sør- og vestsiden av bygningsområdet er det gravet ut for å få plass for bygningen og åpent område rundt den.

På sørsiden ligger bygningen ganske nært inn til skrenten. Vi kan forvente at det legger seg snø i foten av skrenten som vil medføre at det blir lettere for små heng eller skavler som sklir ned å treffe bygget. Det samme gjelder for vestsiden, men der øker avstanden mot nord og faren er mindre.

Det er planlagt en drengroft helt inn til skrenten. En kan forvente at den er tettpakket med snø største delen av vinteren. Det betyr også at i evt. kraftige regnvær på vinterstid er drengroften neppe funksjonell og smeltevannet på våren får ikke tilgang uten at det blir laget grøfter/renner i snøen inn mot drengroften.

På vestsiden og kanskje også delvis på sørsiden kan drivsnø skape problemer. Skrenten, eller rettere sagt bergveggen er så bratt at snø kan samle seg i store mengder på lesiden i vestlige vindretninger. Det kan evt. være mulig å flate ut skrenten slik at det blir mindre sannsynlighet for fonndannelse.

#### **3.3 Steinsprang**

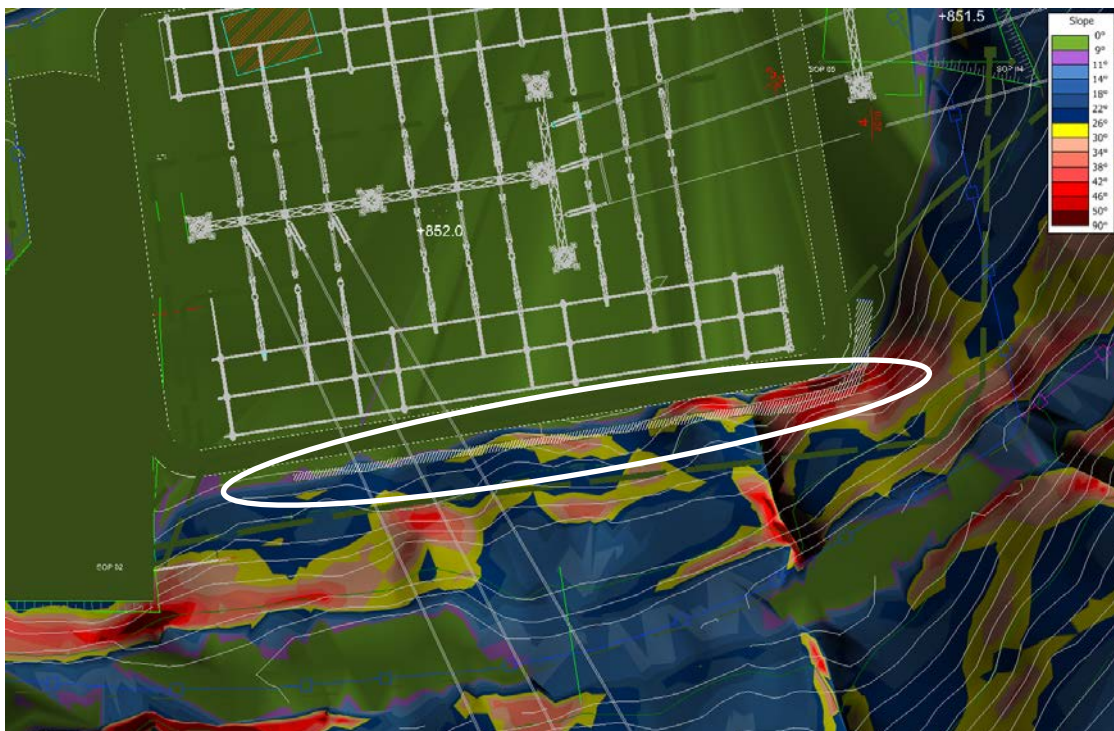
Generelt kan det sies at det er ikke fare for steinsprang, som kan true koblingsanlegget, fra de bratte skrentene ovenfor vei og koblingsanlegg. Steiner som evt. faller ned i



områdene i fjellsiden har kort rekkevidde bl.a. pga. myrområder mange steder nedenfor de bratte skrentene.

På tilsendte tegninger av koblingsanlegget er det vist sikkerhetsgjerde på veien ovenfor koblingsanlegget. Gjerdet er mest sannsynlig feil plassert på tegningen.

Det er også vist at området for koblingsanlegget blir utvidet slik at en drengroft får plass mellom vei rundt koblingsanlegget og skrenten fra veien ovenfor anlegget. Denne drengroften er vist inne i en bratt terreng, spesielt på den østre siden og det er uklart hvordan stabilitet og sikkerhet skal i varetas i anleggsfase (Figur 19). Det kan ikke utelukkes at skrenten blir ustabil under arbeidet.



Figur 19. Helningskart av området fra vei og ned til koblingsanlegget. Hvitt skravert område innen den hvite ellipsen viser planlagt plassering av drengroften.

### 3.4 Sørpeskred

I avsnitt 2.1 er det omtalt at det var ikke synlige tegn på sørpeskred i terrenget eller synlige skader på trær. Tross det ligger terrenget til rette for at det kan komme sørpeskred ned forsenkningen og det kan true planlagt koblingsanlegg ved dagens terrengforhold. Sørpeskred kan bli utløste fra flere enn ett sted langs forsenkningen.

Frekvensen av sørpeskred i forsenkningen ovenfor koblingsanlegget er mest sannsynlig lavere enn det som sikkerhetsklasse S1 stiller krav om, dvs. største nominelle årlige

sannsynligheten for skred skal ikke være høyere enn 1/100. Begrunnelse for dette er at fjellsiden er nordvendt og klimaanalysen viser at sannsynligheten er størst med sørlige vindretninger. Med bakgrunn i dette er det her ikke foreslått noe tiltak.

### 3.5 Flom og jordskred

Det gjelder det samme for flom- og jordskred som for sørpeskred, det var ikke synlige spor etter aktivitet i senere tid i området. Men på samme måte som for sørpeskred ligger terrenget til rette for at flomskred kan utløses ved "rette" forhold.

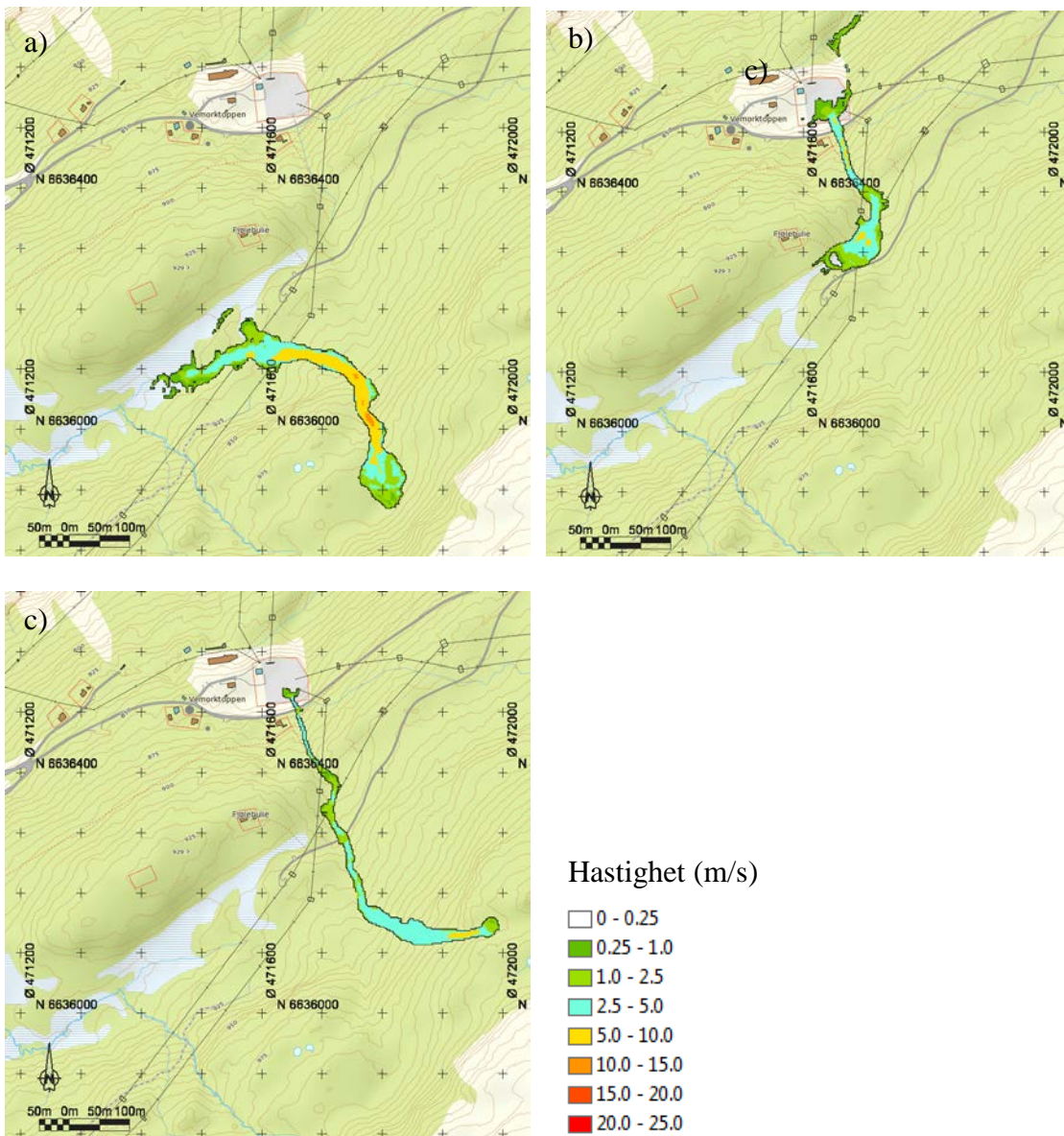
Løsmassekartet på Figur 5 stemmer godt med det som ble observert på befaringen, dvs. at mange steder er det lite løsmasse på berg, men flate områder er ganske våte og har noe mer masser. Det ble ikke foretatt graving/prøvetaking for å undersøke tykkelsen på løsmassene, men den naturlige bekken i forsenkningen og den menneskeskapte grøften/bekken vest for anlegget tyder på at løsmasselaget er tynt. Her er vårt estimat at gjennomsnittstykkelsen er rundt 0,5 m i områdene rundt bekkene.

RAMMS-modellen [1] er brukt her som hjelpemiddel for å studere eventuell rekkevidde og utbredelse fra tre potensielle utløsningsområder/myrer som vi så på under befringen. RAMMS bygger i grunnen på samme konsept som de andre modellene som beregner bevegelse av flomskred. Det er først og fremst inngangsparameterne som betinger utfallet av beregningene. RAMMS bygger på at man har utløsningsområde med masse som har visse egenskaper. I tillegg kan man legge til erosjon, friksjon og turbulens når skredet går ned. Her tar vi ikke med erosjon, men øker i stedet skredmassene i utløsningen.

I RAMMS kjøringen har vi gått ut fra verdier i Tabell 8. Figur 20 viser områdene og resultatet, dvs. utbredelse og rekkevide fra kjøringen.

Tabell 8. Verdier brukte i RAMMS kjøringen.

	Enh.	Omr. a)	Omr. b)	Omr. c)
Estimert utløsningsareal	m <sup>2</sup>	Ca. 3500	Ca. 1700	Ca. 500
Gjennomsnittstykkelse	m	1	1	1
Estimert volum	m <sup>3</sup>	Ca. 3500	Ca. 1700	Ca. 500
Friksjonsparameter, $\xi$	m/s <sup>2</sup>	250/750	250	250
Coulomb friksjon, $\mu$	-	0,07	0,07	0,07



Figur 20. Figurene a)-c) viser RAMMS kjøring med tre potensielle utløsningsområder, a) b) og c). Fargeskalaen viser skredhastigheten. Bakgrunnskart: norgedigital.no.

Inngangsparametrene  $\xi$  og  $\mu$  er i tråd med det som NGI har brukt i andre prosjekter og vi mener at de kan være realistiske for dette prosjektet. Vi har også prøvd høyere verdier på  $\xi$  i område a) ( $\xi=750$ ) for å se om vi lykkes med å få massene mot nordøst ned mot koblingsanlegget. Figur 20 a) viser utbredelse og rekkevidde med  $\xi=750$ . Resultatet indikerer at det skal mest sannsynlig mye til for at skred fra utløsningsområde a) når ned til koblingsanlegget. Grunnen til at område a) er tatt med er at det finnes en "gammel" grøft for vann som er ledet fra denne myren østover og inn mot forsenkningen.

Utløsning fra områder b) og c) når koblingsanlegget.



I lyset av at det ikke har funnes spor om hendelser langs bekkeløpet de siste 100-200 årene anses kravet for sikkerhetsklasse S1 å være oppnådd. RAMMS kjøringen viser hva kan skje hvis flomskred kommer ned.

NGI mener det er lite sannsynlig at jordskred fra området ovenfor veien kan ramme anlegget.

### 3.6 Overflatevann

På befaringen ble vi oppmerksom på plassering av bekker i området og hvordan de er ledet forbi dagens koblingsanlegg. Vi mener at ved stor vannføring kan vannet flomme over bekkbredden og ned til anlegget. Ved store vannmengder kommer ofte uønskede kvister og annet materiale med vannstrømmen og som lett tetter risten som er vist på Figur 21 og som fører til at vann vil strømme over veien og ned til koblingsanlegget.

Dette tema ble tatt opp på møte med Statnett SF den 19. okt. 2015, og etter intern runde hos Statnett SF ble det bestemt å holde grøften som er vist på Figur 21. Statnett SF kan på seinere stadier ta beslutning om grøft/renne igjennom veien og forbi anlegget.



Figur 21. Samlet vann fra to bekkeløp ledes inn i røret og inn mot den store vanntunnelen.

## 4 Avsluttende kommentarer

I arbeidsperioden ble mulig masseføring og hastigheter på flomskred ned mot anlegget studert. Likeledes ble sikringstiltak (voll og kanal) mot flomskred (gjelder også for sørpeskred) vurdert og skissert. På grunn av at frekvensen av flom- og sørpeskred hendelser er vurdert å være lavere enn sikkerhetskravet for anlegget og derfor er det utelatt i dette dokumentet.

## 5 Referanse

1. Christen, M.; Kowalski, J. og Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology* **63**(1–2), 1–14.
2. NGI, Kvitåvatn Øst, Skredfarevurdering for hyttetomt, Teknisk notat nr. 20031405-1.
3. NGI, Skredfarevurderinger - Destinasjon Rjukan, Oversiktsplan, Teknisk notat nr. 20011207-1.

<b>Dokumentinformasjon/Document information</b>		
<b>Dokumenttittel/Document title</b> Vemorktoppen koblingsstasjon, Rjukan. Skredfarevurdering.		<b>Dokumentnr./Document no.</b> 20150670-01-R
<b>Dokumenttype/Type of document</b> Rapport / Report	<b>Distribusjon/Distribution</b> Begrenset/Limited	<b>Dato/Date</b> 2016-01-25
		<b>Rev.nr.&amp;dato/Rev.no.&amp;date</b> 0 /
<b>Oppdragsgiver/Client</b> Statnett SF		
<b>Emneord/Keywords</b> Rjukan, Statnett SF, Vemorktoppen, koblingsstasjon, Skredfarevurdering, sikringsalternativ		

<b>Stedfesting/Geographical information</b>	
<b>Land, fylke/Country</b> Norge	<b>Havområde/Offshore area</b>
<b>Kommune/Municipality</b> Tinn	<b>Felt navn/Field name</b>
<b>Sted/Location</b> Rjukan	<b>Sted/Location</b>
<b>Kartblad/Map</b>	<b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b>
<b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b> Sone: UTM32 Øst: 471600 Nord: 6636550	

<b>Dokumentkontroll/Document control</b>					
<b>Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001</b>					
<b>Rev/Rev.</b>	<b>Revisjonsgrunnlag/Reason for revision</b>	<b>Egenkontroll av/Self review by:</b>	<b>Sidemanns-kontroll av/Colleague review by:</b>	<b>Uavhengig kontroll av/Independent review by:</b>	<b>Tverrfaglig kontroll av/Inter-disciplinary review by:</b>
0	Originaldokument	2016-01-25 Arni Jonsson	2016-01-25 Ulrik Domaas	-	-

<b>Dokument godkjent for utsendelse/Document approved for release</b>	<b>Dato/Date</b> 25. januar 2016	<b>Prosjektleder/Project Manager</b> Arni Jonsson
---	-------------------------------------	--



NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

