

Nr. 8/2021

FOU 80606 - Identifisering av løснеområder for sørpeskred

.....
Klassifikasjon og beskrivelse av de mest typiske løснеområdene for sørpeskred
NGI



NVE Ekstern rapport nr. 8/2021

FOU 80606 - Identifisering av løснеområder for sørpeskred : klassifikasjon og beskrivelse av de mest typiske løснеområdene for sørpeskred

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
Redaktør: Jaran Wasrud (NVE)
Forfatter: NGI v/Christian Jaedicke og Frode Sandersen

Forsidefoto: Fellesbefaring sørpeskred i Skjomen mai 2010. Foto: NVE/Statkraft

ISBN: 978-82-410-2128-2
ISSN: 2535-8235
Saksnummer: 201914273

Sammendrag: Interessen for sørpeskred startet for alvor på slutten av 70 tallet, og studiene fra Norge og andre land viste at sørpeskred kan utløses og forekomme i et stort spekter av terrengformer. Det er likevel dokumentert få hendelser, sammenlignet med antall snøskred eller steinsprang. Derfor må enkelte terrengformer være mer utsatt for sørpeskred enn andre. I denne studien har vi sett på 150 sørpeskredhendelser som er registrert med polygoner i digital form. Resultatene er sammenlignet med den internasjonale spørreundersøkelsen fra 1980 tallet (Onesti and Hestnes, 1989). De viser at det er bekkeløp og mindre forsenkninger i terrenget som står for de fleste løснеområdene i utvalget. Studien viser likevel også at det ofte er vanskelig å klassifisere løснеområdene ut fra den tilgjengelige informasjonen. Dokumentasjon av de typiske løснеområdene ved hjelp av bilder viser seg å være svært vanskelig, fordi de fleste skredhendelsene involverer mange typer terreng. En entydig klassifisering blir ofte mer utfordrende jo mer informasjon (polygoner, beskrivelser og bilder) som er tilgjengelig. I det fleste tilfeller brukes det generalisering for å trekke tydelige konklusjoner ut av et datasett. Ved å studere sørpeskred kan mye tyde på at datagrunnlaget er begrenset og variasjonsbredden så stor at kun en bred gjennomgang av faktiske hendelser ved hjelp av vitneutsagn og erfaringsutveksling mellom eksperter kan formidle den læringen som må kommuniseres til skredeskperterne.

Emneord: Sørpeskred, skrefareutredning

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

Forord

Både statlig forvaltning og kommune er helt avhengige av at skredfareutredninger er gode nok som beslutningsgrunnlag for arealdisponering, herunder å avdekke behovet for sikring. Store sprik i metodikk og dermed også konklusjoner som trekkes, gir betydelige kostnader for samfunnet. Ens og god metodikk for identifisering av fareområder vil gi et godt beslutningsgrunnlag for forvaltningen og dermed også bedre og tryggere arealutnyttelse.

En felles og oppdatert veileder for utredning av skredfare i bratt terreng lanseres i høst, og en slik veileder vil bedre aktørene i bransjens evne til å levere gode og etterprøvbare produkter. FOU-arbeidet som presenteres i denne rapporten gir anbefalinger på hvordan erfaringsbasert kunnskap om sørpeskred bør brukes i skredfareutredning, og vil være et bidrag til å bedre samfunnets evne til å håndtere disse skredtypene i framtidig skredfarekartlegging.

Å få konkrete anbefalinger om identifisering av løснеområder for sørpeskred og vektning av de ulike typene løснеområder vil være et bidrag til å tette huller i dagens metodikk.

Denne rapporten presenterer resultater etter gjennomgang av en rekke sørpeskred i Norge og fordeling av terrengformer og andre fellestrekk som går igjen i løснеområdene for disse skredene. Arbeidet er utført av Norges Geotekniske Institutt (NGI), i samarbeid med Skred AS og NVE.

Innholdet i rapporten, herunder prinsipielle betraktninger, står for NGI sin regning.

Oslo, mai 2021

Brigt Samdal
Direktør i Skred- og vassdragsavdelingen

Lars Harald Blikra
Seksjonssjef i skredavdelingen

Dokumentet sendes uten underskrift. Det er godkjent i henhold til interne rutiner.



RAPPORT

Utløsningsområder for sørpeskred

KLASSIFIKASJON OG BESKRIVELSE AV DE MEST
TYPISKE UTLØSNINGSOMRÅDENE FOR
SØRPESKRED

DOK.NR. 20200178-01-R
REV.NR. 1 / 2021-04-08

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: Utløsningsområder for sørpeskred
Dokumenttittel: Klassifisering og beskrivelse av de mest typiske utløsningsområdene for sørpeskred
Dokumentnr.: 20200178-01-R
Dato: 2021-04-08
Rev.nr. / Rev.dato: 1 / 2021-05-21

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Norges Vassdrags- og Energidirektorat
Kontaktperson: Jaran Wasrud
Kontraktreferanse: Kontrakt signert 24.03.2020

for NGI

Prosjektleder: Christian Jaedicke
Utarbeidet av: Christian Jaedicke, Frode Sandersen
Kontrollert av: Øyvind Høydal

Sammendrag

Sørpeskred er et sjeldent fenomen som få skred eksperter har studert i felt. Likevel skal faren for sørpeskred vurderes i kartleggings- og sikringsprosjekter. Interessen for sørpeskred startet for alvor på slutten av 70 tallet, og studiene fra Norge og andre land viste at sørpeskred kan utløses og forekomme i et stort spekter av terrengformer. Det dannet seg fort et inntrykk av at "sørpeskred kan gå overalt". Men det er likevel dokumentert få hendelser, sammenlignet med antall snøskred eller steinsprang. Derfor må enkelte terrengformer være mer utsatt for sørpeskred enn andre. I denne studien har vi sett på 150 sørpeskredhendelser som er registrert med polygoner i digital form. Resultatene er sammenlignet med den internasjonale spørreundersøkelsen fra 1980 tallet (Onesti and Hestnes, 1989). De viser at det er bekkeløp og mindre forsenkninger i terrenget som står for de fleste utløsningsområdene i utvalget. Studien viser likevel også at det ofte er vanskelig å klassifisere utløsningsområdene ut fra den tilgjengelige informasjonen. Dokumentasjon av de typiske utløsningsområdene ved hjelp av bilder viser seg å være svært vanskelig, fordi de fleste skredhendelsene involverer mange typer terreng. En entydig klassifisering blir ofte mer utfordrende jo mer informasjon (polygoner, beskrivelser, bilder) som er tilgjengelig. I det fleste tilfeller brukes det generalisering for å trekke tydelige konklusjoner ut av et datasett. Ved å studere sørpeskred kan mye tyde på at datagrunnlaget er begrenset og variasjonsbredden så stor at kun en bred gjennomgang av faktiske hendelser ved hjelp av vitneutsagn og erfaringsutveksling mellom eksperter kan formidle den læringen som må kommuniseres til skred ekspertene.

Innhold

1	Innledning	6
1.1	Om sørpeskred	6
1.2	Utløsningsområder for sørpeskred	7
1.3	Mål med denne studien	10
2	Material og metode	10
2.1	Historiske skredhendelser	10
2.2	Dataanalyse	12
3	Resultater	13
4	Diskusjon	14
5	Typiske utløsningsområder for sørpeskred	15
5.1	Bekkeløp	15
5.2	Mindre forsenkninger	17
5.3	Åpne skråninger	18
5.4	Myrområder	20
5.5	Andre utløsningsårsaker	21
6	Andre faktorer	27
6.1	Vegetasjon	27
6.2	Underlag, overflatebeskaffenhet	27
7	Konklusjon	27
8	Referanser	29

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Under arbeidet med ny veileder for karlegging av skredfare i bratt terreng i 2019 ble det notert et behov for en bedre oversikt over de terrengformene som i praksis fører til sørpeskredhendelser i Norge. Utfordringen i kartlegging er at overføringen av tidligere forskning kan føre til at man må anta at sørpeskred kan utløses "overalt". Dette kan føre til en overvurdering av faren for sørpeskred og dermed for konservative faresonekart. De praktiske erfaringene viser at sørpeskred er mye mindre aktuelt enn potensialet i terrenget skulle tilsi. Med utgangspunkt i denne problemstillingen er 150 skredhendelser, som er registrert med utstrekning, klassifisert til å finne frem til en rangering av utløsningsområder. Rapporten skal gi en pekepinn for kartlegging av sørpeskred i områder der det er mangel på historiske opplysninger, men der terrenget kan tilsi at det kan forekomme sørpeskred. Rapporten skal presentere hovedtrekkene ved sørpeskredterreng og utelukker ikke at det finnes flere muligheter og enkeltstående hendelser som ikke fanges opp av generaliserende trender.

1.1 Om sørpeskred

Sørpeskred er en skredtype der en blanding av vann og snø (minst 15 % vann) beveger seg raskt gjennom terrenget (Fierz, C. et al., 2009). Sørpeskred utløses når tilsig av vann til snødekket gjør at bindingene mellom snøkrystallene blir svekket, og den samlede massen går til brudd og setter seg i bevegelse. Mens snøskred trenger en terrengbratthet på rundt 30 grader for å kunne bli utløst, kan sørpeskred starte i slakere terreng. Grovkornet snø og nysnø er kjent for å gi bedre betingelser for sørpeskred enn fast vindtransportert snø. Sørpeskred har stort skadepotensial pga. av høy densitet (nærmere vann enn snø) og store hastigheter.

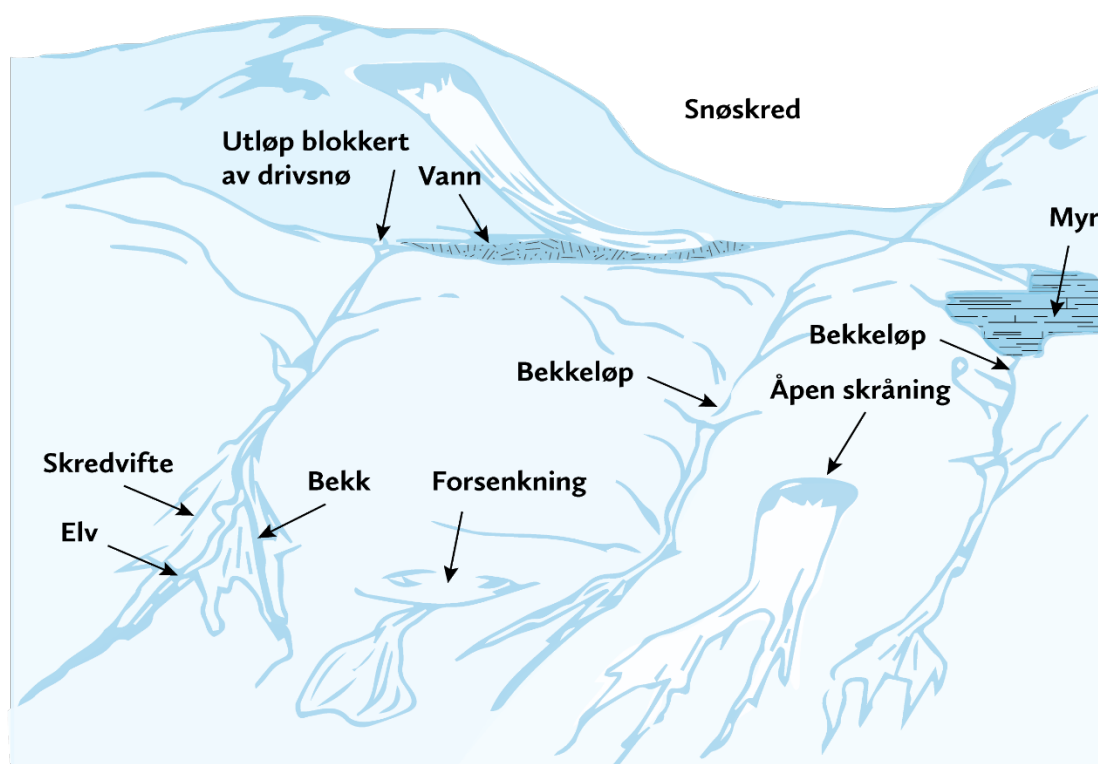
På sin vei nedover fjellsider og bekkeløp kan sørpeskred rive med seg store mengder løsmasser og biologisk materiale slik at de ofte blir feilklassifisert som flomskred ved kun å studere avsetningene i utløpsområdet. Jaedicke et al., (2013) og Sund et al., (2020) gir en generell beskrivelse av sørpeskred og tilgjengelig forskning om emnet.

Store "super events" med et stort antall sørpeskred knyttet til samme vær-situasjon finner vi i Norge med 20 – 30 års mellomrom. Den siste store hendelsen av denne typen var i 2010 i Nord-Norge (Hestnes and Jaedicke, 2018).

Sørpeskred var lite studert før 1980 tallet. For å få en oversikt over forekomsten av fenomenet i verden sendte Onesti og Hestnes, (1989) et spørreskjema ut via medlemslistene til International Glaciological Society som skulle finne ut om forskere og eksperter har sett sørpeskred rundt omkring i verden. Resultatet viste at fenomenet er kjent i alle områder med et sesongmessig snødekke. I dette spørreskjemaet ble ekspertene og forskerne også spurt om hvor i terrenget de har observert sørpeskred, hvor de ble utløst, hvordan skredbanen så ut og hvor utløpsområdene for skredene var. Resultatene fra undersøkelsen er utgangspunktet for denne studien.

1.2 Utløsningsområder for sørpeskred

De første prosjektene for å undersøke sørpeskred hadde som formål å indentifisere hvor og når sørpeskred med skade som følge kan oppstå. Resultatene var i første omgang basert på begrensede datasett av 34 (Hestnes, 1985) og 16 (Hestnes and Sandersen, 1987) skredhendelser. Tabell 1-1 viser resultatene fra noen av de første systematiske kartleggingene av sørpeskred.



Figur 1-1 Tradisjonell klassifisering av utløsningsområder for sørpeskred. Modifisert etter (Hestnes, 1998)

Tabell 1-1 Oversikt over resultatene fra en av de første systematiske kartleggingene av sørpeskred med skade som følge i Norge som også viser egenskaper til utløsningsområdene (Hestnes, 1985)

Avalanche	Starting zone						Crown						Track										
	Location			Type			Inclination		Ground conditions				Environ										
	Sporadic dr.	Periodic dr.	Permanent dr.	Bog	Open field	Depression	Bowl	Scar	Channel	Above crown (degree)	Below crown (degree)	Smooth fields	Tufts & stones	Stony & pools	Rock surface	Depression	Mixed cond.	Cultivated	Pasture	Open forest, grass and bush	Forested hill	Mountainous	
1	X	.	.	.	.	.	.	.	X	26.0	27.0	.	X	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.
2	X*	.	.	.	.	.	X	.	.	16.0	10.0	X	.	.	.	Ø	S	X	.	.	.	.	.
3	X	.	.	.	.	.	.	.	X	9.0	7.5	.	X	.	.	Ø	.	.	.	X	.	.	.
4	X*	.	.	.	.	.	.	.	X	-	10.5	B	.	.	.	.	T	.	X	.	.	.	.
5	.	X	.	.	.	.	.	X	.	12.0	4.5	.	X	.	.	Ø	.	.	.	X	.	.	.
6	.	X	.	.	.	.	.	.	X	40.5	40.5	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	X
7	.	X	.	.	.	.	.	.	X	32.5	32.5	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	X
8	.	.	.	X	.	.	.	X	.	9.0	10.5	X	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	X
9	X	.	.	.	.	.	.	.	X	29.0	29.0	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	X
10	X	.	.	.	.	.	.	.	X	21.5	25.0	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	X
11	.	.	.	X	.	.	.	X	.	24.5	18.0	X	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	X
12	X	.	.	.	.	.	.	.	X	21.5	25.0	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	X
13	.	.	X	.	.	.	.	.	X	50.0	22.5	.	B	.	A	.	P	.	.	.	X	.	
14	X	.	.	.	.	.	.	.	X	27.0	29.0	.	X	.	.	X	.	.	.	X	.	.	.
15	.	.	.	.	.	X	.	X	.	22.5	19.0	X	.	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.
16	.	X	.	.	.	.	.	.	X	15.5	11.0	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	X	.
17	.	X	.	.	.	.	.	.	X	15.5	11.0	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	X	.
18	.	.	.	.	X	.	X	.	.	23.5	4.0	B	.	.	A	.	.	X	.	.	.	.	.
19	.	.	.	.	.	X	X	.	.	19.5	14.0	X	.	.	.	X	.	X	.	.	.	.	.
20	.	.	.	X	.	.	X	.	.	14.5	9.0	X	.	.	.	X	.	.	.	.	X	.	.
21	.	X	.	.	.	.	.	.	X	28.0	23.0	.	.	X	.	.	.	.	X	.	.	.	.
22	X	.	.	.	.	.	.	.	X	21.0	14.0	X	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.
23	.	X	.	.	.	.	.	.	X	22.5	11.5	.	.	B	A	.	P	.	.	.	X	.	.
24	.	.	.	.	X	.	.	X	.	20.0	22.5	.	X	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.
25	X	.	.	.	.	.	.	.	X	29.0	25.5	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.
26	.	X	.	.	.	.	.	.	X	24.5	17.0	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	X	.
27	.	.	X	.	.	.	.	.	X	5.5	9.0	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	X	.
28	X	.	.	.	.	.	.	.	X	20.0	16.0	.	X	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.
29	X*	.	.	.	.	.	.	.	X	18.0	11.5	B	.	A	.	.	D	.	X	.	.	.	.
30	X	.	.	.	.	.	.	.	X	11.5	9.0	B	A	.	.	Ø	.	.	X	.	.	.	.
31	X	.	.	.	.	.	.	.	X	9.5	18.0	.	.	A	B	.	P	.	X	.	.	.	.
32	.	.	.	.	.	X	.	X	.	14.5	9.5	.	X	.	.	X	.	.	X	.	.	.	.
33	X*	.	.	.	.	.	.	.	X	26.5	10.0	B	.	.	.	.	R	X	.	.	.	.	.
34	X*	.	.	.	.	.	.	.	X	31.0	28.0	B	.	.	.	.	D	.	.	X	.	.	.

dr. - drainage; * - man-made influence; A, B - Above/Below crown; P - Pool;
 D - Pipe; Ø - Drained depression; S - Stone pile; T - Trench; R - Track

Dette erfaringsgrunnlaget økte med årene og i 1997 presenterte Hestens (Hestnes, 1997) en oversikt over de mest typiske egenskapene som kunne identifiseres ut fra de undersøkte skadeskredene (Figur 1-1).

I denne gjennomgangen vises til egenskapene miljø, plassering, forhold på bakken og frekvens som karakteristika for utløsningsområder for sørpeskred (se rammen).

Karakteristiske trekk ved sørpeskredutløsningsområder (Hestnes, 1997)
<p>Miljøer</p> <ul style="list-style-type: none"> • kultivert land • beitemark • åpen skog med gress og buskas • skogkledde fjellsider • treløse fjellsider
<p>Utløsningsområder - plassering</p> <ul style="list-style-type: none"> • drenerings og bekkeløp • hellende myrområder • forsenkninger • åpne skråninger • vannmettede snødekke • innsjøer
<p>Utløsningsområder – forhold på bakken</p> <ul style="list-style-type: none"> • ugjennomtrengelig fjell eller is • frossen bakke • ufrossen bakke
<p>Utløsningsområder – frekvens</p> <ul style="list-style-type: none"> • hellende svaberg • lokal reduksjon i gradient • irregulareteter i dreneringsløpet • ... • myrområder • flatliggende avrenningsområder

Ut fra denne listen er det fullt mulig å velge egenskaper som passer til enhver hendelse, for eksempel frossen bakke eller ufrossen bakke, skogkledde fjellsider eller vegetasjonsfritt sva. Det er derfor vanskelig å bruke listen til å bestemme egenskapene ved de typiske utløsningsområdene for sørpeskred som kan brukes som generell retningslinje i et gitt kartleggingsprosjekt. I den samme gjennomgangen vises også til mulig helning i utløsningsområdet (0° – 40°) og plassering i et avrenningsområde (på alle typer grunn og alle steder i samme avrenningsområde). De refererte artiklene poengterer at de gir en oversikt hvor sørpeskred kan forekomme og hvor de har blitt observert. Det er derimot bare vage antydninger om hvilket terreng som er mest utsatt og hvor kartlegging og tiltak må fokuseres. Generelt er inntrykket fra litteraturen at alle typer dreneringsløp, bekker og forsenkninger har størst potensiale til å føre til utløsning av sørpeskred.

I den enkelte hendelsen vil det alltid være et komplekst samspill av terreng- og dreneringsforhold, egenskapene til snødekket og værforhold som er avgjørende for om det går sørpeskred eller ikke. Samspillet av sjeldne betingelser fører til svært sjeldne hendelser, også når den enkelte faktoren forekommer med relative høy sannsynlighet.

1.3 Mål med denne studien

Målet med denne studien er:

- Klassifisere de kjente norske sørpeskredene etter de samme kriteriene som ble brukt i Onesti og Hestnes, (1989).
- Dokumentere typiske trekk ved de vanligste utløsningsområdene
- Gi anbefalinger for kartlegging av faresoner for sørpeskred i henhold til kravene i plan og bygningsloven og TEK17

2 Material og metode

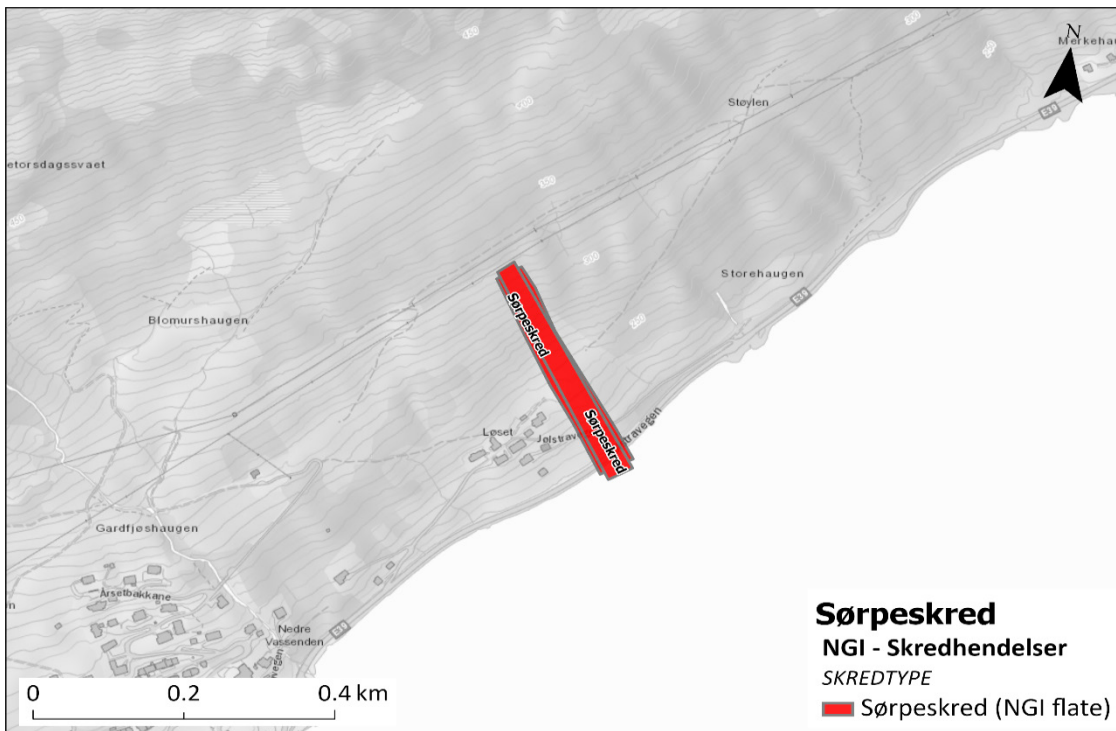
2.1 Historiske skredhendelser

2.1.1 Datakilder

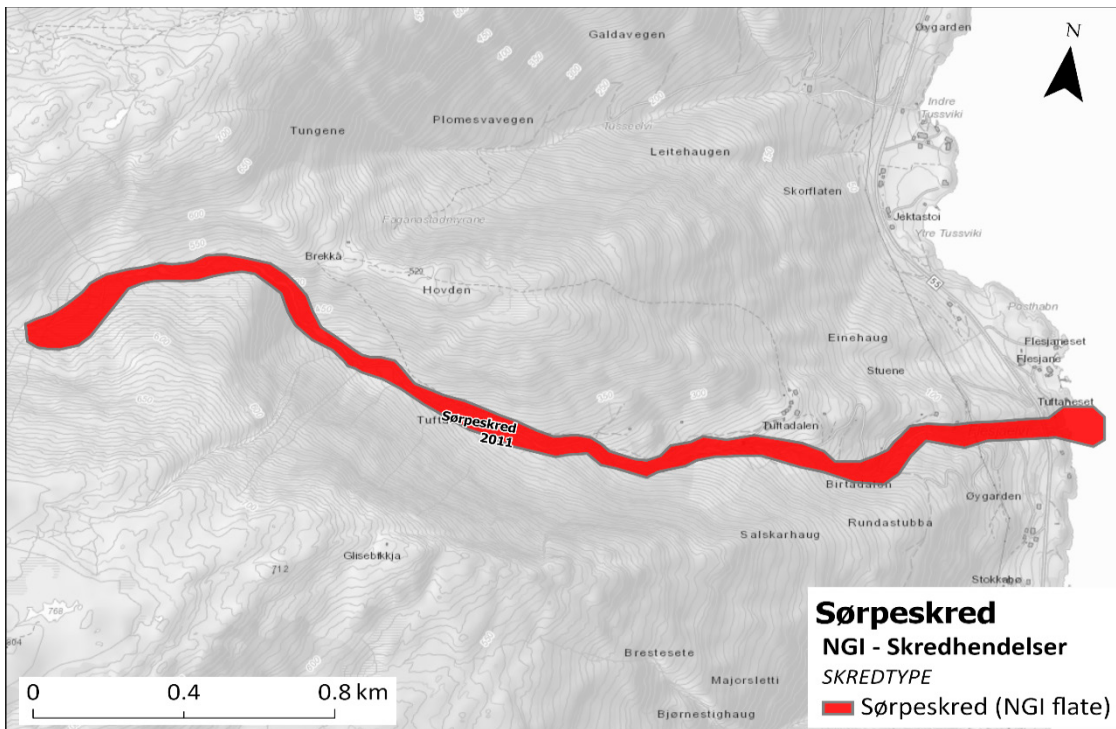
Den nasjonale databasen over skredhendelser inneholder 70 300 hendelser hvorav 587 er registrert som sørpeskredhendelser (Status mars 2020). Disse registreringene inneholder kun et punkt som geografisk referanse og gir dermed ingen innblikk i utstrekningen av skredet eller hvor skredet har løstnet. I tillegg er trolig mange skred feilklassifisert. En gjennomgang av Erik Hestnes, NGI i 2014 viste at ca. 114 skadeskred trolig er feilklassifisert og at skredtype burde være endret til sørpeskred. Enkelte skred er også registrert med geografisk utstrekning i den nasjonale databasen, men dette begrenser seg til kun 44 skredhendelser. På NGI finnes det en litt større samling på ca. 100 skred. Sommeren 2020 ble flere skred digitalisert, slik at vi nå har et grunnlag for denne analyse på totalt 150 hendelser.

2.1.2 Datakvalitet

Gjennomgangen av de 150 polygonene viser at det er stor spredning i kvaliteten på digitaliseringen av hendelsene. Enkelte består av polygoner med kun fire punkter, andre er tegnet som buffer langs et linjeobjekt (Figur 2-1). De beste dataene dekker hele skredløpet fra utløsning til utløp (Figur 2-2). Det likevel kun et fåtall som har en god beskrivelse av hele skredbanen.



Figur 2-1 Eksempel på en meget enkel digitalisering av to sørpeskred. Polygonene består kun av noen få punkter og det er ikke definert hvor skredet kommer fra.



Figur 2-2 Eksempel fra skadeskredet ved Balestrand (2011), der et hus ble ødelagt og to personer omkom. Skredet er digitalisert i hele sin lengde og utløsningsområdet er godt definert i polygonet. Det er likevel slik at dette skredet ikke startet brått med en oppdemming, eller kant der masser settes i bevegelse.

2.2 Dataanalyse

Klassifiseringen av skredhendelsene er utført etter de samme kriteriene som Onnesti og Hestnes brukte i 1989 (Onesti and Hestnes, 1989). I en diskusjon i prosjektgruppen ble det tatt opp muligheten til å inkludere flere kriterier for utløsningsområder. Diskusjonen viste at man fort går over fra utløsningsområde til utløsningsårsak, noe som vil føre til forvirring i interpretasjonen av resultatene. Derfor bruker vi samme kategorier som i 1989 (Tabell 2-1).

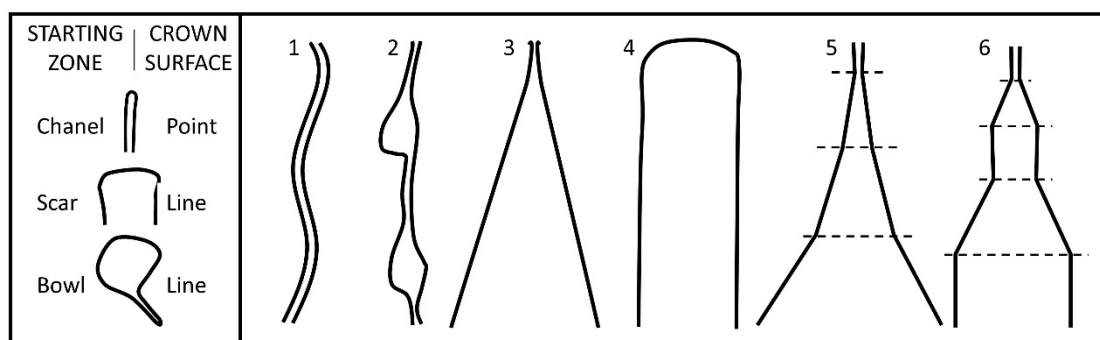
Tabell 2-1 Kriterier bruk for klassifiseringen av utløsningsområder for sørpeskred

Type terreng
Bekkeløp
Forsenkninger
Åpne skråninger
Myrområder
Andre

Utløsningsområdenes og skredbanenes utforming er nærmere beskrevet i (Hestnes, 1985). Figur 2-3 viser at utløsningsområdene her skiller etter geografisk form heller enn terrengformasjon. Vår analyse holder seg derfor til klassifiseringen fra 1989.

Hver polygon ble hentet frem ved "zoom to" funksjonen og kartmålestokk ble manuelt utvidet til å vise tilstrekkelig terrenginformasjon til å gjøre seg opp en formening om mulig utløsningsområde for skredet. I de tilfellene der polygonen ikke strekker seg opp til utløsningsområdet, men kun viser utstrekning i utløpsområdet, er klassifiseringen kun basert på ekspertens vurdering. Denne interpretasjonen er person- og erfaringsavhengig. Vi har derfor valgt å gjennomføre klassifiseringen av alle 150 polygonene hele tre ganger, av to eksperter fra NGI og av en ekspert fra Skred AS.

Resultatene er overført fra GIS til matlab for videre analyse.

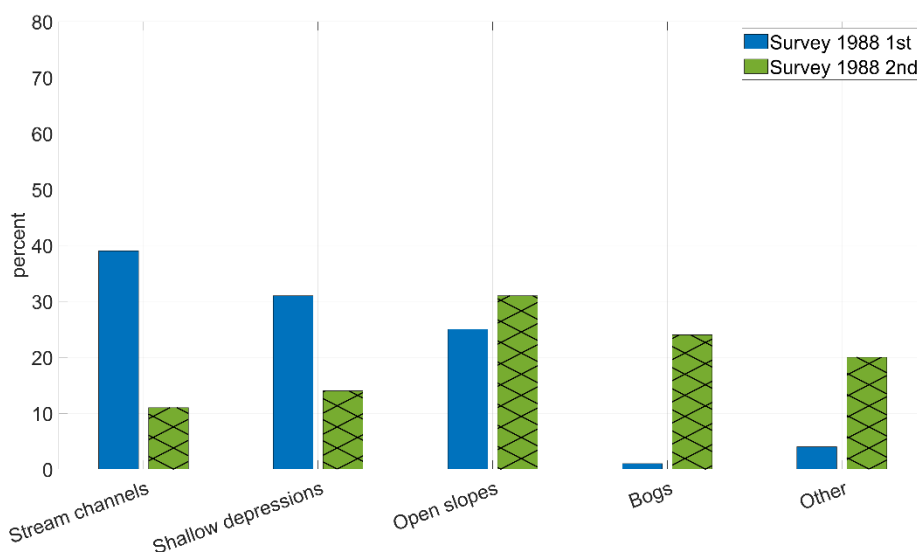


TRACKS: 1. Channelled 2. Channelled - undefined (alternating) 3. Open slope, low - moderate gradient 4. Open slope, moderate - high gradient 5. Stepwise reduction of gradient 6. Alternating gradient 7. Changes due to other influences

Figur 2-3 Typiske morfologiske typer utløsningsområder og skredbaner i snødekket (gjengitt etter Hestnes (1985)).

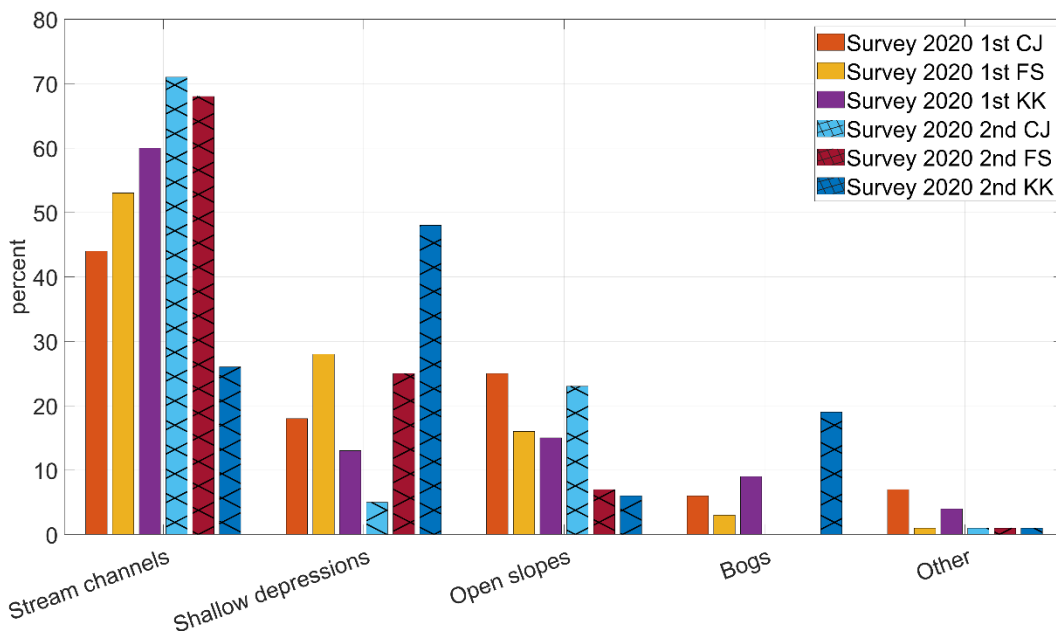
3 Resultater

Resultatene fra spørreundersøkelsen til Onesti and Hestnes, 1989 viser at respondentene fra hele verden klassifiserte sine erfaringer med sørpeskred slik at de mente å observere at de fleste skredene startet i bekkeløp etterfulgt av forsenkninger og åpne skråninger. I spørreundersøkelsen skulle respondentene svare basert på sine samlede erfaringer, ikke klassifisere enkelte hendelser. I tillegg til den mest fremtredende typen utløsningsområder (1st i Figur 3-1) skulle de også svare på deres vurdering av den nest viktigste typen (2nd i Figur 3-1). Dessverre er de fire kategoriene ikke nærmere definert i arbeidet til Onesti and Hestnes, 1989.



Figur 3-1 Resultater etter klassifisering av utløsningsområder i (Onesti and Hestnes, 1989)

I vår undersøkelse har vi spurt tre eksperter om å klassifisere 150 enkelte hendelser. Resultatene (Figur 3-2) viser at det er forskjeller mellom ekspertvurderingene, men at trenden i klassifiseringen er lik. Alle tre eksperter vurderer som primært utløsningsområde bekkeløp som den mest dominerende typen etterfulgt av mindre forsenkninger. Som sekundært utløsningsområde står bekkeløp også frem som dominerende. Men ekspertene er her uenig om mindre forsenkninger eller åpne skråninger er nr. to i klassifiseringen. Myrområder spiller en veldig begrenset rolle i alle klassifiseringene.



Figur 3-2 Resultater fra ekspertvurderingene i denne studien.

4 Diskusjon

Klassifiseringen av 150 enkelte hendelser viser at de fleste hendelsene kan knyttes til bekkeløp eller andre forsenkninger i terrenget der vann kan samle seg. Dette står i klar motsetning til påstanden at "sørpeskred kan gå overalt". I mange tilfeller er klassifiseringen av utløsningsområdet vanskelig, siden de registrerte polygonene ikke er tegnet med fullstendig utstrekning opp til utløsningsområdet. I slike tilfeller er det opp til eksperten til å vurdere hvor skredet kan ha løsnet, og klassifisere terrenget ut fra denne vurderingen. Resultatet vil da bli mer avhengig av skredekspertens interpretasjon. Sammenlignet med mulige utløsningsområder som er vist Figur 1-1 er det likevel tydelig at det er bekkeløp og forsenkninger som står for de fleste registrerte hendelsene. Åpne skråninger er kun listet som første alternativ i 15-25% av hendelsene. Myrområder forekommer mer sjeldent, under 10% av tilfellene. Variasjonen mellom ekspertene ligger mellom 10 til 15% av totalverdiene og dermed innenfor en forventet størrelse. En tydeligere definisjon av de ulike typene av utløsningsområdene og klare instruksjoner om hvordan ekspertene skulle klassifisere tvilstilfeller kunne sikkert ha redusert variasjonene. Vi valgte ikke å gjøre dette for å høste ekspertenes erfaringsbaserte vurdering uten å påvirke denne med for detaljerte instruksjoner eller forhåndsdefinisjoner.

5 Typiske utløsningsområder for sørpeskred

Kartleggingen av sørpeskred krever gjenkjenning av typiske terrengformer som kan føre til sørpeskred. Utgangspunktet er terrengformer som fører til at smelte- og regnvann kan samle seg i snødekket, dvs. at tilsig av vann er større enn drenering fra snødekket. En av de første systematiske gjennomgangene av utløsningsområder til 34 norske sørpeskred er beskrevet i (Hestnes, 1985). Resultatene viste en stor variasjonsbredde i mulige terrengformer, men sortert etter antall hendelser (frekvens) er det bekkeløp og forsenkninger som peker seg ut. I tillegg spiller snødekkets oppbygging en avgjørende rolle for utløsning av sørpeskred i en konkret vær-situasjon, men det vil ikke denne rapporten gå inn på, og det henvises til litteraturen som for eksempel (Hestnes, 1998; Jaedicke et al., 2013; Sund et al., 2020).

Topografien i hvert sørpeskred er unik for hendelsen. Likevel finnes det enkelte felles-trekk som er lett gjenkjennelig og som beskrives i de neste avsnittene. Beskrivelsene viser kun til ulike typer terreng som kan føre til sørpeskred. De gir ikke noen indikasjoner på hyppigheten av skred i de identifiserte terrengformene.

5.1 Bekkeløp

Det fleste sørpeskred kan observeres i bekkeløp. Her kan det lett samles vann fra regn og intensiv snøsmelting. Om et bekkeløp er en typisk sørpeskredbekk der man kan forvente hendelser med relevant returperiode for kartlegging av faresoner avhenger av skredhistorikk i området generelt (ikke nødvendigvis akkurat i den kartlagte bekken) og eventuelle spor etter tidligere sørpeskred.

I de fleste tilfellene vil oppsamling av vann i snødekket i selve bekkeløpet være nok til å utløse en skredhendelse. Dette vil som oftest starte i områder der bekkeløpet er slakere, slik at dreneringen av vann er lavere enn tilsiget. I enkelte tilfeller fører også snøskred eller store snøfonner til oppdemming av vann i bekkeløpet og utløsning av sørpeskred i bekkeløp.

Hendelsen i Balestrand i 2011 ble trolig utløst ved ansamling av store mengder vann i den øvre delen av bekkeløpet (Hansen, 2016). Bilder fra befaringen i 2011 viser at snødekket har samlet vann langt opp til fjells, men at snødekket ikke har blitt utløst som skred før en tydelig overgang til brattere terreng (Figur 5-2 til Figur 5-4).



Figur 5-1 Pilen i bildet fra hendelsen i Balestrand i 2011 viser hvor huset som ble truffet av skredet sto (bilde NGI).



Figur 5-2 Bekken i den øvre delen viser vannføring, men ingen spor etter skredmasser (bilde NGI).



Figur 5-3 Først etter at helningen i bekken øker ser man løpet blir bredere og at snømasser er revet med nedstrøms (bilde NGI).



Figur 5-4 Først i den nedre delen av skredløpet er det tydelige spor etter medrivning og at skredet har gått ut av det vanlige bekkeløpet (bilde NGI).

5.2 Mindre forsenkninger

Mindre forsenkninger i terrenget kan også føre til en lokal ansamling av vann og dermed føre til utløsning av et sørpeskred. I normale situasjoner vil slike forsenkninger ikke være vannførende. Når det regner mye eller når det er intensiv smelting kan det likevel samle seg større mengder vann i snødekket. I enkelte tilfeller kan det dannes lokale vannkilder i slike forsenkninger som kan føre til ytterligere vanntilførsel.

Bildet i Figur 5-5 fra Berg i Høyanger viser et eksempel av sørpeskred som ser ut til å være utløst i en slik forsenkning. Naturlig terreng inneholder ofte slike former, og det er ikke hensiktsmessig å tolke alle slike forsenkninger som utløsningsområder for sørpeskred. Den lokale skredhistorikken vil være avgjørende om man skal vurdere slike

former som utløsningsområder for sørpeskred eller ikke. Om mindre forsenkninger eller åpent terreng virker som samlende for vann, er også avhengig av vær- og temperaturforhold tidligere på vinteren. Kaldt vær med utvikling av tele før snøen legger seg vil gjøre at ny ekstrem nedbør ikke infiltrerer ned i bakken under snødekket. I andre situasjoner vil vannsig kunne bli større og drenere ut på snødekte jorder.



Figur 5-5 Utløsningsområde i en mindre forsenkning i en ellers åpen fjellside. Berge, Høyanger. 26.11.2011 (Foto Jomar Bergheim, NVE)

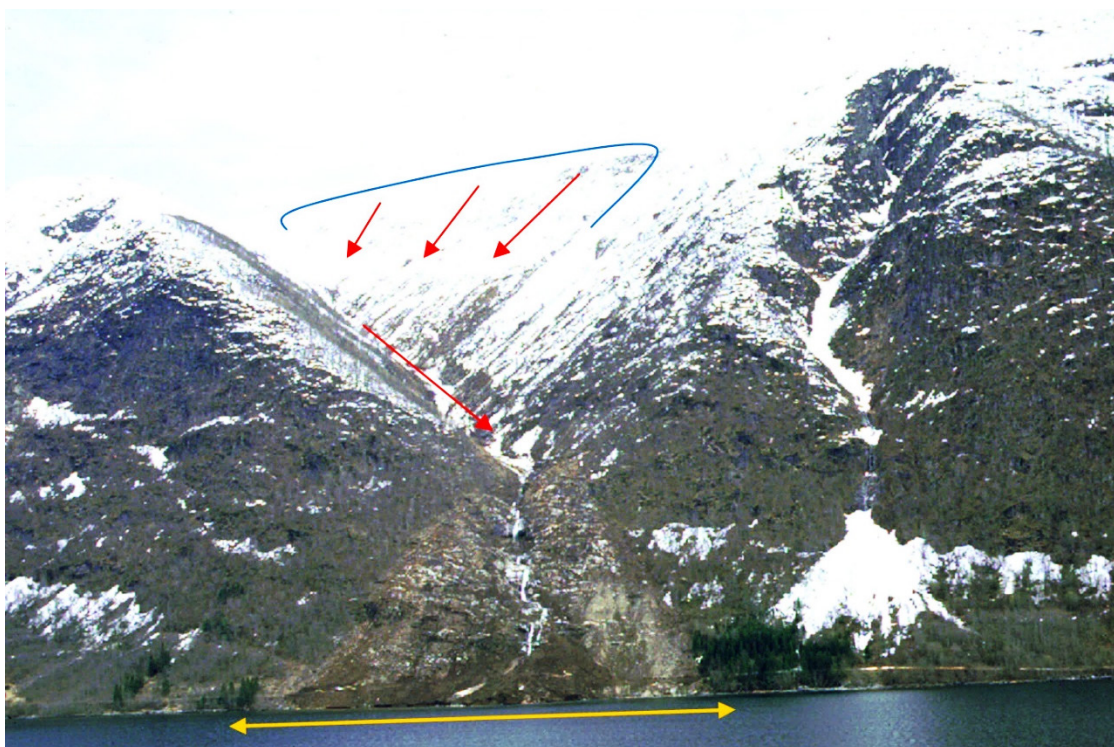
5.3 Åpne skråninger

I enkelte tilfeller forekommer det sørpeskred i åpne skråninger eller fjellsider. Slike hendelser er sjeldne og kun 15-20% av tilfellene er utløsningsområdet klassifisert som åpen skråning. Eksempler er sørpeskred som utløses på slake gresskledde jorder (Figur 5-6) i perioder med mye regn. Ved en nøyere undersøkelse har det ofte vist seg at det likevel var en forsenkning der det kunne samle seg noe mer vann akkurat der skredet ble utløst. Dette er vanskelig å avgjøre på kartgrunnlaget som er brukt i denne studien. Tele og kjøving på forvinteren kan endre hvordan vann tar nye løp fra etablerte bekkeløp.



Figur 5-6 Sørpeskred utløst på et gresskledd jorde (Bakke, Hornindalen 27.11.2008) . Men også her vil en se en forsenkning i terrenget dersom man ser nøye på topografien (bilde, Krister Kristensen, NGI)

Det er også kjent at store flater kan bli utløst som et flakskred med så mye vann i snødekket at hele massen umiddelbart går over til et sørpeskred. Det finnes ingen beskrivelser av slike hendelser der selve utløsningen og bevegelsene i fjellsiden er observert. Derfor er det ikke kjent om slike skred løsner som et flak, eller om snøen utløser i puljer. Et kjent eksempel er skredet ved Moldskreddalen-Vetlefjorden-Sogn (Figur 5-7) i 1994 der en hel snøkledd fjellside utløste tilsynelatende som et stort gjennomvått flak.



Figur 5-7 Sørpeskred Moldskreddalen-Vetle fjorden-Sogn, den 1994-04-28 der en hel fjellside gikk til brudd (bilde NGI).

5.4 Myrområder

Myrer dannes i områder som i utgangspunktet samler mye vann. I myrene finner en også mye varme som fører til at snødekket er nær frysepunktet ved overgangen myr/snødekke. I snørike områder vil myrene ofte være ufrosset fordi snødekket isolerer og jordvarmen bidrar til å holde myra "varm". Observasjoner etter sørpeskred viser at det ofte er store vannansamlinger i myrområder før sørpeskred utløses (Figur 5-8). Spontan og plutselig drenering av slike store arealer med vannmettet snø anses til å være en vanlig utløsende årsak til sørpeskred. Det er derimot få eller ingen observasjoner fra selve utløsningen av skredene. Spor etter slike hendelser kan tyde på at kun en liten del av snødekket fra slike områder faktisk mobiliseres, men at massene som fører til selve skredet til stor grad blir revet med i massebevegelsen nedover i brattere terreng nedstrøms myrområdet.



Figur 5-8 Store flate arealer med vannmettet snø i utløsningsområdet for skredet ved Sagelva 18.05.2010 (bilde NVE)

Innsjøer kan til en viss grad ha samme effekt. Overvann på innsjøer kan føre til store mengder sørpe som igjen kan føre til stor masseføring.

Ved kartlegging vil det være en indikator å sjekke om nedbørfeltet har myrer, flate områder eller innsjøer. Er det i tillegg kjente hendelser i bekken eller i regionen kan slike bekker kategoriseres som potensielle fareområde for sørpeskred.

5.5 Andre utløsningsårsaker

Det er flere andre kombinasjoner av terreng og hendelsesforløp som fører til sørpeskred. Her nevnes noen eksempler.

5.5.1 Oppdemming i og bak snøfonner og snøskred

Det har forekommet flere eksempler hvor snøskred har demmet opp bekkeløp, slik at det har dannet seg en innsjø som etter hvert bryter gjennom og utløser et sørpeskred i bekkeløpet. Figur 5-9 og Figur 5-10 viser et eksempel fra Folven (Oppstryn) i 1995 der oppdemming fra et snøskred førte til et sørpeskred ned mot bebyggelsen i Folven. I 2000 dannet igjen et snøskred en slik oppdemming, men den førte ikke til sørpeskred den gangen (Figur 5-11 og Figur 5-12). Vannet drenerte sakte ut uten at demningen brast.



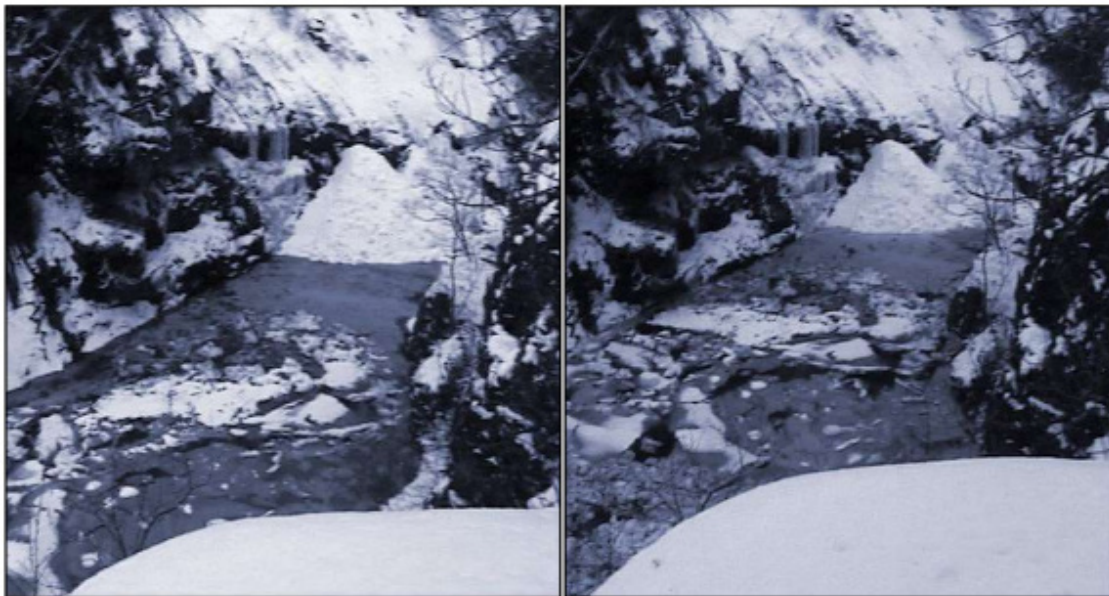
Figur 5-9 Sørpe og flomvann dekket store områder etter at en demning fra et snøskred brast og førte til sørpeskred ved Folven / Oppstryn i 1995 (bilde Krister Kristensen, NGI)



Figur 5-10 Sørpe og vann rundt bebyggelsen, Folven 1995 (bilde Krister Kristensen, NGI)



Figur 5-11 Snøskred stenger for vannføringen i Sunndøla, Folven 2000 (bilde Krister Kristensen, NGI)



Figur 5-12 Vannet stiger bak snømassene fra snøskredet (bilde Krister Kristensen, 2000)



Figur 5-13 Kart over terrenget ved gården Stødno i Lærdal

Ved gården Stødno (Figur 5-13) evakuerer beboerne seg selv når elva går tom for vann. Dette er et sikkert tegn på at et skred som demmer vannføringen og at skred sørpeskred kan komme som følge av dette. På dette stedet er det et historisk gjentagende fenomen.

I den store hendelsen i 2020 (Hestnes et al., 2012) ble det observert flere skred, der smeltevann renner over snøen i bekker og lesider med mye snø. Vannet ble da tatt opp snødekket og skredene ble utløst når snødekket ble svekket av vannet. Dette førte til høye og delvis lange bruddkanter.

5.5.2 Utslipp av vann fra magasiner

Ved enkelte tilfeller har vannkraftoperatører vært nødt til å slippe ut vann fra magasiner mens bekkeløpet nedstrøms demningen var fylt med store mengder snø. Dette har da ført til sørpeskred i bekken nedstrøms dammen (Figur 5-14).



Figur 5-14 Sørpeskred utløst nedstrøms fra en mindre demning Skjømen mai 2010 (Statkraft, NVE)

5.5.3 Flodbølger etter snøskred

Snøskred som går inn i innsjøer eller magasiner kan utløse betydelig flodbølger også i islagte vann. Når denne flodbølgen slår over utløpet kan vannet utløse et sørpeskred i bekken nedstrøms (Figur 5-15).



Figur 5-15 Spor etter sørpeskred i Grasdalen 23.01.1994. Skredet ble utløst av et snøskred som gikk ned i Oppjolsvatnet og som førte til en flodbølge. Når bølgen nådde utløpet ble det utløst sørpeskred i bekken nedstrøms vannet. Bildet er tatt ca. 5 km nedstrøms fra Oppjolsvatnet (bilde Krister Kristensen, NGI).

6 Andre faktorer

6.1 Vegetasjon

Det er godt kjent at vegetasjon i utløsningsområder for snøskred har en stabiliserende effekt på snødekket og kan forhindre snøskred. Denne effekten er ikke kjent fra sørpeskred. Flere eksempler er kjent der sørpeskred har utløst i skogsterreng (Hestnes, 1985; Hestnes et al., 1994). Når snødekket går over til sørpe vil ikke trærne gi noen hindring mot at sørpemassene kommer i bevegelse. Når skredet er først i bevegelse vil vegetasjonen bli ødelagt av skredmassene.

Likevel vil en i søket etter de meste utsatte områdene legge mer vekt på åpne flater enn skog som mulig utløsningsområde. Innmark som er gjengrodd vil også ha mindre sannsynlighet for sørpeskred enn tidligere.

6.2 Underlag, overflatebeskaffenhet

I (Hestnes, 1985, Tabell 1-1) og andre publikasjoner er det også undersøkt på hvilke underlag og overflatebeskaffenhet utløsningen skjedde. Også her er det funnet en stor variasjonsbredde, der de fleste skredene utløste i åpent lende og på bar mark, sva og delvis gressdekket innmark. Men også i skogkledd forsøkninger og skar ble flere skred observert.

7 Konklusjon

Vurdering av utløsningsområder for sørpeskred er vanskelig. Det er få hendelser og den enkelte skredexpertenes erfaring er derfor svært begrenset. Ut fra de generelle kriteriene, at terrenget skal kunne føre til ansamlinger av vann, vil store deler av det naturlige terrenget være potensielt utløsningsområde for sørpeskred. Men overflateformene gir ikke informasjon om dreneringsforhold i bakken, og en må heller ikke glemme at sørpeskred kun utløses under spesielle snøforhold. De samme mengdene smelte/regnvann vil i de fleste tilfellene ikke føre til utløsning av sørpeskred. Dette viser situasjoner der skred kun blir utløst i noen få utløsningsområder til tross for at snø og vær-situasjonen skulle tilsi flere skred i samme region (Hansen, 2016).

Tabell 7-1 gir en oversikt over utløsningsområdene som er brukt i denne studien og hvordan man kan identifisere og vurdere de under kartlegging. Den beste måten å lære fra det undersøkte datasettet er likevel ikke en generalisert regelbasert anbefaling, men heller den individuelle gjennomgangen av observerte hendelser. Ved å studere historiske hendelser kan man lære å kjenne igjen et mønster i terrengformasjoner der hendelsene ble registrert. Likevel gir ikke polygonene informasjon om snø- og værforhold og hvor ofte slike forhold kan forventes i undersøkelsesområder.

Tabell 7-1 Sammendrag av karakteristiske trekk ved de ulike typene utløsningsområder

Utløsningsområde	Andel %	Vannføring	Beskrivelse	Tips for hva som må vurderes under kartlegging av skredfare
Bekkeløp	50	Normalt ja	Lett å kjenne igjen	Kan kartlegges ved hjelp av GIS analyser
Forsenkning	22	Bare hvis svært mye regn eller snøsmelting	Uten vannføring	Forekommer sjeldnere, bør være kjente eksempler før man kartlegger alle forsenkninger som utløsningsområder for sørpeskred, se etter muligheter for lokale vannkilder eller "vann på avveier" fra stikkrenner og veier
Åpen skråning	20	Normalt nei	Sva, gresskledde jorder	Forekommer sjeldnere, bør være kjente eksempler før man kartlegger alle åpne fjellsider som utløsningsområder for sørpeskred, se for muligheten for lokale vannkilder
Myrområder	4	Overvann	Utflatinger i bekkeløpet, innsjøer	Følg bekkeløp opp til fjellet på kart eller i terreng for å avdekke mulige ansamlingsområder for vann
Andre	4	Oppdemming	Kjente steder der snøskred fra siden kan demme opp vann i et bekkeløp	Lokal skredhistorie

8 Referanser

- Fierz, C., A., R.L., Durand, Y., Etchevers, P., Greene, E., McClung, D.M., Nishimura, K., Satyawali, P.K., Sokratov, S.A., 2009. The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. Tech. Doc. Hydrol. 83, 90.
- Hansen, R.C., 2016. Utløsning av sørpeskred. University of Oslo.
- Hestnes, E., 1998. Slushflow hazard - where, why and when? 25 years of experience with slushflow consulting and research. Ann. Glaciol. 26, 370–376.
- Hestnes, E., 1997. A review of 25 years of experience with slushflow consulting and research. NGI Doc.
- Hestnes, E., 1985. A contribution to the prediction of slush avalanches. Ann. Glaciol. 6, 1–4.
- Hestnes, E., Bakkehøi, S., Kristensen, K., 2012. Slushflows - a challenging problem to authorities and experts. Data Glaciol. Stud. 1, 74–87.
- Hestnes, E., Bakkehøi, S., Sandersen, F., Andresen, L., 1994. Weather and snowpack conditions essential to slushflow release and downslope propagation, in: Proceedings of the International Snow Science Workshop 1994, Snowbird, Utah. Snowbird, Utah, USA, pp. 40–57.
- Hestnes, E., Jaedicke, C., 2018. Global warning reduces the consequences of snow-related hazards, in: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2018, Innsbruck, Austria. p. 5.
- Hestnes, E., Sandersen, F., 1987. Slushflow activity in the Rana district, North Norway, in: Salm, B Gubler, H. (Ed.), Avalanche Formation, Movement and Effects, IAHS Publication. IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire, UK, pp. 317–330.
- Jaedicke, C., Hestnes, E., Høydal, Ø.A., 2013. A review on Slushflows, NGI Report. Oslo, Norway.
- Onesti, L.J., Hestnes, E., 1989. Slush-flow questionnaire. Ann. Glaciol. 13, 226–230.
- Sund, M., Grønsten, H.A., Skuset, S., 2020. Varsling av regional sørpeskredfare, NVE Rapport.

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Klassifikasjon og beskrivelse av de mest typiske utløsningsområdene for sørpeskred		Dokumentnr./Document no. 20200178-01-R
Dokumenttype/Type of document Rapport / Report	Oppdragsgiver/Client Norges Vassdrags- og Energidirektorat	Dato/Date 2021-04-08
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract Oppdragsgiver / Client		Rev.nr.&dato/Rev.no.&date 1 / 2021-05-21
Distribusjon/Distribution ÅPEN: Skal tilgjengeliggjøres i åpent arkiv (BRAGE) / OPEN: To be published in open archives (BRAGE)		
Emneord/Keywords Sørpeskred, topografi, skredfare, kartlegging		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality	Felt navn/Field name
Sted/Location	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: Øst: Nord:	Koordinater/Coordinates Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/ Self review by:	Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:
0	Originaldokument	2021-04-06 Christian Jaedicke	2021-04-07 Frode Sandersen		
1	Rettelser av figurtekster og skrivefeil	2021-05-21 Christian Jaedicke	2021-05-21 Frode Sandersen		

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 21. mai 2021	Prosjektleder/Project Manager Christian Jaedicke
----------------------------------------------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------------------------------

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

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



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

MIDDELTHUNS GATE 29
POSTBOKS 509 I MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no