



KLIMA
2050

RAPPORT

Nr. 38 – 2022

SØRPESKRED

Egenskaper, historikk og sikringsløsninger

Christian Jaedicke, Bjørn Kalsnes og
Anders Solheim





KLIMA 2050

Klima 2050 Report No 38
Christian Jaedicke (NGI), Bjørn Kalsnes (NGI), Anders Solheim (NGI)
Sørpeskred
Egenskaper, historikk og sikringsløsninger

Keywords: Sørpeskred, sikring, snø, vann, varsling

ISBN: 978-82-536-1772-5 (pdf)

Illustration front cover and page 3: Sørpeskred ved Stryne Sommerskisenter, Krister Kristensen NGI
Publisher: SINTEF Community, Høgskoleringen 7 b, PO Box 4760 Sluppen, N-7465 Trondheim

www.klima2050.no



Forord

Denne rapporten gir en kort innføring i sørpeskred som naturfare, og hvilke prosesser som fører til sørpeskred. Rapporten beskriver hva som er spesifikt med denne skredtypen, samt hvilken effekt klima og klimaendringer har på hyppighet og utløpslengder av sørpeskred. Videre angir rapporten mulige sikringsmuligheter for å begrense risiko relatert til sørpeskred.

Klima 2050 – Reduksjon av samfunnsrisiko knyttet til klimaendringer på det bygde miljø er et senter for forskningsbasert innovasjon (SFI) finansiert av Norges forskningsråd og partnerne i konsortiet. SFI-statusen muliggjør langsiktig forskning i nært samarbeid med privat og offentlig sektor, samt med andre forskningspartnere som har som mål å styrke Norges innovasjons- og konkurranseevne innen klimatilpasning. Sammensetningen av konsortiet er viktig for å kunne redusere samfunnsrisikoen forbundet med klimaendringer.

Senteret vil styrke bedriftenes innovasjonskapasitet gjennom fokus på langsiktig forskning. Det er også et klart mål å legge til rette for tett samarbeid mellom FoU-aktive bedrifter og fremtredende forskningsgrupper. Det blir lagt vekt på utvikling av fuktbestandige bygninger, overvannshåndtering, blågrønne løsninger, tiltak for forebygging av vannutløste skred, sosioøkonomiske insentiver og beslutningsprosesser. Både ekstremvær og gradvise endringer i klimaet blir omhandlet.

Vertsinstitusjonen for SFI Klima 2050 er SINTEF Community, og senteret ledes i samarbeid med NTNU. De andre forskningspartnerne er Handelshøyskolen BI, Norges Geotekniske Institutt (NGI) og Meteorologisk institutt (MET).

Industripartnerne representerer viktige deler av norsk byggenæring; rådgivere, entreprenører og produsenter av byggevarer og teknologi: Skanska Norge, Multiconsult AS, Mesterhus, Norgeshus AS, Leca Norge AS, Isola AS og Skjæveland Gruppen AS. Senteret inkluderer også viktige offentlige bygherrer og eiendomsutviklere: Statsbygg, Statens vegvesen, Jernbanedirektoratet og Avinor AS. Sentrale aktører er også Trondheim kommune, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Finans Norge.

Trondheim, november 2022

Berit Time
Senterleder
SINTEF Community

Sammendrag

Sørpeskred er en hurtig massebevegelse som består av en blanding av snø og vann. Det er en skredtype som er mindre dokumentert og studert enn tradisjonelle snøskred eller flom- og jordskred. Ikke desto mindre kan skadepotensialet fra sørpeskred være stort, både hva angår liv og helse og skader på infrastruktur, bebyggelse og annet materiell. Sørpeskred oppstår når snødekket mettes med vann og mobiliseres som en flytende masse nedover skredløpet. Sørpeskred kan derfor bli utløst i relativt "rolig" terreng, ha lang utløpssone, og løsne i områder som normalt ikke anses som skredfarlige. Bekkeløp og forsenkninger er oftest nevnt som utløsningsområder, ofte med frosset bakke eller sva som underlag, der vann ikke kan drenere.

De meteorologiske forholdene som kan føre til sørpeskred, forekommer normalt i to perioder; 1) vinterperioden med oppbygging av et snødekke som favoriserer sørpeskred og 2) akutt periode før hendelsen der regn, lufttemperatur og vind bestemmer hvor mye vann som tilføres snødekket. Det er usikkert om et varmere og våtere klima vil føre til flere sørpeskredhendelser. Noen faktorer kan føre til økt fare for sørpeskred (f.eks. nye områder ikke eksponert for sørpeskred i dag), mens andre taler i motsatt retning (mer vegetasjon, mindre tele i bakken, mindre snø).

Sørpeskred forekommer relativt sjeldent, men kan ha voldsomme konsekvenser pga. hastigheten, tettheten og de lange utløp. Dette gjør at ikke minst infrastruktur kan bli rammet. For eksempel har både Bergensbanen og Nordlandsbanen gjennom årene blitt rammet av sørpeskred mange steder, og en rekke tiltak er iverksatt for å forbedre forholdene.

Aktuelle sikringstiltak kan deles inn i tre ulike grupper; arealplanlegging, varsling og fysisk sikring. I situasjoner med akutt fare kan varsling av sørpeskredfare være en effektiv metode for å evakuere utsatte områder, stenge veier eller jernbaner. Fysisk sikring mot sørpeskred innebærer at det foretas fysiske endringer i dreneringsforhold, vegetasjon, hydrologiske forhold og terreng for å påvirke utløsning, bevegelse og utløp av sørpeskred. Mange av tiltakene brukes også for sikring mot flom- eller snøskred, men må ofte tilpasses til de spesielle egenskapene som sørpe har som material.

Når det gjelder videre arbeid, påpekes det at klassifiseringen av skredtype i den nasjonale skreddatabasen er mangelfull mht. skille mellom snøskred, flomskred og sørpeskred. Dette bør det rettes opp i. Vi foreslår videre en implementering av ulike tiltak i et område med hyppige sørpeskred for å kunne studere effekt og nytteverdi ved disse tiltakene. For enkelte tiltak ville det også være mulig å gjennomføre småskalaforsøk der man tilfører snødekket vann for å teste effektene av for eksempel drenering eller beplantning.

Innhold

FORORD	5
SAMMENDRAG	7
1 INNLEDNING	9
2 OM SØRPESKRED	10
2.1 DEFINISJON OG FOREKOMST	10
2.2 SKREDMATERIALE	10
2.3 SKREDPROSESS	12
2.4 TERRENG DER SØRPESKRED KAN OBSERVERES	12
2.5 METEOROLOGISKE- OG SNØFORHOLD SOM KAN FØRE TIL SØRPESKRED.....	13
2.6 VEGETASJON OG SØRPESKRED.....	14
2.7 SØRPESKRED I ET FREMTIDIG KLIMA.....	15
3 SØRPESKRED SOM NATURFARE	16
3.1 VIKTIGE HISTORISKE HENDELSER	16
3.2 KONSEKVENSER AV SØRPESKRED FOR BEBYGGELSE OG INFRASTRUKTUR	17
4 SIKRING MOT SØRPESKRED	19
4.1 AREALPLANLEGGING.....	19
4.2 VARSLING.....	19
4.3 FYSISK SIKRING	20
4.4 EKSEMPLER PÅ PLANLAGTE OG IMPLEMENTERTE SIKRINGSLØSNINGER.....	24
5 INNSPILL TIL VIDERE ARBEID	27
5.1 FORBEDRING AV DATAGRUNNLAGET.....	27
5.2 UTTESTING AV SIKRINGSLØSNINGER	27
5.3 FULLSKALA OG MODELLTESTER AV SØRPESKRED.....	27
5.4 MONITORERING OG KARTLEGGING AV HENDELSER	27
6 REFERANSER	28

1 Innledning

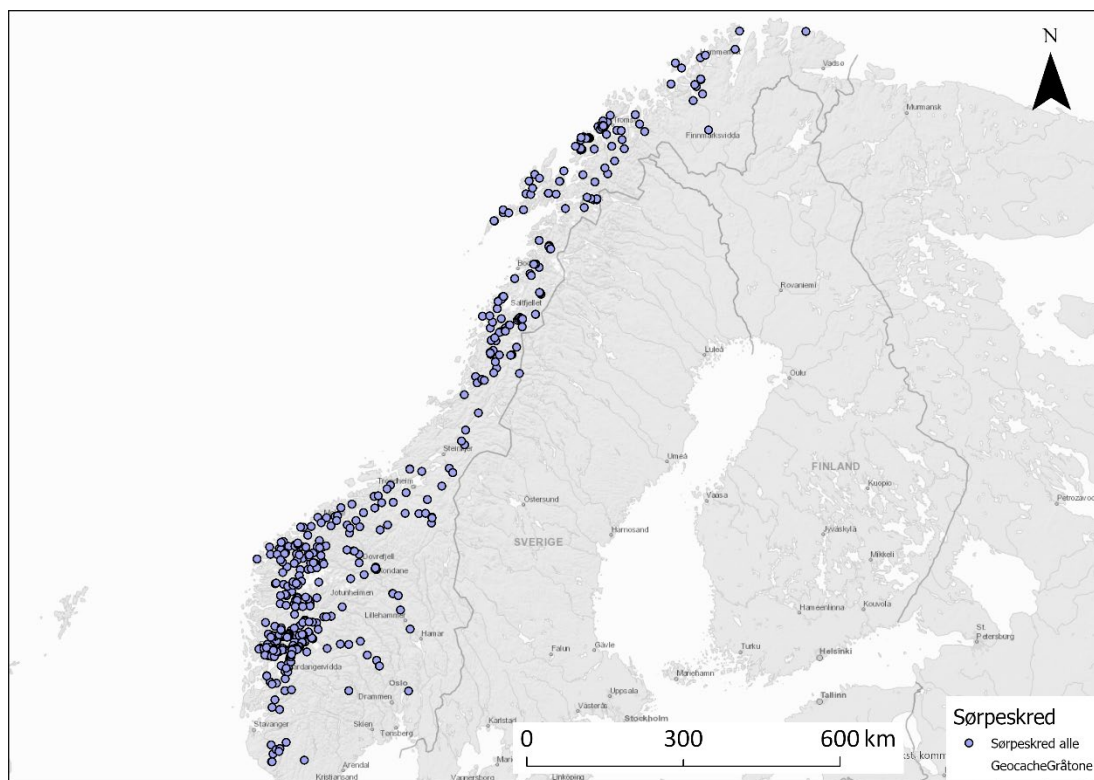
Sørpeskred er en skredtype som gjør stor skade på infrastruktur og bebyggelse, men som er forsket på og dokumentert i mye mindre omfang enn for eksempel snøskred og flomskred. Sørpeskred oppstår når snødekket mettes med vann og mobiliseres som en flytende masse nedover skredløpet. Det pågår diskusjoner om varmere vær med flere innslag av intensivt regn på snødekket om vinteren kan gi opphav til flere sørpeskred. Det er derfor viktig å kunne identifisere mulige sørpeskredområder og vurdere teknikker og konsepter for sikring mot sørpeskred. Rapporten gir en kort innføring i sørpeskred som naturfare, og hvilke prosesser som fører til sørpeskred. På bakgrunn av denne informasjonen blir ulike sikringsløsninger presentert og diskutert.

Gjennomgangen av relevante sikringstiltak som er i bruk i dag, viser at de fleste av dem begrenser seg til håndtering av skredmassene i bevegelse før de når selve objektet som må sikres. Det er manglende erfaring med metoder som hindrer utløsning av skredene. Denne rapporten legger grunnlaget for videre utvikling, innovasjon og testing av nye eller tidligere foreslåtte, men ikke uttestede, metoder for håndtering av risiko knyttet til sørpeskred.

2 Om sørpeskred

2.1 Definisjon og forekomst

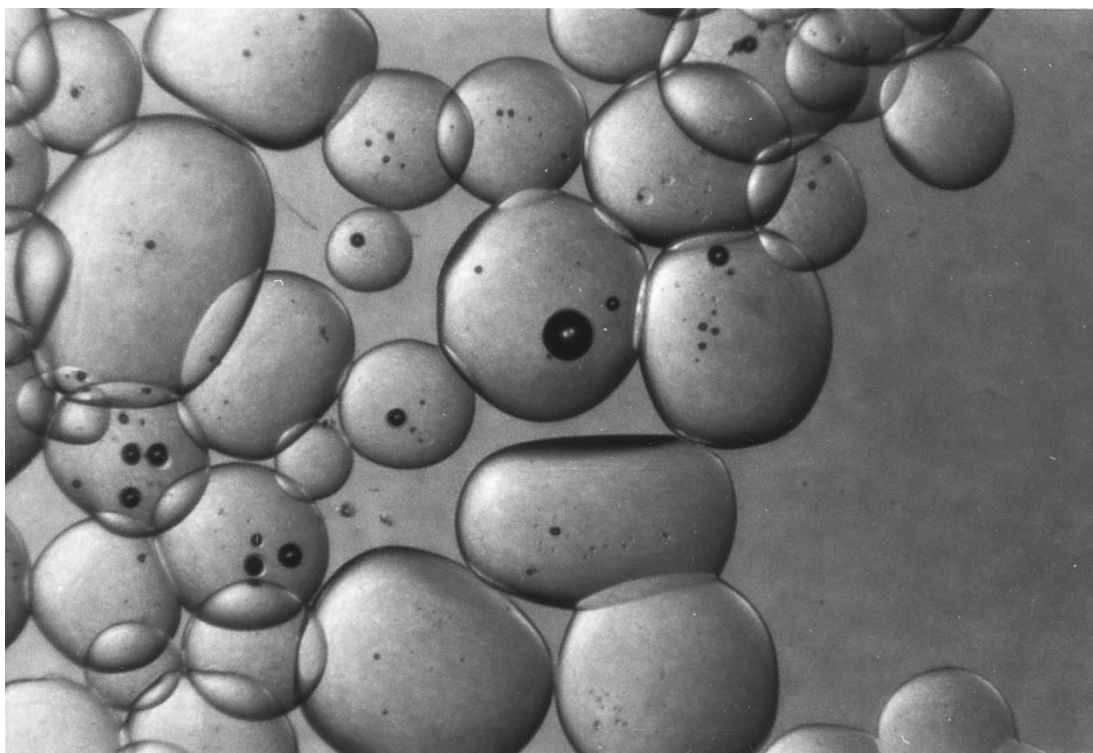
Sørpeskred er en hurtig massebevegelse som består av en blanding av snø og vann. Sørpeskred er en naturlig skredprosess som forekommer i alle områder i verden som har et sesongmessig snødekke (Onesti og Hestnes, 1989). Antall årlig observerte sørpeskred er betydelig mindre enn for eksempel snøskred og hendelsene er ofte knyttet til store hendelser der mange skred forekommer i løpet av kort tid i et bestemt geografisk område, for eksempel 2010 i Vefsn området i Nordland fylke (Jaedicke et al., 2013a). Slike store hendelser har tradisjonelt forekommet ca. hver 30. år i Norge, som i 1928 og 1979 på Vestlandet, og i 1956 og 1981 i Nord-Norge (Hestnes og Kristensen, 2012). Utførlige beskrivelser av sørpeskred som naturfare finnes i Jaedicke et al. (2013b) og Sund et al. (2020). Figur 2-1 viser et kart med sørpeskred som er registrert i den nasjonale databasen (www.skredregistrering.no).



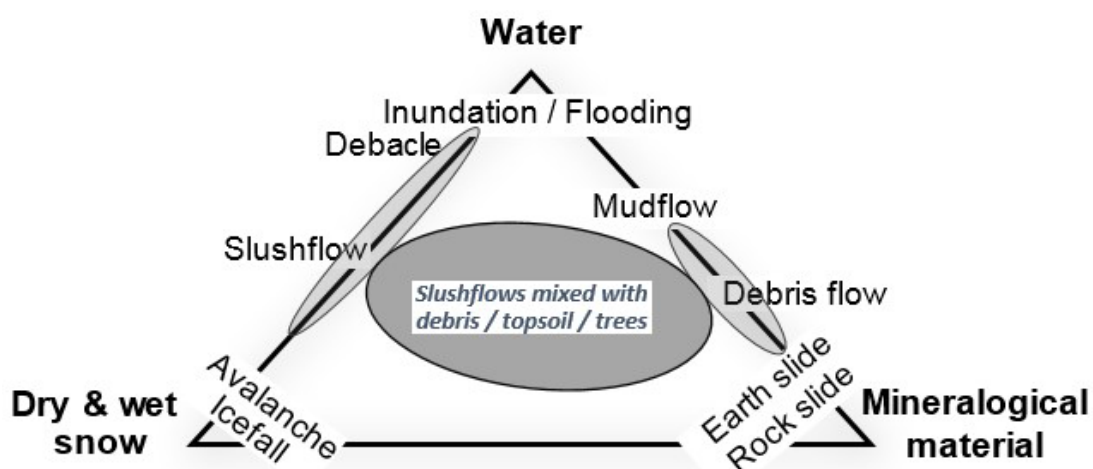
Figur 2-1 Kart over Norge som viser alle sørpeskredpunktene som er registrert i den nasjonale skred databasen.

2.2 Skredmateriale

Sørpe er definert som snø med et vanninnhold over 15%, noe som medfører at iskrystallene mister den direkte kontakten med hverandre og er omgitt av vann (Figur 2-2) (Fierz, C. et al., 2009). Denne blandingen har en høy tetthet, ofte over 800 kg/m^3 og ingen kohesjon, medfører at massen flyter som en væske. Dette plasserer sørpeskred mellom snøskred og flom i trekanten som klassifiserer hurtige massebevegelser (Figur 2-3).



Figur 2-2 Sørpe under mikroskopet. Iskrystallene er avrundet og svømmer i vannet som omgir dem (Foto: Sam Colbeck, (Fierz, C. et al., 2009)).



Figur 2-3 Klassifisering av hurtige massebevegelser (Hestnes et al., 2017).

På vei ned skredbanen tar sørpeskred ofte opp store mengder geologisk og organisk materiale (Figur 2-4), slik at avsetningene lett kan forveksles med avsetninger fra flomskred (Hestnes og Jaedicke, 2018). Ferske avsetninger fra sørpeskred vil alltid inneholde snø eller is og er dermed relativt enkelt å skille fra flomskredavsetninger rett etter en hendelse. Det er ofte vanskeligere å skille avsetningene etter noen år.



Figur 2-4 Avsetninger etter sørpeskred ved Balestrand i 2011.

2.3 Skredprosess

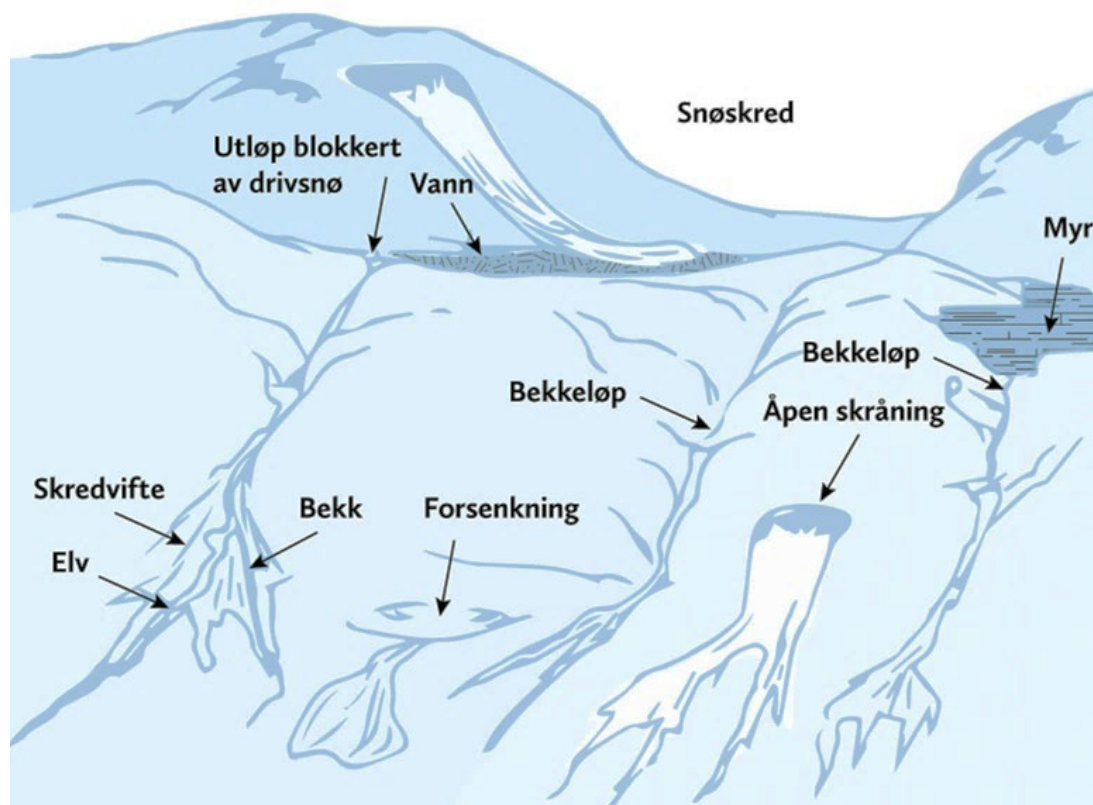
Utløsning av sørpeskred er et komplekst samspill mellom snø, vann, terreng og vær, der hver skredhendelse er unik. Generelt utløses sørpeskred når det tilføres mer vann til snødekket enn det som kan dreneres (Gude og Scherer, 1997, 1998). Dermed samler vannet seg i snødekket, der bindingene mellom krystallene svekkes og oppløses etter hvert, slik at snødekket går over til flytende sørpe. Målinger utført i Rana på 1990 tallet viser en markant økning av vannstanden i snødekket før utløsning av et sørpeskred (Hestnes og Bakkehøi, 1996). Om denne prosessen fører til at massene løsner som skred, er avhengig av snødekkets egenskaper og tidsforløpet i tilførsel og drenering av vann. Hvis for eksempel vannet danner dreneringskanaler i snødekket før bindingene mellom krystallene svekkes, vil det ikke utløses noe skred.

Sørpeskred kan starte som svært våte flaskred der overgangen til sørpe skjer nesten umiddelbart (Hestnes et al., 1994). Ofte river vann og sørpe i bekkeløp med seg snø slik at skredene kan øke sitt volum betydelig nedover skredbanen. Dette kan være en av årsakene til at sørpeskred ofte går i pulser. Sørpeskred beveger seg raskt, opp mot 15-30 m/s, og pga. den store tettheten har de stort skadepotensial og eroderende effekt på vegetasjon og løsmasser.

2.4 Terreng der sørpeskred kan observeres

For å identifisere snøskredterreng er det viktig å vurdere prosessene som fører til snøskred. Et hovedpoeng er å samle vann i snødekket, det vil si at vann samles og ikke dreneres godt (Figur 2-5). Bekkeløp og forsenkninger er oftest nevnt som utløsningsområder (Onesti og Hestnes, 1989), ofte med frosset bakke eller sva som underlag, der vann ikke kan dreneres.

Også åpne skråninger, myrer og flate områder der vann kan samle seg i snødekket, kan være utløsningsområder (Hestnes, 1998). Tidligere studier nevner observerte terrenghelninger fra 0 til 40 grader. Oppdemming av vann i bekkeløp forårsaket av store snøskred er også en mulig kilde for sørpeskred. En nyere studie utført av Norges Geotekniske Institutt for Norges Vassdrags og Energidirektorat (NVE) bekrefter tidligere funn, men legger mindre vekt på myrer og flate områder enn tidligere (NGI, 2020).



Figur 2-5 Tradisjonell klassifisering av utløsningsområder for sørpeskred. Modifisert etter (Hestnes, 1998)

2.5 Meteorologiske- og snøforhold som kan føre til sørpeskred

Sørpeskred utløses i situasjoner der mye vann tilføres snødekket, enten ved regn eller intens smelting. De meteorologiske forholdene som kan føre til sørpeskred forekommer i to perioder; 1) vinterperioden med oppbygging av et snødekke som favoriserer sørpeskred og 2) akutt periode før hendelsen der regn, lufttemperatur og vind bestemmer hvor mye vann som tilføres snødekket. Periodene kan overlappe hverandre, spesielt i begynnelsen av vintersesongen, eller være helt adskilt i smeltestendelser om våren (Hestnes et al., 1994).

Periode 1 bestemmer hvordan snødekket er bygget opp. Her skiller to snøtyper seg ut fra alle andre: Nysnø og grovkornet gammel snø (Hestnes, 1998). Sørpeskred i nysnø forekommer når nedbør først kommer som snø og er etterfulgt av varmere luft og regn. Grovkornet gammel snø oppstår når det er generelt lite snø i et område tidlig på vinteren, etterfulgt av lange perioder med kaldt og pent vær. Prosessene i snødekket vil da føre til en omkrystallisering av snøkrystallene til større og kantkornete krystaller.

Begge disse snødekkene, nysnø og gammel grovkornet snø, har til felles at bindingene mellom snøkrystallene er begrenset sammenlignet med for eksempel hard fokksnø. Dermed vil ikke vannet, når det metter snødekket, måtte bryte ned så mange bindinger, og snødekket kan raskere omdannes til sørpe. Skuset (2018) undersøkte ulike typer snø i forhold til potensial for sørpeskredutløsning. Været tidlig på vinteren har også sterk innvirkning på teledybde og påvirker dermed dreneringsforholdene for vannet under snødekket.

Periode 2 bestemmer hvor mye vann som tilføres snødekket. Det er to kilder, regn og smeltevann (Jaedicke et al., 2013a). Ofte har begge et bidrag i den totalt tilgjengelige vannmengden. Mengden regnvann er lett å følge med på i målinger og prognoser. Mengden smeltevann er betydelig vanskeligere å estimere siden den er avhengig av snødekkets energibalanse. Her spiller så vel stråling som turbulente energiflukser viktige roller. Generelt kan man si at smeltingen foregår raskere med høyere temperaturer og økende vindhastighet. Solstråling bidrar betydelig sent på våren, spesielt hvis snøen allerede er litt mørkere og dermed tar opp mer energi fra solen. En beregningsmodell for smeltevannsmengden er beskrevet av Hestnes et al., (1987).

Hestnes et al. (1994) oppsummerer situasjoner med observerte sørpeskred slik:

- Smeltevann utgjorde 5-45% av den totale vanntilførselen i perioder med varmfronter. Regn bidro med fra <5% til 65% av den totale vanntilførselen i disse tilfellene.
- Ved vårsmeltingssituasjoner utgjorde netto stråling 20-50% av energibudsjettet og bidro sterkt til smeltingen.
- Vintervær karakterisert ved gjentatte overganger mellom snøfall, regn og kaldt, tørt vær forårsaker ofte relativt store variasjoner i snøtyper innenfor korte avstander. Dette skyldes variasjoner i topografi, nedbør og temperatur. Sørpeskred kan derfor oppstå lokalt også når vanntilførselen er nærmest lik over store områder.

Ved lavtrykksaktivitet og regn vil regn og snøsmelting vanligvis ha en varighet på 5-36 timer før sørpeskredene løses ut. Ved snøsmelting om våren var varigheten ofte 5-16 dager, men den mest intense perioden kunne være mindre enn 24 timer (Hestnes, 1998).

2.6 Vegetasjon og sørpeskred

Sørpeskred er observert fra inn- og beitemark, åpen skog med busk- og gressvegetasjon, skogklede fjellsider og høyfjellsterreng uten trær (Hestnes et al., 1994). Vegetasjonen påvirker muligheten for sørpeskred på mange måter. I utløsningsområdene fører trær til endringer i snødekket pga. strålingseffekter og intersepsjon (deler av snøen avsettes på grenene). Trestammene vil også føre til en viss mekanisk stabilisering av snødekket (Anma et al., 1988). Men hvis snøen først er omdannet til sørpe, vil ikke trærne lengre ha noen stabiliserende effekt og sørpeskred har blitt observert i skogkledd terreng (Hestnes, 1997). Generelt er vel oppfatningen at tilvekst og tilgroing av tidligere åpne områder og innmark fører til lavere sannsynlighet for utløsning av sørpeskred. I skredbanen og i utløpsområdet har vegetasjonen ingen betydning for sørpeskred siden massene har så stort trykk mot vegetasjonen at det meste vil bli ødelagt (Hansen, 2016).

2.7 Sørpeskred i et fremtidig klima

Ved flere anledninger er det uttalt og skrevet at et varmere og våtere klima vil føre til flere sørpeskredhendelser. I utgangspunktet er dette en reell mulighet, men man bør tenke gjennom de involverte prosessene før en slik prognose kan fastslås.

Terrenget som kan føre til sørpeskred vil ikke endre seg i et varmere og våtere vær. Endringen vil skje ved at en stigende snøgrense vil flytte områdene som utsettes for regn eller stor smelting i perioder med snø oppover i fjellområdene. Dette kan føre til at nye områder, der sørpeskred ikke er kjent fra før kan bli aktive. Varmere vær vil føre til at vegetasjonen blir tettere og at tregrensen stiger. Sørpeskred forekommer sjelden i tett vegetasjon og dermed kan varmere vær føre til en reduksjon i arealet som er utsatt.

Tele i bakken kan være et viktig bidrag for dannelsen av sørpeskred ved at telen hindrer infiltrering av smeltevann, slik at vannet kan samle seg i snødekket. Varmere vær vil føre til generelt mindre tele og dermed redusere faren for sørpeskred.

Situasjoner med kraftig oppvarming og store nedbørmengder vil trolig øke i et fremtidig klima. Dette kan føre til utløsning av sørpeskred i områder hvor regnet treffer et svakt snødekke. Totalt vil arealet som er dekket av snø i slike situasjoner være redusert slik at også sannsynligheten for sørpeskred reduseres. I høyfjellet, der det fortsatt ventes snø, kan sannsynligheten øke i områder som tidligere har hatt stabilt vintervær.

Totalt snødekket areal og snøtykkelsen vil reduseres i fremtiden. Hyppig oppvarming av snødekket fører normalt til et mer stabilt snødekke og faren for sørpeskred vil dermed reduseres.

Tabell 2-1 gir en oversikt over hvordan de ulike faktorene kan påvirke hyppigheten av sørpeskred i et fremtidig klima.

Tabell 2-1 Faktorer som tilsier en økning eller reduksjon av antall sørpeskredhendelser i et fremtidig klima

Faktor	Tendens	Kommentar
Terreng	Økende	Skred på nye steder
Tele	Reduserende	Mindre areal med tele og tynnere telelag
Vegetasjon	Reduserende	Mer vegetasjon / høyere tregrense
Vær	Reduserende	Mer regn på snø, men totalt mye mindre snødekket areal og kortere periode med snødekke
Snødekke	Reduserende	Mindre areal som er dekket av snø, kortere varighet av snødekket

3 Sørpeskred som naturfare

3.1 Viktige historiske hendelser

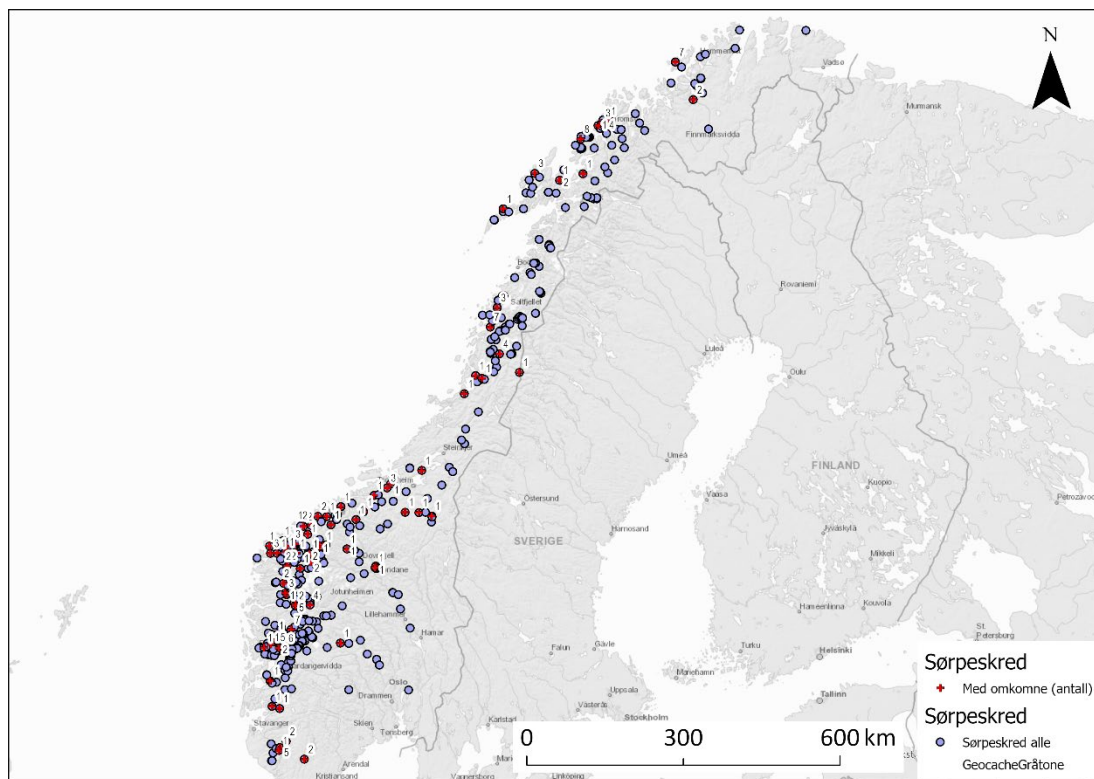
Bortsett fra enkelthendelser forekommer sørpeskred ofte over større områder. Slike hendelser har blitt registrert fem ganger de siste 100 år; i 1928 og 1979 på Vestlandet, og i 1956 og 1981 i Nord-Norge. Det nyeste tilfellet var i 2010 med tallrike sørpeskred i Nord-Norge (Hestnes et al., 2012). De siste årene har det omkommet 8 mennesker i sørpeskred (Gyavatnet 2010 (1), Balestrand 2011 (2), Vefsn 2010 (4), Fauske 2021 (1)).

I den nasjonale skreddatabasen (Furseth, 2006; Jaedicke et al., 2009) dukker de første skredhendelsene med sørpeskred opp i 1620, der 3 mennesker omkom i et skred i Dyrstad. Ulykken som er oppført med flest omkomne skjedde i 1850. Fra beskrivelsen i den nasjonale skreddatabasen: *"Haram. Krogsæter. 18. februar 1850 kl. 18.00 kom ei stor skredulykke på Vatne. Nesten alle hus reiste, blant anna to gardsbustadhus og eit kårhus, og 12 menneske omkom, og 30 storfe, 3 hestar og 30-40 småfe vart også drepne av snøfonna/flaumfonna. To var alvorleg skadde. Det vart att berre 17 menneske i grenda. Etter ein fæl snøvinter, kom det brått omslag i veret til vedvarande regn. Bergselva vart demd opp av eit stort snøskred, og demma brast ut, kom brått med snø og vatn, ei såkalla blåstøde, og slo husa overende. På den tida låg dei fleste husa tett ved elva der flaumen kom. Der var tre tun, men det fremste tunet, Hansgarden, låg litt unna dei andre og vart ikkje råka. På austsida av elva vart det ikkje bygd opp att, men på vestsida bygde ein opp att husa. Det vart seinare bygd ein diger mur i 1929 som verna mot slike flaumskred. I 1950 vart det reist ein minnebauta på Raten, og i 1991 vart namneplate påsett. (Det gjekk om lag 15 slike sørpeskred på Sunnmøre/Romsdal i slutten av februar 1850, med i alt 21 døde.) På Krogsæter hadde det gått snøfonner også før dette."*



Figur 3-1 Lite sørpeskred utløst på grunn av konsentrasjon av vann utover dreneringsløp. Har gjort skade på lensmannsgarden i Sande, Gaular. 03.03.1979. (Foto: P. Askvoll)

I henhold til opplysningene i den nasjonale skreddatabasen omkom 171 mennesker i 78 sørpeskredhendelser siden den første registrerte hendelsen i 1620. Siden 1945 er det registrert 13 omkomne i 8 hendelser. Tallene for etterkrigstiden er definitivt beheftet med store feil. Bare en liten sjekk viser at de fire dødsfallene i Rana i 1981 er registrert under snøskred. Her gjenstår en stor ryddejobb.



Figur 3-2 Kartet fra den nasjonale skreddatabasen viser sørpeskredene med omkomne

3.2 Konsekvenser av sørpeskred for bebyggelse og infrastruktur

Sørpeskred forekommer sjeldent, men har ofte voldsomme konsekvenser pga. hastigheten, tettheten og de veldig lange utløp sørpeskred ofte har. Dermed treffer de i mye større grad infrastruktur og bebyggelse lengre ned i dalene, ofte i områder uten snødekke (Figur 3-3). Både hus, veier og jernbane har blitt skadet av sørpeskred. Skadene er ofte omfattende og flere av hendelsene har ført til omkomne. Det er derimot få hendelser der friluftsliv er påvirket (Vefsn, 2010).



Figur 3-3 Sørpeskred ved Vatne i Mandalen 15.05.2010 (Foto: Nils-Ole Dalvik)

Bebyggelse har ofte blitt truffet av sørpeskred. To hus, fire hytter og flere båthus ble ødelagt da fem personer ble drept i skredene i Rana i 1981 (Hestnes og Sandersen, 1987). I den nasjonale skreddatabasen er 164 sørpeskred med skader på hus registrert. Men disse registreringene er meget usikre, mange skred er registrert feil og informasjonen som ligger i beskrivelsene er ofte ikke ført opp i kategoriseringen (skade på hus ja/nei). Skredene i Rana er for eksempel ikke registrert som sørpeskred og mangler derfor i oversikten. Siste hendelse var i 2011 i Balestrand da to personer omkom i et stort sørpeskred som traff og ødela et hus fullstendig.

Statens vegvesen har kartlagt skredfare langs store deler av veinettet og konkluderer med at det totalt er rundt 300 strekninger med mellom 5 og 400 m lengde, der veiene er utsatt for sørpeskred. Kun 24 av disse strekningene er markert med "sikring utført", men for 142 punkter anses skredfare som lav. Et av de mest kjente stedene er Langfjordbotn i Finnmark, der sørpeskred gjentatte ganger har skadet broen. Sterkere bro og utvidelse av lysåpningen er forsøkt for å hindre at sørpeskred skader broen. Totalt er det registrert rundt 160 sørpeskredhendelser som har ført til skade på vei i den nasjonale skreddatabasen. De siste 10 årene har 2 skred har ført til dødsfall (Gyavatnet, 2011, Fauske 2021).

Jernbanen har blitt påvirket av sørpeskred ved en rekke anledninger. Etter de mange hendelsene på Vestlandet 1928 var Bergensbanen skadet av sørpeskred mange steder og en rekke tiltak ble iverksatt for å forbedre forholdene. Enkelte overbygg etter disse hendelsene er fortsatt i bruk vest for Voss. Nordlandsbanen er utsatt for sørpeskred og er nesten årlig stengt pga. slike skred.

4 Sikring mot sørpeskred

Sikringsløsninger mot sørpeskred må ta hensyn til de spesielle prosessene som fører til skredene og til skredmassenes egenskaper (Hestnes og Sandersen, 2000; NVE, 2011; Sandersen og Hestnes, 1995). Sikringstiltak kan deles inn i tre ulike grupper, arealplanlegging, varsling og fysiske sikringer.

4.1 Arealplanlegging

Den enkleste og billigste metoden for å sikre mot sørpeskred er ved bruk av kartlegging av terreng og vassdrag som kan føre til sørpeskred for derved å unngå etablering av infrastruktur og bebyggelse i utsatte områder. God kunnskap om historiske hendelser og de involverte prosessene er en forutsetning for slik kartlegging. Numeriske modeller kan kun gi begrenset informasjon, siden det per i dag ikke finnes modeller spesifikt utviklet for sørpeskred. Sørpeskred er relativt sjeldne hendelser, og historiske hendelser anses derfor som viktig før man eventuelt kartlegger alle bekkene og forsenkninger i en arealplan som mulige områder utsatt for sørpeskred. Detaljerte veiledninger for kartlegging av sørpeskred finnes i NVE (2022).

4.2 Varsling

I situasjoner med akutt fare kan varsling av sørpeskredfare være en effektiv metode for å evakuere utsatte områder, samt stenge veier eller jernbaner. En forutsetning for effektive tiltak er god kartlegging på forhånd slik at de riktige arealene / strekningene blir evakuert eller stengte.

Mye arbeid er gjort for å lage metoder og prosedyrer for varslingen av sørpeskred i områder der en er kjent med hyppige sørpeskredhendelser (Hestnes og Bakkehøi, 2004, 2010; Jaedicke et al., 2013a; Øyehaug, 2016).

For den operative varslingen må en ha informasjon om

- a) Observert vær (nedbør, temperatur, luftfuktighet vind, helst stråling)
- b) Værprognoser
- c) Snødekkets oppbygging og temperatur
- d) Eventuelle automatiske observasjoner av vannivået i snødekket

Fra værobservasjoner og prognoser kan en beregne den totale mengden vann som tilføres snødekket. Snødekkets oppbygging gir informasjon om snøtypen, der forekomst av nysnø eller grovkornet gammel snø vil føre til en høyere sannsynlighet for skred enn for eksempel tett fokksnø. Et varmt snødekke vil kunne omdannes til sørpe raskere enn et kaldt snødekke.

Basert på denne informasjon vil det være mulig å gi daglige varsel om sørpeskredfare i et gitt område eller skredløp. Etter vår kjennskap er slike stedsspesifikke varslingssystemer i dag kun etablert for to skredløp på Svalbard.

På et regionalt nivå varsler NVE fare for sørpeskred på lik linje som varslingen for jord- og flomskred (Sund et al., 2020). Varslingen er basert på overvåkingen av meteorologiske og hydrologiske elementer og er i stor grad erfaringsbasert.

Terskelverdier og varslingsmodeller er per i dag ikke fullt utviklet, og også det statistiske grunnlaget i historiske sørpeskredhendelser er mangelfull. Regional varslings forutsetter derfor mer krevende og skjønnsbaserte vurderinger enn varslings av jordskred.

4.3 Fysisk sikring

Fysisk sikring mot sørpeskred innebærer at det foretas fysiske endringer i dreneringsforhold, vegetasjon, hydrologiske forhold og terreng for å påvirke utløsning, bevegelse og utløp av sørpeskred. Mange av tiltakene brukes også for sikring mot flom- eller snøskred, men må ofte tilpasses de spesielle materialegenskapene til sørpe. Derfor beskrives mulige sikringsløsninger etter deres plassering i skredløpet fra utløsningsområdet til utløpsområdet.

Sikring i utløsningsområdet

I utløsningsområdet er den viktigste prosessen for utløsning av sørpeskred at det samles vann i snødekket. Derfor er mulig å adressere denne prosessen direkte enten ved å

- a) Endre, redusere tilsiget til snødekket
- b) Sørge for en forbedret drenering av snødekket

Endringer i de lokale hydrologiske prosessene i utløsningsområdet kan for eksempel innebære å forbedre drenering av forsengkninger og myrer eller å endre bekkeløp slik at man får mindre tilsig til kjente områder der vannet samler seg i snødekket. Det er foreslått grøfting og omlegging av bekkeløp. Slike tiltak kan imidlertid være i konflikt med forhold knyttet til biologisk mangfold og verneinteresser.

Etablering av høyere vegetasjon eller skog endrer den lokale snøhydrologien trolig til det positive ved å hindre at sørpen kan komme i bevegelse, men også ved å tillate bedre drenering av vann langs vegetasjonen. Ny skog i områder som ble skadet av sørpeskred er forsøkt som sikringsløsning på Mt. Fuji i Japan (Anma et al., 1988).

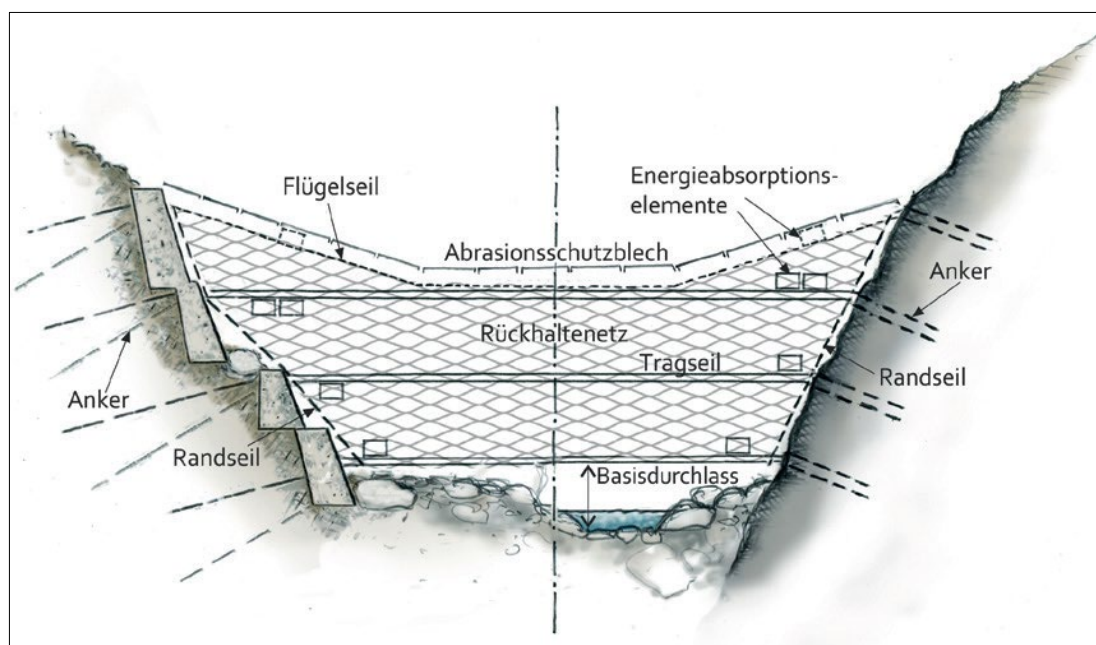
Dersom tilsig og drenering ikke kan endres, gjenstår inngrep som hindrer at snødekket kommer i bevegelse, mens vannet dreneres ut. For dette formålet er det foreslått barrierer ved utløpet av slake partier i bekkeløp eller fra myrer. Det er ikke kjent om slike barrierer er implementert i Norge eller andre steder.

Sikring i skredløpet

Meddriving av snø er en viktig grunn for at sørpeskred som i utgangspunktet hadde et begrenset initialvolum, blir store og ødeleggende. Den samme prosessen er kjent fra flomskred. Fra erfaringer med flomskred er det derfor foreslått sikringer i skredløpet som skal hindre at skredet vokser seg større på vei nedover (Vicari et al., 2021). For flomskred er det foreslått wirenett eller så kalte "check dams" som holder tilbake massene, men som gir vannet fritt leide. Check dams reduserer i tillegg helningen fra demning til demning noe som fører til mindre skredhastighet og dermed mindre erosjon.



Figur 4-1 Venstre: Check dams laget av tømmer (Foto: WSL, Sveits). Høyre: Eksempel på Check dam kombinert med fangnett, fra Brendenbach, Sveits (Foto: Geobru gg)



Figur 4-2 Skjematisk tegning for et fangnett i et flomskredløp. Lignende løsninger kan brukes for sørpeskred (Berger et al., 2020).

Når skredene er i bevegelse, er det ofte vanskelig å styre massene. Det er likevel mulig å tenke seg ledevoller som styrer skredet i en bestemt retning eller som hindrer at massene sprer seg over et større område. Igjen kan samme type sikringstiltak som brukes for flomskred også brukes for sørpeskred. I dimensjoneringen av slike tiltak må en ta hensyn til viskositeten og den høye tettheten i massene slikt at skredene ikke renner over sikringstiltaket.



Figur 4-3 Ledevoll som hindrer sideveis spredning av flom- og sørpeskred ved kraftanlegget i Simadalen (Foto: NGI)

For beskyttelse av veier og jernbane er overbygg brukt flere steder (Figur 4-4). Skredene kan da gå over infrastrukturen uten at trafikken blir påvirket. Nøye plassering av tiltaket er avgjørende for å få ønsket effekt. Også her er gjentakende hendelser som avsetter skredmasser på tiltaket et stort problem da det kan føre til at skredmassene fra tidligere skred leder nye skredmasser rett på veien eller jernbanen. Er det kjent at skredbanen kan føre flere skred hver vinter, må tiltaket dimensjoneres slik at den beholder sin funksjonalitet også etter flere skred. I tillegg er ettersyn og vedlikehold viktig.



Figur 4-4 Overbygg ved Bogelia, Bergensbanen som beskytter mot blant annet sørpeskred (Foto: BaneNor)

Sikring i utløpsområdet

I utløpsområdet kommer ofte sørpeskredene i konflikt med bebyggelse og infrastruktur. Det er her de fleste tiltakene mot sørpeskred er realisert. Målet med tiltakene er enten å stoppe skredene eller å lede de vekk fra det utsatte området eller objektet.

Som oftest gjøres dette ved hjelp av voller. Både fang- og ledevoller kan brukes avhengig av de lokale terrengforholdene for et gitt prosjekt. Ved bruk av ledevoller, må man ha et sted hvor man kan lede skredmassene, for eksempel forbi bebyggelse ut på åpent terreng. For veier er ofte fangvoller med tilhørende oppsamlingsbasseng brukt for å stoppe massene før de når veien. En annen mulighet er å utvide lysåpningen under broer for at skredmassene skal kunne bevege seg fritt uten å påvirke veien eller brokonstruksjonen.

Utfordringen i dimensjoneringen av alle slike tiltak er å skaffe godt nok datagrunnlag for å beregne hastighet og flyte høyde når skredene treffer tiltaket. For den praktiske driften er spesielt gjentakende hendelser et stort problem for kapasiteten bak voller og oppsamlingsbassenger. Kommer det gjentatte skred i løpet av vinteren som fyller opp bak voller og bassenger, reduseres virkningen av tiltakene betydelig (Figur 4-5). Det kan også være avsetninger etter snøskred gjennom vinteren. Kommer så sørpeskredet om våren vil tiltaket ikke lengre ha kapasitet til å ta opp mer masse, og skredene vil flyte over vollen.



Figur 4-5 Sørpeskred ved E6 Herranes, Langfjorden v/Alta, 15.-16. mai 2010. Tre skred etter hverandre førte til at sikringen ikke klarte å holde skredmassene unna veien (Foto: Bente Svendsen, Statens vegvesen)

4.4 Eksempler på planlagte og implementerte sikringsløsninger

De fleste implementerte sikringstiltak i Norge mot sørpeskred er voller eller grøfter for å lede eller stoppe sørpeskredet. Slike sikringstiltak er bygget mange steder for beskyttelse av veier, jernbaner og bebyggelse. Bebyggelse kan ofte plasseres i eller flyttes til trygge områder mens veier og jernbaner ofte må krysse flere områder der sørpeskred kan forekomme. Dette fører til et større antall sikringer ved slik lineær infrastruktur.

For å undersøke omfanget av kjente sikringer mot sørpeskred, er det gjennomført intervjuer med eksperter i Norge og på Island. Dette førte til en rekke eksempler på ulike sikringsmetoder som presentert under.

Både langs jernbaner og veier i Norge har man gjennom generasjoner dimensjonert lysåpninger på bruer og store kulverter der det har vært kjente sørpeskredbaner. Noen har vært vellykkede, dvs. store nok til å ta de skred som inntil våre dager har kommet, men de fleste har vist seg å være underdimensjonerte.

Langs den gamle linjetraséen på Bergensbanen mellom Bulken og Arna var det mange bruer og kulverter som ble ødelagt i skredene 1928, mens noen klarte seg både i 1928 og 1979 (Hestnes og Larsen, 1989). Her er det også nevnt andre tiltak som ledegrøfting for avskjæring av overflatevann og flytting av bekkeløp til større og sikrere nedløp. Flere nye overbygg og tunneler ble etablert etter de store skredhendelsene i 1928.

Senere kom flere wirenett mellom Finse og Myrdal som delvis har som formål å stoppe sørpeskred før skredene når frem til banen. Der ble det også foreslått å avskjære nedløpet fra et nedbørfelt for å redusere størrelsen på eventuelle sørpeskred mot linja øst for Myrdal. Vann kunne fortsatt gi sørpeskred, men skredmassene ville stanse i terrenget og ikke føre til skader. Det er usikkert om tiltaket er gjennomført.

Ved Ofotbanen er det også foreslått ulike tiltak mot sørpeskred. En del av de foreslåtte tiltakene er bygget, som for eksempel ombygging av enkelte kulverter til bruer med større lysåpning og bruk av varslingsgjerde mot sørpeskred som utløser lyssignal. Bruk av kamera for overvåking kan også være implementert. Det er ikke kjent hvilke tiltak som er realisert.

I Drangsdalen på Sørlandsbanen ble et varslingsgjerde mot stein/flomskred med tett trådsetting, som også ville fungert ved sørpeskred satt opp. Gjerdet utløser lyssignal.

For Statnett er det de siste årene gjennomført skredfarevurderinger for et stort antall kraftmaster og trafostasjoner. Enkelte master er vurdert som utsatt for sørpeskred og mastene ble sikret ved hjelp av høye betongfundamenter som skal tåle lastene fra sørpeskred.

Statens vegvesen og Vestland fylkeskommune opplyser at det ved Flåm er satt opp wirenett over E16 for å sikre mot flom- og sørpeskred.

Ved E6 Herraneselva, Langfjorden, Alta, ble en stor kanal gravd og sprengt ut og en dimensjonerte ei stor bru med god lysåpning for å gi sørpeskred fritt leide ned til fjorden. En tidligere bro ble i et tidligere skred løftet av fundamentet og de store dragerne ble ført på fjorden og er ikke gjenfunnet (Hestnes og Kristensen, 2012).

På Hinnøya er det utført ulike tiltak for å sikre den «nye» Lofast-veien mot sørpeskred. Store lysåpninger under bruer er bl.a. benyttet.

Ved Mistvær, vest for Rognan gikk elva fra Skredvatnet i et djupt gjel. Gamleveien var lagt i bru over gjelet for å unngå sørpeskred. I 1976 tok et sørpeskred rekkverket på brua, men bru plata holdt. Flere skred har skadet veien her tidligere på 1930-, og 1960-tallet. Det er i avisartikkel antydnet at det var 20 meter fra brua ned til elva. Veien er senere lagt om og krysser nå elva mye lengre ned mot fjorden.

Det var en aktiv overvåkning av to veistrekninger i Rana i perioden 1991/92-2000/01. Vær- og snøparametere, vannstigningen i potensielle utløsningsområder m.m. ble logget. Erfaringene fra dette ble brukt i utviklingen av et automatisk og forenklet system som skulle kunne brukes innen kritiske områder, men dette ble aldri implementert av Vegvesenet.

Vegvesenet har benyttet både fangvoll av løsmasser og steinmur, og har i enkelte tilfeller fått erfare at kreftene er så store at tiltakene ikke har tålt påkjenningene av sørpeskred.

Ved Heggland ble det foreslått bruk av et kraftig wirenett med finmasket indrenett for å ta massene fra sørpeskred, men som lar vannet passere. Det er uvisst om tiltaket er bygd.

Ved flere steder i landet er det en tradisjon å forebygge sørpeskred ved å åpne bekkeløp og drenering om våren eller før store omslag til mildvær. I Fjordgård på Senja fjerner beboerne snø og is i dreneringsløpet for å hindre at vannføringen går ut av bekkeløpet og forårsaker sørpeskred. Her ble det også anbefalt tilplanting på myrområder for å hindre medrivning av snødekket. På Vestlandet er dette tiltaket kjent som å «veite snødekket», dvs. lage vannkanaler i snødekket for å drenere og lede vannet i snøen trygt utenom bygninger/tun, jfr. bonden i Hornindal som var på veg opp jordet for å starte et slikt arbeid da sørpeskredet gikk ved siden av der han kjørte.

Tiltak ved hjelp av beplantning og mindre endringer av dreneringen er for eksempel iverksatt ved Tønsåsen i Tromsø, der både planting av bartrær og utbedring av bekkeleiet for å hindre utløsning og dels medrivning av snø/sørpeskred i et mindre dreneringsområde, er foretatt.

I Luster og andre steder er steinmurer benyttet for å lede/holde sørpeskred vekk fra bebyggelse.

I Longyearbyen på Svalbard har det forekommet flere store sørpeskred. Det mest kjente var i Vannledningsdalen i 1953, der 3 personer omkom og 30 ble skadet. I ettertid ble det iverksatt snørydding om våren for å fjerne snøen i dalen og for å gi vannet fri drenering. De senere årene ble mange ulike sikringstiltak vurdert, deriblant større ledevoller og wirenett i skredbanen. Inntil sikringen er etablert utføres varsling av sørpeskredfare med en daglig overvåkning av situasjonen. Ett hus i utløpsområdet for skredet er sikret mot lastene fra et eventuelt skred.

5 Innspill til videre arbeid

5.1 Forbedring av datagrunnlaget

Klassifiseringen av skredtype i den nasjonale skreddatabasen er mangelfull når det gjelder å skille mellom snøskred, flomskred og sørpeskred. Svært mange kjente sørpeskredhendelser, også i nyere tid, er klassifisert feil. Eksempler er skredene i Rana i 1981 og skredet ved Gyavatnet i 2011 som begge er klassifisert som snøskred. Et annet eksempel er at Statens Vegvesen bare har klassifisert 13 av sine 48 000 skredhendelser som sørpeskred. For noen år tilbake ble Erik Hestnes, NGI, bedt om å gå gjennom hendelsene og rette opp eventuelle feil. Dette arbeidet bør videreføres for å sikre et bedre grunnlag for analyser og forskning.

5.2 Uttesting av sikringsløsninger

Mange ulike sikringsløsninger for sørpeskred er foreslått gjennom de siste 30 årene. Det er delvis ikke kjent om disse forslagene er iverksatt og det er enda mindre informasjon tilgjengelig om disse tiltakene hadde den ønskede effekten. Sørpeskred er sjeldne hendelser, og tiltak som krever en manuell oppfølging over mange år uten akutte situasjoner vil trolig bli glemt etter en stund. Vi foreslår derfor en implementering av ulike tiltak i et område med hyppige sørpeskred for å kunne studere effekt og nytteverdi av disse tiltakene. For enkelte tiltak ville det også være mulig å gjennomføre småskalaforsøk der man tilfører snødekket vann for å teste effektene av for eksempel drenering eller tilplanting.

5.3 Fullskala og modelltester av sørpeskred

Blandingen av vann og snø gir sørpeskred unike materialegenskaper som påvirker bevegelsen og trykkvirkningene, og som fører til helt andre effekter sammenlignet med for eksempel snøskred, men også sammenlignet med flomskred. Eksperimenter med sørpeskred i bevegelse er kun gjennomført ved enkelte forsøk i Sveits (Jaedicke et al., 2008) og det mangler fortsatt en innsikt i dynamikk og trykkvirkninger. Det er derfor av stor interesse å gjennomføre gode fullskala eksperimenter med sørpeskred. Mulighetene for slike eksperimenter er tidligere diskutert ved flere anledninger, men slike forsøk har vist seg vanskelig å få finansiert. Utviklingen i sensorteologi de siste årene vil kunne gjøre slike eksperimenter mye mer informative i dag. Vi foreslår derfor en arbeidsgruppe med NGI, SVV, BaneNor og NVE for å jobbe aktivt for et finansieringsopplegg og gjennomføring av slike eksperimenter.

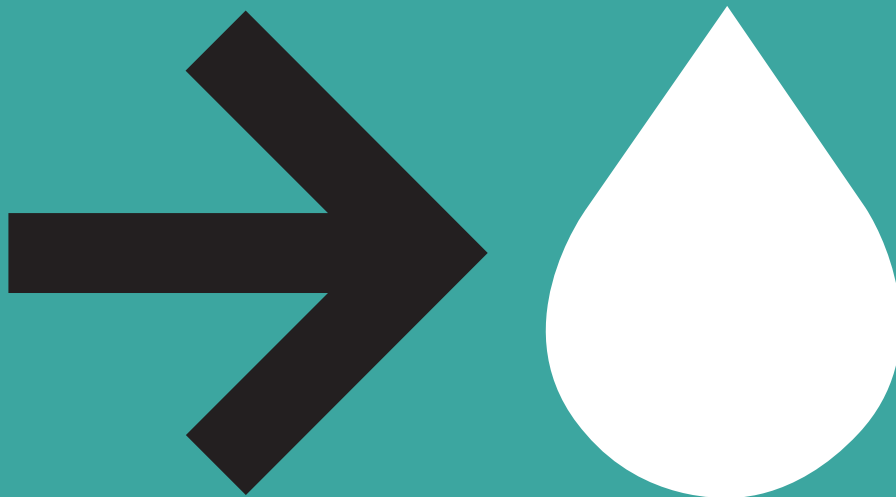
5.4 Monitorering og kartlegging av hendelser

Aktuelle sørpeskredhendelser gir den beste læringen om hvor og når sørpeskred forekommer. Ny kamerateknologi tillater bedre dokumentasjon av hendelser enn det som kommer fra tilfeldige vitner. Både drone og satellittovervåking kan gi bedre informasjon om utstrekning og kildeområder for skredene. Det er derfor viktig at enkelte dedikerte miljøer / forskere får midler til å følge med på skredhendelser for å fremskaffe pålitelig dokumentasjon for hver hendelse av betydning.

6 Referanser

- Anma, S., Fukue, M., Yamashita, K., 1988. Deforestation by slush avalanches and vegetation recovery on the eastern slope of Mt. Fuji. *Int. Symp. INTERPRAEVENT 1988* 133–156.
- Berger, C., Denk, M., Graf, C., Stieglitz, L., Wendeler, C., 2020. Praxishilfe Murgang- und Hangmurenschutznetze. *WSL Berichte* 102, 81.
- 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.
- Furseth, A., 2006. *Skredulykker i Norge*. Tun Forlag.
- Gude, M., Scherer, D., 1998. Snowmelt and slushflows: hydrological and hazard implications. *Ann. Glaciol.* 26, 381–384.
- Gude, M., Scherer, D., 1997. Snowmelt and water movement in saturated snow layers of high latitude areas, in: *Proceedings of the 11 Th Int. NRB Symposium and Workshop 1997, Alaska*. pp. 64–71.
- Hansen, R.C., 2016. *Utløsning av sørpeskred*. University of Oslo.
- Hestnes, E., Bakkehøi, S., Sandersen, F., Andresen, L., 1987. Meteorological significance to slushflow release, in: *Symposium on Snow and Glacier Research" in Lom, Norway, September 4-9, 1988*. pp. 0–18.
- 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 162. IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire, UK*, pp. 317–330.
- Hestnes, E., Larsen, J.O., 1989. *Bergensbanen vest. Prosjekt sørpeskred. NGI rapport 884024-1 til NSB-Hovedadministrasjonen. 31. januar 1989*.
- Hestnes, E., Bakkehøi, S., 1996. Observations on water level fluctuations in snow due to rain and snowmelt, in: *Proceedings of the International Conference on Avalanches and Related Subjects, September 2-6, 1996, Kirovsk, Russia. Kirovsk, Russia, p. 7*.
- Hestnes, E., 1997. A review of 25 years of experience with slushflow consulting and research. *NGI Doc*.
- 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., Sandersen, F., 2000. The main principles of slushflow hazard mitigation. *Int. Symp. INTERPRAEVENT 2000 Band 2*, 267–280.
- Hestnes, E., Bakkehøi, S., 2004. Slushflow hazard prediction and warning. *Ann. Glaciol.* 38, 45–51.
- Hestnes, E., Bakkehøi, S., 2010. Prediction of slushflow hazard based on data from local meteorological stations. *Proc. Int. Snow Sci. Work. 2010, Lake Tahoe, Calif.* 660–663.
- Hestnes, E., Bakkehøi, S., Kristensen, K., 2012. Slushflows - a challenging problem to authorities and experts. *Data Glaciol. Stud.* 1, 74–87.
- Hestnes, E., Kristensen, K., 2012. The diversity of large slushflows illustrated by selected cases. *Data Glaciol. Stud.* 1, 88–93.
- Hestnes, E., Bakkehøi, S., Jaedicke, C., 2017. Global warning reduces the consequences of slushflows, in: *Kazakov, N.. (Ed.), Proceedings of the III International Symposium on "Physics, Chemistry and Mechanics of Snow" Part II. Sakhalin Department of Far East Geological Institute FEB RAS, Yuzhno-*

- Sakhalinsk, Russia, p. 158. 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.
- Jaedicke, C., Kern, M.A., Gauer, P., Baillifard, M., Platzer, K., 2008. Chute experiments on slushflow dynamics. *Cold Reg. Sci. Technol.* 51, 156–167. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2007.03.011>
- Jaedicke, C., Lied, K., Kronholm, K., 2009. Integrated database for rapid mass movements in Norway. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 469–479.
- Jaedicke, C., Høydal, Ø.A., Midtbø, K.H., 2013a. Identification of slushflow situations from regional weather models, in: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2013, Grenoble, France. pp. 1–6.
- Jaedicke, C., Hestnes, E., Høydal, Ø.A., 2013b. A review on Slushflows, NGI Report. Oslo, Norway.
- Norges geotekniske institutt NGI, 2020. Utløsningsområder for sørpeskred, NGI Report 2020178-01-R.
- NVE, 2011. Plan for skredfarekartlegging, NVE Rapport. Oslo, Norway.
- NVE, 2022. [Veileder - Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak \(nve.no\)](#)
- Onesti, L.J., Hestnes, E., 1989. Slush-flow questionnaire. *Ann. Glaciol.* 13, 226–230.
- Sandersen, F., Hestnes, E., 1995. Sikringstiltak mot snø- og sørpeskred. Areal- og bebyggelsesplaner, Byggforskserien, Byggforsk 1, 8.
- Skuset, S., 2018. Utløsing av sørpeskred i ulike snøtyper. NTNU.
- Sund, M., Grønsten, H.A., Skuset, S., 2020. Varsling av regional sørpeskredfare, NVE Rapport.
- Vicari, H., Ng, C.W.W., Nordal, S., Thakur, V., De Silva, W.A.R.K., Liu, H., Choi, C.E., 2021. The Effects of Upstream Flexible Barrier on the Debris Flow Entrainment and Impact Dynamics on a Terminal Barrier. *Can. Geotech. J.* 1–37. <https://doi.org/10.1139/cgj-2021-0119>
- Øyehaug, G.B., 2016. Hydrometeorologiske tersklar for sørpeskredfare. Masteroppgave i geofag. Universitetet i Oslo.



CONSORTIUM

Private sector

SKANSKA

MESTERHUS

Multiconsult

Finans Norge

SKJÆVELAND
GRUPPEN

NORGESHUS

Leca

isola

Public sector


Statens vegvesen


Noregs
vassdrags- og
energidirektorat
N V E

AVINOR


Jernbane-
direktoratet


STATSBYGG


TRONDHEIM KOMMUNE

Research & education

 SINTEF

 BI

 NTNU

 Meteorologisk
institutt

 NGI