



Universitetet
i Stavanger

Krister Kristensen

Lokal snøskredvarsling og vurdering av treffsannsynlighet



Snøskred over riksveg 15 i Stryn. Foto Krister Kristensen

Masteroppgave i Samfunnssikkerhet

Våren 2015

**MASTERGRADSSTUDIUM I
SAMFUNNSSIKKERHET**

MASTEROPPGAVE

SEMESTER:

Våren 2015

FORFATTER:

Krister Kristensen

VEILEDER:

Bjørn Ivar Kruke

TITTEL PÅ MASTEROPPGAVE:

Lokal snøskredvarsling og vurdering av treffsannsynlighet

EMNEORD/STIKKORD:

Samfunnssikkerhet, snøskredvarsling, sannsynlighetsperspektiver

SIDETALL: 73

STRYN 15. januar 2016

Forord

Oppgaven er skrevet i forbindelse med et masterstudium i samfunnsrisiko som har vart over de siste to årene. Studiet har vært utført samtidig med ordinært arbeid og det har vært meget interessant å se arbeidsoppgaver i en teoretisk kontekst.

Viktige bidrag til denne oppgaven har kommet fra veileder Bjørn Ivar Kruke og Ove Njå ved Universitetet i Stavanger. Suzanne Lacasse, Farrokh Nadim og flere av mine andre kollegaer ved Norges Geotekniske Institutt NGI har også bidratt med faglige innspill. NGIs Naturskadeavdeling har velvillig bidratt til dekning av mine direkte utgifter til studiet. I tillegg har en støttende familie vært avgjørende for at studiet har kunnet gjennomføres. Det må også nevnes at min tidligere sjef, Karstein Lied, var en av de som var tidlig ute med risikotilnærminger i snøskredmiljøet, faktisk såpass langt tilbake som på slutten av 1980-tallet. Han var nok den som først fikk meg til begynne å tenke slike baner.

Albert Lunde fortjener også en takk for at han overtalte meg til å gi meg inn i et slikt interessant studium. Jeg trodde egentlig jeg kunne en del om dette feltet, men har i voksen alder erfart at det finnes mange innfallsvinkler og perspektiver som jeg ikke hadde tenkt på før. Jeg må da sitere en av de store heltene innen geoteknikken, som for øvrig har et bibliotek ved NGI, Karl Terzaghi:

"The worst habit you can possibly acquire is to become uncritical towards your own concepts and at the same time skeptical towards those of others. Once you arrive at that state you are in the grip of senility, regardless of your age."

Innhold

1	Innledning	4
	1.1 Problemstilling	5
	1.2 Avgrensning	8
2	Introduksjon til snøskredvarsling	9
3	Metodisk tilnærming	18
4	Teori	19
	4.1 Risiko, sannsynlighet og usikkerhet	20
	4.2 Hva er en ekspert?	29
	4.3 Naturfare og varsling	39
5	Empiri	40
	5.1 Lovverk	40
	5.2 Snøskred som fenomen	42
	5.3 Dokumenter	56
	5.4 Data fra operativ varsling	58
	5.5 Intervjuer	60
	5.6 Drøfting	64
6	Konklusjon	71
7	Referanser	74

Vedlegg A

Intervjuguide

Sammendrag

Oppgaven er relatert til snøskredvarsling med fokus på sannsynlighetsanslag for at snøskred skal treffe utsatte objekt som bygninger, transportårer eller annen infrastruktur.

I dag gis de fleste varsel i form av kvalitative verbale karakteriseringer av skredsannsynlighet. I dag er kvantitative risikoanalyser likevel påkrevd i svært mange sammenhenger og det er vanskelig å se at det vil være brukere i framtiden som vil være tilfreds med en kvalitativ vurdering av den generelle skredfaren, som vanskelig kan benyttes i risikoanalyser. NVEs regionale varsling tar ikke sikte på å fylle dette behovet og det er klart sagt at på lokalt nivå er det organisasjonene eller myndighetene som forvalter områder eller aktiviteter som må vurdere skredsannsynlighet og risiko, for eksempel i forhold til spesifikke objekt.

Tenkningen innenfor snøskredvarsling virker likevel mye preget av en frekventistisk tolkning av sannsynlighetsbegrepet, noe som skaper problemer i forhold til å formidle sannsynligheter på en måte som er hensiktsmessig for formålet. Mangel på empirisk grunnlag og gode modeller ser ut til å føre til en viss vegring mot å gi kvantitative sannsynlighetsanslag. I oppgaven skisseres det metodikker for hvordan dette kan gjøres basert på ulike teoretiske tilnærminger.

Utfordringen er å utvikle en alternativ tenkemåte. En kombinasjon av bruk av data, modeller og kunnskapsbaserte sannsynligheter som uttrykker usikkerhet og troverdighet til den som gjør vurderingen ser ut til å være veien å gå. I denne oppgaven er det forsøkt skissert det metodikker for hvordan dette kan gjøres basert på ulike teoretiske tilnærminger. Det er også et påtrengende behov for å finne gode måter å framstille usikkerhetsdimensjonen i varslene og her ser det ut til å være behov for videre forskning.

1 Innledning

Arealplanlegging er sannsynligvis et av de viktigste verktøyene for å styre risiko og for å unngå samfunnsmessige tap på grunn av snøskred. Men det eksisterer i dag også en hel del infrastruktur som ikke tilfredsstiller dagens krav til sikkerhet. Dette kan skyldes at infrastrukturen stammer fra tidligere tider hvor skredrisiko har vært underordnet andre hensyn, at regulering har manglet eller vært uklar, at det er gjort forsømmelser i planleggingen i nyere tid eller, at det i visse situasjoner faktisk er nødvendig å benytte skredutsatte arealer. Det betyr at det også i dag foregår en mengde ulike aktiviteter i områder som kan berøres av potensielt skadelige naturhendelser, for eksempel i form av snøskred. Her kan nevnes drift av vegstrekninger, jernbanestrekninger, anleggsdrift, reparasjon og vedlikehold av kraftlinjer som ligger i skredusatt terreng. I tillegg kommer aktiviteter som redningstjeneste og framrykninger i fjellområder med militære enheter. I forbindelse med snøskredfare kan risikonivået i perioder være av en slik art at aktiviteter i kortere eller lengre tidsrom må avbrytes eller utsettes for å unngå en uakseptabelt høy risiko. Det skjer også fra tid til annen at mennesker i enkelte bygder blir evakuert fra sine hjem når det oppstår ekstraordinære vær- og snøforhold.

I noen tilfeller blir sårbarheten først oppdaget etter at det har gått en tid og man har fått erfaring av at uønskede hendelser har inntruffet, for eksempel ved at skred fører til skader eller et skred viser seg å komme ubehagelig nær infrastruktur eller aktiviteter. I andre tilfeller kan det være analyser i form av faresonekartlegging som avdekker risikoen.

Topografien i store deler av Norge legger til rette for mange massebevegelser i form av ulike typer av skred (Lied og Kristensen, 2005). Snøskred er noe forskjellig fra en del andre farlige forhold ved at de i stor grad er årstidsavhengige. Dette gir selvsagt rom for å styre risikoen ved å unngå all aktivitet i de årstider hvor snøskred kan være et problem, men i dag er kontinuerlig drift avgjørende for mange samfunnsfunksjoner. Vinterstenging av betydningsfulle veg- og jernbaneforbindelser ville for eksempel føre til at viktig transport stoppet opp og kraftlinjer som ble skadet i løpet av vinteren ikke

kunne repareres før til sommeren. I dagens samfunn med "just in time" produksjon og leveranser er dette ikke akseptabelt; til nød kan bare kortere avbrudd tolereres uten at det får store konsekvenser for viktige samfunnsfunksjoner (Grimsdottir et al, 2012).

Det er i denne sammenhengen snøskredvarsling kommer inn. NGI er en stiftelse for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Stortinget bestemte i 1972 at statlig finansiert forskning knyttet til snøskred skulle legges til NGI. Naturfareavdelingen ved Norges Geotekniske Institutt (NGI) har i flere årtier drevet med snøskredvarsling, både i form av generelle varsel for større regioner, samt varsling for spesifikke utsatte objekter og aktiviteter.

Snøskredvarslingen ved NGI har primært foregått i forbindelse med eksterne oppdrag for ulike oppdragsgivere og har omfattet problemstillinger både i forhold til naturlig utløste skred og muligheten for at skred skal utløses ved menneskelig aktivitet, herunder skikjøring i bratte fjellsider. På regionalt nivå har det dreiet seg om mer generelle skredvarslere for store områder ($>100 \text{ km}^2$), for eksempel ved militære øvelser eller når man har forventet stor utfart som i forbindelse med vinterferie og påske. Disse varslene har vært utarbeidet i samarbeid med Forsvaret, Meteorologisk Institutt, Turistforeningen og Norges Røde Kors. Varslene har også blitt formidlet videre til brukerne via disse organisasjonene. I tillegg har NGI hatt mange forskjellige oppdrag på lokalt, skredbanespesifikt nivå. Det siste, vurdering av skredsannsynligheten relatert til treff av spesifikke utsatt objekt er særlig faglig krevende og ofte svært konsekvensfylt. Samtidig er det noen problemstillinger med denne typen av snøskredvarsling som er relativt lite utforsket, og som dette arbeide ønsker å belyse. Innfallsvinkelen vil være ulike syn på sannsynlighetsbegrepet og hvorvidt vi kan utvikle metodene videre på grunnlag av dette.

1.1 Problemstilling

"Show us your probabilities!"

-sitat fra oppdragsgiver under møte om risiko omkring undersjøiske skred mot en offshoreinstallasjon. Personlig meddelelse Farrokh Nadim, NGI.

Risikoanalytikere og de som har ansvaret for risikostyring i en virksomhet må ofte stole på informasjon fra utenforstående eksperter (Njå et al, 1998). De lokale, skredbanespesifikke varslene er avgjørende for oppdragsgivernes risikostyring. Hvordan og på hvilket grunnlag ekspertene, i dette tilfellet skredvarslere, kommer fram til og formidler sin bedømmelse av skredfaren er også svært viktig for at den skal kunne brukes til formålet.

Felles for de fleste varslingsoppdragene ved NGI er at det stort sett har vært benyttet en kvalitativ, verbal framstilling av en generell faregrad som i hovedsak er relatert til snøstabiliteten som er avgjørende for at det skal løsne skred. Fra 1990-tallet brukes de fem ulike nivåene gitt i den europeiske fareskalaen for snøskred vedtatt av European Avalanche Warning Services (EAWS) og denne skalaen brukes i dag med noe tilpasning av de fleste land i Europa og Nord-Amerika.

Det har vært gjort enkelte forsøk i forbindelse med objektrelatert varsling i regi av NGI hvor man også har benyttet kvantitative anslag av sannsynlighet i varslene som går ut til brukerne (Kristensen et al, 2013), men har vist seg å være flere problemstillinger som fortsatt er delvis uavklarte. Noen av disse problemstillingene er utgangspunktet for denne oppgaven.

En hovedproblemstilling handler det om hvordan man i en slik varslingsjeneste kan vurdere en kvantitativ sannsynlighet for at hendelsen "skred mot utsatt objekt" (bygning, veg- eller jernbanestrekning, anleggsmaskiner, brakker, kjøretøy osv.) skal inntreffe, hvordan usikkerheten omkring dette kan angis og hvordan dette formidles til oppdragsgiverne. Utgangspunktet er at denne sannsynligheten skal utgjøre viktig input i de risikoanalysene som oppdragsgiverne benytter for å styre risikoen i sin virksomhet. Hva konsekvensene blir etter at et snøskred treffer et objekt, og usikkerheten om disse konsekvensene, blir i denne oppgaven i mindre grad drøftet siden dette ligger under risikoanalysen og går utover rammene for denne oppgaven. I de fleste tilfeller vil konsekvensene av et snøskred som treffer et objekt hvor

mennesker oppholder seg, uansett betraktes som såpass alvorlige at de ikke er akseptable.

I diskusjoner som har kommet opp internt i skredvarslingsgruppen ved NGI er det reist spørsmål om hvorvidt det er realistisk å gi kvantitative anslag av skredsannsynlighet med lite eller intet statistisk materiale og med deterministiske modeller med store begrensninger, og dermed store usikkerheter. Muligheten for å gi en troverdig kvantifisering av faregrad og hvordan dette vi bli oppfattet av brukerne av varslene har også vært et diskusjonstema. Følgende spørsmål er kommet opp i diskusjonen:

- Har vi objektivt grunnlag for å kvantifisere sannsynligheten for at skred skal nå et spesifikt objekt innenfor et spesifikt tidsrom?
- Hvilke metoder kan benyttes for å anslå en troverdig sannsynlighet for den uønskede hendelsen?
- Hvordan beskrives usikkerheten i anslaget?
- Kan en verbal farebeskrivelse omtolkes numerisk for å gi input til oppdragsgiverens risikoanalyse?

Dette problemfeltet er ikke unikt for snøskredfaget. Geoteknikkfaget, som på flere måter kan sies å være beslektet, har hatt mange av de samme problemstillingene. Her har det i en del år foregått en interessant utvikling. Suzanne Lacasse, tidligere direktør ved NGI, stiller i sitt foredrag i 2015 for British Geotechnical Association i Rankine Lectures nr. 55, blant annet spørsmålene: Hva er fordelene og utfordringene med en risikobasert tilnærming til geoteknikkfaget? Hvorfor brukes ikke pålitelighets- og risikokonsepter mer i dag (Lacasse, 2015). Snø er et annet materiale, men likevel er problemstillingen såpass lik at de samme spørsmålene kan stilles omkring dette feltet.

Usikkerhetene i forbindelse med snøskredvurdering er flere. Snøskredvarslere må forholde seg til et system som har stor naturlig variabilitet, for eksempel innen vær- og snødekkeforhold. Men det handler også om vår manglende kunnskap og viten om det fenomenet vi prøver å si noe om, og hvordan vi bruker de observerbare relevante størrelser som er tilgjengelige. Det siste er en diskusjon som også pågår for fullt innen

geoteknikk og i forbindelse med naturfarer (Lacasse, 2015, Beven et al, 2015). I takt med en økende forståelse av begrensningene i tradisjonelle deterministiske tilnærminger, har angivelse av usikkerhet blitt en stadig viktigere del i vurdering av naturfarer. Beven et al. (2015) viser til at antallet forskningsrapporter om usikkerhetsvurdering for ulike faretyper har økt de siste 15 årene. Imidlertid mangler flere viktige faretyper og det er kanskje betegnende at antall treff Beven et al. (2015) fikk ved søk i Web of Science på "epistemic uncertainty" OG "natural hazards" var lik null.

Med utgangspunkt i refleksjonene ovenfor fremstår det for undertegnede relevant å undersøke nærmere disse problemstillingene: - Er en skredvarslingstjeneste av denne typen i stand til å levere det grunnlaget oppdragsgiverne trenger for dagens risikostyring, det vil si et kvantitativt anslag av treffsannsynlighet. Hvordan kan man eventuelt utvikle og forbedre dette?

1.2 Avgrensning

Dette arbeidet omfatter snøskredvarsling generelt, men hovedfokus er på objektrelatert, skredbanespesifikk varsling. Oppgaven avgrenses til vurderinger som gjelder sannsynlighet innenfor et gitt tidsrom for hendelsen "skred løsner" og den betingede hendelsen "skred treffer spesifikt objekt". Problemstillingen er dermed mer begrenset enn en generell risikoanalyse som også vil omfatte en konsekvensanalyse av at et skred treffer et objekt. Ofte vil konsekvensen av et treff av et snøskred uansett være uakseptabel; *"de aller fleste "normale" konstruksjoner blir ødelagt når de treffes av snøskred. Et vanlig bolighus tåler neppe trykk som er større enn 10 kPa, tilsvarende trykket fra 1 tonn snø per m² og det skal ikke store skredet til før belastningen overstiger dette nivået"* (Lied og Kristensen, 2005). Det blir også i det følgende et premiss at hensikten med varslingen er at den skal være et grunnlag for risikostyringen for virksomheten til den aktuelle oppdragsgiveren, de videre utfordringene som er knyttet til bruken i en risikoanalyse og risikostyring er bare omtalt for å sette problemstillingen i perspektiv.

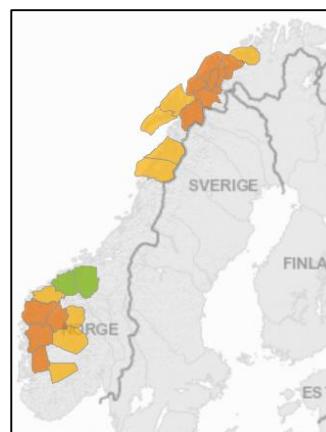
2 Introduksjon til snøskredvarsling

Snøskredvarsling defineres vanligvis som en prediksjon av snøstabiliteten i tid og rom (McClung og Schaerer, 2006). Snøstabiliteten er faktoren som avgjør hvilken belastning på en snødekke som skal til for at et snøskred blir utløst i en gitt situasjon. Belastningen på snødekket kan da skje i form av naturgitte forhold eller av menneskelig påvirkning (Lied og Kristensen, 2005).

2.1.1 Regionale varsel

I forbindelse med at Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) i 2009 fikk forvaltningsansvaret innenfor forebygging av skredulykker (St. meld. nr. 22 (2007-2008)), ble det i årene 2010-2013 i et samarbeid mellom NVE, Meteorologisk Institutt, Statens Vegvesen, Jernbaneverket og NGI utredet en offentlig regional varslingsjeneste. En slik tjeneste ble offisielt oppstartet i 2013 i regi av NVE og utsteder nå varsel for 23 regioner. Varslene blir formidlet til brukerne via webtjenesten varsom.no.

Den offentlige regionale snøskredvarslingen som drives av NVE er den som vender seg mest mot publikum generelt (se webtjenesten varsom.no). Den gir en verbal beskrivelse av snøstabiliteten og sannsynligheten for skredutløsning. Varselet er relatert til en gitt region og er gjeldende for et gitt tidsrom, men det benyttes også utfyllende symboler for å angi hvilke eksposisjoner (hengretninger) og hvilke høydenivåer som antas å være mest utsatt. Utløsningssannsynlighet vurderes også i forhold til muligheten for at snøskred skal utløses ved en varierende grader av belastninger som påføres snødekket, og her tenker man naturlig nok først og fremst på skikjøring og friluftsliv. En egen beskrivelse av stabilitetsindikatorer, som i varslene kalles "skredproblem", gir også verdifull






Figur 1. Varslingsregioner for den offentlige regionvarslingen i Norge med ulike fargekoder for typisk faregrad innen regionen (varsom.no).

informasjon til disse brukerne. I fareskalaen ligger det også et implisitt anslag av typisk størrelse som forventes på skred som går ved den aktuelle faregraden.

Varselet er ment å gi en viss beslutningsstøtte, og kan på noen måter sammenlignes med et værvarsel som advarer om tordenaktivitet. I dette tilfellet varsles det om regioner som er spesielt utsatt for lynnedslag og folk kan ta visse forholdsregler ut fra dette. Men det er likevel få holdepunkt for å si noe om hvor stor sannsynligheten er for at lynet slår ned akkurat i mitt hus.

I tillegg til teksten i varselet illustreres faregraden på et kart med farger på regionene som tilsvarer den aktuelle faregraden. Graderingen av faregrad er basert på en skala med stigende faregrad i trinn fra 1 til 5 som framgår av figur 2 nedenfor. Det er implisitt at farepotensialet øker eksponensielt (fordobles) for hvert trinn (Munter, 2009). Den norske utgaven av denne fareskalaen er en tilpasning av skalaen som forvaltes av European Avalanche Warning Services EAWS.

 Faregradskala for snøskred  www.varsom.no				
Faregrad		Råd friluftsliv	Snøstabilitet	Skredutløsning
4 Stor		Ferdse i skredterreng anbefales ikke. Skred som løsner av seg selv forventes. Unngå løse- og utløpsområder.	Omfattende ustabile forhold. Svake bindinger i de fleste brattheng.	Utløsning sannsynlig selv ved liten tilleggsbelastning i mange brattheng. Fjernutløsning sannsynlig. Under spesielle forhold forventes det mange middels store og noen store naturlig utløste skred.
3 Betydelig		Ferdse i skredterreng krever solid kunnskap, erfaring i rutevalg og evne til å identifisere skredproblemer. Generelt anbefales det å unngå terreng brattere enn 30 grader og holde avstand til utløpsområder.	Generelt ustabile forhold. Moderat til svake bindinger i mange brattheng.	Utløsning mulig, selv ved liten tilleggsbelastning i brattheng. Fjernutløsning sannsynlig. Under spesielle forhold kan det forekomme noen middels store og enkelte store naturlig utløste skred.
2 Moderat		Ferdse i skredterreng krever kunnskap, erfaring i rutevalg og evne til å identifisere skredproblemer. Generelt anbefales det å unngå terreng brattere enn 30 grader.	Loka t ustabile forhold. Moderate bindinger i noen brattheng, for øvrig sterke bindinger.	Utløsning mulig, spesielt ved stor tilleggsbelastning i brattheng. Store naturlig utløste skred forventes ikke.
1 Liten		Enkelte spesielt utsatte områder vil kunne være skredutsatte. I disse områdene, vær oppmerksom på mulig skredproblem.	Generelt stabile forhold. Generelt sterke bindinger og stabil.	Utløsning generelt kun mulig ved stor tilleggsbelastning i noen få ekstreme heng. Kun små naturlig utløste skred er mulig.
? Ikke vurdert		Ikke vurdert		
5 Meget stor		Ferdse i skredterreng frarådes!	Ekstremt ustabile forhold. Generelt svake bindinger og svært ustabil.	Mange store, også svært store, naturlig utløste skred forventes, selv i moderat bratt terreng. Fjernutløsning meget sannsynlig.

Faregrad 5 forekommer meget sjelden, men er viktig i forbindelse med vei, bane, infrastruktur og bebyggelse. Ved grad 5 fratresen all ferdsel!

Brattheng er heng brattere enn 30 grader. En persons gir liten tilleggsbelastning og en gruppe eller større gir stor tilleggsbelastning. Fareskalaen er basert på den europeiske faregradskalaen og gjelder for områder, ikke for den enkelte skredbane.

Figur 2. Skredfareskalaen brukt av NVE i regional varsling er en norsk tilpasning av den europeiske fareskalaen som forvaltes av arbeidsgruppen for europeiske

skredvarslingstjenester EAWS. Faregradene er omrokkert i den norske utgaven hvor faregrad fem er plassert nederst i tabellen (kilde: varsom.no).

2.1.2 OBS-varsel

Når det er grunn til å forvente ekstraordinære forhold som kan true samfunnsviktig infrastruktur blir det sendt ut såkalte OBS-varsel fra den regionale varslingstjenesten. På websidene til varsom.no er det utdypet hvordan antatt skredrisiko for både bebyggelse og transportinfrastruktur kan håndteres og hvem som har ansvar for dette. I avsnittet Bruk av varselet – Beredskap (NVE/varsom.no, 2015) sies det blant annet:

"Kommunene er ansvarlige for å iverksette nødvendige tiltak for at sine innbyggere bor trygt",

og videre at:

"Snøskredfaren lokalt må vurderes av de som forvalter området. I tilfeller der skredfaresituasjonen tilsier at bebyggelse kan være truet bør det vurderes om ekstern kompetanse på snøskredvurdering burde innhentes."

Når det gjelder fare for bebyggelse, sies følgende (forfatterens uthevinger):

BRUK AV ET SNØSKREDVARSEL FOR BEREDSKAP:

Snøskredvarslingen i Norge varsler ikke for enkeltstående objekter som for eksempel en enkelt fjellside eller enkelt dal. Dette er definert som punktvarsling, og faller ikke inn under varslingsansvaret gitt i snøskredvarslingen.

Kommunen er ansvarlig for at innbyggerne bor trygt. Kommunen må derfor iverksette eventuelle nødvendige tiltak ved høyere snøskredfare. Snøskredfarens lokalt må vurderes av de som forvalter området på et lokalt nivå.

Ved faregrad 4 eller 5 eller der lokal kunnskap eller skredhistorikk tilsier at bebyggelse kan være truet bør det vurderes om ekstern kompetanse på snøskredvurdering bør innhentes. I slike tilfeller kan NVE bistå med rådgiving.

HVORDAN GÅR MAN FRAM VED ET OBS-VARSEL (OBS varsel utstedes ved faregrad 4 og 5):

*1. Ved vurdering av snøskredfare er det svært viktig å sette seg inn i skredproblemet gitt i snøskredvarselet. I et snøskredproblem vil det bli gitt informasjon om hvilken type skred som meldes, størrelse på snøskredet og hvor i terrenget er det høyest sannsynlighet for at snøskredet løsner; både himmelretning og høydenivå. La oss ta et eksempel: Det varsles faregrad 4 der mange *middels store naturlig utløste snøskred er sannsynlig. Skredproblemet i varselet er fokksnø, og mest utsatt *himmelretning er mellom 1200-800 moh i sørøstlig til sørvestlig himmelretning. Middels store skred er skred som vil kunne nå dalbunnen. Spørsmålet blir nå om objektet som skal vurderes er plassert under mest utsatt himmelretning og høydenivå? Ligger det under en sørvestlig fjellside med mulige løsneområder for snøskred som har et høydenivå mellom 800-1200 moh? Hvis skredproblemet er gjeldende for objektet må det vurderes om det er plassert slik i terrenget at utløpet til snøskredet kan treffe. *himmelretning - retningen henget peker/vender mot. For eksempel, et heng som er vendt nordover har nordlig himmelretning. Kalles også eksposisjon.*

2. Vurder om objektet ligger skredutsatt til: Bruk www.skredatlas.nve.no for å se om infrastrukturen ligger i utløp for snøskred (kartlag «skred i bratt terreng aktsomhet» for snøskred, samt se om det er tidligere registrerte hendelser i området (kartlag «Skredhendelser» snøskred). Bruk faresonekart der disse er tilgjengelige (kartlag «Skred i bratt terreng faresoner».

3. Det er viktig å se ett regionalt snøskredvarsel i sammenheng med faresonekart og ROS-analyse. Faresonekart som i tillegg til 1000-års skred viser

skred med gjentaksintervall på 100 år vil kunne brukes for å identifisere mest utsatt bebyggelse og til hjelp for å vurdere evakueringer.

4. Fare- og aktsomhetskart er nyttige verktøy før og under en beredskapssituasjon.

Når det gjelder risiko i forbindelse med transport på veg og jernbane sies det på varsom.no følgende:

Informasjonen på denne siden er for reisende langs veg og bane. Snøskredvarlingen i Norge varsler ikke for enkeltstående objekter som for eksempel en vegstrekning eller en fjellside. Dette er definert som punktvarsling, og faller ikke inn under varslingen gitt i Snøskredvarlingen. Det er de ansvarlige for vei (Statens vegvesen) og bane (Jernbaneverket) som tar ansvar for eventuelle tiltak der det er fare for at snøskred skal nå vei eller bane.

Snøskredfaren må vurderes av de som lokalt forvalter området.

DETTE BETYR FAREGRADENE FOR DE REISENDE:

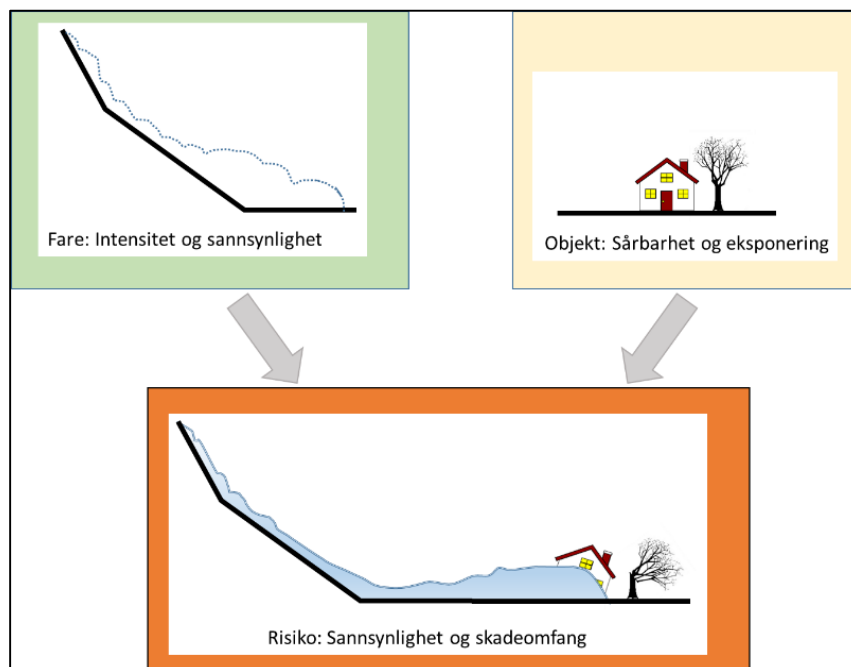
Faregrad 1- liten og 2- moderat anses ikke for å true vei/bane. Sannsynligheten for snøskred av relevant størrelse forekommer først fra faregrad 3- betydelig og oppover. Men faregraden kan variere lokalt innenfor et lite område. Selv om faregraden i varselet fra Snøskredvarlingen melder faregrad 2 - moderat, kan sannsynligheten for snøskred være større i en eller flere skredbaner. Dette vil være opp til lokale myndigheter å vurdere.

Ut fra dette går det fram at ansvaret for å vurdere skredsannsynlighet og risiko for utsatt befolkning og infrastruktur tilligger lokale myndigheter og problemeiere. Selv om noen kommuner har registreringskart, faresonekart og risikokart lokalt, inneholder disse ikke informasjon som umiddelbart kan benyttes for å anslå skredsannsynligheten

i gitte skredbaner under gitte vær- og snøforhold. Det samme gjelder i stor grad transportetatene. Dette ligger i sakens natur, siden topografi og kortsiktige lokale vind- og værforhold kan ha avgjørende innflytelse på i hvilke spesifikke fjellsider det er fare for skredutløsning til enhver tid (Kristensen et al, 2010).

Det sies riktignok av skredfaren i noen grad kan vurderes ut fra hvorvidt truede objekter ligger under fjellsider som er angitt som spesielt skredfarlige i den aktuelle situasjonen, men det er sannsynligvis et altfor generelt grunnlag for å iverksette drastiske tiltak som for eksempel evakuering av beboere. Når det blir meldt om stor skredfare fra den regionale varslingen forutsettes det dermed at det gjøres nærmere vurderinger lokalt av faren for at skred skal berøre infrastruktur for at man skal kunne gjøre en reell risikovurdering.

2.1.3 Objektrelatert varsling



Figur 3. Objektrelatert varsling handler om å vurdere sannsynligheten for at et skred skal treffe et gitt objekt, for eksempel et hus, innenfor en gitt tidsramme (Kristensen et al, 2013). Sannsynligheten for dette er en del av grunnlaget for risikoanalysen.

Det som her er omtalt som "objektrelatert varsling" omfatter varslingsoppdrag hvor en oppdragsgiver ønsker så utfyllende opplysninger som mulig om sannsynligheten for at et skred skal treffe et gitt objekt innenfor en gitt tidsramme (Kristensen et al, 2013). Dette kan gjelde både for akutte faser som når det er sendt ut OBS-varsel fra NVE, og lengre sammenhengende perioder over år eller årtier. Hensikten er at vurderingene i disse varslene skal benyttes i risikostyringen.

I denne oppgaven er objektrelatert snøskredvarsling sett på som todelt, 1) en prediksjon av framtidig utløsningssannsynlighet for snøskred på en gitt lokalitet, samt 2) en prediksjon av utløpssannsynligheten for at skredet skal nå fram til et nærmere definert objekt som antas å være innenfor potensiell rekkevidde for skredet. Typiske applikasjoner handler om kontinuerlig daglig varsling for skredutsatte jernbane- og vegstrekninger, anleggssteder og adkomstveger til anlegg. I tillegg kommer kontinuerlig overvåkning og varsling for utsatt bebyggelse i lokalsamfunn gjennom vinteren, og periodisk varsling i forbindelse med akutte skredfaresituasjoner når det for eksempel blir spørsmål om evakuering av utsatt bebyggelse. Det ligger i sakens natur at det fremst er personrisiko som man tar sikte på å styre, siden faste installasjoner vil være eksponert uavhengig av varsling. Når det gjelder tap av materielle verdier som kan reduseres med denne formen for risikostyring, begrenser disse som regel seg til maskiner og utstyr som kan flyttes relativt raskt, for eksempel togsett, kjøretøy og anleggsmaskiner.

Vanlige sammenhenger hvor varsling benyttes for risikostyring kan være:

- som *midlertidig tiltak* for viktige transportårer, i avvente på at fysisk sikring kommer på plass
- som *permanent tiltak* for transportårer, hvor fysisk sikring vurderes som for dyrt ut fra en kost/nyttevurdering
- som *semi-permanent* tiltak for eldre bebyggelse og "feilplassert" ny bebyggelse. Vanligvis gjelder dette steder hvor årlig nominell sannsynlighet for skred overstiger 1/300. Slike områder vurderes ut fra en skredfarevurdering og kan for øvrig ikke bebygges med nye boliger uten fysisk sikring.

- som tiltak for å redusere personrisiko ved å redusere eksponering, for eksempel ved trafikkavvikling, arbeid i felt, arrangementer og drift av skianlegg samt ved militære øvelser og operasjoner i fjellet.

Tabell 1. Oversikt over noen av forskjellene mellom regional (nasjonal) og objektrelatert lokal snøskredvarsling.

	Regional	Objektrelatert, lokal
Brukere	Publikum, friluftsliv, beredskapsmyndigheter	Risikoanalytikere og beslutningstakere
Funksjonskrav	Øke bevissthet og advare om mulig regional skredfare. Bidra til økt beredskap.	Input til risikoanalyser for bruk i beslutninger omkring risikohåndtering i forhold til spesifikke risikoakseptkriterier
Målestokk	Region >100 km ²	Individuelle skredbaner og utsatte objekt
Tidsperiode	3-7 ganger/uke	1-2 ganger daglig, etter avtale eller ved forhåndsavtalte kriterier
Farebeskrivelse	Kvalitativ, verbal 1-5 faregrader (EAWS, norsk tilpasset)	Kvalitativ, verbal 1-5 faregrader (EAWS) i dag. Forsøksvis kvantitativ med sannsynlighetsklasser
Finansiering	Offentlig	Brukerfinansiert
Juridisk ansvar ved avbrudd i tjenesten	Nei	Ja

I forbindelse med prosjektet *Naturfare – infrastruktur, flom og skred* (NIFS), et interdepartementalt prosjekt mellom Jernbaneverket, Norges vassdrags- og energidirektorat og Statens vegvesen 2012 – 2015, ble det utarbeidet en oversikt over de ulike rollene i forbindelse med skred og samfunnssikkerhet (NIFS/Rambøll, 2013). I denne rapporten er også en omtale av snøskredvarslingen som viser noe av problematikken rundt de ulike varslingsnivåene. Her sies det at:

NVE har i første rekke kompetanse på, og ser på, de store utfordringene. Det er SVV og JBV som har fokus på de lokale utfordringene som bekker, stikkrenner, jordskred osv. Det utgis regionale varsler fra met.no og NVE, men det kan være store lokale forskjeller, og det er vanskelig å tolke varslene uten inngående lokal kunnskap om sårbare punkter og status på stikkrenner m.m.

Med et varmere og våtere klima ventes mer intense nedbørshendelser, og da er det ventet at denne trenden med mer konsentrerte hendelser (geografisk) vil forsterke seg – og konsekvensene av selv små feil vil kunne bli større. Derfor uttrykker informanter hos transportetatene at det er behov for bedre varsling på lokalt nivå.

Rapporten avdekker også at problemstillingen er noe uklar. Her ser det ut til at forståelsen mangler for at varslene av og til gis ut fra ulike premisser, og at det farevurdering ikke alltid er det samme som risikovurdering:

Et konkret eksempel på ulike vurderinger av risiko kan hentes fra et snøskred i Sunndalen mars 2010. Her nedgraderte geologer fra NVE (med bistand fra NGI) snøskredfaren fra 4 til 2 og 3 onsdag 17. mars. Det var imidlertid enighet om dette i beredskapsrådet, men der satt ikke SVV. SVV baserte seg på lokal kunnskap og opprettholdt faregradering 4. Etter NVEs nedgradering ble flere skoler åpnet og familier flyttet hjem, men bare to dager senere kom det et nytt snøskred på rundt 10 000 tonn snø. Da hadde riktignok NVE oppgradert til farenivå 4 igjen. Det er fortsatt uenighet om dette hendelsesforløpet, men et sentralt poeng er likevel at lokalkunnskap kan være svært viktig for å vurdere skredfare, men også til å finne de best egnede traseer for ny veg.

Det er flere faktorer som bidrar til at det er forskjell mellom en lokal, objektrelatert snøskredvarsling og en regional prognose (Jamieson et al. 2009):

- Det er vanlig at snøskredfare har stor romlig variabilitet (Schweizer et al. 2008)
- For store varslingsområder er det ikke mulig å angi faren i detalj (Jamieson et al. 2008),
- Det mangler data og vurdering av de lokale vær- og snødekkeforholdene i prognosemodellene
- Lav varslingsfrekvens og gjør at kortsiktige endringer i forholdene ikke fanges opp.

3 Metodisk tilnærming

Formålet med denne oppgaven er som nevnt å undersøke hvordan en skredvarslingstjeneste kan levere sannsynlighetsanslag for at skred skal treffe et spesifikt objekt og gi et bedre grunnlag for risikoanalyser og risikostyring enn de rene kvalitative vurderingene som har vært benyttet tidligere. Det videre formålet er da at beslutninger om tiltak kan begrunnes og iverksettes.

For å finne ut av dette er naturlig å først kartlegge dagens kunnskap og praksis på feltet. Her inngår enn gjennomgang av teorier som kan være relevante for problemstillingen omkring bruk av sannsynlighetsbegrepet. For å sette dette i perspektiv er det også nødvendig med noe grunnleggende teori omkring fenomenet snøskred og vurdering av praksisen omkring vurdering av snøskredfare i en slik varslingstjeneste.

For å kartlegge dagens praksis gjøres det en gjennomgang av rammevilkår og andre dokumenter som styrer virksomheten. I tillegg er intervju viktig for å avdekke hvilke perspektiver som er rådende på sannsynlighet og risiko.

3.1.1 Dokumenter

Dokumentene som er benyttet omfatter lovverk, standarder og interne veiledninger. I tillegg er egne og andres relevante forskningsrapporter benyttet i tillegg til generell litteratur.

3.1.2 Intervju

Intervjuene er semi-strukturerte intervjuer av skredeksperter involvert i operativ objektrelatert varslingstjeneste ved NGI. Intervjuene ble utført i desember 2015. Hensikten var å kartlegge ulike oppfatninger, synspunkter og tilnærminger, samt sammenligne disse med funn fra dokumentanalysen og med teoretiske betraktninger.

Respondentene ble først informert om formålet med studien, samt ble gitt generell informasjon om problemstillingen. Det ble gjort en skjønsmessig vurdering av hvor mye informasjon som skulle gis i forkant av hvert intervju. Intervjuene ble foretatt på

NGI i Oslo og intervjusituasjonen ble forsøkt å gjøres mest mulig lik for respondentene. Det ble gjort opptak av samtalene med respondentens samtykke. Intervjuene varte mellom 50-60 minutter. Respondentene svarte på grunnlag av sin fagbakgrunn og erfaring. Intervjuet kunne dermed ta noe ulike retninger siden det var semi-strukturert.

Utdrag og hovedpunkt i intervjuene ble benyttet for å eksemplifisere oppfatninger til respondentene.

3.1.3 *Forskning innen eget fagområde*

Undertegnede er per i dag ikke involvert i operativ skredfarevarsling, men har erfaring fra drift av ulike snøskredvarslingsprosjekter siden flere år tilbake. De som er intervjuet er kolleger, noen av dem gjennom mange år. Det er imidlertid stor geografisk avstand mellom arbeidsplassene siden intervjueren har fast arbeidssted i Stryn, men respondentene har sitt arbeidssted i Oslo.

Det kan være både fordeler og ulemper ved å forske innenfor eget fagområde og i egen organisasjon. Interne prosesser i organisasjonen og interesser kan påvirke forståelse og objektivitet. Det er også vanskelig å vurdere en egen organisasjon i forhold til kultur og holdbarheten til etablerte "sannheter" som finnes der. Samtidig er det en generell problemstilling at ingen er helt uten forutinntatte antakelser om det systemet de skal studere (Aase og Fossaskåret, 2007). Temaet for denne oppgaven er likevel så spesifikt at det trolig er vanskelig for helt utenforstående å se problemfeltet dersom man ikke har en noenlunde inngående kjennskap til dette. Siden oppgaven bare i begrenset grad befatter seg med spørsmål relatert til organisasjon og kultur antas det at egen kjennskap til selve fagområdet styrker oppgaven mer enn den svekker den.

4 **Teori**

I denne oppgaven er sannsynlighet et sentralt begrep. Bernstein (1998) gir i boken "*Against the Gods, the Remarkable History of Risk*" en grundig gjennomgang av en lang og nokså flokete historie omkring sannsynlighet. Begrepet går minst tilbake til

middelalderen, men de første matematiske formuleringer kom med renessansepersonligheter som Cardano, Fermat, Pascal og Huygens på midten av 1600-tallet. Matematikken ble senere videreutviklet av (Jacob) Bernoulli og de Moivre.

Det har likevel oppstått en langvarig diskusjon omkring ulike tolkninger av sannsynlighetsbegrepet, blant annet beskrevet av Vick (2002, s. 3): Dette har gjort at det kan være vanskelig å få oversikt over hva som kunne eller burde brukes av tilnærminger. Etter hvert er det i hovedsak to ulike tolkninger som kom til å bli brukt; perspektivet som handler om at det finnes en sann verdi for sannsynlighet og at den henger direkte sammen med observerte hendelser og utfall på den ene siden og perspektivet som går ut på at sannsynlighet er en konstruksjon og et uttrykk for graden av tro på spesifikke utfall, enten disse har vært observert tidligere eller ikke.

4.1 Risiko, sannsynlighet og usikkerhet

Risiko er vanligvis kommunisert som kombinasjoner av konseptene sannsynlighet og utfall (konsekvens), samt usikkerheten relatert til disse størrelsene. I en nyere tilnærming er risiko definert som «*Risiko refererer til usikkerhet om og alvorligheten av hendelser og konsekvenser (eller resultater) av en aktivitet med hensyn til noe mennesket verdsetter*». (Aven & Renn, 2010).

De to hovedperspektivene på sannsynlighet deles grovt sett i det som ofte kalles den frekventistiske tilnærmingen og den kunnskapsbaserte tilnærmingen, den siste også kalt Bayesiansk tilnærming (Rausand og Utne, 2011). Den frekventistiske tilnærmingen går som nevnt ut fra at det finnes en sann verdi for sannsynligheten for en hendelse. Denne sannsynligheten kan finnes ved at man studerer et stort antall av tilsvarende situasjoner eller hendelser. Siden statistikk fra et uendelig antall er prinsipielt umulig å framskaffe, kan tilnærmingen i beste fall gi sannsynlighetsfordelinger og anslag av ulik grad av konfidens. Det er også mulig å inkludere modellusikkerhet og andre epistemiske usikkerheter i estimatene. (Braut et al). Ofte brukes betegnelsen frekvens for forventningsverdien i forhold til et antall

hendelser og man ser på frekvensen som predikerte antall hendelser i løpet av et gitt tidsrom, også kalt den relative frekvensen.

Det har etter hvert oppstått flere problemer med ensidig bruk av "Frekventisttilnærmingen". For eksempel er det urealistisk å anta at man kan basere seg på et stort antall hendelser som man forutsetter er gjentatt under samme betingelser. Å trekke slutninger fra et statistisk datamateriale kan være problematisk siden framtidige forhold kan være helt forskjellig fra den som statistikken bygger på. En annet problem er håndteringen av usikkerhetsdimensjonen. Usikkerhet er her sett på som avstand mellom estimat og "sann" verdi, det vil si for eksempel ved bruk av konfidensintervaller for å viser dette.

I dette andre perspektivet relaterer usikkerheten seg også til hvilke hendelser som kan inntreffe, hvor ofte de kan inntreffe og hvilke konsekvenser de kan medføre, men usikkerheten er her knyttet til den kunnskap som er tilgjengelig på det aktuelle tidspunktet. I risikoanalysen brukes her sannsynligheten for å uttrykke usikkerhetene slik de framstår for analytikeren. Disse sannsynlighetene betegnes ofte som "subjektive sannsynligheter". En annen foretrukket betegnelse er "kunnskapsbaserte sannsynligheter" (Aven et al. 2004). Disse sannsynlighetene er ofte knyttet bayesianske tilnærminger. Det betyr at man i tillegg til kvantitative sannsynlighetsestimater også prøver å uttrykke hvor sikker eller usikker man er på kunnskapen som er tilgjengelig på det aktuelle tidspunktet (Aven & Renn, 2010). Sannsynlighet blir her en måte å uttrykke usikkerhet knyttet til hvorvidt en hendelse vil inntreffe eller ikke. Denne sannsynligheten kan også forstås som en måte å uttrykke grader av tro ("Degrees of belief", se for eksempel Vick, 2002).

Den største filosofiske forskjellen mellom de to perspektivene er synet på sannsynlighet og hvorvidt sannsynlighet er en reell underliggende egenskap (fordeling) ved et system, eller om sannsynlighet er en konstruksjon hvor usikkerhet om fremtidige hendelser uttrykkes (se for eksempel Aven et al. 2010). I det siste perspektivet finnes det ikke noe som kan kalles korrekt, eller sann sannsynlighet.

Historien om sannsynlighets- og beslutningsteori handler i stor grad om spenningsfeltet mellom de som mener at de beste vurderingsgrunnlaget kommer fra kvantifiseringer bestemt av hendelser og mønster fra fortiden, og de som baserer seg på mer subjektiv grad av tro på hva som vil inntreffe i en usikker framtid. Dette er en kontrovers som fortsatt er aktuell i dag (Bernstein, 1996, p 6).

Tabell 2. Oversikt over mulige tolkninger av sannsynlighetsperspektiver og vurdering bruk i sammenheng med naturfarer. Den "klassiske" som har sitt utspring fra lukkede systemer som spill, er tatt med for oversikten men er lite aktuell i denne sammenheng. Delvis basert på de Elía, R. (2005).

	Klassisk	Frekventistisk	Kunnskapsbasert
Hovedhypotese	Endelig antall muligheter (terningkast)	Relativ frekvens over tid	Grad av tro
Konsept	Antall gunstige utfall/antall mulige utfall	Tidligere data og observasjoner	Kunnskap og intuisjon
Kan brukes for enkelthendelser	Ja	Nei	Ja
Presisjon?	Ja	Nei	Nei
Egnet til å vurdere naturfarer?	Nei	Delvis	Ja

4.1.1 Ekspertvurdering

Når det ikke finnes statistisk grunnlag for å beregne sannsynligheter og frekvenser må man ty til kunnskapsbaserte anslag av sannsynlighet for at hendelser eller tilstander skal inntreffe. Sannsynlighetsanslagene er dermed de som man ut fra den tilgjengelige informasjonen og kunnskapen mener er troverdige. For å gjøre kvantitative estimater er det vanlig at informasjonen framskaffes ved å spørre noen som bør vite hvordan man kan vurdere de aktuelle hendelsene, det vil si ty til bruk av eksperter.

4.1.2 Bayes teorem

Tilnærmingene som er omtalt over kan også gjøre bruk av Bayes (1763) teorem. Dette handler om de tilfellene hvordan vi kan oppdatere vår vurdering av sannsynlighet etter hvert som vi får ny kunnskap. Matematisk kan dette formuleres slik:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) P(A)}{P(B)}.$$

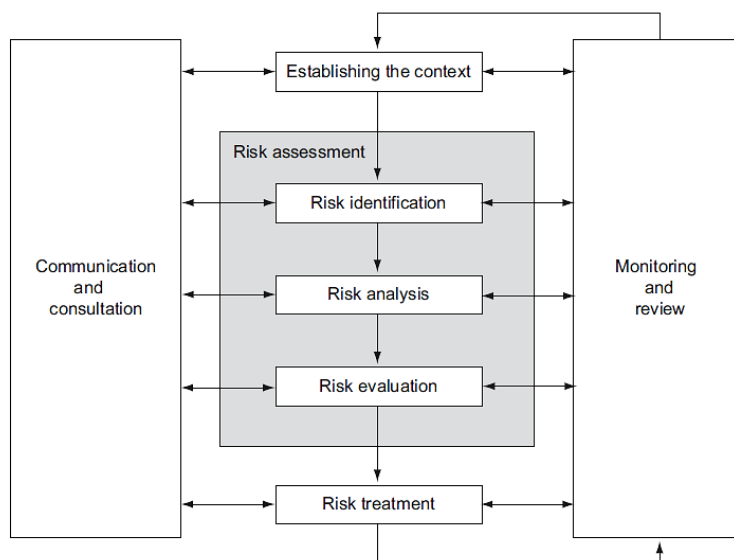
Hvor A og B er hendelser og P(A) og P(B) er de uavhengige sannsynlighetene for A og B. P(A | B) er den betingede sannsynligheten for A, gitt at B inntreffer og P(B | A) sannsynligheten for B, gitt at A inntreffer.

4.1.3 To typer usikkerheter

Det er vanlig å definere to hovedtyper av usikkerhet: "Aleatorisk" usikkerhet betegner usikkerhet som henger sammen med variasjon i kjente populasjoner og tilfeldige fordelinger. "Epistemisk" usikkerhet skyldes mangel på kunnskap om fundamentale fenomener. I motsetning til den aleatoriske usikkerheten kan den epistemiske usikkerheten reduseres ved å skaffe mer kunnskap (se for eksempel Aven et al, 2004).

4.1.4 Risikostyring

For å få et overblikk over sammenhengen mellom vurdering av sannsynligheten for en hendelse og styring av risiko, kan det være nyttig med en kort oversikt av risikostyring og tilhørende prosesser. Strukturen i en overgripende styring i risiko i en virksomhet er gitt i flere standarder. ISO har publisert en standard på området, som er utgitt av Standard Norge som NS-ISO 31000:2009 Risikostyring – Prinsipper og retningslinjer.



Figur 4. Skjematisk oversikt over prosess for risikostyring (risk management) og risikovurdering (risk assessment) i henhold til ISO31000 (2009).

Med **risikostyring** menes en koordinert prosess for å lede og kontrollere en virksomhet eller organisasjon med hensyn til risiko. (NS-ISO 31000:2009). Som det går fram av figur 4 er risikokartlegging (risk identification) og påfølgende risikoanalyse deler av risikovurderingen (risk assessment). Risikovurdering er her en samlet prosess som består av blant annet planlegging, risikoanalyse og risikoevaluering

4.1.5 Kontekst

Proessen starter med å **identifisere konteksten** (establishing the context). Her fastsettes forutsetninger for og omfanget av risikovurderingen. Den skal gi en beskrivelse og avgrensning av hva som skal analyseres, hva som skal beskyttes, hvilke sikkerhetskrav, lover og regler som gjelder. Her kan man også definere hvordan sannsynligheter, konsekvenser og risiko skal graderes og hva disse graderingene innebærer.

4.1.6 Risikovurdering

Risikovurdering handler om beslutninger i forhold til eksisterende risiko er akseptabel eller ikke. Vurderingen omfatter fareidentifisering, risikoanalyse og risikoevaluering.

4.1.7 Risikokartlegging

Neste trinn innebærer å **kartlegge risiko** (risk identification), herunder å identifisere de potensielle uønskede hendelsene, årsakene til disse og å finne sårbarheter og svakheter. Uønskede hendelser omtales som hendelser som kan føre til eller kunne ha ført til personskade, sykdom, skade/tap av eiendom eller skade på miljøet. Kartleggingen av farer kan for eksempel gjøres ved innhenting av kunnskap fra fagpersoner. En fare kan for eksempel naturhendelser som skred som har potensiale til å treffe et sårbart objekt.

4.1.8 Risikoanalyse

Etter kartleggingen følger **risikoanalysen**. En risikoanalyse skal gi grunnleggende informasjon om hva som kan gå galt og hva sannsynligheten er for at disse uønskede hendelsene inntreffer. Det siste kan i denne sammenhengen også beskrives som "faren". Hvordan sannsynligheten, eller "faren", beskrives er viktig for hvordan denne kan benyttes i risikovurderingen. I tillegg vurderes sårbarheten til utsatte objekt og konsekvensen dersom hendelsen inntreffer.

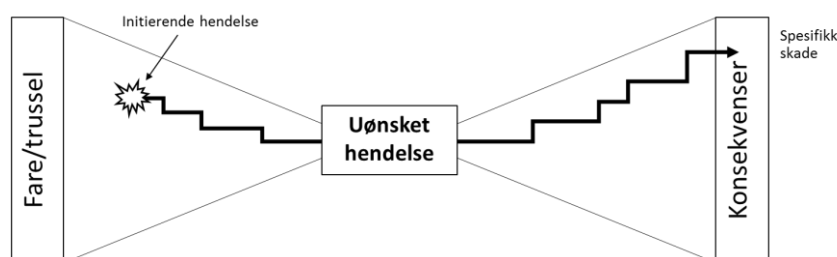
Risikoanalyser kan beskrives både kvalitativt og kvantitativt:

- Kvalitativ risikoanalyse er en analyse som i hovedsak benytter en verbal framstilling for å beskrive omfanget av konsekvenser og sannsynligheten for at disse skal inntreffe.
- En kvantitativ risikoanalyse (QRA) er basert på en numerisk framstilling av verdier for sannsynlighet, sårbarhet og konsekvens og som gir som resultat et kvantitativ anslag for risiko i intervallet 0-1, hvor 0 betyr at vi vet at det er ingen mulighet for at hendelsen skjer, mens 1 betyr at vi vet at det er sikkert at den skjer.

4.1.9 Uønsket hendelse

Hva som kan gå galt er ofte referert til som en "uønsket hendelse". Denne kan i sin tur avhenge av en initierende hendelse. Sannsynlighet handler her om i hvilken grad det

er trolig at en uønsket hendelse vil inntreffe (NS-ISO 31000) og konsekvens er en mulig følge av en uønsket hendelse (NS-ISO 31000). Figur 5 viser sammenhengen mellom fare/trussel og konsekvenser i et såkalt "bow-tie" diagram, som ofte brukes i risikostyring.



Figur 5. I en forenklet hendelsesanalyse kan man for eksempel se en skredutløsning som den initierende hendelsen, mens skredutløpet til det utsatte objektet er en del av hendelsesforløpet som leder til den uønskede hendelsen "skred treffer veg". Gitt hvilke barrierer eller omstendigheter som er til stede kan trafikanter komme til skade som konsekvens. (Etter Rausand og Utne, 2011).

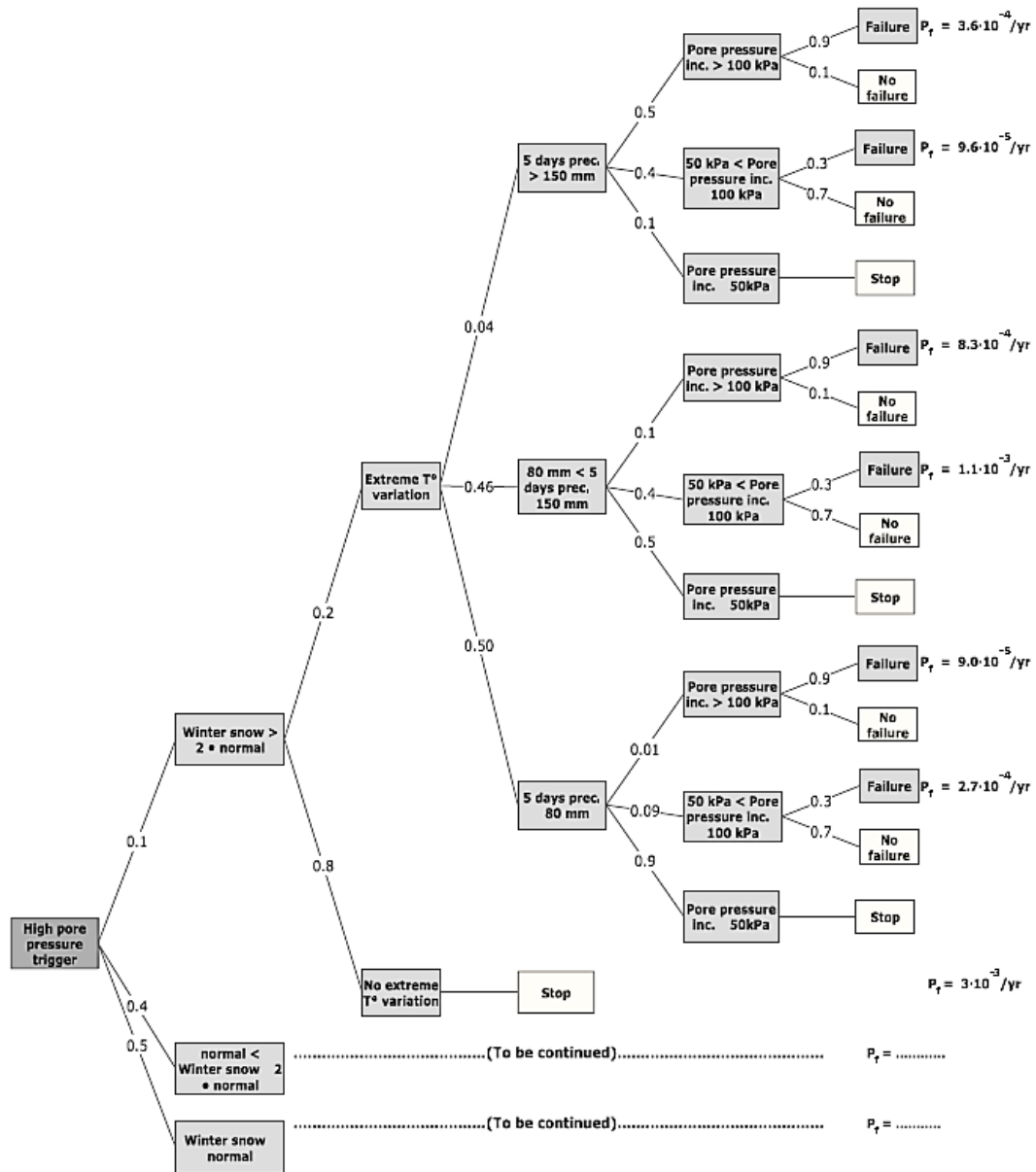
4.1.10 Feiltre- og hendelsestreanalyser

En effektiv måte å dekomponere problemstillinger, anskueliggjøre hendelsesforløp, og også for å beregne sannsynligheter for ulike utfall på, er å benytte feiltre og hendelsestre. Feiltreanalysemetoden ble utviklet av Bell Telephone Laboratories i 1962 i forbindelse med en sikkerhetsmessig vurdering av avfyringssystemet til den kjernefysiske Minuteman-raketten (Rausand, 1991). Et feiltre er et logisk diagram som illustrerer sammenhengen mellom en uønsket hendelse i et system og årsakene til dette. Feiltreet består av symboler som viser tilstanden til komponentene (inngangshendelsene) og enkle logiske koblinger som "og" eller "eller". En feiltremodell gir oversiktlig bilde av hvilke kombinasjoner av svikt som kan lede til en bestemt uønsket hendelse.

Et hendelsestre er et også logisk diagram som kan vise mulige betingede (og asykliske) hendeskjeder som følger etter en initierende hendelse. I denne sammenhengen kan en hendeskjede omfatte en initierende hendelse, for eksempel stor oppsamling av

snø i et utløsningsområde, påfølgende brudd i snødekket, utløsning av et stor flakskred og utløp ned til et utsatt objekt. Treet består av en sekvens av sammenkoblede noder og greiner hvor hver node representerer en hendelse eller en tilstand. Forgreninger fra en node representerer hver av de mulige hendelser eller tilstander som kan oppstå. For hver gren kan man anslå en sannsynlighet. I treet er hendelsene betinget av den foregående hendelsen eller tilstanden, og dette gjør at sannsynligheten for en sekvens av hendelser kan beregnes ved å multiplisere sannsynlighetene i en forgrening. Hendelsene som utgår fra en node er innbyrdes utelukkende (enten/eller), men for kombinasjoner av flere hendelser kan sannsynlighetene summeres på tvers av flere av treet's grener.

Tilnærmingen har blant annet blitt brukt for å kvantifisere sannsynligheten for et større fjellskred ved Åkernes i Stranda, Møre og Romsdal (Eidsvig et al. 2008). Et større skred fra dette området vil kunne få store ødeleggende konsekvenser for bygdene langs Storfjorden (blant annet Geiranger og Hellesylt) på grunn av flodbølge som genereres når skredet treffer fjorden. Sannsynlighetsanslagene er her beregnet ut fra tilgjengelige data og vurderinger i en ekspertgruppe.



Figur 6. Eksempel på hendelsestre for fjellskreduløsning som følge av høyt poretrykk i grunnen. Fra Lacasse et al. (2008).

4.1.11 Risikoevaluering

I **risikoevalueringen** er det resultatet av risikoanalysen som evalueres i forhold til premisene i konteksten som ble bestemt innledningsvis. Her får man et overblikk over hvordan den beskrevne risikoen er sammenlignet med risikoakseptkriteriene (for eksempel i forhold til lovverk).

4.1.12 Risikohåndtering

Risikohåndteringen handler hvilke måter risiko kan håndteres på. Dette kan dreie seg om at: a) man finner at man kan beholde risikoen slik den er (risk retention), b) man overfører risikoen til andre for eksempel at kostnaden tas av forsikringsselskap eller skattebetalerne (risk transfer, risk sharing), c) iverksette tiltak som reduserer sannsynlighet og/eller konsekvens (risk reduction) og d) unngå å utføre den risikable handlingen (risk avoidance), for eksempel å stenge skredutsatte veger i skredfarlige situasjoner.

4.2 Hva er en ekspert?

Ekspertes på isolerte fenomen eller hendelser foretar som regel ikke risikoanalyser eller tar beslutninger om risikostyring. Dette gjøres normalt av problemeieren eller noen denne engasjerer til å gjøre dette. Uansett må beslutningstakere ta beslutninger på bakgrunn av data eller informasjon som er ufullstendig eller mangelfull på en eller annen måte. Under forhold hvor man for eksempel har lite relevant statistikk for anslå frekvenser, har få eller ingen historiske hendelser å sammenligne med og mangler troverdige modeller som ikke forutsetter subjektive inputdata, må risikoanalytikere ty til eksperter (Njå et al, 1998). Ekspertes spiller dermed ofte en avgjørende rolle i tolkning og karakterisering av tilgjengelige data og i å anslå sannsynligheter. Hvordan eksperter velges ut og hvordan deres vurderinger kan hentes fram er et eget felt. Her kan nevnes Dreyfus & Dreyfus (1986) som har sett nærmere på hva som kjennetegnet eksperter i forhold til andre kompetansekategorier.

Tabell 3. Fem nivåer av kompetanse, tolket etter Dreyfus & Dreyfus (1986) og Njå et al. (1998).

Ulike nivåer	Kjennetegn
Ekspert	Har en intuitiv lynkjapp oppfatning av hva som er den beste beslutningen, strategien eller handlingen. Handlingen er basert på en helhetlig vurdering av situasjonen.
Kyndig	Nye situasjoner gjenkjennes intuitivt og umiddelbart. Handlinger er preget av raske intuitive koblinger mellom tidligere erfaring og nye situasjoner. Ser hva som er viktig i den aktuelle situasjonen og oppfatter avvik fra mønster. Er påvirket av noen perspektiver på grunn av hendelser i nær fortid – noen aspekter ved situasjonen vil stikke seg frem, mens andre blir ignorert.
Kompetent	Har erfaringsgrunnlag for å velge ut og prioritere i en situasjon. Innslag av fortolkning og skjønn er i noen grad til stede. Bevisst planlegging, men er basert på standardiserte og rutinemessige prosedyrer.
Avansert begynner	Bruker retningslinjer i forhold til situasjoner som blir gjenkjent, men gjenkjennelse er konkret og kontekstavhengig. Fortsatt begrenset situasjonsforståelse.
Nybegynner	Følger innlærte regler og planer. Begrenset situasjonsforståelse.

4.2.1 Hvordan bruke eksperter i risikoanalyser?

Njå et al. (1998) legger vekt på viktigheten av at man når man benytter eksperter sikrer at disse har gjort seg godt kjent med framgangsmåten i en kvantitativ risikoanalyse. Eksperten må blant annet ha en grunnleggende kjennskap til risikoanalysens formål, utgangspunkt, avgrensning og problemdefinisjon. At eksperten også er fortrolig med konseptet om sannsynlighet er sentralt for at det i det hele tatt skal være mulig å trekke ut anvendelig informasjon som kan brukes, for eksempel i hendelses- og feiltrær. Ekspertvurderingene må derfor kunne overføres til en sannsynlighet for at en uønsket hendelse skal inntreffe.

Det er også viktig at eksperten er innforstått med mulige bias (systematiske feil og tilbøyeligheter som påvirker dømmekraft eller skjevheter i bruk av data som kan føre til at resultater ikke samsvarer med virkeligheten) som påvirker vurderingene og

hvordan disse oppstår (se for eksempel Tversky og Kahneman, 1974). I utgangspunktet er grupper av eksperter å foretrekke, men dette er også et spørsmål om tilgjengelige ressurser i form av tid og penger. En enkelt ekspert har begrenset innsikt og kan være mer influert av bias som ikke blir korrigert i en gruppe. På den andre siden kan fenomenet "groupthink", det vil si en tilbøyelighet til å være enig i en tilsynelatende flertallsoppfatning og motstand mot å stikke seg ut og bryte konsensus, lett kunne oppstå i gruppesammenheng (Janis, 1982).

4.2.2 *Numerisk omformulering*

Når det gjelder beskrivelse av sannsynligheter viser forskning (Reagan et al, 1989) at folk er nokså vel kalibrerte og konsekvente i forhold til kjente sannsynligheter, forutsatt at de kan bruke egne ord og at det dreier seg om sannsynligheter som er større enn 0,01. Svært høye og svært lave sannsynligheter er gjennomgående vanskeligere å konseptualisere. Personlige erfaringer med svært lave sannsynligheter mangler naturlig nok ofte for folk flest.

Vick (2002) har sammenfattet disse resultatene og har foreslått en konvensjon for verbal til numerisk transformasjon basert på resultatene til eksperimentene utført av Reagan et al. (1989) som antyder de omtrentlige grensene innenfor området hvor folk flest er vel kalibrert.

Tabell 4. Verbal transformasjon av sannsynligheter foreslått av Vick (2002)

Verbal Descriptor	Suggested Probability	Approximate Probability Range from Reagan et al
<i>Virtually Impossible</i> , due to known physical conditions or processes that can be described and specified with almost complete confidence	0.01	0-0.05
<i>Very Unlikely</i> , although the possibility cannot be ruled out	0.1	0.02-0.15
<i>Equally Likely</i> , with no reason to believe that one outcome is more or less likely than the other (when given two outcomes)	0.5	0.45-0.55
<i>Very Likely</i> , but not completely certain	0.9	0.75-0.9
<i>Virtually Certain</i> , due to known physical processes and conditions that can be described and specified with almost complete confidence	0.99	0.9-0.995

Lacasse et al. (2004) har utvidet de øvre og nedre grensene med en størrelsesorden i en sannsynlighetsskala som benyttes forhold til vurdering av dampsikkerhet. I dette tilfellet er det imidlertid tale om vurderinger gjort av eksperter og ikke av folk flest. En måte å håndtere slike lave sannsynligheter på er også å dekomponere hendelsene til to eller flere bidragende hendelser som har sannsynligheter innenfor intervaller som lettere lar seg konseptualisere.

Tabell 5. Verbal transformasjon av sannsynligheter foreslått av Lacasse et al. (2004)

Descriptor of uncertainty	Event probability
<i>Virtually impossible</i> : event that can be described as impossible with almost complete confidence	0.001
<i>Very unlikely</i> : the possibility cannot be ruled out.	0.01
<i>Unlikely</i> : unlikely event, but it could happen.	0.10
<i>Uncertain</i> : there is no reason to believe that one outcome is more or less likely than the other.	0.50
<i>Likely</i> : likely event, but it may not happen.	0.90
<i>Very likely</i> : event is not completely certain.	0.99
<i>Virtually certain</i> : event that can be described as certain with almost complete confidence.	0.999

4.2.3 Ekspert og usikkerhet

En av flere grunner til at formidling av usikkerhet er viktig er et aspekt knyttet til risikohåndtering og det er den som benevnes som "føre-var" tilnærmingen. Jo større usikkerhet, dess mer berettiget er det å ta forholdsregler - ikke fordi man er sikker på at faren er alvorlig, men fordi man ikke er sikker på at den ikke er det. Hvor langt man skal gå med hensyn til føre-var tiltak kan alltid diskuteres. Planlegging basert på føre-var prinsippet er ikke uten kostnader for samfunn og individer. Risikounngåelse som strategi kan føre til store tap av muligheter eller inntekter og den er som regel bare aktuelt når risikoene er omfattende, komplekse og uoverskuelige.

Ekspert har ofte et ambivalent forhold til å formidle usikkerhet. En erkjennelse av man er usikker på sine vurderingene, kan i en organisasjonssammenheng hvor man foretrekker klare og entydige svar, ofte oppfattes som manglende kompetanse. På den andre siden kan en saklig innrømmelse av usikkerhet øke omverdenens tiltro til ekspertens ærlighet (se for eksempel Slovic 1986).

Peter Sandman (2004) identifiserer fire bias som påvirker hvordan eksperter velger å formidle usikkerhet (eller å unnlate å gjøre dette):

1. Uvilje mot å framstå som uvitende
2. Uvilje mot å framstå som påståelig og for presis om usikkerhet
3. Uvilje mot å late som om man er mer sikker enn man egentlig er
4. Tendens til å være mer optimistisk enn det er grunnlag for.

Et relativt nylig tilfelle som eksemplifiserer hvilke utføre eksperter kan komme opp i er rettsaken mot syv jordskjelv eksperter i etterspillet til jordskjelvkatastrofen i L'Aquila i 2009 hvor 308 mennesker omkom. Tiltalen gikk ut på at ekspertene hadde kommet med villedende informasjon om faren for et stort jordskjelv. Dette førte til at mange personer som hadde blitt beroliget av informasjonen, kom til å oppholde seg i bygninger som kollapset da skjelvet likevel kom. Reaksjonene på tiltalen av forskerne

var naturlig nok sterke i internasjonale forskermiljø (også i Norge, se for eksempel nrk.no, 2011).

En ting er berettigelsen av tiltalen, men det er for enkelt se på saken bare som et utslag et dysfunksjonelt rettssystem i Italia. Professor David Alexander, (2014) viser i en artikkel at saken også handler mye om hvordan sannsynlighet, og i usikkerhet i særdeleshet, forstås og kommuniseres av mottakerne av informasjonen. I denne saken er det uten tvil mye å lære omkring dynamikken i samspillet mellom eksperter, media og befolkning.

Selv om prediksjon av snøskredfare kan antas å ha noe større treffsikkerhet enn jordskjelvprediksjon på grunn av de observerbare vær- og snøforholdene, kan problemstillingen på en del måter sammenlignes. I vinterferien 2002, 25. februar kl. 02:30 gikk det et stort snøskred over riksveg 15 på Strynefjellet. Skredet gikk i ca 450 m bredde over vegen, mens denne var åpen for fri ferdsel (Kristensen, 2005). Skredet gikk i tillegg til ca 80 m innover i tunnelen som går under vannskillet mellom øst og vest og som fører ut i dalføret Grasdalen. De første som ble møtt av skredsnøen som sperret utgangen var to ekspressbussar far Oslo. Elias Sperstad (2002) skildrer forløpet i artikkelen "Minutter fra skredkatastrofe" i avisa Gudbrandsdølen Dagingen slik:

"Som ved et under ble ingen tatt i skredet.

Skredet gikk på det mest gunstige tidspunktet: Etter at fem nattbussekspresser vestfra hadde kjørt gjennom, etter at brøytebilen hadde kjørt gjennom for å klargjøre vegbanen, men før de to nattbussene østfra kom. De ble møtt av snømassene 60 meter fra tunnelåpningen mot Grasdalen. Det var heldigvis liten trafikk mellom de to puljene med nattbusser.

Søndag ettermiddag var det derimot stor trafikk av vinterferieturister over Strynefjellet. Det var dårlig vær. Derfor var det kolonnekjøring mellom klokka 14.00 og 19.30. Kolonner på bortimot én kilometer tok seg over fjellet i begge retninger. Været løyet og det ble åpnet for fri ferdsel.

Vegvesenets folk innhentet opplysninger og prognoser både når det gjaldt værprognoser og skredfare. Klokket 10.00 ble det også detonert en sprengladning oppe i fjellsiden i det skredutsatte området gjennom Grasdalen. Det kom ikke en eneste snøklank. Det skulle altså ikke gå stort mer enn et halvt døgn før et selvutløst skred fylte dalbunnen. I vegbanen mellom skredoverbygget og Grasdalstunnelen lå det igjen 4 meter dyp tett pakket snø. Ved tunnelåpningen hadde skredet gått over dalføret og langt opp i skråningen på den andre."

Skredfaren var på dagen vurdert i den femdelte kvalitative skalaen til grad 4: "Stor" på grunn av at det hadde kommet store snømengder og at det var sterk vind. Ved grad 4: "Stor" var det praksis at vegen ble steng. En sprengladning som ble detonert i fjellsiden førte likevel ikke til at noe skred ble utløst. Sammen med en værforbedring, som skulle vise seg å være forbigående, ble stabiliteten til snødekket vurdert som bedre enn først antatt og skredfaren ble nedgradert til grad 3: "Middels". Det var da gjeldende vurdering fram til neste skredfarevurdering som skulle gjøres om morgenen dagen etter. I mellomtiden gikk skredet.

Statens vegvesen er ansvarlig for hvilke tiltak som skal settes i verk ved ulik grad av skredfare og det er flere forhold som spiller inn i disse vurderingene, blant annet trafikk tetthet og kjøreforhold. Et spørsmål er likevel hvordan et begrep som "Middels" skal tolkes. Som midtre trinn tre på en femgraders skala er det naturlig å si at dette tilsvarer 50%. Sett i tidsperspektiv på mindre enn et døgn må dette betraktes som en relativt stor sannsynlighet for at skred skal komme på vegen. Faregrad 3 "Middels" var likevel vurdert til å være under terskelen for stengning av vegen. Den verbale betegnelsen for faregrad ble senere endret til "Betydelig", men faregraden 3 er likevel midtveis på de fem trinnene i skalaen.

Forholdene i Norge er nok annerledes enn i Italia når det gjelder muligheten for å tiltale folk på grunnlag av ekspertuttalelser, men det er sannsynlig at saken ville blitt gransket nøye både av påtalemyndighet og fagetater dersom en ekspressbuss hadde blitt tatt her.

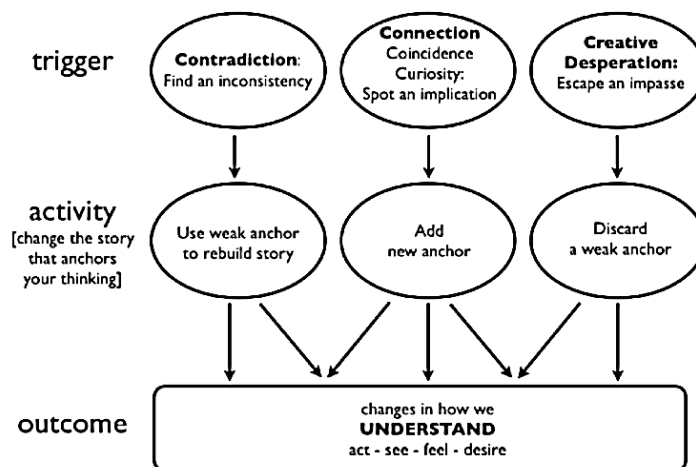
4.2.4 *Naturalistisk beslutningstaking og innsikt*

I en sammenheng som dette hvor det også handler om vurderinger tatt av kompetente utøvere under forhold med begrenset informasjon, tidspress og hvor det potensielt er store konsekvenser, er det naturlig å se til tilnærminger innen forskningsfeltet "naturalistisk beslutningstaking" (NDM). Forskningen innen dette feltet har fokusert på hvordan beslutninger har blitt tatt i virkelige situasjoner som er preget av usikkerhet, uklare mål, tidspress og hvor det samtidig er mye som står på spill (G. Klein et al, 1993:19), for eksempel i forbindelse med brannslukking. Et funn er at tilfredsstillende beslutninger under usikkerhet ofte blir tatt på grunnlag av erfaringsbasert kategorisering av situasjoner (G. Klein, 2008:457). Tilnærmingen ble kalt "Recognition-Primed Decision Model" (RPD) og handler om hvordan en situasjon kan kategoriseres basert på tilgjengelig informasjon og erfaringen til den erfarne beslutningstakeren. Denne besitter et mentalt lager av tidligere opplevde situasjoner som sammenlignes med den aktuelle situasjonen. På grunnlag av dette konstrueres en historie om hvordan den aktuelle situasjonen kommer til å utvikle seg. Opp mot dette testes så en mulig handlingssekvens ved en mental simulering hos eksperten.

Et viktig aspekt ved RPD i denne sammenhengen er at antakelsene om situasjonen, den mentale modellen, revurderes i lys av ny informasjon. Klein har sett på hvordan nye mentale modeller dannes basert på det han omtaler som "innsikter" (Insights). Innsikter tvinger oss til å revurdere vår forståelse av situasjonen og å søke etter en ny modell som bedre forklarer det vi observerer. Klein (2013) identifiserer tre situasjoner, eller veier, til innsikt (the "Triple Path Model of Insight").

1. Selvmotigelser ("contradictions"): inkonsekvenser, anomalier og selvmotigelser som ikke passer helt inn i den nåværende mentale modellen av situasjonen. Gir en følelse av at noe som "skurrer" i forhold til noen av observasjonene og det oppstår kognitiv dissonans. I stedet for å dekke over eller bortforklare motsetningene, må disse utforskes på en måte som kan føre til nytenkning og reformulering av hypoteser.

2. Sammenhenger ("connections"): En ofte tilfeldig oppdaget sammenheng mellom to tilsynelatende urelaterte kunnskapsområder, for eksempel innsikter fra andre fagfelt. En evne til å "tenke utenfor boksen" er sentral her.
3. Kreativ desperasjon ("creative desperation"): denne vegen til innsikt er typisk drevet av ytre begrensninger og tidsnød. De rådende forholdene tvinger oss til å tenke på en ny måte siden den gamle måten setter oss i en fastlåst situasjon ("impasse"). Dette forsøkes håndtert ved at man prøver å finne hva som er feil i situasjonsforståelsen og om det er andre perspektiver som gir mer mening.



Figur 7. Skjematisk framstilling av Kleins (2013) tre veger til innsikt (*the Triple Path Model of Insight*).

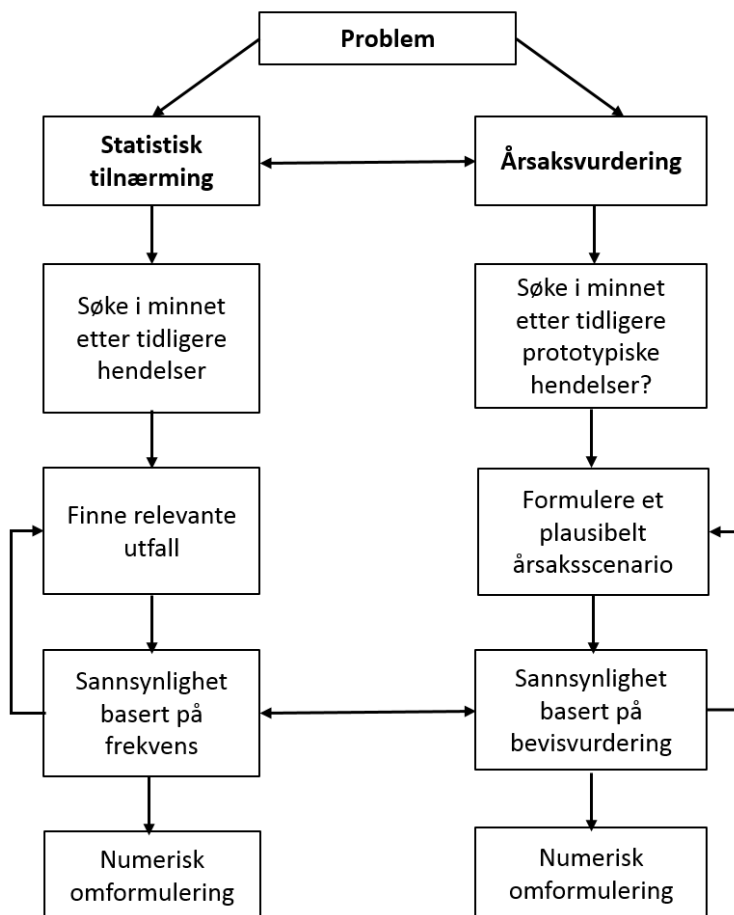
Sentralt i dette er forankrings-effekten, det vil si tendensen til å tviholde på tidlig dannede oppfatninger på tross av ny informasjon. Klein oppgir noen egenskaper som han mener er viktige for eksperter i dette problemfeltet: tverrfaglig tilnærming, kritisk tenkning og oppmerksomt nærvær ("mindfulness").

Daniel Kahneman beskriver i sin bok "Thinking, fast and slow" (2011) to forskjellige systemer for hvordan vi tar beslutninger i praksis, system 1 som er raskt og intuitivt, og system 2 som er langsommere, bevisst og logisk. Kahneman er mindre optimistisk i forhold til å vår evne til å håndtere kognitive bias og han har også kritisert praktiske modeller som RPD og mener at de under en del betingelser (særlig når bias er betinget

av evolusjonspsykologi) kan medføre dårligere beslutninger enn ved bruk av f.eks. databaserte støtteverktøy, noe Klein for så vidt er enig i (Klein og Kahneman, 2009). Konteksten er likevel viktig. For situasjoner som det er mulig lære av over tid kan disse etter hvert oppfattes raskere og håndteres av system 1.

4.2.5 Strategi for en kunnskapsbasert sannsynlighetsvurdering

Sett i sammenheng med teoriene som er drøftet ovenfor er det mulig å skissere en framgangsmåte for hvordan man kan resonere seg fram til en kunnskapsbasert (subjektiv) vurdering av sannsynligheter for hendelser (Vick, 2002).



Figur 8. Strategi for å resonere seg fram til en kunnskapsbasert (subjektiv) vurdering av sannsynligheter for hendelser. Modellen har elementer fra begge

hovedperspektivene omkring sannsynlighet og den bruker også teoriene til Klein omkring mønstergjenkjenning og innsikt (etter Vick, 2002).

Selv om resultatene her ofte munner ut i kunnskapsbaserte (subjektive) vurderinger av sannsynlighet, har denne modellen elementer fra begge hovedperspektivene omkring sannsynlighet. Den bruker også teoriene til Klein omkring mønstergjenkjenning og innsikt.

4.3 Naturfare og varsling

I forhold til samfunnssikkerhet er begrepet "naturfare" omdiskutert. Kruke og Walters (2011) skriver i en kronikk om følgene av stormen Dagmar i 2011: *"Eksemplene fra Norge involverte alle skred, som er en av tre dominerende naturfarer som forekommer i Norge, ved siden av sterk vind og flom. Men kan vi kalle disse hendelsene naturkatastrofer? Svaret er nei! Dette er "samfunnsskapte katastrofer" fordi konsekvensene av disse naturlige hendelsene blir store pga sårbarhet i samfunnskritisk infrastruktur, sårbarhet som øker potensialet for katastrofer. Samfunnet setter sine innbyggere i fare. Samfunnet har bygd infrastruktur som veier og boligfelter i områder hvor de er sårbare for vind og store nedbørsmengder."* Perrow (2007) formulerer det slik: *"We are tempting nature by putting concentrations of hazardous materials, populations and vital parts of our infrastructure in its way."* I et slikt perspektiv kan man hevde at varsling for infrastruktur ofte bare er en nødløsning når planleggingen har sviktet.

4.3.1 Varsling av naturfarer, formål og metoder

Som nevnt innledningsvis finnes det flere typer varsling av naturfarer og disse har ulike formål og forutsetninger. En lokal, objektrelatert varslingstjeneste kan opprettes for å redusere en spesifikk konsekvens av faren lokalt. Forutsetningen her er at man allerede på forhånd har foretatt en risikoevaluering, inkludert vurdering av risikoaksept og vurdert i hvilken grad varsling bidrar til å redusere og kontrollere risikoen. Det er da tatt for gitt at sannsynligheten for uønskede hendelser skal kunne brukes i en kvantitativ risikoanalyse. Da er det vanskelig å komme bort fra at en kvantifisert

sannsynlighet for at den aktuelle hendelsen må angis på en eller annen måte. Varslet må si noe om sannsynlighet for at skredet skal løsne i løpet av et gitt tidsrom i framtiden og hvor langt det kan tenkes å gå i forhold til utsatte objekt som ligger nedenfor. Helst bør varselet også relateres til omfang og intensitet (trykkvirkning og destruktivt potensiale i forhold til for eksempel bygninger).

Det er opplagt at denne typen varsling foregår i den skarpe enden av varslingsvirksomheten; her står konkrete verdier på spill i form av at menneskeliv og verdifullt materiell som vil kunne gå tapt ved en alvorlig hendelse. Dette er ikke et generelt regionalt varsel; dette gjelder hva som skjer i forhold til et konkret objekt.

Risikostyring i denne sammenhengen er som regel basert på risikounngåelse. Veger eller jernbaner kan måtte stenges for trafikk, driften stoppes på anlegget eller utsatte bygninger evakueres. Samtidig har risikounngåelse ofte også en høy pris. Stengning av viktige transportårer, evakuering av mange mennesker i boligområder, driftsstans ved anlegg eller forhindret gjenoppbygging av viktig strømforsyning er eksempler som kan fort medføre en svært høy samfunnsøkonomisk kostnad (Grímsdóttir et al, 2012). Her kan nevnes at ved stengning av en veg i forbindelse med skredfare i Lech Østerrike ble det sagt at det i 9 av 10 tilfeller ikke gikk skred i stengningsperioden (pers. medd. Martin Schuster, Alpincenters Lech). En slik grad av føre-var tilnærming blir trolig bare akseptert der hvor det finnes omtrent likeverdige omkjøringsalternativer, noe som i mye mindre grad er tilfelle i Norge.

5 Empiri

5.1 Lovverk

Det kan være på sin plass med en kort gjennomgang av noen lover og forskrifter som regulerer krav til skredsikkerhet, siden disse ofte vil være begrunnelse for risikostyring, og i forlengelsen, behovet for snøskredvarsling.

5.1.1 Plan- og bygningsloven

Plan- og bygningsloven er som nevnt et av de viktigste verktøyene for å regulere bruk av skredutsatte arealer. Loven stiller kvantifiserte krav til sikkerhet mot skred for ulike klasser av byggverk. Hvordan disse skal tolkes går fram av veiledningen fra Direktoratet for byggkvalitet, TEK10. Nedenfor er et utdrag av denne:

1. *Byggverk hvor konsekvensen av et skred, herunder sekundærvirkninger av skred, er særlig stor, skal ikke plasseres i skredfarlig område.*
2. *For byggverk i skredfareområde skal sikkerhetsklasse for skred fastsettes. Byggverk og tilhørende uteareal skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot skred, herunder sekundærvirkninger av skred, slik at største nominelle årlige sannsynlighet i (tabell 6) ikke overskrides.*

Tabell 6. Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde (Direktoratet for byggkvalitet, 2012)

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	liten	1/100
S2	middels	1/1000
S3	stor	1/5000

Kvantifiserte krav ble likevel innført først i 1985 og for bebyggelse som stammer fra før den tid er det ikke gitt at den tilfredsstillende de kvantifiserte kravene. I noen tilfeller er det derfor aktuelt med varsling og evakuering i spesielle situasjoner.

Sannsynlighet er angitt som største nominelle årlige sannsynlighet. Formuleringen "nominell" forklares i Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK10) (Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) 2015, med følgende: *Forskriften angir krav til nominell årlig sannsynlighet fordi det er umulig å beregne skredsannsynligheten eksakt. Det skal i tillegg til teoretiske beregningsmetoder brukes faglig skjønn.*

5.1.2 Lov om politiet (politiloven)

Politiet har i følge loven ansvar for innbyggers sikkerhet i akutte situasjoner. I §27. Ulykkes- og katastrofesituasjoner heter det:

Det tilligger politiet å iverksette og organisere redningsinnsats der menneskers liv eller helse er truet, hvis ikke en annen myndighet er pålagt ansvaret. [...] I ulykkes- og katastrofesituasjoner tilligger det politiet å iverksette de tiltak som er nødvendig for å avverge fare og begrense skade. Inntil ansvaret blir overtatt av annen myndighet, skal politiet organisere og koordinere hjelpeinnsatsen.

Ut fra dette vil det som regel være politiet som er ansvarlig for å evakuere utsatt befolkning når det er fare for skred. Politiet har anledning til å rekvirere bistand fra ekspertise til å vurdere skredfaren.

5.1.3 Arbeidsmiljøloven

Arbeidsmiljøloven har blant annet som formål "*å sikre et arbeidsmiljø [...] som gir full trygghet mot fysiske og psykiske skadevirkninger*" (Arbeids- og sosialdepartementet, 2015). §3 omhandler krav til arbeidsplassen. Her heter det blant annet at arbeidsgiver skal *c) kartlegge farer og problemer og på denne bakgrunn vurdere risikoforholdene i virksomheten, utarbeide planer og iverksette tiltak for å redusere risikoen.*

I § 3-2.Særskilte forholdsregler for å ivareta sikkerheten sies det "*(1) For å ivareta sikkerheten på arbeidsplassen skal arbeidsgiver sørge for: [...] c) sakkyndig bistand når dette er nødvendig for å gjennomføre lovens krav.*"

Arbeidsmiljøloven er spesielt aktuell for personell som arbeider med drift og vedlikehold på skredutsatte veger, jernbaner og kraftlinjer, samt personell som er involvert i redningsaksjoner, siden disse ofte har en større grad av eksponering enn de fleste andre grupper i skredfaresituasjoner.

5.2 Snøskred som fenomen

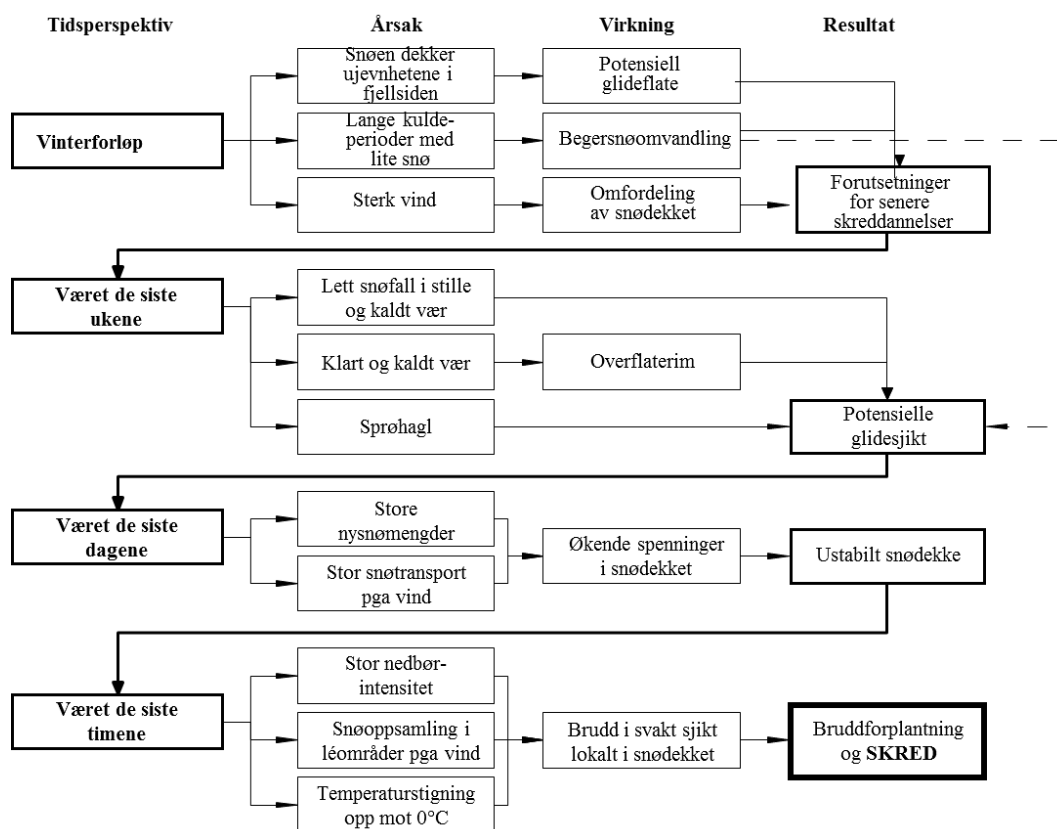
Dette kapittelet er på ingen måte uttømmende og omfatter bare noen aspekt ved snøskred som fenomen. Snøskred er et forskningsfelt med mange forskjellige

innfallsvinkler og snøskred forekommer dessuten i flere ulike former i naturen som ikke blir tatt opp i denne sammenhengen.

5.2.1 Prosedyrer og observerbare størrelser

Terrengforholdene kan stort sett betraktes som relativt permanente, selv om det kan tenkes at topografiske endringer i utløsningsområder som skyldes breavsmelting kan ha betydning i enkelte høytliggende områder. Når det gjelder skredbane og utløpsområder kan både snøskred tidlig i sesongen og andre skredtyper også påvirke topografi og ruhetsforhold. I en del snøskredbaner på Vestlandet med mer enn ett utløsningsområde er det kjent at tidlig avsatte skredmasser kan styre etterfølgende skred på ugunstig måte. Vegetasjon, særlig skog, har relativt stor betydning for utløsningsforholdene, men begrenset innvirkning på utløp av større snøskred.

Snøskredvurdering, ved regional varsling så vel som lokal objektvarsling, bygger på vurderinger av mange faktorer og det ofte komplekse samspillet mellom disse. Dersom terrengforholdene ligger til rette for snøskredutløsning er det vær og snødekke som er avgjørende. Figur 9 nedenfor viser bare noen av disse faktorene, sett i et tidsperspektiv over en vinter.



Figur 9. Illustrasjon av det kausale landskapet for naturlig utløste snøskred sett i et tidsperspektiv over en vintersesong. (Kristensen, 1994)

I slutten av 1990-tallet ble det utarbeidet en observasjonshåndbok til internt bruk som tok for seg prinsippene for observasjon av relevante forhold som kan innvirke på snøstabilitet og skredfare. En utgave av denne ble publisert i 2007 (Kristensen, 2007). Her listes relevante observasjoner opp, sammen med en beskrivelse av hvordan observasjonene skal gjennomføres og registreres. Observasjonene er her inndelt i tre hovedavsnitt, rene værobservasjoner, observasjoner og stabilitetstester av snøen på bakken og observasjoner av snøskredaktiviteten. Håndboken er i dag moden for revisjon, men et utdrag av innholdsfortegnelsen nedenfor gir et inntrykk av hvilke data som benyttes for å bedømme *nåtilstanden* til snødekket og hvilke krav til prosedyrer som trengs. Værprognoser og antakelser om snødekkets utvikling over tid tas i tillegg i betraktning når en skredfareprognose skal lages.

2 VÆROBSERVASJONER

- 2.1 Manuelle værobservasjoner
 - 2.1.1 Krav til sted
 - 2.1.2 Observasjonsfrekvens
 - 2.1.3 Utstyr
 - 2.1.4 Innledende observasjoner
 - 2.1.5 Lufttemperatur (T)
 - 2.1.6 Vindretning (DD)
 - 2.1.7 Vindhastighet (FF)
 - 2.1.8 Snøfokk (Sd)
 - 2.1.9 Nedbør (RR)
 - 2.1.10 Nysnøhøyde (HN)
 - 2.1.11 Total snøhøyde (H)
 - 2.1.12 Overflatesnøtype
 - 2.1.13 Overflateform (S)
 - 2.1.14 Innsynkning (P)
 - 2.1.15 Nysnøtemperatur (TS, Tn)
 - 2.1.16 Andre observasjoner
- 2.2 Automatiske vær- og snøobservasjoner
 - 2.2.1 Spesifikasjoner
 - 2.2.2 Krav til sted

3 SNØDEKKEOBSERVASJONER

- 3.1 Snøprofilen
 - 3.1.1 Formål
 - 3.1.2 Krav til sted
 - 3.1.3 Frekvens
 - 3.1.4 Nødvendig utstyr
 - 3.1.5 Feltforberedelser
 - 3.1.6 Innledende observasjoner
 - 3.1.7 Snødekkeobservasjoner
 - 3.1.8 Observasjoner av snøens lagdeling
 - 3.1.9 Hardhet ved handtesting (R)
 - 3.1.10 Hardhetsmåling ved bruk av sveitsisk rammsonde
 - 3.1.11 Fritt vanninnhold (θ)
 - 3.1.12 Kornform (F)
 - 3.1.13 Kornstørrelse (E)
 - 3.1.14 Densitet (ρ)
 - 3.1.15 Skjærstyrke (Σ)
 - 3.1.16 Forurensning (J)
 - 3.1.17 Temperatur (T)
 - 3.1.18 Snødekkets setning.
 - 3.1.19 Observasjoner av snøens lagdeling med spadeprøve
- 3.2 Snøstabilitetstester
 - 3.2.1 Formål
 - 3.2.2 Krav til sted
 - 3.2.3 Frekvens
 - 3.2.4 Innledende observasjoner
 - 3.2.5 Rutsjblokk
 - 3.2.6 Kompresjonstest
 - 3.2.7 Bruddflatekarakter
 - 3.2.8 Sprengning
 - 3.2.9 Andre observasjoner
- 3.4 Bruddkantundersøkelser
 - 3.4.1 Formål
 - 3.4.2 Utstyr
 - 3.4.3 Prosedyre
 - 3.4.4 Dokumentasjon

4 SNØSKREDOBSERVASJONER

- 4.1 Enkeltskred
 - 4.1.1 Utstyr
 - 4.1.2 Prosedyre

- 4.1.3 Dokumentasjon
- 4.1.4 Størrelsesklassifisering
- 4.1.5 Absolutt størrelsesklassifisering
- 4.1.6 Relativ størrelsesklassifisering

Formålet med denne opplistingen er å gi et bilde av mulige input i en skredfarevurdering. Mange faktorer er dynamiske og de kausale sammenhengene er ikke godt etablert. Det å integrere all informasjon som kan ha betydning for snøstabiliteten er oftest en induktiv prosess som inkluderer en utstrakt bruk av bayesiansk oppdatering. Det er også vanlig å se på dette som en diagnostisk tilnærming (McClung og Shaerer, 2006: 156).

Lied og Kristensen (2005) beskriver prosessen for vurdering av skredutløsning slik:

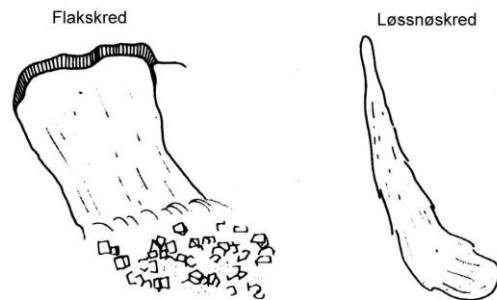
"Tradisjonell skredfarevarsling baseres i stor grad på erfaringen til den som utarbeider varselet. Ofte vil han prøve å ta i bruk både en deterministisk metode, det vil si prøve å forutsi hva som skjer med snødekket ut fra kjennskap til fysiske lover og egenskapene til snøen, og en empirisk-statistisk metode som går ut på at man sammenligner situasjonen i dag med forhold man har opplevd tidligere. For en erfaren observatør foregår dette som en ubevisst mental prosess som resulterer i en intuitiv følelse av skredfaren.

For å vurdere skredfaren er et ønskelig med data både om snødekket og værforholdene i skredenes utløsningsområder. Dessverre er slike data ofte vanskelige å skaffe og mange av snødekkets egenskaper er heller ikke så lette å kvantifisere. Gode metoder for å måle de virkelige fasthets- og spenningsforholdene i snødekket i et utløsningsområder til fjells har vi dessverre ikke ennå. Derfor vil grunnlaget for en skredfarevurdering oftest bestå av observasjoner av værforholdene i et nærliggende og antatt representativt område. De fleste av de data som er tilgjengelige, for eksempel temperatur, nedbør og vind, har kun en indirekte sammenheng med snødekkets stabilitet. Når disse i tillegg ofte må måles fjernt fra de stedene skredene løsner blir det nødvendig med lange

observasjonsrekker for å finne en noenlunde god sammenheng mellom snøstabiliteten i utløsningsområdene og værforholdene på observasjonsstedet.

De største vanskelighetene med å lage en objektiv skredfareanalyse ligger dels i kvaliteten og tilgjengeligheten av data, dels i at en grunnleggende forståelse av utløsningsmekanismen ennå mangler. En ytterligere vanskelighet ligger i at det ofte ikke er mulig å verifisere et skredfarevarsel, siden man ofte kan registrere kun to utfall: skred eller ikke skred. I en del tilfeller kan til og med dette være umulig. Det er derfor ikke mulig å kontrollere hvor nær en skredutløsning snødekket i en fjellside har vært dersom det ikke går skred, med mindre man tester snødekket i denne fjellsiden med en gradvis økende påkjenning."

Nedenfor gis er kort oversikt over noen tilnæringer til snøskredteori. Kapittelet bygger delvis på Håndbok om snøskred av Lied og Kristensen, (2005). Snøskred kategoriseres ut fra flere egenskaper, men de viktigste er bruddmekanisme og fuktighet. Med hensyn til bruddmekanisme skilles det mellom to hovedtyper, a) skjærbrudd mellom et overliggende kohesivt lag og et

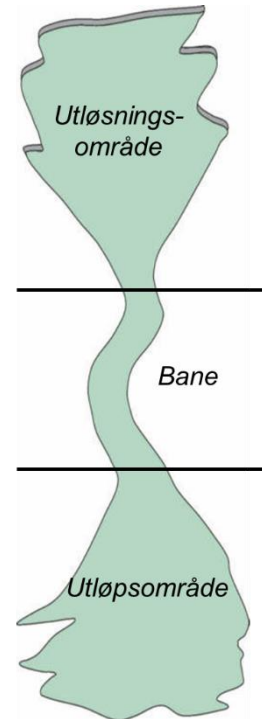


Figur 10. Hovedtyper av snøskred

underliggende lag, kombinert med strekk- trykk og skjærbrudd langs flankene og b) brudd i granulær kohesjonsløs snø. Disse snøskredtypene benevnes henholdsvis flakskred og løssnøskred, se figur 10. En viktig egenskap til skredet er også om det er vått eller tørt i utløsningsområdet. Dette har sammenheng både med bruddmekanismen og skredets bevegelse nedover fjellsiden. Det er likevel utløsning av tørre flakskred som er betraktet som den største faren (Lied, Kristensen,2005). Flakskred er den snøskredtypen som fører til de aller fleste ulykkene og også hvor man også har de største utfordringene i forhold til varsling. I det følgende er det derfor flakskred som er utløst i tørr snø som blir omtalt her.

Området som berøres av snøskred er ofte inndelt i tre deler:

- Utløsningsområdet er området hvor skredutløsningen skjer. Dette begrenses i øvre del av bruddkanten og selve utløsningsområdet er vanligvis minst 30° bratt. Når store flak løsner handler det som regel om tørr snø i dette området.
- Skredbanen er området hvor skredet passerer uten å legge igjen vesentlige skredmasser. Dette er som regel brattere enn 10° . Snøen kan være tørr i hele dette området, bli gradvis våtere nedover løpet eller mangle helt.
- Utløpsområdet er området hvor det vesentlige av skredmassene blir avleiret. Det kan være i fjellsiden, men kan også nå langt ut på flat mark i dalbunnen og i en del tilfeller opp i motsatt dalside. Snøen kan være tørr eller våt i utløpsområdet eller mangle helt.



Figur 11. Inndeling av skredområdet

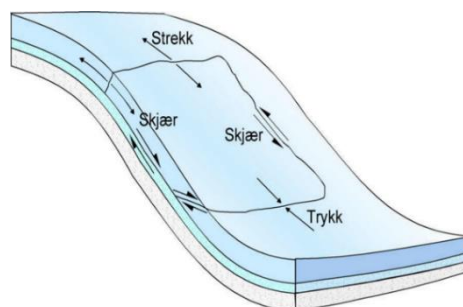
I denne sammenhengen er det vanlig å dekomponere problemstillingen i to hovedhendelser:

- 1) sannsynligheten for at skredet skal løsne og
- 2) sannsynligheten for at skredet skal nå objekt(er) som vi er interessert i å vurdere.

Disse kan så dekomponeres så i større detalj i hendelsestrær.

5.2.2 Utløsning av flakskred

En grunnleggende forutsetning for utløsning av flakskred i tørr snø er at terrengforutsetningene for dette er til stede. Vanligvis forutsetter dette at hellingen er i området mellom 30° til 50° grader der bruddet i snødekket oppstår.



I en forenklet beskrivelse av et flakskred kan snødekket bestå av tre ulike lag: 1) et lag med gammel fast snø nærmest bakken som er godt forankret i terrenget og virker til å jevne ut underlaget. 2) oppå dette ligger et tynt lag med liten fasthet og 3) et overliggende kohesivt og vanligvis vindpåvirket snølag. Tilnærmingen til flakskredutløsning har hatt utgangspunkt i stabilitetsbetraktninger (NGI, 2014) i forhold til skjærstyrken i snølaget (det svake laget) som befinner seg mellom flakets underside og en underliggende flate (randkreftene er sett på som neglisjerbare). Vurdering av snøstabilitet har mange fellestrekk ved geotekniske vurderinger av for eksempel skråningsstabilitet. Disse har i stor grad vært basert på deterministiske modeller og bruk av sikkerhetsfaktorer og med stabilitetsindekser.

Figur 12. Krefter som virker på et snøflak i skrånende terreng

Skjærstyrken τ_s kan uttrykkes som en kombinasjon av kohesjon og friksjon og av Coulombs bruddkriterium følger:

$$\tau_s = c + \rho \times g \times d \times \cos \psi \times \text{tg } \phi$$

hvor:

c = kohesjon

$\text{tg } \phi$ = friksjonskoeffisient

ρ = densitet

g = tyngdens akselerasjon

d = tykkelse på overliggende flak

ψ = terrenghelling

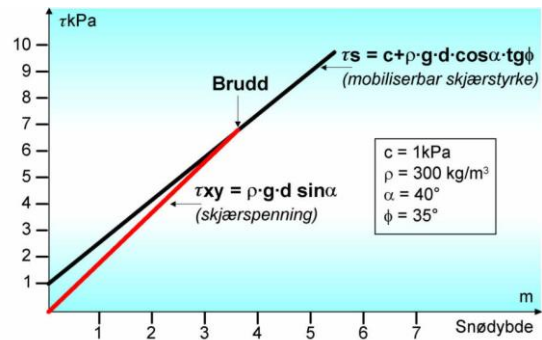
Skjærspenningen i det mellomliggende laget blir da

$$\tau_{xy} = \rho \cdot g \cdot d \cdot \sin \psi$$

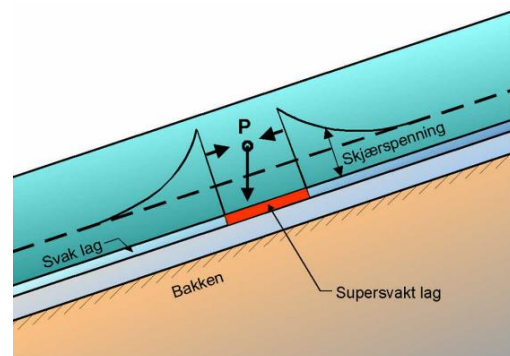
Ut fra en stabilitetsbetraktning blir skredet utløst når

$$\tau_{xy} = \tau_s$$

Ut fra dette ble det tidligere antatt at naturlige brudd (det vil si ikke provosert av for eksempel skikjørere) oppsto på grunn av pålastning av mer snø og sig i snødekket. Flere laboratorieforsøk i 1970-årene viste at snøen hadde egenskaper som gjorde at brudd ikke kunne oppstå under naturlige forhold basert på en enkel stabilitetsbetraktning. Forklaringsmodellen som brukes nå henger sammen med Griffiths bruddkriterium for materialer med sprekkdannelser (Griffith, 1921, Salm, 1986). På grunn av romlig variabilitet i skjærstyrken i det svake laget oppstår det lokale spenningskonsentrasjoner, som, hvis de oppnår en kritisk størrelse, vil føre til bruddforplantning. Denne variabiliteten er spesielt utfordrende for vurdering som har med skred utløst av kunstig påvirkning å gjøre (for eksempel skikjørere).



Figur 13. Forholdet mellom skjærstyrke og skjærspenning i et lag i snødekket ved økende pålastning.



Figur 14. Forekomst av "supersvake" områder fører til spenningskonsentrasjoner i snødekket som kan utløse en bruddforplantning og skredutløsning når terrenget er brattere enn 30°.

5.2.3 Statistiske metoder

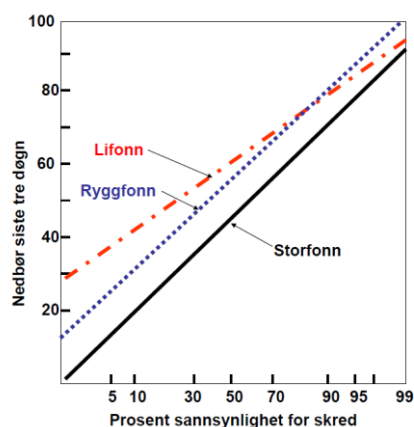
Det finnes også flere statistiske metoder hvor meteorologiske forhold forsøkes korrelert med skredutløsning. En som har vært benyttet i senere år er den såkalte *Nærmeste nabo*-metoden (Buser, 1983). Denne går ut på å karakterisere en tidsperiode, for eksempel en perioden som et varsel skal gjelde for, med n antall relevante parametre. Ved bruk en enkel algoritme for å beregne den euklidiske avstanden i det n -dimensjonale rommet finnes perioder som ligner på den aktuelle situasjonen i en vær- og skreddatabase. Dersom det har gått skred i situasjoner som ligner, antas dette å gi en indikasjon på skredsannsynlighet i dagens situasjon. Metoden forutsetter normalisering og vektning av parametre. Typisk består disse av målbare størrelser som:

- *Temperatur*
- *Nedbør over ett døgn*
- *Nedbør over tre døgn*
- *Nedbør over fem døgn*
- *Vindretning*
- *Vindfart*
- *Snødybde*

Metoden forutsetter en omfattende observasjonsrekke, typisk minst 10 år (Buser, 1983) med konsistente data. Den har vært brukt med vekslende hell (Purves et al. 2006) og ser ut til å best kunne identifisere dager hvor skredfaren henger direkte sammen med ellers lett observerbare vær fenomener. Dette betyr at erfarne varslere kommer til samme, og ofte riktige konklusjoner uten behov av databasesøk (Purves et al, 2006, pers. meddelelse fra C. Pielmeier, skredvarslingstjenesten ved SLF Davos, Sveits). Noen av problemene her skyldes delvis tidsoppløsningen og karakterisering av en lang tidsperiode, typisk et helt døgn, med bare få parametre (Kristensen et al, 1994).

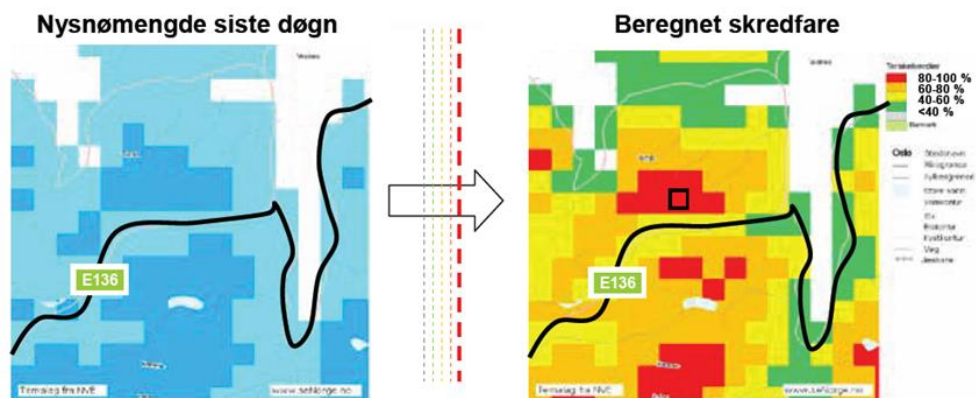
En vurdering av sannsynlighet for skred relatert til tre- og femdøgnsnedbør ble gjort av Bakkehøi (1987) for tre skredområder i Grasdalen, Stryn. Sannsynligheten er her basert på observert nedbørmengde i de tilfellene skred har gått. Sensitivitet og

spesifisitet er således ikke anslått med denne metoden. Det ligger også implisitt en forutsetning om vindretning i forhold til utløsningsområdet, det vil si at der er en vindretning som ikke fører til erosjon av snø i utløsningsområdet.



Figur 15. Sannsynlighet for skred ut fra akkumulert tredøgnsnedbør i skredbaner i Grasdalen, Stryn (Bakkehøi, 1987).

Delvis basert på dette ble det laget en webtjeneste for Statens vegvesen (Humstad, 2010) som kobler nedbørmengde til sannsynlighet for skredutløsning.



Figur 16. Farekart fra webtjenesten xgeo.no med 1 km² oppløsning langs en vegstrekning. Skredsannsynlighet er gitt i % og er basert på observert korrelasjon mellom nedbørmengde og snøskredforekomst for tre skredområder i Grasdalen, Stryn (Bakkehøi, 1987). Kilde: Vegdirektoratet (2014) og Humstad (2010)

De statistiske tilnærmingene ligger også implisitt i de vanlige heuristikkene som skredvarslere benytter. Nysnømengde er også her den viktigste faktoren, (de Quervain, 1972), mens vinden har betydning for fordelingen av snøen, i tillegg til at den også påvirker de mekaniske egenskapene til denne.

Summert nysnø for tre døgn i cm	Skredaktivitet
< 10	Sjeldne, lokale skred, fortrinnsvis løssnøskred
10–30	Hyppige løssnøskred. Enkelte flakskred
30–50	Hyppige flakskred, fortrinnsvis i terreng brattere enn 35°
50–80	Generell fare for større skred, også i terreng ned mot 30°
80–120	Enkelte skred kan gå til dalbunnen
> 120	Hyppige store skred til dalbunnen, enkelte også utenfor kjente skredløp
	Ekstraordinære forhold. Muligheter for sjeldne skred og skred som ikke tidligere er kjent

Tabellen gjelder for vindstyrker inntil ca. 5 m/s.
Ved sterkere og vedvarende vind vil faren øke med ett til to nivåer.

Figur 17. Forholdet mellom nysnømengde og sannsynlighet for snøskredutløsning. Tabellen gjelder for vindstyrker inntil 5 m/s. Sterkere vind øker faregraden (etter de Quervain, 1972).

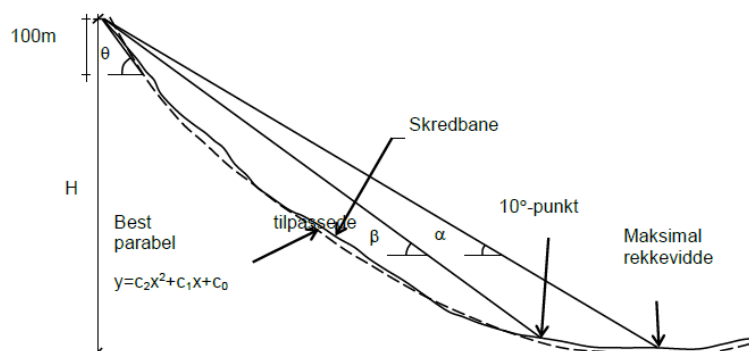
En viktig indikator på skredfare er selvsagt skredaktivitet. Dersom det blir observert at et snøskred går, øker sannsynligheten for skred i nærliggende utløsningsområder, med tilsvarende høyde og eksposisjon. Slike skred kalles gjerne for "indikatorskred" (Vegdirektoratet, 2014).

5.2.4 Utløp av snøskred

Den statistiske/topografiske α/β -modellen er utviklet ved NGI og gir en maksimal utløpsdistanse utelukkende som en funksjon av topografi (Lied et al, 1980). Likningene for utløpsdistanse er funnet ved regresjonsanalyse, og korrelerer den lengste registrerte utløpsdistansen i mer enn 200 skredbaner med et utvalg av topografiske parametere. Hensikten med denne modellen er begrenset til å gi holdepunkt for maksimale skredutløp. α angir her siktevinkelen mellom utløpet og den øvre avgrensningen av utløsningsområdet. Basert på datagrunnlaget som er benyttet er

det anslått at typisk frekvens for skred som har utløp til α er i området en gang per 100-300 år.

β -vinkelen, som angir til den gjennomsnittlige helningen til skredbanen mellom øvre del av utløsningsområdet og “fjellfoten” (punktet med 10° helning i skredbanen) har vist seg å gi den beste beskrivelsen av helningen i skredbanen, og en regresjonsanalyse har vist at β -vinkelen også er den eneste statistisk viktige terrengparameteren. Helningen θ av de øvre 100 høydemetrene i utløsningsområdet bestemmer indirekte bruddhøyden og derved skredets tykkelse, som er større i slake helninger enn i bratte helninger. Lavere verdier av θ gir derfor lengre utløpsdistanser, dvs. lavere gjennomsnittlig helning av den totale skredbanen, α . De beregnede utløpsdistansene er de som kan forventes under snøforhold som favoriserer lange utløp (dvs. tørr og lett snø i hele skredbanen). Den mest brukte formen av α/β -modellen er i dag $\alpha=0.96\beta-1.4^\circ$. Standardavviket er 2.3° og korrelasjonskoeffisienten er 0.92.

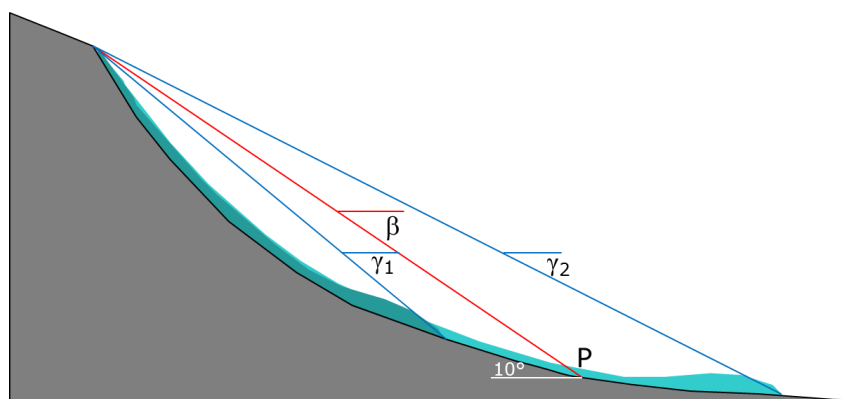


Figur 18. Topografiske parametre som beskriver terrengprofilet.

Bruken av α og β som terrengreferanser er ikke generaliserbar for alle typer skredbaner gitt begrensningen i α / β modellen med hensyn til skredbanetype (Lied et al, 1980) slik at tilnærmingen bør ikke brukes ukritisk. Et annet moment er at mange av de maksimale skredutløpene som danner det statistiske grunnlaget for modellen stammer fra 1800-og tidlig 1900-tall da blant annet de sosioøkonomiske forholdene i Norge var svært forskjellige sammenlignet med i dag. Disse forholdene førte til utstrakt

avskoging og overbeiting i mange fjellsider, noe som kan ha påvirket både dannelsen og utløpslengdene til snøskredene (Kristensen et al, 2000).

Valget av β -vinkelen for å beskrive skredbanens krumning er delvis basert på antakelser omkring skredets retardasjon når dette punktet passerer i skredbanen (Lied et al, 1980) Siden β -punktet er forholdsvis enkelt å definere i en skredbane, gir dette også mulighet for å sammenligne hvor objekter som er av interesse befinner seg i forhold til dette punktet. Forholdet mellom β -vinkelen og vinkelen til objektets plassering γ kan derfor benyttes som et mål for objektets relative utsatthet i en egnet skredbane (Kristensen, 2012).



Figur 19. Forholdet mellom β -vinkelen og vinkelen til objektets plassering γ kan benyttes som et mål for objektets relative utsatthet. (Kristensen, 2012).

Basert på egen erfaring med snøskredvarsling kan nevnes følgende vanlige heuristikker som benyttes for vurdering av skredutløp:

- Tørr snø hele løpet gir lange utløp. Medriving av snø langs skredbanen ser ut til å være en viktig mekanisme for å øke volumet og rekkevidden (NGI, 2014).
- Våt snø nedover løpet øker friksjon og gir kortere utløp. Beliggenheten av 0° isotherm i skredbanen har derfor stor betydning.
- Barmark i nedre del av skredbanen gir et forkortet utløp.

5.3 Dokumenter

5.3.1 *Organisering*

I Intern organiseringsplan for snøskredvarslingen for vintersesongen 2014 / 2015 (Jaedicke, 2014) gis en oversikt over rutiner og vaktordninger. Varslingsgruppen består av i alt sju personer som dekker hver sine tre til fire definerte varslingsområder. I tillegg er en person i reserve og en er under opplæring. Alle i gruppen har også grunnleggende kjennskap til de andre områdene slik at de kan tre inn i varslingsgruppen ved behov.

To personer er involvert i den daglige varslingen som normalt blir utført i løpet av en til to timer. Disse henter hver morgen inn alle tilgjengelige data om snø og værobservasjoner, vurderer situasjonen i sine områder og lager et skredvarsel "basert på beste kunnskap og viten". Varsleren tar kontakt med lokale observatører og kjentfolk når situasjonen tilsier det. Etter at vurderingene er drøftet med den andre varsleren på vakt, sendes varslene ut til respektive oppdragsgivere. Varslerne skal være forberedt på at det kan komme henvendelser fra mottakerne i arbeidstiden. I situasjoner der skredfaren øker og det er ønske fra oppdragsgiveren om det, vil skredvarslene følge situasjonen mer eller mindre kontinuerlig utover arbeidsdagen.

Metodikken for varslingen ved NGI har utviklet seg gjennom flere år. En del av grunnlagsmaterialet og veiledningene stammer derfor fra tidligere utviklingsfaser. I Et kort avsnitt i Håndbok for observatører, Vær-, snø- og snøskredobservasjoner (Kristensen, 2007) under punkt 5.2 "Skredsannsynlighet" beskriver formålet slik: *"Formålet er å dokumentere en kvalifisert, men personlig oppfatning av stabilitetsforholdene og skredpotensialet på det aktuelle tidspunktet."* Dette kan sies å være en erkjennelse av begrensningene man har for å bruke deterministiske metoder, på tross av den omfattende mengden av observasjon som er beskrevet i den samme håndboken.

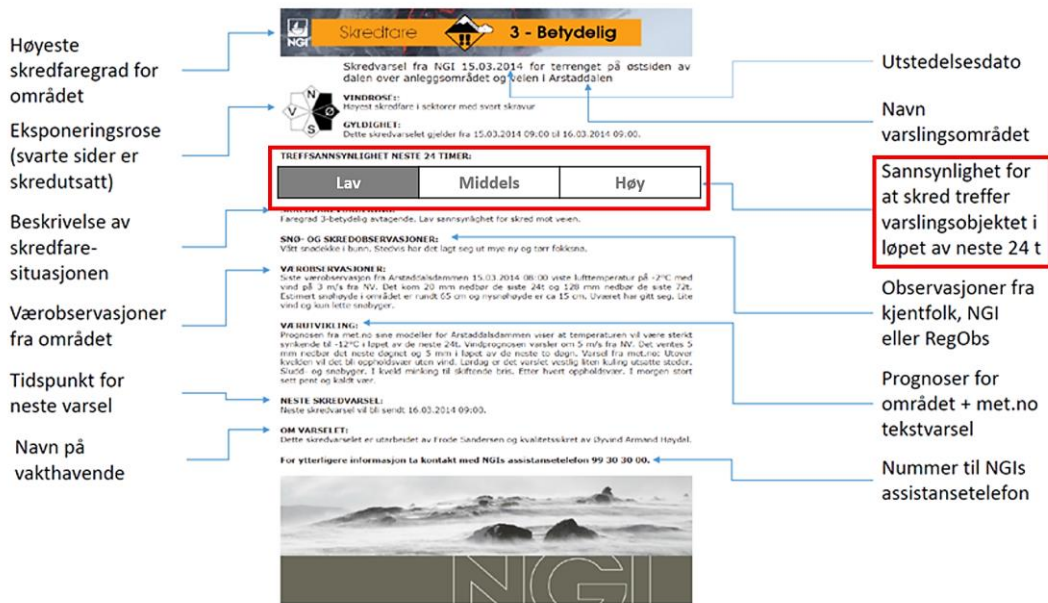
5.3.2 Eksempel på varsling for riksveg på fjellovergang

I prosjekthåndbok fra 2003 (Kristensen, 2003) er framgangsmåten beskrevet slik:

"Først foretas en vurdering av nåværende forhold med hensyn til aktuell skredfaregrad (NÅTILSTAND). Andre trinn er å vurdere den framtidige utviklingen av skredfaregraden (PROGNOSE). Denne vurderingen utarbeides på grunnlag av NÅTILSTAND og værprognoser, først og fremst meteogrammene fra met.no. Mengden av innhentede data vil variere fra område til område og forholdene."

Denne benyttes fortsatt med noen modifikasjoner i Intern organiseringsplan for vintersesongen 2014 / 2015. Et tillegg er tilføyet som gjelder tilfeller hvor det er dissens mellom hovedvarsler og kontrollør. I slike tilfeller kontaktes primært de varslerne som var på vakt foregående uke.

Fra sesongen 2014/2015 ble det innført en felles kategorisering av sannsynligheten "for at skred treffer varslingsobjektet i løpet av neste 24 timer". Dette blir gitt som en verbal og kvalitativ kategorisering i de tre kategoriene: Lav, Middels eller Stor. Denne kategoriseringen er generisk og brukes nå for de fleste varslingsprosjektene. I en del tilfeller gis de også ytterligere informasjon om skredsannsynlighet i teksten under rubrikken "Beskrivelse av skredfaresituasjonen".



Figur 20. Forklaring av NGIs snøskredvarsel 2015. I de nye varslene inngår en angivelse av vurdert sannsynlighet for treff mot aktuelle objekter beskrevet ved tre sannsynlighetsklasser Lav, Middels og Høy (kilde: NGI).

5.4 Data fra operativ varslings

Loggen for sendte varsler for perioden 1.1.2008 til 31.12.2014, til sammen 4483 varsler, inneholder blant annet data omkring faregrad, hvem som har utarbeidet varslet og et utvalg av kvantitative værparametre. I dette materialet inngår ikke et anslag av treffsannsynlighet, men kun faregraden relatert til den europeiske fareskalaen (EAWS). Varslene er gitt for 14 til dels nokså ulike områder med hensyn til topografi, klima og utstrekning.

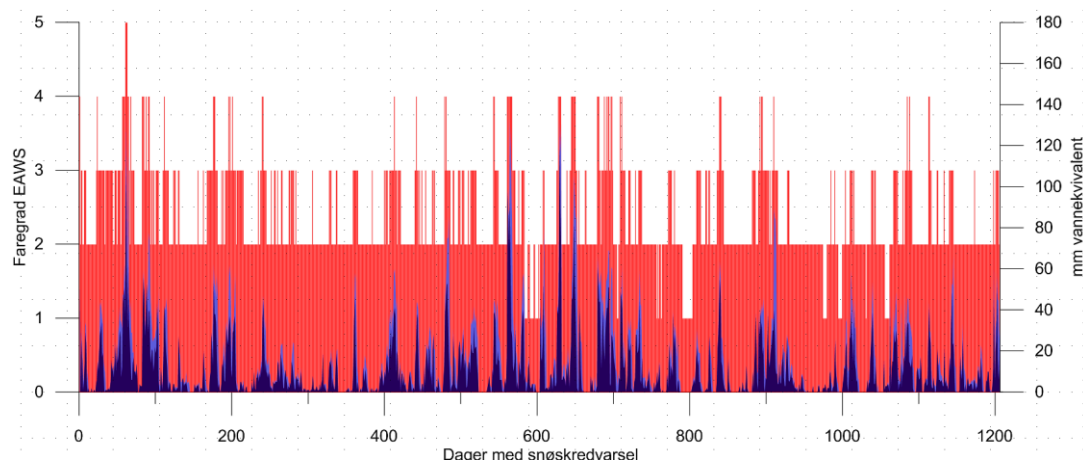
Nedbørmengden i løpet av tre- og femdøgnperioder er ofte betraktet som den viktigste enkeltparameteren for de store naturlige utløste flakskredene (Kronholm et al. 2006, Schweizer et al. 2008)). Her er det brukt nedbør i mm vannekvivalent, siden denne enheten brukes både for det som måles av snø på de aktuelle målestasjonene og for nedbøren som prognostiseres av met.no. Generelt kan man regne med at 1 cm snø tilsvarer 1 mm vann (Lied og Kristensen, 2005).

Det er store variasjoner i de lokale forholdene mellom de ulike varslingsområdene. Her det derfor sett på et enkeltområde med lang observasjonsrekke, varslingsområde 3 som er en vegstrekning i høgfjellet med 1207 dager med varslere. Dersom man undersøker korrelasjonen mellom nedbørmengden (her 72 timers observert, pluss 24 timers prognostisert nedbør, i forhold til tidspunktet for utsending av varselet) er sammenhengen nokså svak og variasjonsbredden svært stor. Tabell 7 nedenfor viser også at det er stor overvekt av varslere på faregrad 2, mens de høyeste faregradene er relativt få.

Tabell 7. Meldt faregrad i forhold til summert 72 timers observert og 24 timers prognostisert nedbør ut for 1207 utsendte varslere for område 3 (høgfjellsvegstrekning) i perioden 1.1.2008 til 31.12.2014.

Faregrad	Antall	Gjennomsnitt mm	Median mm	Typetall mm	Variasjonsbredde mm	Std.dev
1	49	2	1	0	11	2.9
2	758	8	4	0	49	8.9
3	327	28	27	34	86	17.7
4	69	63	56	60	117	26.6
5	3	96	94	-	75	37.6

Dette materialet bør analyseres videre med mer sofistikerte tilnærminger, men tidsserien vist i diagrammet nedenfor gir et inntrykk av at nedbørparametrene har en tydelig innvirkning på skredfarevurdering.



Figur 21. Faregraden er angitt med røde stolper og observert og forventet snønedbør i mm vannekvivalent for -72 og +24 timer og -24 og +24 timer i forhold til varselutsending er angitt lys respektive mørk blå farge.

5.5 Intervjuer

I dette avsnittet presenteres opplysninger innsamlet gjennom intervjuer. Svarene er samlet tematisk og i appendix 1 er det gitt en oversikt over kronologien i spørsmålene i en intervjuguide. Hensikten med intervjuene har vært å avdekke hvordan varslerne (ekspertene) tenker vedrørende sannsynlighet og usikkerhet.

Til sammen sju respondenter ble intervjuet, det vil si alle som i dag er involvert i den operative varslingen som drives av NGI. Erfaringen til respondentene med spesifikk skredvarsling varierte fra to til over 20 år.

Spørsmål 1. Hva er nytteverdien for brukerne av NGIs varsling i forhold til varslene som blir gitt på varsom.no?

De fleste respondentene framhevet det lokale, stedspesifikke aspektet. Regionalvarselet på varsom.no er først og fremst et varsel for skiløpere, mens NGIs varsel skal gi mer informasjon angående utsatte objekt og dermed også være en beslutningsstøtte for konkrete tiltak. En respondent peker på at nytteverdien har direkte samfunnsøkonomiske følger ved at denne typen varsling gir mulighet for vinterdrift ved utsatte arbeidsplasser og transportåre, noe som ville vært mye vanskeligere

dersom man baserte seg på mer generelle varsler. Regionalvarsel er ikke tilpasset dette og varslene derfra krever lokal omtolkning. NGI leverer tolkningskompetanse og lokal tilpasning. En av respondentene mente også at regionalvarslene sier en del om utløsingssannsynlighet, men lite om sannsynlighet for utløp.

Gjennomgående understrekes også fordelene ved at de som varsler har direkte kjennskap til varslingsobjektene og at de har vært på, og kjenner stedene som det varsles for. Det betyr at kommunikasjonen og den løpende kontakten med oppdragsgivere i situasjoner med økt skredfare er mer effektiv. Dette er også noe oppdragsgivere ønsker og er villige til å betale for.

En respondent peker også på at motivasjonen for enkelte oppdragsgivere kan være at de ved å kjøpe denne tjenesten kan overføre ansvar, det vil si å kunne vise at man ved å kjøpe en varslingstjeneste har gjort det man tror er nødvendige tiltak for å håndtere risikoen.

Spørsmål 2. Hvordan bruker oppdragsgiver varslene i sin risikostyring?

Her varierer svarene noe, delvis på grunn av at ulike oppdragsgivere har ulik tilnærming til risikostyring. Felles er at dette er noe som oppdragsgiver styrer og som NGI vet relativt lite om. Man ser hvordan de responderer på varsler og hendelser, men risikoaksept er ofte ikke eksplisitt angitt og risikostyringssystemer er som regel ikke kjent. Noen har HMS-systemer med en HMS-ansvarlig og noen lager sikker jobb-analyser (SJA) for aktiviteter som skal foregå i virksomheten. Varslingstjenesten deltar ikke i særlig grad i diskusjon og utforming av dette, men gir av og til innspill om mulige tiltak.

Spørsmål 3. Kan treffsannsynligheten kvantifiseres?

Den gjennomgående oppfatningen er at dette er svært vanskelig og at grunnen er at datagrunnlaget for å si noe sikkert om dette er for svakt. Dette gjelder først og fremst de viktigste værparametrene knyttet til nedbør. Generelt mangler det lokal statistikk

som man kan bygge på. I tillegg er de deterministiske modellene både for utløsning og utløp usikre.

En respondent viser til at det i prinsippet er mulig å lage en kjede med betingede sannsynligheter. Tallfesting utover grove kategorier er likevel vanskelig, noe som gjør at varslings tjenesten i dag ikke er i stand til å relatere disse til kvantifiserte krav til sikkerhet.

Spørsmål 4. Hvor viktig er erfaring og gjenkjenning?

Her varierer svarene fra "viktig" til "avgjørende". Det er en felles oppfatning at de målbare kortsiktige værparametrene bare gir en del av bildet. Overføring av tilsvarende opplevde hendelser fra andre steder er også vanlig. En respondent med relativt kort fartstid sier at enkelte eldre kollegaer tilsynelatende "bare kjenner det på seg når skredfaren øker".

En respondent peker på at visuelle inntrykk fra webkamera kan bidra til mønstergjenkjenning. Et problem er ofte manglende lokal feedback, særlig om skredaktivitet som kan bidra til å justere oppfatningen om forholdene.

En annen respondent formulerer det slik at fysikken er for komplisert til at man kan bruke deterministisk tilnærming. Man vet noe om prosesser og har disse i bakhodet, men man kan ikke kvantifisere utfallene på dette grunnlaget.

Spørsmål 5. Hvordan kan usikkerheten i varslene uttrykkes?

Det mest vanlige ser ut til å være at usikkerheten knyttes til værprognosen, og spesielt nedbørprognosen. Når denne har et stort usikkerhetsintervall, velges gjerne noe man tror er sannsynlig. I teksten gir man likevel et forbehold om at dersom den maksimale nedbøren kommer vil skredsannsynligheten kunne bli større enn angitt i varselet. For selve skredvarselet er imidlertid ikke usikkerheten angitt. En respondent sier at man har

tenkt på en symbolisering i forhold til dette, men sier at "dersom vi melder om usikkerhet får vi bare en telefon med spørsmål om presisering".

Spørsmål 6. Hva er oppdragsgivernes forventninger til varslene?

Et gjennomgående svar er at oppdragsgivere forventer større presisjon i skredfarevurderingen både i forhold til tid og rom enn det som kan leveres gitt begrensningene i ressursene som man er villig til å betale for. Noen oppdragsgivere har større kostnadspress enn andre. Et spesifikt anlegg kan for eksempel ha budsjettet med periodisk driftsstans, mens når det gjelder transport og bebyggelse er det eksterne trykket ofte stort på oppdragsgiver for å redusere avbrudd.

Spørsmål 7. I hvilken grad blir varslings tjenesten bedt om råd omkring konkrete tiltak i oppdragsgivernes risikostyring?

Selv om flere av respondentene sier at økt skredfare utløser tiltak som på forhånd er gitt i planer, kommer spørsmål om hva som bør gjøres ofte når det blir meldt at skredfaren er stor. Noen beredskapsplaner ser ut til å handle mest om økt overvåkning av situasjonen, herunder tettere intervall mellom varsler, mens andre planer er knyttet til mer spesifikke tiltak som periodisk ferdselsforbud og lignende. Noen respondenter virker litt uklare på i hvor stor grad varslings tjenesten involverer seg i rådgivning, mens andre sier dette begrenser seg til innspill om mulige risikoreducerende tiltak, for eksempel omkring eksponering av trafikanter i forbindelse med kolonnekjøring. En respondent sier at man kan gå i direkte dialog med de lokale beslutningstakerne om tiltak. Respondenten sier ikke direkte at "dere må evakuere nå!", men prøver i slike situasjoner å formulere noe som at det "ikke kan utelukkes at skred kan nå bebyggelsen i denne situasjonen". Han er likevel klar over at intensjonen med budskapet egentlig går ut på det samme.

5.6 Drøfting

5.6.1 Intervjuer

Når det gjelder problemstillingen om behovet for kvantifiserte sannsynligheter for bruk i risikostyring bekrefter det fleste respondentene at dette er noe som oppdragsgiver ønsker. Dette har kommet klarere fram i møter den siste tiden. En av de store oppdragsgiverne innen transportsektoren har eksplisitt ytret ønske om dette: "de har begynt å tenke på sannsynligheter, og de sendte en epost nå i høst hvor de sier at de vil ha en tallfestet sannsynlighet for treff hvert av de enkelte skredløpene for kommende 24 timer". Respondenten sier at dette bare er mulig med langt mer data og en nærmest kontinuerlig tilstedeværelse på det stedet som det skal varsles for.

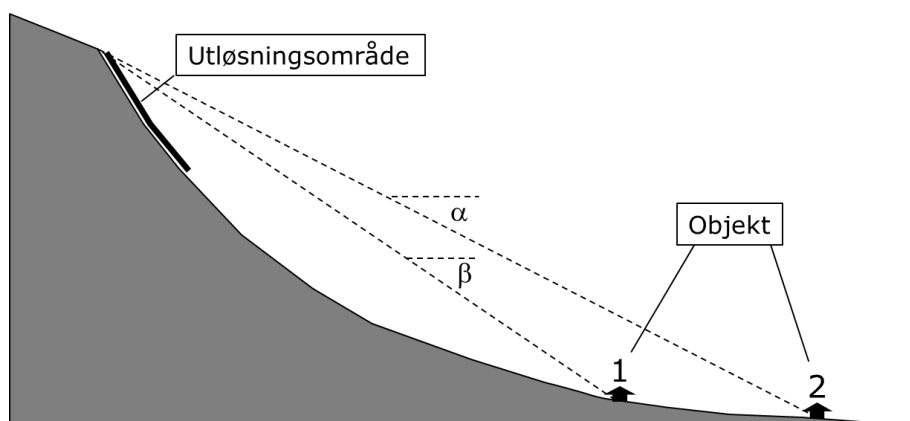
Et gjennomgående trekk ser ut til å være at man i stor grad holder fast på et frekventistisk perspektiv på sannsynlighet, noe som gjør det vanskelig å anslå sannsynligheter "på grunn av for lite data". Selv om man vegrer seg for dette kommer man likevel ikke alltid unna, slik som når en av respondentene sier at det "ikke kan utelukkes at skred kan nå bebyggelsen", når han føler at beslutningstakerne burde tenke alvorlig på å evakuere. En hendelse som uttrykkes slik ("the possibility cannot be ruled out") er som tidligere vist for øvrig kvantifisert i skalaene til både Vick (2002) og Lacasse (2004) til i størrelsesorden 1%. Dette nivået er i begge tilfellene kategorisert som "Very unlikely". Det er vanskelig å si om respondenten mener at dette var situasjonen da det var tale om evakuering, eller om han mener at dette nivået (1% sannsynlighet) er det som er en rimelig terskel for sette i verk tiltak i den aktuelle sammenhengen.

5.6.2 Om sannsynlighetsberegning for snøskred

Under den operative varslingen må en holistisk oppfatning av hele situasjonen, inklusive vinterforløpet, ligge som bakgrunnsinformasjon. I en gitt situasjon kan det være verdifullt å bruke dekomponering som teknikk for å anslå troverdige sannsynligheter. Det som vurderes ført er utløsningssannsynligheten. I eksempelet nedenfor er det benytte en verdi for skjærstyrke i det svake laget som indikator. Dette

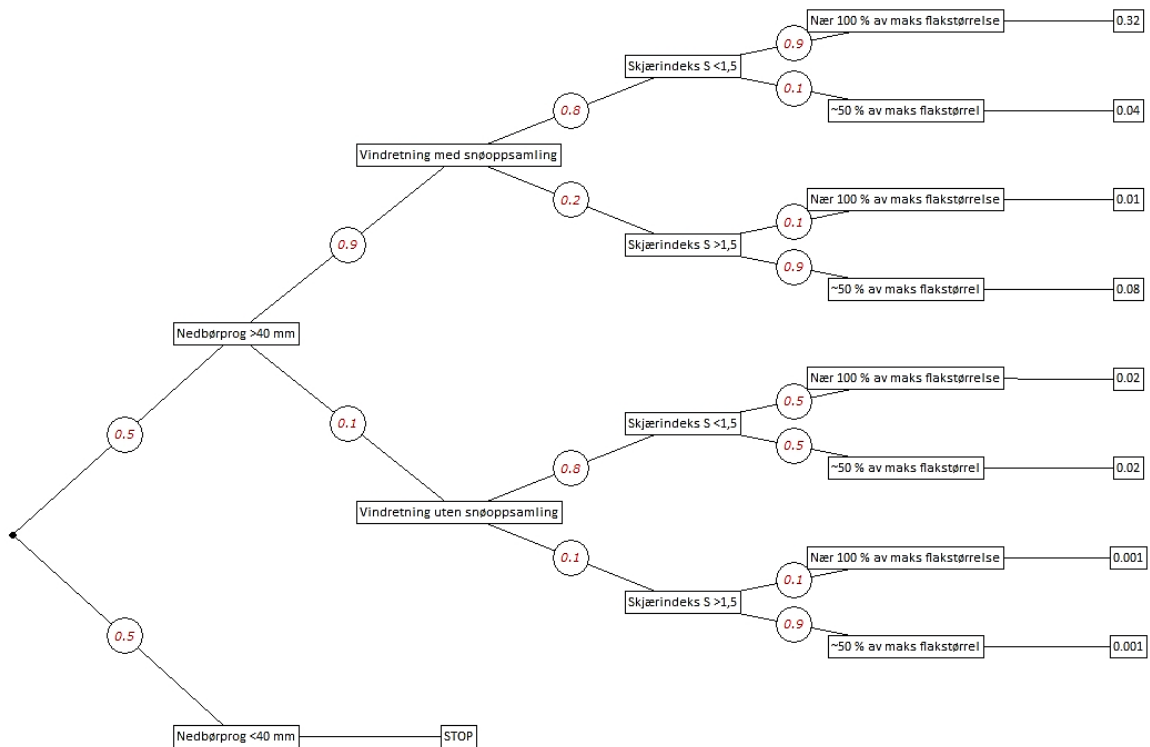
er analogt til en geoteknisk tilnærming med en sikkerhetsfaktor S . En verdi for S lavere enn 1.5 indikerer et ustabil snødekke, se for eksempel Kristensen (2007).

Utgangspunktet er her sannsynligheten for at snøskred skal løsne i den aktuelle situasjonen, sammen med en vurdering om hvor stort det utløste flaket kan bli i forhold til mulig størrelse (hvor nær maksimal utstrekning av det som defineres som utløsningsområdet flaket kan bli). En a priori sannsynlighet for skredutløsning i dette området kan baseres på den vurderte lokale nåtilstanden og samt faregraden for eksempel gitt ved det regionale varselet. Sannsynligheten for utløp påvirkes av pålastning av ny snø. Lokalt påvirkes den også av eksposisjonen til utløsningsområdet i forhold til vindretningen siden dette ofte har stor innflytelse på hvorvidt snøen akkumuleres eller eroderes.



Figur 22. Eksempel på beliggenhet av to ulike objekt i forhold til samme fjellside.

Ved hjelp av et hendelsestre kan man vise på en oversiktlig måte hvilke forutsetninger og vurderinger av sannsynligheter som er lagt til grunn for vurderingene.

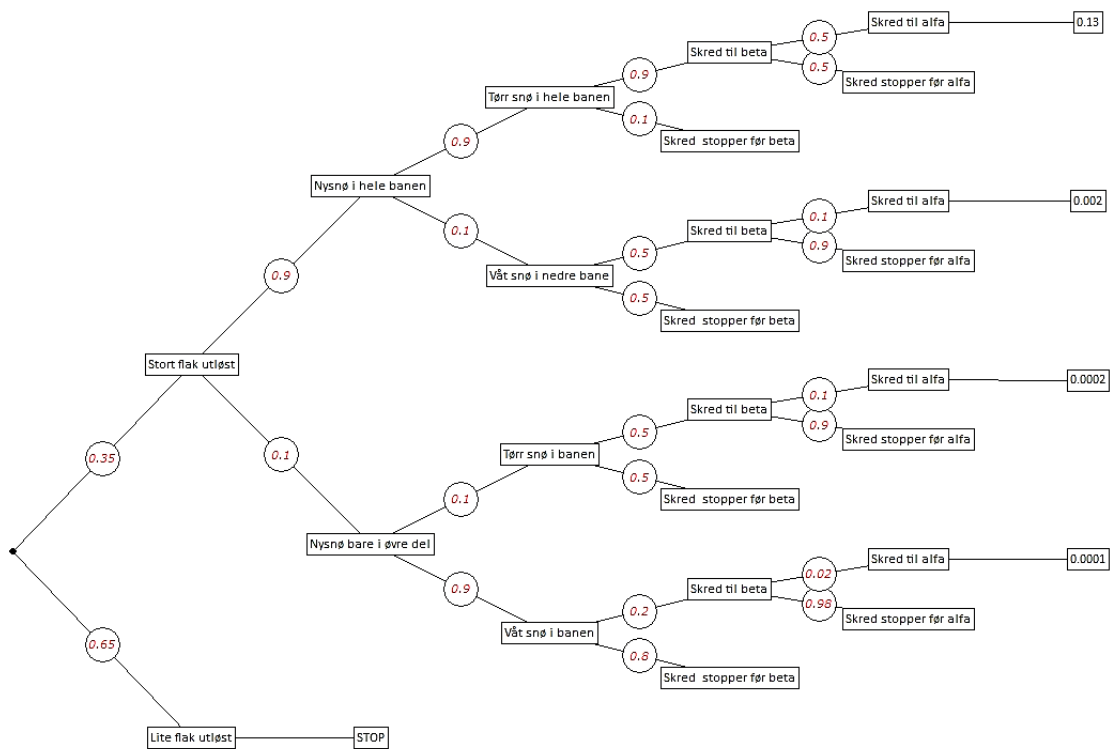


Figur 23. Tredigram for anslag av sannsynlighet for at et snøskred som omfatter omtrent maksimum av mulig flakstørrelse i utløsningsområdet løsner, i et tenkt eksempel med anslåtte sannsynligheter for noen antatt relevante faktorer. I eksempelet er det ca 35 % sannsynlighet for å få et stort skred ut fra disse forutsetningene.

Neste trinn blir da å vurdere den betingede sannsynligheten for utløp til de utsatte objektene i skredbanen. Tilnærming for å vurdere objektene utsatthet som er foreslått av går ut på å benytte β -vinkelen som er benyttet i α/β -modellen (Lied et al, 1980) som referanse for "vanlige" utløp (Kristensen, 2011). For ekstreme utløp kan α -vinkelen også brukes som referansepunkt for utløpslengde i skredbanen. Vi kan for enkelhets skyld vurdere sannsynligheten for at et skred når et objekt (1) som ligger ved β og et noe mindre utsatt objekt (2) som ligger ved α .

Sannsynligheten for å ha nysnø i hele skredbanen antas å ha betydning for utløpet på grunn av volumøkning som skjer på grunn av medrivningen og friksjonsforholdene som påvirker skredets mulighet å opprettholde bevegelsen nedover.

Den betingede sannsynligheten for utløp til punktene vi er interessert i, kan da finnes ved å multiplisere sannsynlighetene langs de aktuelle forgreningene i hendelsestreet.



Figur 24. Tredigram for anslag av sannsynlighet for det utløste snøskredet over vil nå β og α i skredbanen, ut fra den foregående vurdering av sannsynligheten for utløsning av et større flak i utløsningsområdet. I eksempelet er sannsynligheten 0,28 for at skredet når β og 0,13 for at det når α .

Estimert sannsynlighet for treff av skred i den tenkte situasjonen kan da formidles slik som i tabell 8 nedenfor:

Tabell 8. Tabell med generell faregrad og treffsannsynlighetsanslag for to tenkte objekt.

Generell skredfare (EAWS): **4 Stor**

Anslått treffsannsynlighet for utsatte objekt i varslingsperioden	
Objekt 1	28 %
Objekt 2	13 %

Hvordan man best verbaliserer slike sannsynligheter avhenger av konteksten. Ordlyden som gjenspeiler risikosituasjonen vil være svært forskjellig avhengig av om det for eksempel gjelder en vegstrekning med liten og sporadisk ferdsel eller om det gjelder en anleggsleir hvor mange mennesker oppholder seg.

I en dynamisk situasjon som dette handler om vil det likevel ofte skje at ny relevant informasjon blir tilgjengelig. For eksempel kunne det i den tenkte situasjonen over skje at et "indikatorskred" går mens vurderingen gjøres. Vi får også opplyst at dette skredet faktisk passerer β -punktet i sin skredbane. Når det har gått et nærliggende skred, som oppfyller betingelsene for "indikatorskred" for vårt tilfelle (likhet i forhold til høyde, eksposisjon og baneform) er det grunner til at en revurdering er nødvendig. Vi har nemlig grunn til å tro (for eksempel ut fra erfaring) at når dette skjer med indikatorskredet, er sannsynligheten stor for at det også skjer i "vårt" skred.

Her er det nærliggende å ty til en bayesiansk tilnærming. Dersom vi kaller sannsynligheten for hendelsen at vårt skred når β -punktet $P(A)$ og sannsynligheten for hendelsen indikatorskred når β -punktet $P(B)$ har vi oppfatningen (for eksempel basert på erfaring) at $P(B|A)$ er $1/5$, det vil si at indikatorskredet går til β -punktet i sin skredbane i 80% av tilfellene når vårt skred når β -punktet. Vi antar videre at indikatorskredet i utgangspunktet går 10% oftere (det er alltid gunstigere fra et varslingssynspunkt å ha et indikatorskred som i gjennomsnitt går noe oftere enn skredet det skal varsles for). Når vi bruker Bayes formel $P(B|A) \times P(A)/P(B)$ finner vi at sannsynligheten for at et skred i vår skredbane skal nå vårt objekt 1 som ligger på

β -punktet, har økt dramatisk til 73% basert på opplysningen om at indikatorskredet har gått. Den samme prosedyren kan benyttes med hensyn til objekt 2 dersom indikatorskredet også har nådd α .

Det finnes flere måter å omtale sannsynligheter på. Gigerenzer (2014) foreslår at slike sannsynligheter oversettes til "naturlige frekvenser" for å bedre forståelsen. For eksempel vil sannsynlighetsanslaget over kunne formuleres som "vi forventer at det i 7 av slike 10 tilfeller vil gå skred som når objektet".

5.6.3 Forslag til tilnærming for differensiert treffsannsynlighet

Det følger av det som er nevnt ovenfor at treffsannsynlighet vil måtte differensieres i forhold til objektenes utsatthet. Vinteren 2012 ble det gjennomført et lokalt varslingsprosjekt i Møre og Romsdal i forbindelse med anleggsdrift i skredutsatte områder ved riksveg 60 i Strandadalen (Kristensen et al. 2013). De tre utsatte objektene (arbeidsstedene) i dette eksempelet ble karakterisert ut fra hvor langt ut i det potensielle utløpsområdet de lå ut fra forskjellen % av siktevinkelen fra referansepunktene gitt av β og α . Det framgår av tabell 9 at av disse objektene lå bare objekt nr. 1 lenger ut enn referansepunktet gitt av siktevinklene til β . Samtlige objekter lå her innenfor utløp til vinkelen for α .

Tabell 9. Tabellen viser hvor objektene er plassert i det potensielle utløpsområdet. Negative verdier antyder at objektene ligger ovenfor referansepunktene gitt av siktevinklene til β og α .

	Posisjon i forhold til β (% av siktevinkel)	Posisjon i forhold til α (% av siktevinkel)
Objekt nr. 1	-7	-27
Objekt nr. 2	-4	-23
Objekt nr. 3	1	-9

Ut fra dette vil det være mulig gruppere objektene i forhold til for eksempel de tre sannsynlighetsklassene som er i bruk ved NGIs varsling fra 2015.

Når det gjelder risikostyring og hvilke sannsynlighetsintervaller som skal ligge i de ulike sannsynlighetsklassene, må dette fastsettes for hvert enkelt prosjekt i samarbeid med oppdragsgivere, risikoanalytikere og relevante myndigheter, for eksempel Arbeidstilsynet. Dette ble gjort i prosjektet i Strandadalen ut fra en tilpasning til de lokale forholdene og resulterte i en tabell som er eksemplifisert i tabell 10 nedenfor. Sannsynlighetsklassene er her verbalisert bare som farger i stedet for størrelsesangivelse som kan forveksles med gradene i den generelle fareskalaen.

Tabell 10. Eksempel på sannsynlighetsintervaller som ligger i de ulike sannsynlighetsklassene og retningslinjer for eksponering. Disse størrelsene må fastsettes for hvert enkelt prosjekt i samarbeid med oppdragsgivere.

Sannsynlighetsklasse	Skredsannsynlighet per døgn	Eksponering
1. Grønn	$P \leq 0.1$	Fast opphold på stedet.*
2. Gul	$0.1 < P \leq 0.2$	Begrenset opphold i dagslys og med sikt. Løpende lokal vurdering av endringer i vær- og snøforhold.
3. Oransje	$0.2 < P \leq 2$	Ikke fast opphold i området. Bare midlertidige, få og korte opphold.
4. Rød	$2 < P \leq 50$	Ikke opphold i området. Rask passering er mulig, dersom god sikt.
5. Sort	$P > 50$	Ikke opphold i området.
*Opphold bare av gitt antall personer under normal arbeidstid (8 t dag)		

Utfordringen her blir å finne en måte å framstille usikkerhetsdimensjonen. En måte kan være å fortsette dagens praksis med utdyping i teksten som følger varselet. Met.no sin værtjeneste på yr.no angir kvantitative anslag av værparametre i diagrammer kalt meteogrammer. Disse værparametrene kan være svært usikre på det lokale nivået og denne usikkerheten formidles i tekstvarslene, men også i diagrammene for værvarslene

i form av fargekoder og symbolisering som viser tiltroen meteorologene har til varslene. Grønn farge angir høyest, mens de røde varslene har lavest tiltro. Gule varsel havner i mellom. (NRK/Meteorologisk Institutt, 2013).

Forsøk på å lage en tilsvarende symbolisering for usikkerhet for treffsannsynlighet av snøskred har så vidt kjent foreløpig ikke vært gjort og det er grunn til å utforske mulighetene for dette videre.

6 Konklusjon

I denne oppgaven er ikke de konkrete behovene og ønskene til brukerne undersøkt nærmere. Det er også en viss grunn til å anta ut fra intervjuene at det i noen tilfeller mangler spesifikke krav til leveranse av kvantifiserte sannsynligheter. Det er likevel vanskelig å se at det vil være brukere i framtiden som vil være tilfreds med en generell og kvalitativ vurdering av skredfare som vanskelig kan benyttes i en kvantitativ risikoanalyse; slike vurderinger finnes allerede i dag fritt tilgjengelig for store deler av Norge i samband med NVEs regionale varsling som er finansiert av offentlige midler. På det lokale nivået blir det fra NVE klart sagt (varsom.no) at det er organisasjonene eller myndighetene som forvalter områder eller aktiviteter på lokalt nivå som må vurdere skredsannsynlighet og risiko.

Tenkningen innenfor snøskredvarsling er mye preget av en frekventistisk tilnærming, dette på tross av en anerkjennelse av at "faglig skjønn" er svært viktig. Frekventistisk tolkning av sannsynlighetsbegrepet skaper problemer i forhold til å formidle sannsynligheter på en måte som er hensiktsmessig for formålet. Utfordringen er å utvikle en alternativ tenkemåte. Vurdering av framtidige sannsynligheter basert på tidligere data, i den grad disse finnes, gir i beste fall bare en del av svaret. Denne motsetningen fører naturlig nok til vegring mot å gi kvantitative sannsynlighetsanslag. I en såpass kompleks problemstilling vil det empiriske grunnlaget i seg selv aldri bli godt nok, noe som har ført til en innstilling om at man ikke kan vurdere sannsynlighet i det hele tatt. Som en utveg tyr man til vage og diffuse verbale beskrivelse med svært store sannsynlighetsintervaller, og som oppleves som mindre forpliktende.

Intervjuene tyder likevel på at spørsmål om sannsynlighet uansett ofte kommer opp når situasjonen tilspisser seg, for eksempel i forbindelse med evakuering eller stengning av viktige transportårer. I tillegg blir oppdragsgivere etter hvert mer bevisst behovet for risikoanalyser og risikostyring for sin virksomhet. En kombinasjon av bruk av data, modeller og kunnskapsbaserte sannsynligheter som uttrykker usikkerhet og troverdighet til den som gjør vurderingen ser ut til å være veien å gå. I denne oppgaven er det forsøkt skissert det metodikker for hvordan dette kan gjøres basert på ulike teoretiske tilnærminger. Det er også et påtrengende behov for å finne gode måter å framstille usikkerhetsdimensjonen i varslene og her ser det ut til å være behov for videre forskning.

Det er også viktig at oppdragsgivere er sitt ansvar bevisst. Oppdragsgiver må legge en risikoevaluering på bordet før en planlagt varslingstjeneste igangsettes og det må være en plan for risikostyring som i det minste er i tråd med kravene i lovverket, slik at spørsmål om risikoaksept ikke tas opp til diskusjon først når skredfaren er overhengende. Oppdragsgiver bør også ha en mest mulig klar kravspesifikasjon til varslingstjenesten, hva varslene skal inneholde og hvordan man forholder seg til kunnskapsbasert sannsynlighet og usikkerhet. Kjennskapen til risikoanalyse og risikostyring til noen av brukerne av snøskredvarslene ser ut til å være til dels mangelfull, i den grad det i det hele tatt er gjort slike analyser. Skred eksperter bør involveres direkte i risikoanalysene. Njå et al. (1998) understreker viktigheten av at eksperter er gjort godt kjent med framgangsmåte og forutsetninger i risikoanalysen. Det er også viktig at det sikres sporbarhet i vurderingene, for eksempel ed bruk av sjekklister, lister over antakelser og en formulering tilhørende usikkerhet. Klargjøring av grensene for presisjon og usikkerhet i varslene, gitt tilgjengelige ressurser og datatilfang og gitt problemstillingens iboende usikkerhet, er viktige moment i beskrivelsen av leveransen ved inngåelse av kontrakter om varslingstjenester.

Til spørsmålet om sannsynlighetsanslag er nødvendig, passer det å sitere professor Aven fra et intervju i FFI-rapporten til Busmundrud m.fl. (2015): *"Man driver med en form for sannsynlighetsvurderinger om man vil eller ei, det kommer man ikke unna"*.

Kvantifisering er også viktig i forhold til sporbarheten. Tony Cox (2009) formulerer det slik i et innlegg i en epostdiskusjon på "Mailing List for Risk Professionals": *"If numbers are provided, then someone who cares enough might have the option of researching how they were derived, and on that basis decide whether they are trustworthy. Thus, quantitative risk assessment (QRA) potentially provides information that empowers people to do more than decide whether to trust what they are told based on the source. It opens the possibility to check whether what they are being told can be independently reproduced from publicly available data, and how sensitive the results are to unverified assumptions or inputs. I think this is a great benefit of QRA."*

Saken om skjebnen til ekspertene i L'Aquila er viktig å ta lærdom av. Det samme gjedler nestenulykken på Strynefjellet som er omtalt i oppgaven. Ikke for at det er skal skal bli liggende i bakhodet på alle som jobber med slike vurderinger at det er farlig å si noe, og gjøre at vi til slutt vegrer oss mot å mene noe som helst. Men heller at dette fører til en bevissthet omkring hvordan vi kommuniserer usikkerhet, anslag av kunnskapsbasert sannsynlighet og hvordan vi kan gjøre oss bedre forstått. Situasjonen er tross alt at samfunnet sårt trenger gode vurderinger for at beslutningstakere skal kunne ta hensiktsmessige beslutninger, særlig dersom man tar Perrows (2007) perspektiv på naturfarer om at det i siste instans egentlig handler om samfunnsskapt katastrofer.

7 Referanser

- Alexander, D.E. (2014). *Communicating earthquake risk to the public: the trial of the "L'Aquila Seven"*. *Natural Hazards*, 72 (2), 1159-1173
- Aven, T., Boyesen, M., Njå, O., Olsen, K. H. og Sandve K. 2004. *Samfunnssikkerhet*, Universitetsforlaget 2004
- Aven, T., "Pålitelighets- og risikoanalyse", 1991. Universitetsforlaget
- Aven, T., & Renn, O. 2010. *Risk Management and Governance: Concepts, Guidelines and Applications*. London, New York: Springer Heidelberg Dordrecht.
- Aven, T., Røed, W., Wiencke, H., S. 2010. *Risikoanalyse. Prinsipper og metoder, ned anvendelser*. Universitetsforlaget.
- Bakkehøi, S. 1987 *Snow avalanche prediction using a probabilistic method*. *Int. Assoc. Of Hydrological Sciences* No. 162.
- Bayes, T., Price R. (1763). "An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chance. By the late Rev. Mr. Bayes, communicated by Mr. Price, in a letter to John Canton, A. M. F. R. S." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*
- Beven, K. J. Aspinall, W. P. Bates, P. D. Borgomeo, E. Goda, K. Hall, J. W. Page, T. Phillips, J. C. Rougier, J. T. Simpson, M. Stephenson, D. B. Smith, P.J. Wagener, T. and Watson M.. 2015. *Epistemic uncertainties and natural hazard risk assessment – Part 1: A review of the issues*. *Discussion Paper. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 3, 7333–7377, 2015
- Bernstein P. L. (1996) *Against the Gods: The Remarkable Story of Risk*. Wiley.
- Buser, O. 1983. *Avalanche forecast with the method of nearest neighbours: an interactive approach*. *Cold Regions Science and Technology*, 8:155{163, 1983.
- Busmundrud, O., Maal, M., Kiran J. H., og Endregard, M. 2015. *Tilnærminger til risikovurderinger for tilsiktede uønskede handlinger*. Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) FFI-rapport 2015/00923
- Cox, A. 2009. *Innlegg i diskusjonslisten Mailing List for Risk Professionals*. riskanal@lyris.pnl.gov
- Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) 2015. *Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK10)* Publikasjonsnummer: HO-2/2011

- Dreyfus, Hubert L., Dreyfus, Stuart E. og Tom Athanasiou 1986. *Mind over machine : the power of human intuition and expertise in the era of the computer.*
- de Elía, R. Laprise, R. (2005). "Diversity in interpretations of probability: implications for weather forecasting". *Monthly Weather Review* 133 (5): 1129–1143
- de Quervain M. 1972. *Lawinenbildung*. In: *Lawinenschutz in der Schweiz*, Bd. 9 der Reihe Bündnerwald, Beiheft, pp 15–32
- Eidsvig, U.K., S. Lacasse, F. Nadim and K. Høeg. 2008. 'Event tree analysis of hazard and risk associated with the Åknes rockslide'. ICG/NGI Rpt 20071653-1. Oslo, Norway
- Gauer, P.; Kronholm, K.; Lied, K.; Kristensen, K. og Bakkehøi, S. 2010. *Can we learn more from the data underlying the statistical α - β model with respect to the dynamical behavior of avalanches?* *Cold Regions Science and Technology* 62, 42–54.
- Gigerenzer, G., 2014. *Risk Savvy: How to Make Good Decisions*. Allen Lane.
- Griffith, A. A. 1921, "The phenomena of rupture and flow in solids", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*,
- Grímsdóttir, G., Jónsson, M., H., Kristensen, K., Breien, H. 2012. *SNAPS - Snow, Ice and Avalanche Applications*. International Snow Science Workshop (ISSW) Anchorage, September 2012
- Humstad, T. 2010 *Kartportalen Føre Var*. Statens vegvesen, Vegteknologidagene 2010, Trondheim (Foredrag)
- Jamieson, B., Haegeli, P., Schweizer, J., 2009. *Field observations for estimating the local avalanche danger in the Columbia Mountains of Canada*. *Cold Regions Science and Technology* Volume 58, Issues 1–2, August 2009, Pages 84–91
- Janis, I. L. 1982. *Groupthink: Psychological Studies of Policy Decisions and Fiascoes*. Second Edition. New York: Houghton Mifflin.
- Jaedicke, C. 2015. *Snøskredvarsling. Sesongrapport 2014-2015*. NGI rapport 20140592-1
- Kristensen, K., Harbitz, C. Harbitz, A. (2000). *Significance of Historical Records for Avalanche Hazard Zoning In Norway*. ISSW 2000 Proceedings. Montana State University, Bozeman

- Kristensen, K. Larsson, C. 1994. *An avalanche forecasting program based on a modified nearest neighbour method*. International Snow Science Workshop, pages 22{30, Snowbird, Utah, 1994.
- Kristensen, K. 1994. *Vurdering av akutt snøskredfare*. NGI-rapport 581230-2
- Kristensen, K. 2003. *Skredvarsling Rv. 15 Strynefjellet Prosedyrebeskrivelse 20031039-1*, 22. juli 2003
- Kristensen, K. 2005. *Skredforhold ved Riksveg 15 gjennom Grasdalen, Strynefjellet*. Arbeidsgruppa for Rv15 - skredsikring av Strynefjellet. Oppdragsrapport NGI 20051040-1.
- Kristensen, K. 2007. *Håndbok for observatører. Vær-, snø- og snøskredobservasjoner*. Norges Geotekniske Institutt
- Kristensen, K. 2012. *Avalanche size*. Lecture. 16th EAWS meeting. EAWS Grenoble.
- Kristensen, K. Breien, H., Lacasse, S., 2013. *Avalanche forecasting and risk mitigation for specific objects at risk*. Proceedings. International Snow Science Workshop Grenoble – Chamonix Mont-Blanc.
- Kronholm, K., Vikhamar-Schuler, D, Jaedicke, C., Isaksen, K., Sorteberg, A., Kristensen, K. 2006. *Forecasting Snow Avalanche Days from Meteorological Data Using Classification Trees; Grasdalen, Western Norway*. Proceedings, International Snow Science Workshop, Telluride, Colorado, October 1-6 2006
- Kruke, B. I., Walters, S. 2011. *Dagmars herjinger Naturkatastrofer eller samfunnsskapt katastrofer?* Kronikk i Stavanger Aftenblad 30 desember 2011
- Lacasse, S., Nadim, F., Høeg, K., Gregersen, O. 2004. *Risk Assessment in Geotechnical Engineering: The Importance of Engineering Judgement*, The Skempton Conference, London UK. Proceedings.. V 2, pp 856-867.
- Lacasse, S., Eidsvig, U., Nadim, F., Høeg, K. and Blikra, L.H. (2008). Event Tree Analysis of Åknes Rock Slide Hazard. *4th Canadian Conference on Geohazards - : From Causes to Management*, Proceedings 594p. Québec, Canada. 8p-
- Lacasse, S. 2015. *Hazard, Risk and Reliability in Geotechnical Practice*. The 55th Rankine Lecture, British Geotechnical Association. Sendt til publ. i *Geotechnique* Video: <https://vimeo.com/icegroup/review/127463124/9fb465248d>

- Lied, K. og Bakkehøi, S. 1980. *Empirical Calculations of Snow-Avalanche Run-Out Distance Based on Topographic Parametres*. Journal of Glaciology, 26 (94), 165-177. New York: Free Press
- Lied, K., Kristensen, K. 2005. *Håndbok om snøskred*. Forlaget Vett og Viten, Nesbru, Norway
- McClung, D., M. 2002. *The Elements of Applied Avalanche Forecasting. Part II: The Physical Issues and the Rules of Applied Avalanche Forecasting*. Natural Hazards 26.
- McClung, D., M. Schaerer, P. 2006. *The Avalanche Handbook*. The Mountaineers Books. Seattle
- Munter, W. 2009. "3 x 3 Lawinen". Verlag Pohl und Schellhammer
- Njå, O., Aven, T., Rettedal, W.K. 1998. Subjective probability assignment in QRAs for offshore construction and cessation projects. Sørco.
- Norges Geotekniske Institutt (NGI) 2014. *Skred. Skredfare og sikringstiltak. Praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*. Universitetsforlaget
- NRK/Meteorologisk Institutt, 2013. *Slik utnytter du langtidvarslene best* <http://om.yr.no/forklaring/forsta-varslene/langtidvarsel>
- NVE/varsom.no 2015. *Bruk av varselet - Beredskap* <http://www.varsom.no/Snoskred/Beredskap/>
- Perrow, C. 2011. *Normal accidents: Living with high risk technologies*. Princeton University Press, 2011.
- Purves, R. S., Heierli J., 2006. *Evaluating Nearest Neighbours in Avalanche Forecasting - A Qualitative Approach to Assessing Information Content*. Proceedings of the 2006 International Snow Science Workshop, Telluride, Colorado
- Rausand R 1991. *Risikoanalyse - Veileder til NS5814*, Tapir forlag, Trondheim.
- Rausand, M. og Utne I. B. 2009. *Risikoanalyse – teori og metoder*. Tapir
- Rausand, M. 2011. *Risk Assessment Theory, Methods, and Applications*. Wiley
- Reagan, R., F. Mosteller, and C. Youtz (1989), "Quantitative Meanings of Verbal Probability Expressions," J. Applied Psychology, vol. 74 no. 3, pp. 433-442.
- Reason, J. 1997. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate Publishing Company, England.
- Sperstad, E. 2002. *Minutter fra skredkatastrofe*. Gudbrandsdølen Dagningen, 2002.02.26

- Tversky, A. Kahneman, D. 1974. *Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Science, New Series, Vol. 185, No. 4157. (Sep. 27, 1974), pp. 1124-1131
- Salm, B., 1986. *Möglichkeiten und Grenzen bei der Einschätzung des Lawinenrisikos*, In: Jahrbuch des Kuratoriums für alpine Sicherheit: Sicherheit im Bergland, S. 161-188
- Sandman P., M. Lanard, J. 2012. *Convicting and Maybe Imprisoning Scientists for Bad Risk Communication: Italy's L'Aquila Earthquake*. October 16 and October 22, 2012 emails to Anna Meldolesi of Corriere della Sera. <http://www.psandman.com/articles/LAquila.htm>
- Sandman P. 2004. *Acknowledging Uncertainty*. The Synergist, pp. 21–22, November 2004 American Industrial Hygiene Association. <http://www.psandman.com/col/uncertin.htm>
- Schweizer J., Mitterer, C., Stoffel L. 2008. *On forecasting large and infrequent snow avalanches*. Cold Regions Science and Technology 59 (2009) 234–241
- Slovic, P. 1986. *Informing and Educating the Public About Risk*, Risk Analysis, Volume 6, Issue 4, pages 403–415, December 1986
- Turner, B. & Pidgeon, N. (1997) *Man-made disasters. 2nd Edition*. London: Butterworth-Heinemann.
- Vangelsten, B. V., 2015. SP4 Snøskred: Referat fra statistikkseminar. Lunsjseminar, 20.11.2014. NGI, upublisert.
- Vegdirektoratet, 2014. *Veger og snøskred*. Nr. 283 i Statens vegvesens håndbokserie
- Aase, T.H. & Fossaskåret, E. (2007). *Skapte virkeligheter - Om produksjon og tolkning av kvalitative data*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Vick, S.G. 2002. *Degrees of Belief, Subjective Probability and Engineering Judgment*, ASCE Press, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, 455p.
- Wyssen, 2015. *IDA Infrasound Detection of Avalanches*. Wyssen avalanche control AG <http://www.wyssen.com/en/wac/products/ida/overview/>

Vedlegg A -

Intervjuguide

1. Hva er den største nytteverdien for mottakere av objektrelaterte skredvarsel i forhold til de regionale varslene?
2. Hva legger du i begrepet risikostyring i forbindelse med bruk av skredvarsel?
3. Hva vet du om oppdragsgivers risikoaksept og hvilke lovverk som regulerer dette? Hva vet du om oppdragsgivers risikoevaluering og -håndtering?
4. Hvilke hovedproblem er forbundet med å vurdere sannsynlighet for at et skred skal treffe et gitt objekt innenfor en gitt tidsramme?
5. Hvor stor rolle spiller faglig skjønn i vurderingen?
6. Hva legger du i begrepet sannsynlighet?
7. Hvordan formidles en slik sannsynlighet best til mottakeren?
8. Hvilken rolle spiller gjenkjenning av tidligere opplevde eller kjente situasjoner i vurderingene?
9. Hva legger du i begrepet usikkerhet med hensyn til varslene?
10. Hvordan tar man hensyn til usikkerheten ved utarbeidelse og formulering av varselet?
11. Hva mener du om oppdragsgiverens forventninger til varselet i forhold til det som leveres?
12. Beskriv forløp når det meldes skredfare 4 eller 5 (eller Middels til Høy sannsynlighet for treff) med hensyn til kontakt med oppdragsgiver
13. Hvilke spørsmål er mest vanlig fra oppdragsgiver?
14. Gitt at et (flak-)skred løsner, hva er sannsynligheten for at skredet når b-punktet?