



Veger og snøskred

VEILEDNING

Håndbok V138



Veger og snøskred

Håndbøker i Statens vegvesen

Dette er en håndbok i Statens vegvesens håndbokserie. Vegdirektoratet har ansvaret for utarbeidelse og ajourføring av håndbøkene.

Denne håndboka finnes kun digitalt (PDF) på Statens vegvesens nettsider, www.vegvesen.no.

Statens vegvesens håndbøker utgis på to nivåer:

Nivå 1: • Oransje eller • grønn fargekode på omslaget – omfatter *normal* (oransje farge) og *retningslinje* (grønn farge) godkjent av overordnet myndighet eller av Vegdirektoratet etter fullmakt.

Nivå 2: • Blå fargekode på omslaget – omfatter *veiledning* godkjent av den avdeling som har fått fullmakt til dette i Vegdirektoratet.

Veger og snøskred
Nr. 283 i Statens vegvesens håndbokserie

Forsidefoto: Fv. 60 Hjørundfjorden,
Møre og Romsdal
Foto: T. Humstad

ISBN: 978-82-7207-675-6

Forord

Snøskred er en av de hyppigste årsakene til at veger blir stengt av skred. Snøskredene representerer en fare for trafikantene, og ikke minst for dem som arbeider med å drifte vegene. Snøskredene fører også til at veger må stenges, enten fysisk ved at skredmassene sperrer vegen, eller ved at vegene stenges på grunn av stor fare for skred.

Denne håndboka er skrevet for å gi ansatte i Statens vegvesen og andre som arbeider med snøskred en samlet oversikt over årsakene til at snøskred opptrer, hvilke faktorer som skaper økende fare for skred og hvordan vegene best kan sikres. Boka henvender seg først og fremst til dem som arbeider med sikring av veger og jernbaner, men bør også ha praktisk verdi for den som drifter veger og jernbaner som er utsatt for snøskred. Det er også vårt håp om at håndboka vil være til nytte for sikring av annen infrastruktur enn veger og jernbaner, og at den viser seg egnet til undervisning på høyskole- og universitetsnivå.

Boka er en videreføring av Håndbok 167 «Snøvern» og erstatter denne. Håndbok 167 omfattet både drivsnø og snøskred. Planlegging og drift av veger utsatt for drivsnø er nå omhandlet i Håndbok V137 «Veger og drivsnø».

Denne håndboka er skrevet av Harald Norem, Statens vegvesen.

Arbeidet med håndboka er utført som en del av forskningsprosjektet «Klima og transport». Dette prosjektet ble gjennomført av Statens vegvesen i årene 2007–2010. Hensikten med prosjektet var å forbedre rutiner og regelverk for planlegging, prosjektering, bygging, drift og vedlikehold av vegnett som svar på endrede klimaforhold. Mer informasjon om dette prosjektet og publikasjoner som er utgitt som en del av dette prosjektet finner en på www.vegvesen.no/klimaogtransport

Oslo

Vegdirektoratet

Sammendrag

Målsettingen med håndboka er å gi ansatte i Statens vegvesen og andre som er engasjert i sikring og drift av veger et bedre grunnlag for å forstå hvor og når snøskred kan opptre og hvordan vi sikrer vegene mot disse. Håndboka bør også være til nytte for de som arbeider med sikring av annen infrastruktur som jernbaner, boligfelt og anleggsplasser.

Det er to hovedgrupper av snøskred, løssnøskred og flaskred. Løssnøskred løsner vanligvis i snø som har liten fasthet, enten nysnø eller helt våt snø. Skredene løsner i et punkt og brer seg gradvis ut til siden. Slike skred er oftest beskjedene i volum og utløpsdistanse. Skredtypen som gjør mest skade og har størst hastighet og utløpsdistanse er flaskredene. Disse kan ha et volum opptil 1 mill m³ og hastigheter opptil 70 m/s.

Snøskred opptrer oftest i forbindelse med store snøfall, kritisk nedbørsmengde er gjerne ca. 50 cm i løpet av tre døgn. Dersom nedbøren er kombinert med kraftig nedbør skal det mindre nedbørmengder til før skred kan løsne i leområder. Skred kan også løsne ved omslag til varmere vær.

Kritisk helling for at snøskred kan løsne er 28°, og den farligste hellingen med hensyn til størrelse på skredene og hyppighet er 35–45°. Ved hellinger over 55–60° samler det seg lite snø i fjellsidene, slik at eventuelle skred oftest er små, og de har kort utløpsdistanse. De mest utsatte fjellsidene er skålformete partier som samler snø fra flere vindretninger, og som ligger i le for framherskende og nedbørsførende vindretninger.

Vegene kan sikres fysisk ved en rekke forskjellige tiltak. Felles for disse er at de dyre konstruksjonene kan brukes i all slags terreng og mot alle skredtyper. De rimeligere fysiske tiltakene gir derimot bare tilstrekkelig sikkerhet mot bestemte skredtyper og er egnet i begrenset typer av terreng.

De sikringsmetodene som gir best sikkerhet for trafikantene er tunneler og overbygg. Av de rimeligere tiltakene er bremsekjegler, ledevoller og fangvoller. Der disse er egnet koster de anslagsvis 10–20% i forhold til tunneler og overbygg. Andre aktuelle sikringstiltak er bruer med stor lysåpning og forbygninger i fjellsidene for å hindre at skredene blir løst ut.

I spesielle tilfeller er det også mulig å stenge vegene for all trafikk og å utløse skredene ved hjelp av sprengstoff. Vanligvis foretas sprengingen i utvalgte områder, enten fra taubaner eller fra master hvor det er forhåndsplasserte ladninger.

Innhold

	Forord	3
	Sammendrag	5
1	Innledning	9
	1.1 Målsetting med håndboka	9
	1.2 Veger og snøskred	9
	1.3 Forhold til andre håndbøker	9
2	Skredmeteorologi	11
	2.1 Dannelse av snø og nedbør	11
	2.2 Dannelse av vind	12
	2.3 Snøtransport og snøfordeling	14
3	Snødekkets egenskaper	17
	3.1 Snødekkets utvikling	17
	3.2 Snøens fysiske egenskaper	20
4	Klassifisering av skred	29
	4.1 Skredtyper	29
	4.2 Løssnøskred	30
	4.3 Flakskred	30
5	Karakteristiske trekk ved skredfarlig terreng	35
	5.1 Inndeling av skredbanen	35
	5.2 Utløingsområdet	35
	5.3 Skredløpet og utløpsområdet	40
6	Beregning av hastigheter, utløpsdistanser og trykk mot konstruksjoner	43
	6.1 Valg av dimensjonerende skred	43
	6.2 Beregning av skredhastigheter	44
	6.3 Beregning av utløpsdistanser	51
	6.4 Belastninger mot konstruksjoner	55
	6.5 Snøsigkrefter mot konstruksjoner	60
7	Vurdering av fare for skred	63
	7.1 Formål med skredfarevurderinger	63
	7.2 Inndeling i faregrader	63
	7.3 Væertyper som påvirker faren for snøskred	65
	7.4 Metoder for vurdering av skredfare	68

8	Sikring mot snøskred	73
8.1	Skredoverbygg og tunneler	73
8.2	Bru over skredløpet	82
8.3	Støtteforbygninger	83
8.4	Terrengtiltak	84
8.5	Snøskjermer	103
8.6	Registrering av skred og varsling av trafikantene	104
8.7	Kunstig utløsning av skred	106
9	Planlegging av sikringstiltak	111
9.1	Prioritering av sikringstiltak	111
9.2	Valg av sikringsnivå	118
	Symbolliste	119
	Litteratur	120

1 Innledning

1.1 Målsetting med håndboka

Målsettingen med denne håndboka er å gi ansatte i Statens vegvesen og andre et faglig grunnlag for planlegging og drift av veger som er utsatt for snøskred. Håndboka bør også være nyttig for dem som arbeider med annen type infrastruktur som er utsatt for snøskred. Dette gjelder blant annet jernbaner, boliger og kraftlinjer.

I håndboka er det lagt vekt på å dekke de ingeniørmessige sidene ved sikring mot snøskred. Dette gjelder utforming og dimensjonering av sikringstiltak, fastlegging av grenser for skredfare og metoder for varsling av fare for skred. Mer generelle opplysninger om snø og snøskred er i mindre grad dekket i denne håndboka.

Håndboka bygger først og fremst på forskningsarbeid i Norge og norske erfaringer med sikring av veger. Snøskred er også vanlig i andre land og det er i stor grad også tatt med erfaringer og forskning fra disse landene, og da først og fremst fra alpelandene, USA, Canada og Japan.

1.2 Veger og snøskred

Snøskred er en av de hyppigste naturlige årsakene til at veger sperres for all trafikk. I perioden 1998–2008 var det i alt registrert ca 22000 skredhendelser på det norske riks- og fylkesvegnettet, og av dette var 6500 registrert som snøskred. I tillegg blir en rekke veger sperret for kortere eller lengre tid hvert år på grunn av fare for snøskred.

Skredene opptrer oftest i forbindelse med uværperioder. I slike perioder vil flere veger være sperret på samme tid, og samfunn kan bli isolert i flere dager på grunn av skred eller ved fare for skred.

De fleste snøskredene som kommer fram til vegen sperrer vegen i begge kjørebanelene, og vegen vil oftest bli stengt inntil det er forsvarlig å starte ryddearbeidet. En av gruppene som er mest utsatt for skred er vedlikeholdsarbeidere, fordi disse må være ute på vegene i vanskelige værtilstander. Vedlikeholdsarbeidere er også spesielt utsatt i forbindelse med rydding etter tidligere skred, dersom det fortsatt er fare for nye skred.

1.3 Forhold til andre håndbøker

Håndboka er en revidert utgave av Håndbok 167 «Snøvern» utgitt av Statens vegvesen 1993. «Snøvern» dekket både planlegging og drift av veger utsatt for snøskred og drivsnø. Veger i drivsnøområder er nå dekket av håndbok V137 «Veger og drivsnø». Med hensyn til andre skredtyper så har Statens vegvesen utarbeidet håndboken V139 «Flom og sørpeskred».

Det er viktig at en i forbindelse med planlegging av sikringstiltak og drifting av vegene arbeider innenfor de rammene som andre normaler og veiledninger setter. De viktigste normalene som har betydning for forslagene i denne håndboka er:

- Hb N100 Veg- og gateutforming
- Hb N200 Vegbygging
- Hb N500 Vegtunneler
- Hb R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger
- Hb N400 Bruprosjektering

2 Skredmeteorologi

2.1 Dannelse av snø og nedbør

Snøkrystallene blir dannet i atmosfæren i vannmettet luft som har en temperatur ned til -40°C . Når det i slik luft er til stede frysekjerner i form av mikroskopiske partikler vil underkjølt damp feste seg til disse og danne iskrystaller. Avhengig av lufttemperaturen og fuktigheten i lufta, vil krystallene vokse til bestemte krystalltyper. De mest vanlige er sekskantete stjerner eller plater, figur 2.1, men krystaller med struktur som nåler og prismer kan også forekomme.



Figur 2.1 Eksempler på de vanligste snøkrystallene av stjerner og plater. (Fra *Lawinenhandbuch*, Gabl og Lackinger 1986.) Foto: Carl Zeiss

Etter at snøkrystallene er dannet, vokser de gradvis inntil de blir så store at de oppadgående luftstrømmene ikke klarer å holde dem oppe og de felles da ut som nedbør. Fordi temperatur- og fuktighetsforholdene er forskjellige i ulike lag nedover mot bakken endrer snøkrystallene form på veien gjennom atmosfæren. I lave temperaturer vokser krystallene langsomt, mens i temperaturer nær 0°C vil de vokse raskere, og ved rolige vindforhold vil de også danne store snøfiller av sammenvokste krystaller.

Dersom lufta er kald nede ved bakken faller nedbøren som snø. Erfaringsmessig vil ikke snøkrystallene rekke å smelte før de når bakken dersom temperaturen er så vidt over 0°C . Ólafsson og Haraldsdóttir (2003) har vist fra Island at vanligvis så faller det snø selv ved $0,5\text{--}2,1^{\circ}\text{C}$, og samlet snønedbør tilsvarer all nedbør som faller ved temperaturer lavere enn ca $+1^{\circ}\text{C}$.

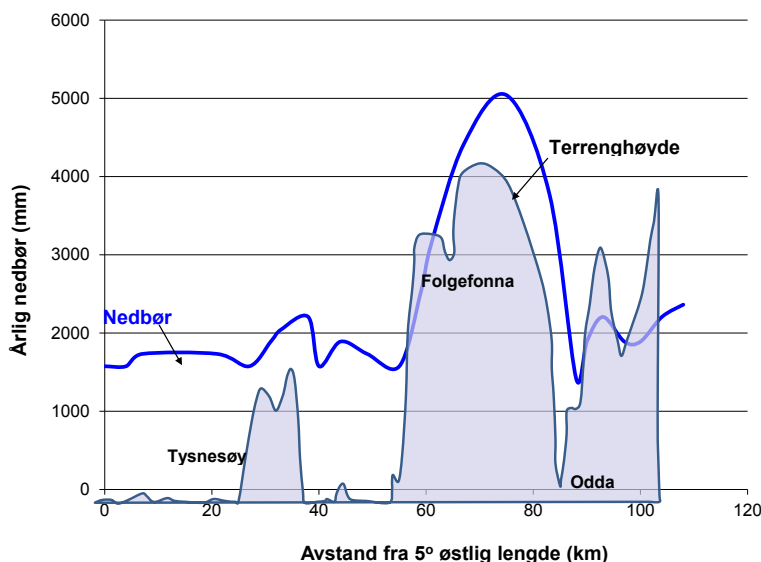
Nedbør dannes der de mettede massene blir avkjølt og ikke lenger kan inneholde så stor fuktighet. Avkjølingen av luftmassene skyldes som oftest at de blir presset oppover til kaldere luftlag når de kommer mot fjellkjeder, men hevingen av luftmassene kan også skyldes passering av varm- og kaldfronter. En introduksjon til hvorfor nedbør oppstår og dannelse av fronter er blant annet gitt i rapporten *Meteorologi og klimastasjoner* (Statens vegvesen 2005).

Der fuktig vind fra havet kommer inn mot høye kystfjell, blir lufta avkjølt og det felles ut nedbør. De største nedbørsmengdene i Norge finner vi derfor vest for vannskillet, og spesielt på vestsiden av kystnære breer. I Sør- og Øst-Norge opptrer det også kraftig nedbør i forbindelse med vind fra sør og sørøst, som fører fuktig vind inn fra Skagerak.

Nedbørsmengden øker som oftest også med høyden over havet, og generelt kan en anta at økningen er ca 10 % pr. 100 m høydeforskjell. På le side av fjellrygger har det vesentligste av nedbøren i skyene blitt felt ut. De tørreste områdene i Norge finner vi derfor i områder som ligger i le for fuktige vinder fra både vest og sørøst. I Sør-Norge er dette de sentrale innlandsområdene og i Nord-Norge gjelder det Finnmarksvidda.

Betydningen fjellformasjonene har med hensyn til nedbørsmengdene er vist skjematisk i figur 2.2.

Figuren viser et snitt langs 60° breddegrad fra 5° øst over Tynesøy, søndre del av Folgefonna og inn mot vestre del av Hardangervidda. Figuren viser at vi får en kraftig økning i nedbørsmengdene vest for fjellryggene og en reduksjon i nedbørsmengdene på østre side.



Figur 2.2 Profil av terrenghøyde og nedbørsmengder langs 60° nordlig breddegrad fra Ytre Hardanger til vestre del av Hardangervidda. Grunnlag: Kartserie 1:250 000 fra Statens vegvesen og Avrenningskart for Norge, NVE

Snømengdene i et område er, foruten nedbøren, også avhengig av temperaturen og varigheten av vintersesongen. Temperaturen faller i gjennomsnitt med ca 0,6° C for hver 100 m høydeforskjell. Vintertemperaturen er i tillegg avhengig av nordlig breddegrad og nærheten til kysten. Generelle opplysninger om nedbør, snømengde og varighet av vinteren finner en i Nasjonalatlas for Norge (Statens kartverk 1992). Dessuten har Meteorologisk institutt et omfattende stasjonsnett med lange observasjonsserier. Observasjonsdataene fra disse stasjonene er tilgjengelige på nettportalen E-klima på hjemmesidene til Meteorologisk institutt. Dessuten vil en finne verdifull informasjon om vær og klima i nettportalen SeNorge (<http://www.senorge.no>), som driftes i samarbeid mellom Meteorologisk institutt, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Kartverket.

2.2 Dannelse av vind

I forbindelse med planlegging og sikring av veger er kunnskapen om framherskende vindretninger og hvilke vindretninger som er nedbørsførende viktig, fordi disse har stor betydning for hvor snøen samler seg i fjellssidene. Dette vil være et viktig grunnlagsmateriale for å kunne anslå i hvilke skredløp det er størst sannsynlighet for skred.

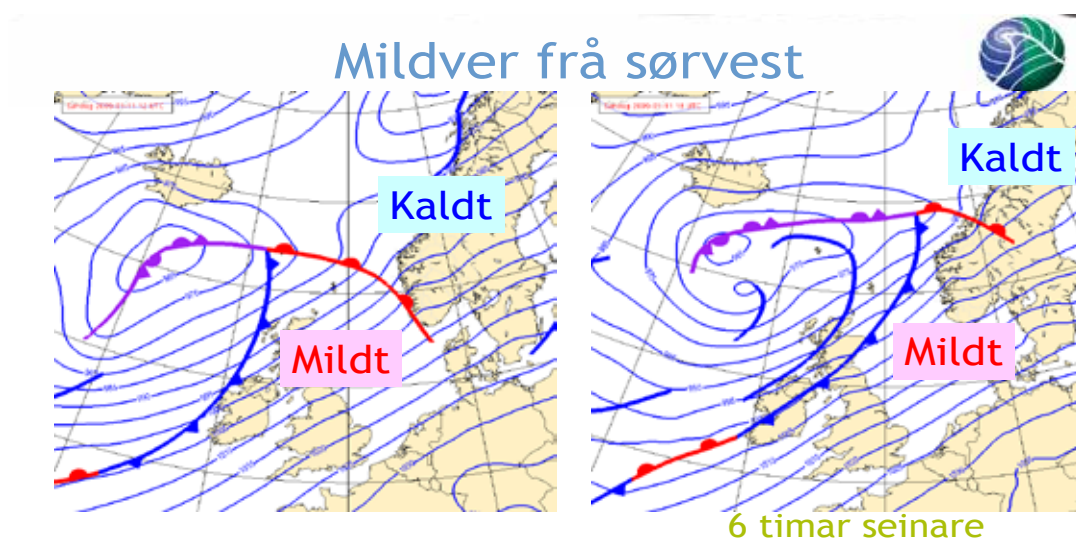
Vind som registreres på jordas overflate har forskjellig opprinnelse. Det som er felles, er at all vind skyldes forskjeller i lufttrykk over korte avstander. Årsaken til disse forskjellene kan være trykkforskjeller i høyere luftlag, lokale trykkforskjeller forårsaket av soloppvarming eller varmeutstråling og trykkforskjeller dersom det er områder med store temperaturdifferenser.

De vindene som gir de største vindstyrkene er i all hovedsak vinder som dannes på grunn av atmosfæriske forhold. På grunn av temperaturforskjeller fra sør til nord bygger det seg opp områder med enten høytrykk eller lavtrykk. Vinden blåser bestandig fra høytrykk og mot lavtrykk og tilnærmet

parallelt med isobarlinjene, som er linjer som forbinder punkter med samme trykk, fig. 2.3. På grunn av jordas rotasjon dreies vinden på den nordlige halvkule slik at den roterer mot klokka og inn mot sentret av lavtrykket. Størst vindaktivitet er det i Norge først og fremst om vinteren, fordi temperaturforskjellene mellom hav og land da er størst.

De lavtrykkene som påvirker været i Norge mest om vinteren er lavtrykk som dannes nær sørspissen av Grønland hvor kaldt vann fra Labradorstrømmen møter varmt vann i Atlanterhavet. Disse lavtrykkene har oftest en sørøstlig-nordvestlig bane. Når de kommer inn mot Vestlandet og Nord-Norge med fuktig luft, blir luftmassene hevet til kaldere områder på grunn av fjellformasjonene og en kan få betydelige nedbørsmengder.

Vindstyrkene i høyden er en funksjon av trykkforskjellene i lavtrykket. Dersom trykket er spesielt lavt og trykkforskjellene store over korte avstander kan vindstyrkene komme opp i storm eller orkan styrke. I figur 2.3 er vist en situasjon hvor et lavtrykk sør for Island er på veg mot Sør-Norge. På figuren er også vist lokaliseringen av en varmfront (rød linje) og en kaldfront (blå linje)



Figur 2.3 Værkart av en situasjon hvor et kraftig lavtrykkssenter sør for Island er på veg mot Sør-Norge, og hvor en må forvente mild kraftig vind fra sørvest. Vinden i høyden blåser parallelt med isobarene og vindstyrken er størst der avstanden mellom isobarene er minst. Figur: Merete Øiestad, Met. Inst

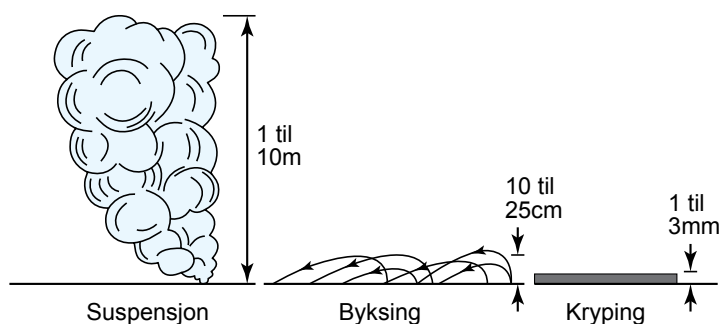
Nær bakken blir vinden påvirket av store og små elementer i topografien, alt fra fjellrygger, fjorder og daler og ned til åser, rygger og ruheten av bakken. Det er derfor stor forskjell på de vindstyrkene og vindretningene en måler langs bakken enn høyere opp i luftlagene. De største vindstyrkene finner en derfor i fjellet, langs åpne vann og i dalfører som ligger parallelt med vindretningen i høyere lag. Tilsvarende vil terreng med stor ruhet, småkupert og skogbevokst terreng ha mindre vindstyrker, samtidig som dalfører normalt på vindretningen i fjellet gir bedre le-effekt. Det er også viktig å vite at når vinden blåser over land tappes den for energi og blir gradvis svakere. Det er for eksempel like mange kulingdager langs Bergensbanen i 1300 meters høyde i kystnære fjell som på Gaustatoppen, som ligger lenger øst i 1800 meters høyde.

Vinden langs bakken er også påvirket av temperaturforskjellene i fjellet og dalbunnene. Kald luft er tyngre enn varm luft, og kald luft i fjellet vil da renne som en elv mot varmere områder. Spesielt om vinteren kan det oppstå kraftige dalvinder når det er kaldt i fjellet og mildere vær i lavlandet langs kysten. I trange vestlandsdaler med store høydeforskjeller er det målt vindstyrker opptil storm styrke, selv om det er vindstille i fjellet. Denne vindtypen kalles topografisk vind.

2.3 Snøtransport og snøfordeling

Sterk vind er i stand til å transportere store snømengder og til å omfordele snøen slik at det blir store forskjeller i snømengdene langs et profil parallelt med vindretningen. Generelt gjelder at der vinden er sterk og øker i hastighet eroderer vinden snø fra bakken, og der en har leområder får en store fonner. Denne omfordelingen har stor betydning for hvor det kan bygge seg opp nok snø til at det blir fare for skred og den har betydning for lagdelingen i snødekket.

Snøtransport blir initiert når skjærspenningene som vinden påfører bakken blir større enn den kritiske grensen som må til for å få revet opp snøpartiklene. Denne kritiske vindhastigheten er avhengig av snødekkets fasthet og er minst når snødekket består av tørr, nyfallen snø og størst ved våt snø eller skare. Til vanlig vil drivsnøen begynne ved vindhastigheter mellom 4 og 7 m/s. Ved disse lave vindhastighetene vil snøkornene begynne å krype eller rulle i et 1–3 mm tynt lag nærmest bakken, fig. 2.4. Ved økende vindhastighet, rundt 8–10 m/s beveger de seg i inntil 1 m lange byks i opptil 10 cm høyde. Ved større vindstyrker enn 12–13 m/s vil den største andelen av snøpartiklene bli suspendert i luften, og snøpartiklene har i liten grad kontakt med bakken. Snøkonsentrasjonen er størst nær bakken og den er liten ved større høyder enn 2 m over bakken, når det ikke er nedbør samtidig. En mer utførlig presentasjon av snøtransport med vinden og analyser av vindregistreringer er gitt i håndbok V137, Veger og drivsnø.



Figur 2.4 Snøpartiklene transporteres med vinden som krypende, byksende eller suspenderte partikler (Basert på Mellor 1965)

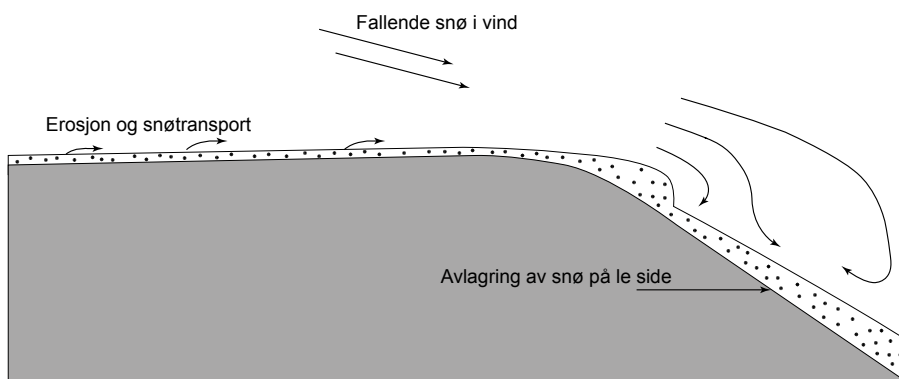
En forutsetning for at snøen skal bli erodert og transportert med vinden er at det ligger tilstrekkelig med løs snø på bakken. Derfor er snøtransporten størst når det er samtidig nedbør i forbindelse med sterk vind eller når snødekket har løs, kald snø på overflaten. I slike tilfeller driver det betydelig med snø i fjellet, og ut fra markerte fjellrygger kan det stå en sky av fokksnø, fig. 2.5.



Figur 2.5 Foto av snøtransport i fjellet i forbindelse med kraftig vind. Foto: Merete Øiestad, Met.Inst.

De transporterte snømengdene øker omtrent med tredje potens av vindstyrken. Snøpartiklene blir gradvis erodert fra bakken, og det er først etter at vinden har blåst over et 100–200 m åpent område at maksimal snøtransport oppnås. Derfor ser en at bratte fjellsider i le av platåer samler mer snø enn i le av spisse, alpine fjellformasjoner, fig. 2.6.

Snøen som samles på le side av en fjellside fordeler seg forskjellig avhengig av hvordan den transporteres dit. Drivsnø langs bakken felles ut høyt oppe i fjellsida, 50–100 høydemeter fra toppen av kanten av platået. Fallende snø som trekkes inn i de store virvelsystemene på le side fordeler seg imidlertid mer jevnt over hele leområdet.



Figur 2.6 Snødekket i en fjellside består av snø som både avlagres i de store virvelsystemene på le side av fjellryggene, og på grunn av drivsnø som føres langs bakken fram til fjellsidene.

Der det er stor snøtransport langs bakken på vindsiden fram til en bratt fjellrygg vil en også få dannet store skavler i overgangen fra slakt til bratt terreng. Disse kan ha betydning for utløsning av snøskred dersom de faller ned og løser ut ustabile masser under skavlene, fig. 2.6 og 2.7.



Figur 2.7 Foto av snøskavl, Ryggfonn, Grasdalen. Foto: H. Norem

Kunnskap om snødekkets utvikling og snøens fysiske egenskaper er viktig for å kunne vurdere når det er fare for skred, og for å kunne dimensjonere eventuelle sikringstiltak mot skred. Med hensyn til vurdering av skredfare er det først og fremst kunnskapene om hvordan snødekkets fasthet varierer med tiden og hvordan det bygger seg opp svake lag i snødekket som er interessant.

3 Snødekkets egenskaper

3.1 Snødekkets utvikling

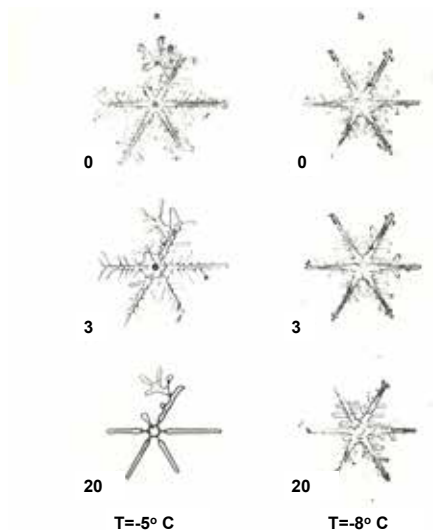
Umiddelbart etter at snøkrystallene har falt til ro på bakken starter en kontinuerlig omvandlingsprosess (metamorfose), som varer helt til partiklene smelter om våren. Denne prosessen har avgjørende betydning for utviklingen av snødekkets tetthet, fasthet og lagdeling. Omvandlingsprosessen kan i hovedtrekk inndeles i fire hovedgrupper

- Nedbrytende omvandling
- Oppbyggende omvandling
- Smelteomvandling
- Overflateprosesser

3.1.1 Nedbrytende omvandling i tørr snø

Den nedbrytende omvandlingen starter umiddelbart etter at snøen har falt på bakken ved at markerte forgreininger og skarpe kanter i snøkrystallene brytes ned. Figur 3.1 viser nedbrytingen av to krystaller ved to forskjellige temperaturer, -5 og -8°C . Figuren viser at prosessen går raskere ved temperaturer nærmere 0°C . Under kuldeperioder vil derfor nyfalten snø beholde sin lette og løse konsistens i lengre tid, mens ved høyere temperaturer vil snøkrystallene brytes ned og snøen vil dermed sette seg og få en fastere konsistens.

Årsaken til den nedbrytende metamorfosen er at vannets metningstrykk er større over konvekse og spisse flater enn over plane eller konkave flater. Det vil derfor skje en vanntransport fra forgreiningene og mot kjernen av krystallene. Når prosessen har vart en stund vil det også skje en transport av vanddamp fra mindre og til større partikler, slik at de minste partiklene vil forsvinne med tiden.



Figur 3.1 Nedbrytende omvandling av to snøkrystaller ved -5 og -8°C .
Tallene angir alderen på krystallene i antall dager. Ramsli 1981, Foto EISFL, Davos

Et resultat av den nedbrytende omvandlingen er at de fine forgreiningene som holder krystallene sammen forsvinner og snøkrystallene kommer nærmere hverandre og de får større kontaktflate. I den første fasen av omvandlingen reduseres snøens fasthet når de fine forgreiningene forsvinner. Senere

bygges det opp isbroer i kontaktflatene når snøen setter seg og derfor vil både tettheten og fastheten øke under den videre fasen av den nedbrytende omvandlingen. Om våren eller i mildværsperioder vil hele snødekket få temperaturen 0°C , og isbroene vil da smelte. Dette gjør at fastheten blir redusert og snøen vil også bli mer plastisk ved høyere temperaturer.

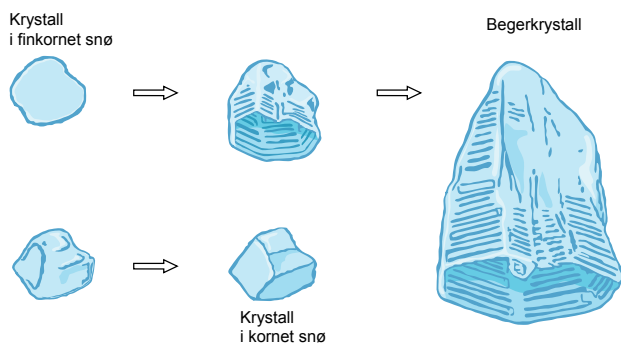
Snø som blir ført med vinden vil gjennomgå en mekanisk omvandling. I dette tilfellet er det sliping av krystallene mot hverandre og kontakten mot snødekket som gjør at alle forgreninger og skarpe kanter blir slipt vekk. Fonner som dannes av drivsnø har derfor gjennomgående stor tetthet og fasthet.

3.1.2 Oppbyggende omvandling i tørr snø

Oppbyggende omvandling er en prosess hvor større snøkrystaller vokser på bekostning av mindre krystaller på grunn av vertikal vanndamptransport i snødekket. En forutsetning for å få en slik vanndamptransport er at det er en betydelig temperaturforskjell fra bakkenivå og til overflaten av snødekket.

Vanligvis er temperaturene nær bakken nær 0°C eller bare noen få kuldegrader, mens en i overflaten kan ha langvarige perioder med lave temperaturer, eksempelvis mellom -10°C og -30°C . Ved temperaturgradienter over 10°C per meter vil vanndamptransporten bli betydelig og den skjer fra det varme og til det kalde området. Vanndampen kan dannes på to måter; (a) ved diffusjon, ved at vanndamp sublimerer fra krystaller og kondenseres på krystaller lenger opp i snødekket, og (b) ved konveksjon, ved at fuktig luft nær bakken stiger opp mot kaldere områder og kondenseres på krystallene der. Resultatet er at kondenseringen på kaldere krystaller gjør at disse vokser i størrelse og danner spesielle krystallstrukturer. I denne prosessen får en store kantede krystaller, kornsnø. Dersom de store temperaturgradientene varer over lang tid, vil de kornete krystallene utvikle seg videre til begerkrystaller, som er hule og kan bli opptil 2 cm i diameter, fig 3.2.

Krystallene står oppå hverandre og har liten kontaktflate. Begerkrystallene har derfor vanligvis liten fasthet. På grunn av at de er hule vil dessuten en ødelegging av krystallstrukturen føre til at krystallene som kollapser gir en ytterligere reduksjon av fastheten. Et tegn på at det finnes lag av kornsnø eller begerkrystaller er når det høres tydelige drønn i snødekket, når en belaster dette ved for eksempel å gå på ski. Dette skyldes at lagene bryter sammen ved belastning. Bruddet i begerkrystallagene kan også forplante seg hurtig ut til sidene over store områder.



Figur 3.2 Snøkrystaller som har gjennomgått en oppbyggende omvandling. Krystallen til høyre er en fullt utviklet begerkrystall som enten er hul eller fylt med is. (Lied og Kristensen 2003).

Utviklingen av begerkrystaller skjer gjerne i snøen nær bakken når temperaturgradienten er tilstrekkelig stor, men den kan også forekomme høyere oppe i snødekket. De mest utsatte områdene er da under nedsnødde skarelag eller islag som virker som en fuktsperre, slik at vanndampen som stiger oppover i snødekket ikke kommer videre og kondenseres mot dette tette sjiktet.

Størst sannsynlighet for begerkrystaller finner en i fjellområder med beskjedne snømengder og stabilt, kaldt vintervær. I Norge vil dette utgjøre de sentrale fjellområdene på Østlandet og i grensefjellene mot Sverige og Finland. I fjellområdene nær kysten er oftest snømengdene større og perioder med stabilt, kaldt vær er mindre hyppig. Det er derfor ikke hvert år en får utviklet begerkrystaller i disse områdene, men i perioder med kald og tørr tidligvinter kan oppbyggende omvandling føre til at en også i kystnære fjellområder finner svake lag med begerkrystaller. Disse lagene beholder sin løse struktur helt til temperaturen i snødekket ned mot bakken blir 0° C. Ved denne temperaturen faller lagene sammen, og krystallene får bedre kontakt med hverandre.

3.1.3 Smelteomvandling

Når temperaturen i lufta kommer over 0° C vil også temperaturen i snøen gradvis stige mot 0° C. Men på grunn av at snøen inneholder mye luft i isolerte hulrom går oppvarmingen sakte ved bare påvirkning av økt lufttemperatur. Den viktigste faktoren for oppvarming av snødekket er tilførsel av vann i form av regn eller smeltevann som trenger ned i snøen. Når vannet fryser når det kommer i kontakt med den kalde snøen, frigjøres latent varme, som bidrar til en hurtigere oppvarming av snødekket.

Smelteomvandling er en kombinasjon av oppbyggende og nedbrytende omvandling der fritt vann er tilstede. En deler ofte våt snø opp i 4 klasser; fuktig (0–4%), våt (4–8%), veldig våt (8–15%) og sørpe (over 15 %). I den fuktige snøen er det ikke synlig vann i snøen, men en tynn film rundt hvert enkelt snøkrystall. Snøen vil oppfattes som kram. I våt snø blir det mer og mer fritt vann mellom krystallene og man klarer å presse vann ut av snøen. I våt snø er derfor bindingene mellom snøkrystallene brutt ned, og våt snø har redusert fasthet. I sørpe er snøen overmettet med vann og krystallene flyter i vann uten noen form for bindinger. Sørpe er dermed svært ustabil snø med dårlige bindinger.

3.1.4 Overflateprosesser

Snødekkets overflate utsettes for variasjoner i værforhold som temperatur, stråling konveksjon og vind. Her dannes derfor spesielle snøtyper som rim, skare og is. Disse sjiktene blir en del av det lagdelte snødekket når de senere på vinteren dekkes av ny snø.

Rim

Rim dannes i kaldt, klart vær når vanddamp i lufta kondenseres på snøoverflaten. Forutsetningen for kondensasjon er at snøoverflatens temperatur er lavere enn duggpunktet og mindre enn 0° C. Rimsnøkrystallene er gjerne fjærformede og kan bli flere cm lange. Rim som blir dekket av ny snø vil kunne beholde sin løse struktur gjennom lang tid, slik at kontakten mellom ny og gammel snø blir dårlig, og laget kan derfor fungere som et potensielt glidelag i lang tid, fig. 3.3.



Figur 3.3 Foto av snødekke med rimsnøkrystaller. Slike lag kan beholde sin struktur i lang tid dersom det er stabilt, kaldt vær. Foto:Kjetil Bratlien, NGI

Skare

Skare kan opptre i forskjellige typer. Den mest vanlige dannes på grunn av soloppvarming og danning av smeltevann på overflaten om dagen. Ved kaldere vær, oftest nattefrost, fryser den våte overflatesnøen og det danner seg en hard skare. Tilsvarende effekt får en dersom det regner på snøen og været skifter til kaldere vær. Skare kan også dannes under kraftig vind. Den kraftige friksjonen vinden skaper sliper ned kornene på overflaten og hever temperaturen slik at krystallene blir fuktige og sintrer sammen. Vindskare vil oftest danne en serie av små riffer på snødekkets overflate, tilsvarende det en kan finne på bunnen av elver.

Eldre skarelag kan ofte være vanskelige å finne igjen nede i snødekket, fordi de har en tendens til å bli oppløst etter at skaren har blitt dekket av ny snø. Oppløsningen skjer gjerne ved sublimasjon fra skarelaget og kondensasjon i høyere snølag. Gammel skare kan derfor bli omvandlet til løse, grovkornete og svake lag.

3.2 Snøens fysiske egenskaper

Snø er et materiale som opptrer tett opp til sitt smeltepunkt. Dette gjør at snøen endrer sine fysiske egenskaper vesentlig selv ved små temperaturendringer. De egenskapene det er viktigst å ha kunnskap om, både når det gjelder snødekket generelt og for de svakere lagene spesielt, er blant annet:

- Snøens densitet
- Fasthetsegenskaper
- Flyteegenskaper (viskositet)

Kunnskapen om disse egenskapene er viktige for å kunne vurdere faren for skred, forstå hvor skred kan utløses og for dimensjonering av skredsikringstiltak.

3.2.1 Densitet

Nyfallen snø har oftest en densitet mellom 50 og 150 kg/m³. Under den nedbrytende omvandlingen setter snøen seg, men densiteten vil likevel sjelden overstige 300 kg/m³, dersom snøen ikke har vært utsatt for smelteprosesser. Et unntak er fokksnø som kan ha densitet opptil 500 kg/m³.

Dersom snøen har vært gjennom smelteprosesser vil tettheten øke. Midt på vinteren kan en registrere midlere tettheter opptil 500 kg/m³, mens en på våren, når hele snødekket er gjennomvått, kan tettheten bli opptil 600 kg/m³.

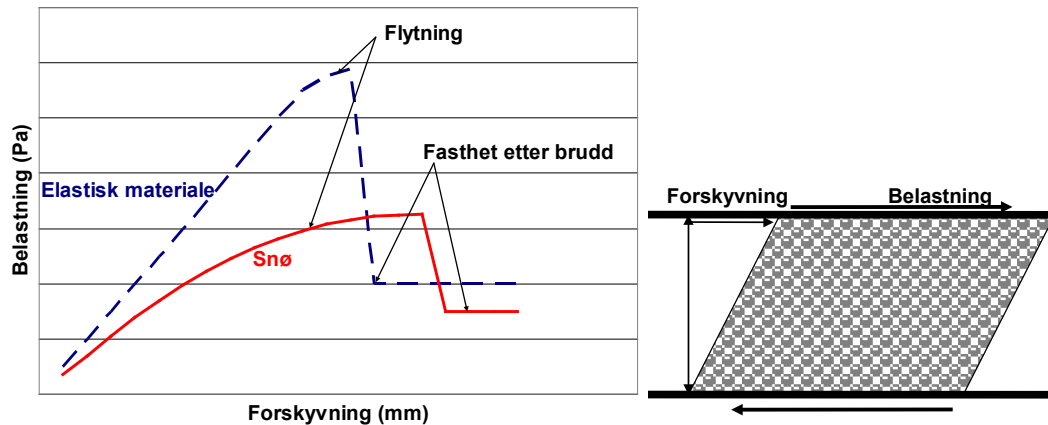
3.2.2 Fasthetsegenskaper

Snøens fasthet angir hvor store belastninger snøen kan utsettes for, før en får et brudd i snømaterialet. Dette bruddet kan enten skyldes at det er strekk-, trykk-, eller skjærspenninger som overstiger bruddfastheten. Av disse spenningstypene er det først og fremst skjærspenningene i svake lag som har betydning for snødekkets stabilitet, mens trykkfastheten er avgjørende når en vurderer hvor store belastninger snø i hellende terreng kan overføre mot konstruksjoner.

Snø som utsettes for belastninger oppfører seg som et viskoplastisk materiale. Det vil si at når belastningene er innenfor et visst nivå vil materialet kontinuerlig endre sin form ved en reorganisering av krystallene. Dette forholdet er forsøkt vist i fig. 3.4, som viser sammenhengen mellom belastning og forskyvning for et ideelt elastisk materiale og for snø. Det elastiske materialet har en elastisk forskyvning inntil belastningen er så stor at brudd skjer. For snø starter det en flytning allerede ved små belastninger og flytningen øker med økende belastning, inntil brudd skjer. Graden av flytning og hvor store belastninger snøen kan motstå er avhengig av hvor fort snøen belastes. Dersom pålastingen

skjer raskt, vil snøen reagere mer som et elastisk materiale og bruddfastheten er relativt liten. Ved sakte pålastninger får snøen tid til å reorganisere krystallstrukturen og bruddstyrken blir større.

Snøens fasthetsegenskaper er representert ved snøens bruddstyrke, mens den varige forskyvningen representerer snøens flyteegenskaper og blir drøftet i neste avsnitt.



Figur 3.4 Sammenheng mellom belastninger og forskyvninger for et elastisk materiale og et viskoplastisk materiale som snø. Snø får varige og store forskyvninger under belastning før materialet går til brudd.

Snøens skjærfasthet har store variasjoner og den er først og fremst avhengig av densiteten, krystallstrukturen, temperaturen og dybden til hvor en foretar undersøkelsene. Det er vanlig å beskrive fastheten til snøen tilsvarende som for jord, ved hjelp av Mohr-Coulombs bruddkriterium:

$$\tau_f = c + \mu\sigma \quad (\text{N/m}^2) \quad (3.1)$$

der τ_f = skjærfastheten (N/m²)
 c = kohesjon (N/m²)
 μ = friksjonskoeffisient
 σ = normalspenning (N/m²)

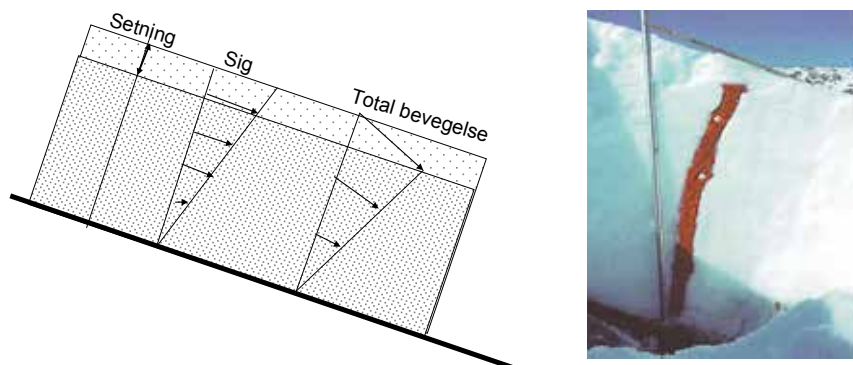
Kohesjonen ,c, er først og fremst avhengig av densiteten og styrken på isbroene mellom snøkrystallene. I løs snø kan den være så lav som 0,1 kN/m², mens den i homogen snø med tetthet opp mot 600 kg/m³ kan bli opptil 1000 kN/m², (Gabl og Lackinger 1986)

I potensielle glidelag, som for eksempel består av begerkrystaller eller rimsnøkrystaller, er kohesjonen gjennomgående lav, og vil oftest variere innenfor 1 og 10 kN/m². Det er også verdt å legge merke til at i svake lag vil kohesjonen bli redusert til et minimum umiddelbart etter at et brudd har skjedd. Ved et lokalt brudd vil sideområdene få øket belastning for å holde snødekket på plass. Dette øker sannsynligheten for nye brudd. Dersom bruddforplantningen skjer raskt, er forutsetningene for at store flak kan løsne og bli satt i bevegelse til stede.

Friksjonen mellom snøkornene varierer i langt mindre grad enn kohesjonen. Vanligvis ligger den statiske friksjonskoeffisienten mellom 0,4 og 0,8. Dette tilsvarer friksjonsvinkler mellom 22° og 39°. Etter at bruddet har skjedd, og krystallene beveger seg i forhold til hverandre, vil partiklene gli lettere i forhold til hverandre og den såkalte dynamiske friksjonskoeffisienten reduseres med ca 0,1 i forhold til den maksimale friksjonskoeffisienten. Den dynamiske friksjonskoeffisienten er relatert til snøens fasthet etter brudd.

3.2.3 Flyteegenskaper

Når et snødekke ligger i et hellende terreng vil det utsettes for både strekk-, trykk- og skjærkrefter. På grunn av snøens flyteegenskaper vil derfor snødekket få en formforandring gjennom vinteren ved at snødekket utsettes for setning, sig og glidning mot underlaget. Fig. 3.5 viser at snøsiget gjennom en vinter er størst i overflaten og gradvis mindre ned mot bakken. På bildet går det også fram at glidningen mot bakken har vært ubetydelig. Glidning er i Norge bare registrert lang spesielt glatte overflater, grasmark og glatte sva.

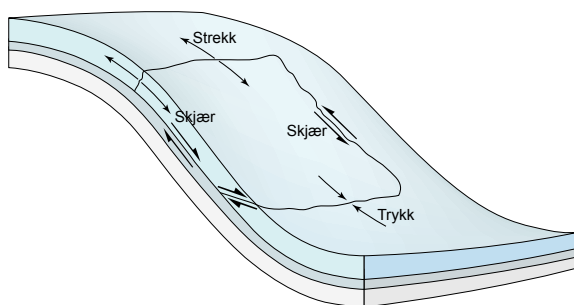


Figur 3.5 Figur som viser at den totale bevegelsen i et snødekke gjennom vinteren består av setninger og sig.
Foto: K. Kristensen, NGI

Hastigheten på setningen og siget er avhengig av hellingen på terrenget og snødekkets tykkelse samt snødekkets densitet og temperatur. Ved stor densitet og i kaldt vær er hastigheten liten, og det er først når hele snødekket har en temperatur på 0°C at hastigheten er betydelig. Denne hastigheten har blant annet betydning for hvor store krefter et snødekke kan overføre mot mastekonstruksjoner og støtteforbygninger.

3.2.4 Spenninger i snødekket

Dersom snødekket er jevnt tykt og ligger i en jevnt hellende bakke vil setningene og siget ikke føre til at det oppstår spenningsforskjeller i snødekket parallelt bakken. Derimot, dersom det er forskjeller i hellingen, forskjellig tykkelse på snødekket eller det er terrengformer som hindrer siget, så vil det gjennom vinteren oppstå store forskjeller i spenningene over relativt korte avstander, fig. 3.6. Figuren viser et snøflak som holdes på plass av tre typer krefter. I den bratte og jevnt hellende delen av fjellsiden er det skjærspenningene som er dominerende. I den nedre delen av flaket bremses sigebevegelsen opp når hellingen på bakken reduseres. Dette fører til at det er trykkspenninger som stabiliserer snødekket i dette området. I den øvre delen vil snøflaket ha større sigehastighet enn snøen som ligger i terreng med mindre helling. Derved etableres det strekkspenninger i dette området.



Figur 3.6 Fordeling av kritiske spenninger i et snøflak. (Figur: Lied og Kristensen 2003)

Med hensyn til utløsning av skred er det som oftest skjærspenningene som overstiger skjærfastheten til det svakeste laget i snødekket, og som derved blir den kritiske faktoren. Øvre kant av et snødekke som løsner vil en bestandig finne der det er markerte strekkspenninger. Disse kan en finne i overgangene med økende helling. Andre steder med markerte strekkspenninger er bak terrengdetaljer som forankrer snødekket, for eksempel store steiner og trær. Denne effekten kan også studeres i forbindelse med takras, hvor bruddkanten ofte går i rett linje mellom punkter som binder snødekket, f. eks pipe, luftekanal og karnappvinduer.

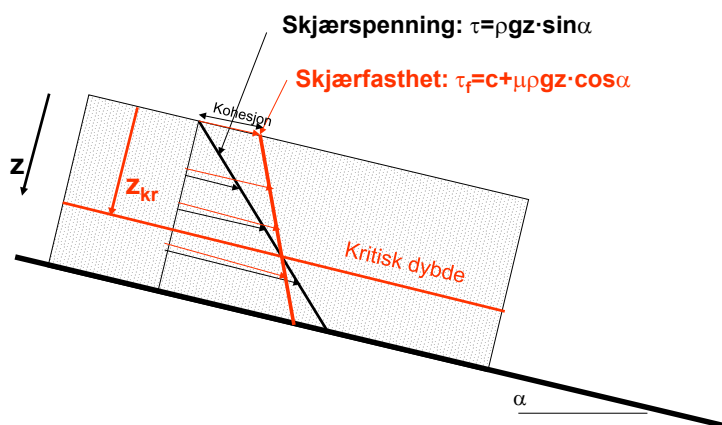
De opptredende skjærspenningene i et snødekke representerer vektcomponenten av snødekket parallelt med bakken. Vektcomponenten er, fig 3.7:

$$\tau_{oppt} = \rho \cdot g \cdot z \cdot \sin \alpha \quad (\text{N/m}^2) \quad (3.2)$$

der: τ_{oppt} = Opptredende skjærspenninger parallelt bakken
 z = Snødybde normalt bakken
 ρ = Snøens densitet
 g = Tyngdens akselerasjon
 α = Terrenghellingen

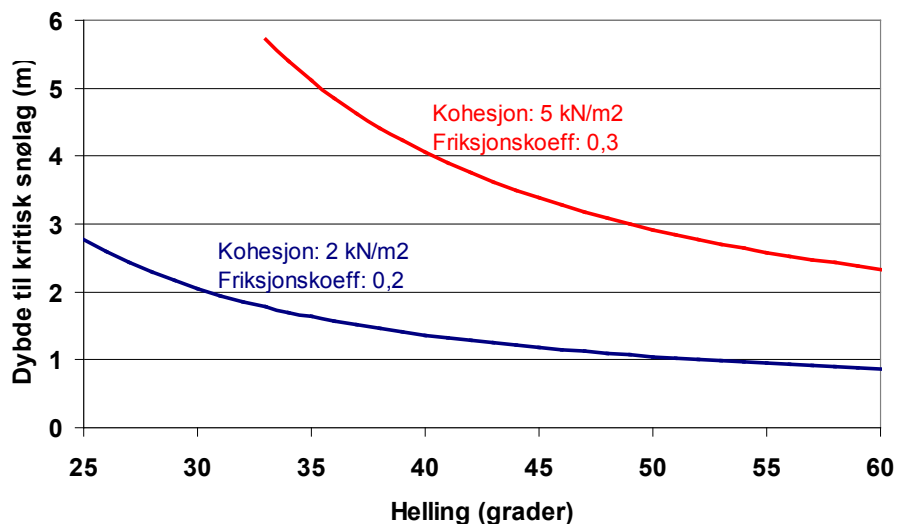
Forutsetningen for å få utløst skred er at de opptredende skjærspenningene i et nivå er lik snødekkets skjærfasthet i det samme nivået. Fig. 3.7 viser variasjonen med dybden av opptredende skjærspenninger og skjærfasthet i et homogent snødekke. Kritisk dybde, z_{kr} , som er representert ved dybden hvor disse to linjene krysser hverandre, er:

$$z_{kr} = \frac{c}{\rho g \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)} \quad (3.3)$$



Figur 3.7 Opptredende skjærspenninger og skjærfasthet i et homogent snødekke.

Dersom en forutsetter at snøens bruddfasthet for glidelaget er konstant, vil den kritiske dybden for å få utløst skred være sterkt avhengig av hellingen i terrenget. I forbindelse med utarbeiding av de sveitsiske normalene med hensyn til fastsetting av parameterverdier for bruddfastheten er det anbefalt å bruke verdiene 2 kN/m² for kohesjon og 0,2 for friksjonskoeffisienten, μ , (Salm et al 1990). Figur 3.8 viser sammenhengen mellom kritisk tykkelse på snølaget og terrenghelling ved to verdier for kohesjon og friksjonskoeffisient. Parameterverdiene for kohesjon er henholdsvis 2 og 5 kN/m² og for friksjonskoeffisienten 0,2 og 0,3. Det første parametersettet representerer forholdene ved spesielt svake snølag, mens det andre representerer øvre verdier for svake snølag.

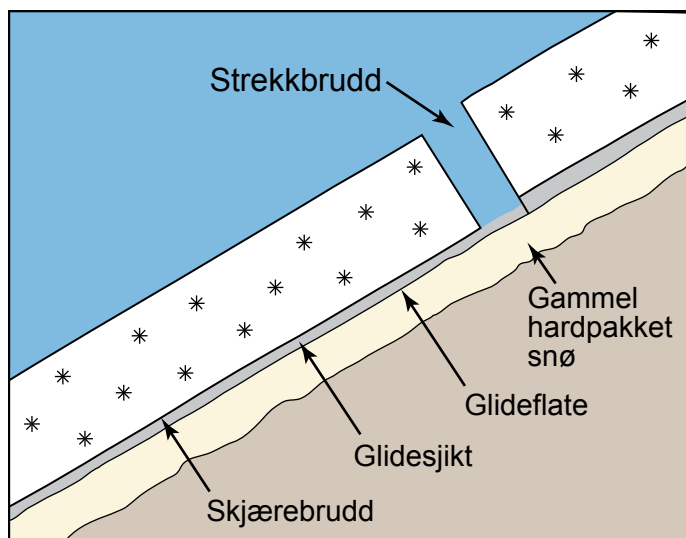


Figur 3.8 Sammenheng mellom terrenghelling og nødvendig tykkelse på snødekket for å få utløst snøskred ved to forskjellige parameterintervall for kohesjon og friksjonskoeffisient.

Fig. 3.8 viser klart at ved hellinger mindre enn 35° så øker kravene til snøtykkelse over det svake laget betydelig, og ved hellinger under 30° så er det bare ved spesielt svak snø langt nede i tykke snødekker at en kan forvente at skred kan bli utløst.

3.2.5 Snødekkets lagdeling

For å kunne vurdere faren for skred er det nødvendig å ha kunnskap om lagdelingen nedover i snødekket, og spesielt om dybden og de fysiske egenskapene til lag med spesielt liten fasthet. Fig 3.9 viser eksempel på et snødekke hvor skredet har utviklet seg langs et glidelag. Dette glidelaget består oftest av eldre snø som har utviklet en grov kornstruktur eller begerkrystaller, rimsnølag, som er dekket av nyere snø eller av oppløste skarelag.



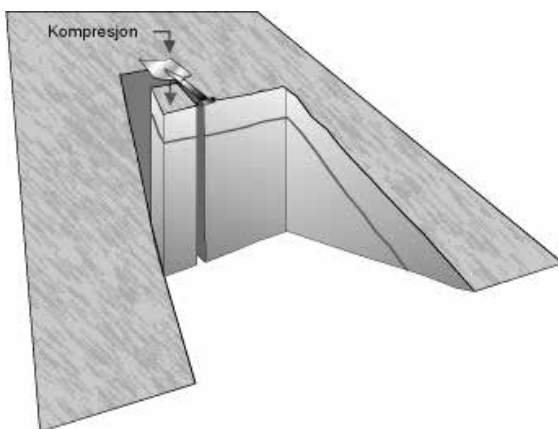
Figur 3.9 De fleste skred utløses langs potensielle glidelag, som er lag med vesentlig dårligere fasthet enn omkringliggende snø.

Kunnskaper om lagdelingen kan en få ved å gjennomføre rammsondeprofiler og ved å grave undersøkelsesbrønner helt ned til bakken for å studere snøens sammensetning og egenskaper i detalj. En enkel metode for å finne potensielle glidelag er spadeprøven, fig. 3.10, som går ut på å grave en sjakt i snødekket. Deretter skjæres en blokk fri langs tre kanter. Spaden settes så i bakkant av blokken, og spadeskafteet trekkes nedover. Dersom blokken løsner ved liten belastning langs et tydelig bruddplan, tyder det på dårlig fasthet i dette laget.



Figur 3.10 Oppbygging av et glidelag mellom gammel hardpakket snø og nyere fast snø. Glidelag kan enklest finnes ved hjelp av spadeprøven. Foto: H. Norem

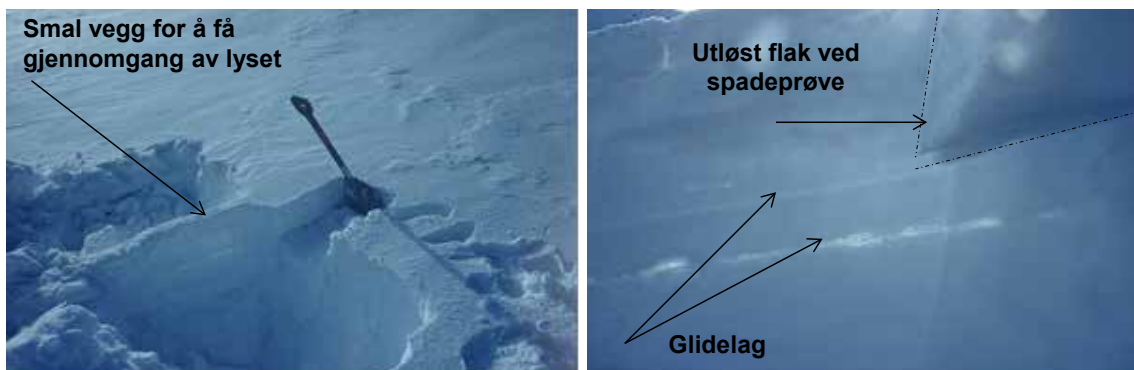
De siste årene er såkalte kompresjonstester blitt tatt oftere i bruk enn rene spadeprøver. Ved kompresjonstester graves det ut en brønn hvor en frittstående søyle på ca. 30 x 30 cm² står igjen, fig. 3.11. En høyde på søylen på 100–120 cm er oftest tilstrekkelig. Dersom snødybden er stor gjentas gravingen slik at en får en ny frittstående søyle. Undersøkelsen av stabiliteten skjer ved at en påfører en last fra toppen. Vanligvis skjer dette ved at en trykker hånden mot en spade med forsiktige slag, og dersom brudd langs en potensiell glideflate ikke oppstår, øker en gradvis kraften i slagene. Hvor stor belastning som er nødvendig for å få et brudd, vil da være en indikasjon på styrken av glide-lagene i snødekket.



Figur 3.11 Illustrasjon for gjennomføring av kompresjonstest. Figur: NGI 2007, foto: T. Humstad

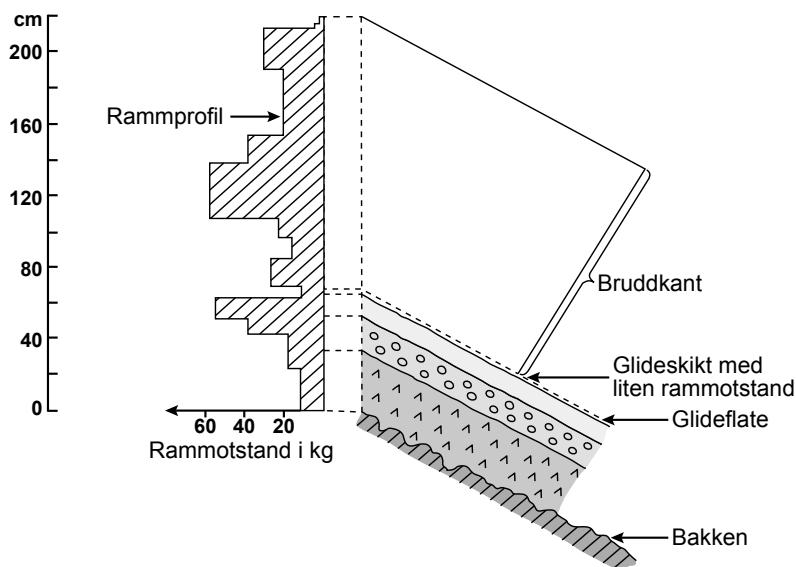
Med hensyn til litteratur om snøundersøkelser vises til mer generelle håndbøker om snøskred, for eksempel McClung og Schaerer (2006), Gabl og Lackinger (1986), Lied og Kristensen (2003), NGI 2007 og NVE 2011.

Glidelag har oftest en løs struktur og kan de kan også finnes ved å grave ut to parallelle brønner slik at det bare står igjen en smal vegg mellom disse. Når en ser mot den ene veggen og lar lyset skinne gjennom vil potensielle glidelag vise seg som tynne, gjennomskinnelige lag, fig. 3.12.



Figur 3.12 Utgraving av en smal vegg for å finne glidelag, som slipper lyset lettere gjennom. Legg merke til hvordan snøflaket som er løst ut med spadeprøven i det høyre bildet harmonerer med et tynt, gjennomskinnelig lag. Foto: H. Norem

Glidelag kan også finnes ved hjelp av rammsonde. Dette er en sonde med et fallodd på toppen, og hvor nedtrengingen i snødekket registreres fortløpende i forhold til antall slag med loddet og fra hvilken høyde det slippes. Styrken på snøen i de forskjellige dybdene beregnes på grunnlag av nedtrengingen og fallenergien, og dette gir mulighet for å tegne opp et profil som viser styrken for hvert lag nedover i snødekket. Et eksempel på et slikt profil er vist i fig 3.13, hvor det er funnet to svake lag, et glidelag hvor skredet ble dannet og et lag med begerkrystaller nær bakken.



Figur 3.13 Eksempel på et snøprofil som viser fastheten som funksjon av snødybden, og lokalisering av glidelag. Tegn: K. Lied

Alle disse undersøkelsesmetodene viser strengt tatt bare stabiliteten av snødekket i det området hvor undersøkelsene blir foretatt. Det er derfor viktig at undersøkelsene blir foretatt i et område som er representativt for det potensielle skredområdet en vil undersøke, og at undersøkelsene foretas på et sted hvor en kan arbeide uten fare for selv å utløse skred.

Generelt gjelder at de største variasjonene i snødekkets sammensetning skjer med hensyn til høydeforskjeller og terrengets helling i forhold til vindretningen. Dersom det er mulig bør en velge ut et observasjonsområde som ligger i samme høydenivå som skredenes utløsningsområde, og som ligger i le for de samme vindretningene som det potensielle skredområdet. Hellingen der en foretar undersøkelsene skal ikke overstige 25° av hensyn til observatørens sikkerhet.

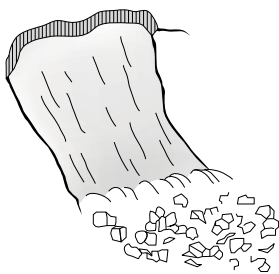
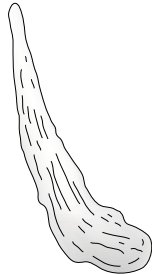

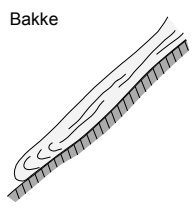
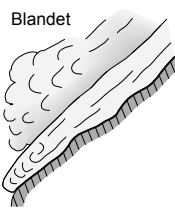
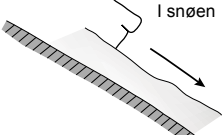
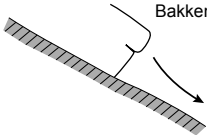
4 Klassifisering av skred

4.1 Skredtyper

Snøskred er en fellesbetegnelse på snø som av naturlige eller kunstige årsaker er satt i bevegelse. Det finnes flere typer av snøskred, og det er derfor naturlig å inndeles snøskredene i flere hovedgrupper.

Den internasjonale snøskredklassifiseringen bygger på tidligere sveitsiske arbeider. Den viktigste grupperingen foretas på grunnlag av skredenes bruddform, og det er to hovedgrupper; løssnøskred og flakskred, fig 4.1. Videre kan en foreta en undergruppering på grunnlag av:

- Glideflatens plassering; i snødekket eller mot bakken
- Bevegelsesmåte; som tunge masser langs bakken, som snøsky eller som blandet skred
- Grad av fuktighet; tørt, fuktig eller vått
- Utløsningsfaktor; naturlig eller kunstig utløste skred

Utløsningsstype	Flakskred		Løs - skred	
				
Bevegelse	Luft	Bakke	Blandet	
				
Glideplan	I snøen		Bakken	
				
Vann - innhold	Tørt	Fuktig	Vått	

Figur 4.1 Klassifikasjon av snøskred i løssnøskred og flakskred, og videre inndeling i undergrupper.

En spesiell type snøskred som er vanskelig å plassere i denne grupperingen er sørpeskred. Denne skredtypen er karakterisert ved at porevolumet mellom snøkornene er fylt med fritt vann. Skredmassene har derfor liten kohesjon og skredene har en strømningsform som likner flomskred. Med hensyn til sikring mot sørpeskred har erfaring også vist at sikringsmetoder som er effektive mot flomskred i stor grad også er effektive mot sørpeskred. I håndbokserien til Statens vegvesen er sørpeskred derfor behandlet i Hb V139 Flom- og sørpeskred.

4.2 Løssnøskred

Løssnøskred oppstår i snø med svake bindinger mellom krystallene. Vanligvis er dette nyfallen snø, eller våt snø som har fått redusert kohesjonen på grunn av oppvarming eller regnvær. Løssnøskred starter ofte fra et punkt hvor en får en lokal utglidning, fig 4.2. Etter den punktformete utløsingen blir nye snøkorn revet med, og skredet vokser i størrelse. Løssnøskredene får derfor en pæreformet karakter med øket bredde nedover i skredbanen, og skredet stopper relativt raskt opp når terrenget blir slakere, fig 4.2.

De fleste løssnøskredene opptrer under kraftig snøvær og før snødekket har satt seg. Ved omslag til intense varmeperioder og i forbindelse med kraftig solinnstråling kan det også være stor aktivitet av løssnøskred. En vanlig årsak til utløsning av løssnøskred er at det faller snøballer ned på snødekket, enten fra skavler, berghamre eller trær. Derfor ser en ofte at løssnøskred starter rett nedenfor spesielt bratte partier i fjellet hvor det er naturlig at lokale utglidninger kan skje, fig 4.2.



Figur 4.2 Foto av løssnøskred. Foto: NGI

Hvert enkelt løssnøskred har gjennomgående lite volum og utløpsdistansen for løssnøskred er beskjeden. Skredtypen fører derfor til mindre skade i forhold til de større flakskredene, men de kan likevel være tilstrekkelig store til at alvorlige ulykker oppstår og at vegene blir sperret. Dessuten er hyppigheten av skred ofte stor i perioder med løssnøskred. Det kan derfor forekomme flere skred på samme dag, også i det samme skredløpet, slik at driftspersonell og trafikanter som stopper langs vegen er spesielt utsatt i perioder med fare for løssnøskred.

4.3 Flakskred

Navnet flakskred kommer av at en større del av snødekket, et flak, utløses samtidig langs et glideplan, fig. 4.3. Flakskredet er karakterisert ved at skredet løsner langs en markert bruddkant i øvre del av skredet og langs et glideplan med liten fasthet. Alle større skred er av flakskredtypen. Denne skredtypen er derfor dimensjonerende ved beregning av skredenes utløpsdistanse og belastninger på eventuelle sikringstiltak.



Figur 4.3 Utvikling av et flakskred som er utløst kunstig. Foto: T. Salway, Canada

Bruddkanten finner en der snødekket har de største strekkspenningene. Dette vil si i overgangen fra slakt til brattere terreng, der det er stor økning i snødybden, for eksempel under hengeskavler eller rett nedenfor områder hvor snødekket har god forankring, nedenfor berghamre eller treklynger. Bruddkanten står bestandig normalt på terrenghellingen, fig. 4.3 og 4.4.

Bruddkantens høyde varierer oftest mellom 0,5 og 2,0 m, men kan i sjeldne tilfeller bli opptil 10 m. Bredden på bruddkanten kan variere fra ti-talls meter til hundretalls meter, og det er registrert bruddkanten opptil 1–2 km. Det er derfor store variasjoner med hensyn til volumet av flakskredene og disse varierer vanligvis innenfor 100 og 100 000 m³, og med 1 million m³ og mer som øvre grense.

De aller fleste flakskred løsner fordi en får et lokalt brudd i svake lag i snødekket, fig 3.9 og 3.10. Det lokale bruddet kan skyldes hurtig pålastning av snødekket på grunn av kraftig nedbør, avsetning av fokksnø, vekten av skiløper, nedfall av skavler eller sprenging for å utløse skredene kunstig. I enkelte tilfeller kan det lokale bruddet også skje i snøflakets strekksone, fig 3.6. Et initialbrudd i strekksonen er mest sannsynlig i forbindelse med kraftig snøfall eller avsetning av fokksnø.

Sent på vinteren, når snødekket nærmest bakken er i smeltefasen, kan en også oppleve at flakskred løsner langs bakken. Forutsetningen for at dette skal skje er at bakken har liten friksjon, for eksempel grasbakke eller svaberg, og smeltevann langs bakken reduserer bindingene mellom bakken og snøen til et minimum.

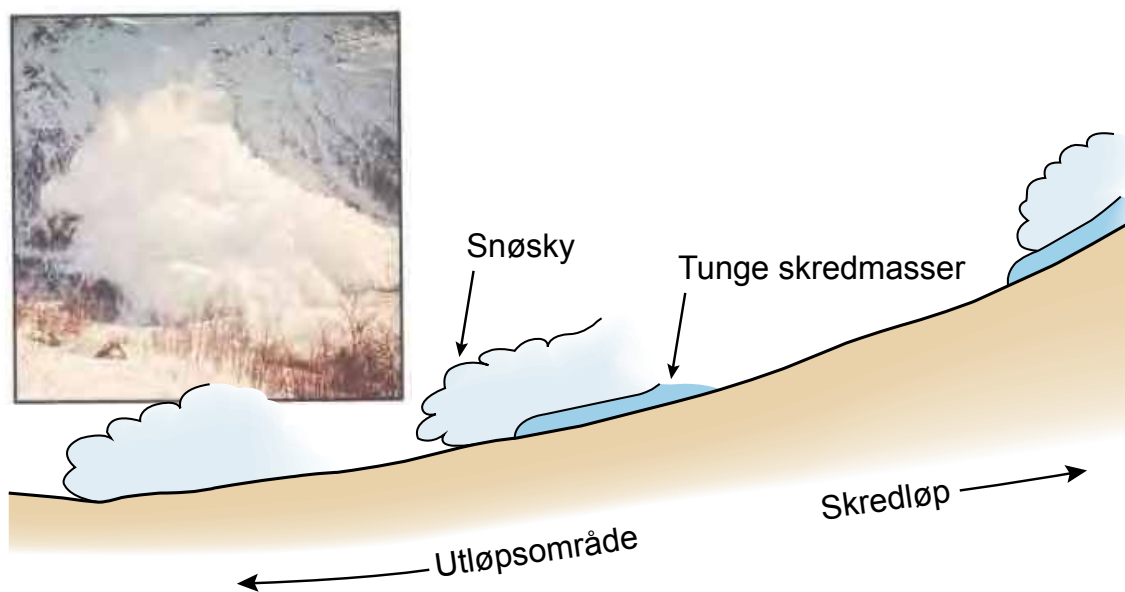
Når et lokalt brudd skjer, fører dette til en sterk reduksjon av skjærfastheten. Reduksjonen av fastheten fører til at i området rundt bruddet vil skjærspenningene øke, for å kunne holde snødekket på plass. Dersom bruddstyrken til snølagene rundt er for liten til å ta opp disse ekstrabelastningene, vil det skje en rask bruddforplantning til sidene. Gabl og Lackinger (1986) oppgir at bruddforplantningen kan skje med hastigheter opptil 100 m/s, og det er denne raske bruddforplantningen som gjør at store snømengder kan løsne som et flak.

Kort tid etter at flakskredet er satt i bevegelse brytes strukturen i snødekket ned, og skredet beveger seg oftest som et granulært materiale. Tørre snøskred beholder en finkornet struktur under hele skredbevegelsen, mens det i fuktige og våte skred skredmasser ofte danner seg snøballer, 5–50 cm i diameter. Dersom snømassene over glidelaget har spesielt stor fasthet, vil snøflaket bare i liten grad gå i oppløsning, og i korte skredbaner kan flaket være nesten intakt når skredet stopper opp.



Figur 4.4 Foto av bruddkant og et flakskred hvor flaket i liten grad har gått i oppløsning. Foto: J. O. Larsen

De fleste snøskred består av to hovedkomponenter, tunge skredmasser nærmest bakken og en snøsky, fig 4.5. I enkelte skred kan det også være lag med snøballer som beveger seg i store hopp i grensesonen mellom disse to lagene.



Figur 4.5 De fleste snøskred av en viss størrelse består av tyngre masser som beveger seg nær bakken, og en snøsky over dette laget med suspenderte partikler. Snøskydelen har ofte lengre utløp enn de tyngre massene. Foto: I. Tøndel

I de tunge skredmassene, som har god kontakt med bakken, er partiklene i nær kontakt med hverandre, og skredene har relativt stor tetthet, vanligvis ca $100\text{--}200\text{ kg/m}^3$ for tørre skred og opptil 300 kg/m^3 for våtsnøskred. Det er også de tunge massene som bestemmer fronthastigheten i den bratte delen av skredbanen, og som har størst ødeleggende effekt. Tørre snøskred kan få en hastighet inntil $60\text{--}70\text{ m/s}$ ($210\text{--}250\text{ km/t}$), mens fuktige og våte skred oftest har noe mindre hastighet, og det er kun spesielt store skred av denne typen som har hastigheter som overstiger 40 m/s (140 km/t).

Over de tunge massene dannes det en markert snøskya. Dette gjelder spesielt for tørrsnøskred, men snøskydelen kan også bli betydelig for skred med fuktig og våt snø. Partiklene i snøskya holdes oppe på grunn av turbulens og er i liten grad i kontakt med hverandre under skredbevegelsen. På grunn av at turbulensen er størst nær bakken vil konsentrasjonen av snøpartikler være størst nær de tunge skredmassene, og bli redusert med høyden. I et tørrsnøskred, som vist på fotoet i fig 4.5, kan snøskydelen bli inntil 50 m høy. I den bratte delen av skredbanen vil fronten av snøskya ligge 10–20 m bak fronten av de tunge massene. Når terrenget blir slakere vil de tunge massene bli bremsset ned og snøskydelen passerer de tunge massene, og kan ha et utløp flere hundre meter lenger enn de tunge massene.

Formen på skredbanen er avgjørende for hvordan skredet beveger seg. De tunge massene har god kontakt med terrenget og lar seg i stor grad styre av terrengformasjoner. De følger derfor oftest bekkedaler og forsenkninger, men dersom retningsendringen av disse er markert er det vanskelig å styre skredmassene. Snøskydelen, derimot, har liten kontakt med bakken og følger derfor terrenget i mindre grad. For enkelte skred kan de tunge massene og snøskydelen skille lag og sperre vegen på to forskjellige steder. Fotoet på fig. 4.6 viser et skredområde hvor de fleste skredene følger bekkeløpet ned mot vegen, og hvor det bare er større skred og snøskydelen som sperrer vegen nedenfor åpningen i grantrærne.



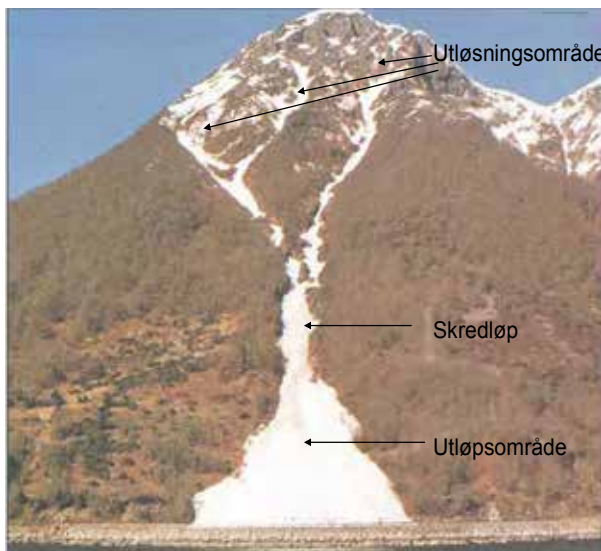
Figur 4.6 Foto av et skredområde hvor de hyppigste skredene følger bekkedalen, mens større skred og snøskydelen i mindre grad styres av forsenkninger og rygger, Indre Rotagjelet, rv. 7, Hordaland. Foto: H. Norem

5 Karakteristiske trekk ved skredfarlig terreng

5.1 Inndeling av skredbanen

Ved analyse av skredfarlig terreng er det vanlig å inndele en skredbane i tre soner, fig 5.1:

- Utløsningsområdet; som omfatter området fra bruddkanten og til nedre kant av flaket som glir ut
- Skredløpet; som er den delen av skredbanen hvor skredet øker i hastighet eller har tilnærmet konstant hastighet
- Utløpsområdet; hvor skredet bremses ned og til slutt stopper



Figur 5.1 Foto av en skredbane som består av; utløsningsområde, skredløp og utløpsområde. Foto A. Hustad

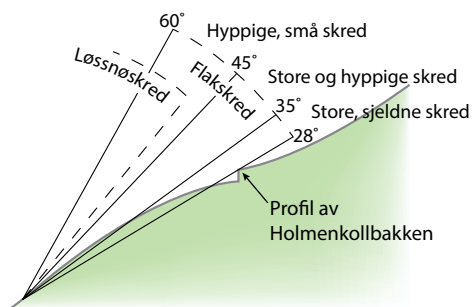
5.2 Utløsningsområdet

De viktigste faktorene som bør kartlegges i utløsningsområdet med hensyn til å vurdere sannsynligheten for at skred kan forekomme er:

- Terrenghellingen
- Terrenghellingen i forhold til nedbørsførende vindretninger
- Karakteristiske terrengformasjoner
- Terrenghellingen i forhold til solinnstråling
- Vegetasjon og ruhet

5.2.1 Terrenghellingen

En forutsetning for å få utløst skred er at skjærspenningene i snødekket overstiger skjærfastheten ved en kritisk dybde. Dette tilsier at det er både en nedre og øvre grense for terrenghellingen hvor skred kan opptre, som i praksis er 28° og 60°, fig 5.2.



Figur 5.2 Sammenheng mellom terrenghelling i utløsningsområdet og skredtyper. Profil av den tidligere Holmenkollbakken er vist som sammenlikningsgrunnlag for hellingen.

I slake utløsningsområder er det nødvendig med et svakt glidelag langt nede i snødekket dersom skjærspenningen skal overstige bruddfastheten, se fig 3.8. Det er bare i enkelte år at slike kombinasjoner forekommer. Dersom forholdene for skred i slake utløsningsområder ligger til rette for det, blir gjerne skredet stort.

I bratt terreng vil skjærspenningene overstige skjærfastheten selv ved små snømengder, og uten at spesielle glidelag er blitt utviklet. I slikt terreng vil en derfor få mange og hyppige skred i forbindelse med hvert snøfall. Løssnøskred er også mer hyppig i brattere terreng. Fig 5.3 viser eksempel på et parti med svaberg med helling på ca. 45°, og hvor vegen sperres av flere skred de fleste årene.



Figur 5.3 I bratt terreng får en oftest mange, men relativt små skred, i løpet av en vinter. E 10 Okshamrane, Lofoten, Nordland. Foto: H. Norem

I terreng mellom 35° og 50° løser det både hyppige og store skred de fleste vintrene. Ved denne hellingen er det stor sannsynlighet for at det kan bygge seg opp store snømengder over glidelag nede i snødekket. Det er derfor kombinasjonen av frekvensen med kritiske fastheter i glidelagene og mektigheten av snødekket over disse som gjør at dette er en kritisk helling med hensyn til frekvens

av store skred. Fig 5.4 viser eksempel på at det er i det sentrale området med kritisk helling og store snømengder at vegen blir sperret av store skred. I sideområdene for det sentrale skredløpet, med brattere terreng, viser terrenget at det er mer smale og mindre skred som opptrer.



Figur 5.4 De største skredene opptrer der terrenget har helling på 35–45° og hvor det kan samle seg store snømengder. Der terrenget er brattere enn 45° opptrer skredene oftere som mindre skred, og som vises som smale skredbaner i terrenget. Fv. 862 Svarthola, Senja, Troms. Foto: H. Norem

Spesiell oppmerksomhet bør vies bratte fjellsider hvor det er markerte hyller med slakere helling, men likevel større enn kritisk helling for skred. Slike hyller kan oversees både i forbindelse med terrenganalysene for planlegging av ny veg og når en vurderer faren for skred under driften. Fig.5.4. viser at det er hyller med kritisk helling ovenfor det nedre utløsningsområdet. I spesielle situasjoner kan det forekomme skred fra disse etter at hovedskredet i det nedre området er blitt utløst.

Skredfarlig terreng er i hovedsak alt terreng som er brattere enn 28°. Dette gjelder også områder med relativt små høydeforskjeller, selv ned til 10 m. Det er flere eksempler at veger har blitt sperret av mindre utglidninger av snø fra vegskjæringer og lokale bratte partier ovenfor vegen, fig 5.5. Det er også eksempler på skred som har løsnet fra ledevoller og sperret vegen.



Figur 5.5 Skredfarlig terreng er alt terreng med tilstrekkelig helling, selv der høydeforskjellene er beskjedne, Foto: S.H. Frækaland

5.2.2 Terrenghelling i forhold til vind og nedbør

I tillegg til terrenghellingen har terrengets evne til å samle store snømengder betydning for hvor og hvor ofte det går skred. Størst fare for skred er det på de stedene som ligger i le for nedbørsførende vindretninger eller vind som fører drivsnø fram til fjellsidene, fig 5.6. Målinger har vist at snømengdene da kan bli mer enn tre ganger det som er normal snømengde, Meister (1989).



Figur 5.6 Avlagring av snø i forsenkninger i en fjellside som ligger i le for nedbørsførende vindretninger. Fv. 173 Nordvågen, Finnmark Foto: H. Norem

Generelt samler fjellsider som ligger i le av store platåer mer snø enn mer alpine formasjoner. Dette skyldes at drivsnømengdene som driver langs bakken kommer i tillegg til snøen som avsettes i de store virvelsystemene i lesider, fig 2.6.

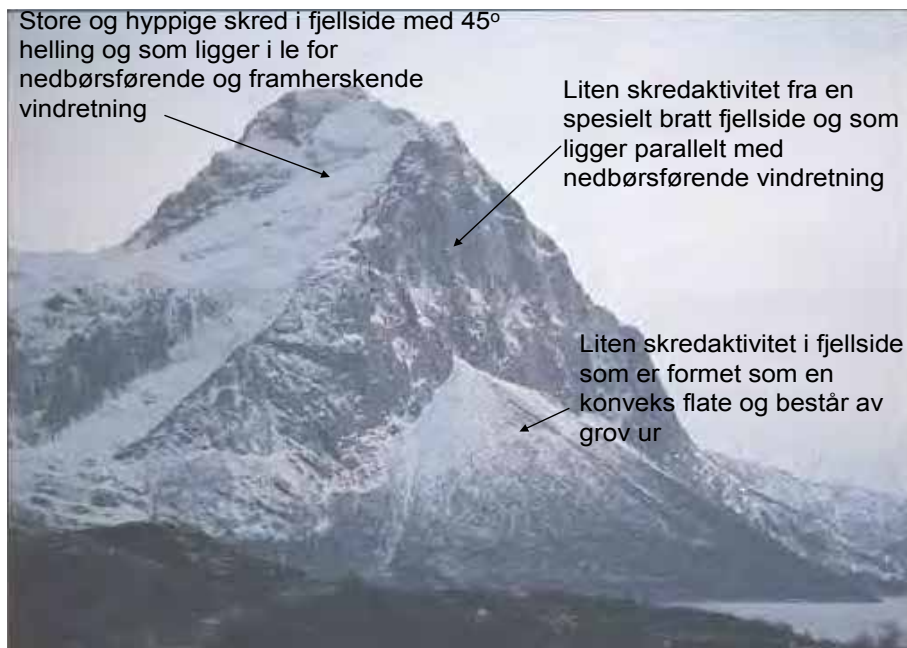
Fjellsider som ligger på lovart side i forhold til framherskende og nedbørsførende vinder har oftest en lavere skredfrekvens enn lesider. Ved sterk nedbør i stille vær vil det imidlertid også i slike fjellsider opptre skred.

5.2.3 Karakteristiske terrengformasjoner

De terrengformasjonene som samler mest snø er større forsenkninger som skålformer, elvegjel og markerte skar, fordi disse samler snø fra flere vindretninger. Dessuten er det oftere mindre vind i slike forsenkninger slik at snøen i lesjonene avsettes lettere. Skred utløses derfor hyppigere fra skålformete formasjoner enn fra rygger og store, vindeksponerte flater. Fig 5.6 viser at fjellsida ved veggen til Nordvågen er en leside på grunn av skavlene som har bygget seg opp ved kanten av platået. Dessuten ser en hvordan snøavlagringen først og fremst finnes i skålene og forsenkningene i denne fjellsida. Det samme forholdet vises også tydelig på fig 5.4.

Hvilke typer terrengformasjoner som er viktig å registrere er videre illustrert i fig 5.7. De største og hyppigste skredene finner en i det skålformete partiet til venstre på bildet. Dette partiet ligger i le for både framherskende og nedbørsførende vind fra sørvest.

I den bratte fjellveggen på fig. 5.7 løsner det aldri store snøskred fordi fjellsida er for bratt til at det kan samle seg mye snø. Dessuten ligger denne fjellsida parallelt eller på luv side av nedbørsførende vindretninger. I den store ura nedenfor det bratte partiet er det også sjelden at skred vil bli utløst til tross for at hellingen er ca. 35°. Dette skyldes at ura ligger gunstig i forhold til vindretningen og fordi de store blokkene binder snødekket.



Figur 5.7 Foto av skredfarlig fjellside med store variasjoner av skredhyppighet på grunn av helling og eksposisjon i forhold til framherskende og nedbørsførende vindretninger. Foto: H. Norem

5.2.4 Terrengets retning i forhold til solinnstrålingen

Terrengets retning i forhold til solinnstrålingen har også betydning for hvor og når det går skred, men betydningen av dette forholdet er langt mindre enn med hensyn til eksponeringen i forhold til nedbørsførende og framherskende vindretninger. Fjellsider som ligger i skyggesiden får gjennomgående lavere temperaturer enn fjellsider som er vendt mot sør. En får derfor noe lettere bygget opp begerkrystaller i slike fjellsider. Dessuten vil rimsølager lettere beholde sin opprinnelige struktur dersom de ikke blir varmet opp av sol midt på dagen. Svake glidelag har derfor lettere for å utvikle seg og beholde sin løse struktur i skyggesider enn i mer solrike fjellsider, og er derfor noe mer utsatt for skred midtvinters.

På den annen side tilføres de mer solrike fjellsidene mer solenergi om våren, og faren for våtsnøskred er oftest større i slike fjellsider enn i mer skyggefulle og nordvendte fjellsider.

5.2.5 Vegetasjon og overflateforhold i utløsningsområdet

Skred forekommer sjelden før snøen har dekket ujamnheter i utløsningsområdet. En ru overflate i utløsningsområdet krever derfor større snømengder i området før det kan utvikle seg farlige glidelag over ujamnheterne, fig 5.5. En får derfor hyppigere skred i en fjellside med liten ruhet, enn der det stikker opp store steiner eller andre ujamnheter.

Vanligvis vil det være god binding mellom snødekket og bakken om vinteren, slik at det er sjelden at en ser snøskred som har løsnet mot bakken. Derimot kan det forekomme våtsnøskred langs svaberg eller grasbakker i forbindelse med intens smelting, som gjør at smeltevann ødelegger bindingene mellom bakken og snøen.

Trestammer, som er sterke nok til å motstå sigetrykket, binder snødekket godt, men avstanden mellom trærne bør ikke overstige 5 m for å kunne eliminere skredfaren. Glissen skog i utløsningsområdet er derfor ingen garanti for at skred ikke kan forekomme.

5.3 Skredløpet og utløpsområdet

5.3.1 Skredbevegelsen i utløpsområdet

Skredløpet deles inn i to hovedgrupper, kanaliserte og åpne skredløp. I kanaliserte løp følger den tunge delen av skredet kanaliseringen, og det er enkelt å forutsi hvor hovedtyngden av skred vil treffe vegen. Det forekommer imidlertid ofte at større skred har større bredde enn kanaliseringen og det kan da være vanskelig å bestemme dimensjonerende bredde for skredene. Det forekommer også at de deler av skredene som går utover kanaliseringen tar helt nye løp, og kan sperre vegen langt til side for der hovedskredet når vegen, fig 4.6.

I åpne skredløp med få terrengformasjoner som styrer skredbevegelsen, vil skredene få tilnærmet samme bredde som løpsområdet. I utløpsområdet, hvor skredene bremses opp, er det imidlertid en tydelig tendens til at skredene utvider seg i bredden. Dette skyldes at noe av de bakre massene i skredet blir presset ut til sidene når fronten av skredet bremses ned.

Effekten med at skredmassene brer seg ut til siden i utløpsområdet, ser en ofte også i kanaliserte skredløp. Dette gjelder særlig der selve skredløpet er kanalisert mens utløpsområdet består av en skredvifte, fig 5.1. I slike tilfeller vil lengden av vegen som blir sperret langt overstige bredden av skredet i det kanaliserte skredløpet.

Ved analyse av skredløpet og utløpsområdet er det viktig å vurdere effekten av rygger og forsinkinger som har en retning som avviker fra skredets hovedretning. I noen tilfeller vil slike terrengdetaljer være tilstrekkelige til å styre skredene i en bestemt retning, mens i andre tilfeller vil større skred i liten grad bli påvirket av terrenget. I mange tilfeller vil også de tunge massene i skredet sperre vegen i et annet område enn der snøskydelen av skredet passerer vegen. Generelt gjelder at tørre skredmasser er mindre styrt av rygger og daler, og har derfor en mer rettlinjet bevegelse. Våte snøskred følger terrengformasjonene langt bedre. På den annen side kan våtsnøskred avsette rygger av snø i selve utløpsområdet, slik at de bakre skredmassene tar en helt annen retning enn fronten av skredet. Figur 5.8 viser et våtsnøskred hvor fronten gikk rett fram i skredets hovedløp, mens de bakre massene ble styrt av skredavsetninger og ble ledet inn i en sidedal, hvor de sperret vegen.



Figur 5.8 Foto av et våtsnøskred hvor fronten av skredet fulgte skredets hovedretning rett fram, mens de bakremassene ble ledet inn i en sidedal. Fv. 806 Byrtedalen, Vinje, Telemark. Foto: H. Norem

Fig.5.9 viser et eksempel der vegen er sikret mot de hyppigste skredene ved hjelp av et overbygg. Overbygget sikrer mot skredene som kommer i det høyre skredløpet og mot de faste skredmassene som føres inn mot overbygget ved hjelp av den lange bekkedalen som fører fra venstre mot høyre i bildet. Vegetasjonen viser imidlertid tydelig at større skred har passert bekkedalen og gjort store skader på vegetasjonen til venstre for overbygget.



Figur 5.9 Foto av fjellside hvor en rygg i terrenget styrer de tunge skredmassene mot overbygget, mens større skred og snøskydelen av skredene går rett fram og sperrer vegen på venstre side av overbygget, fv 655 Bustene, Møre og Romsdal. Foto: H. Norem

5.3.2 Indikasjoner på skred i terrenget

Det er mange tegn i naturen som kan gi indikasjoner på hvor snøskred forekommer. De viktigste er skader på vegetasjonen, erosjonsskader og avsetning av skredtransportert materiale.

Skred vil som oftest gi skader på vegetasjonen, selv om det i mange tilfeller skal et trent øye til for å oppdage skadene. Generelt vil treslag som er sprø i kaldt vær brette, mens myke tresorter vil bli presset ned av skredmassene, fig 5.9. Der det forekommer gran, furu og osp i fjellsida, men med åpne, vertikale striper uten disse treslagene, er dette som oftest et sikkert tegn på skredaktivitet, fig 5.10 og 4.6. Likeledes kan et tett bestand av kun yngre, myke trær som or og bjørk, gi indikasjoner på at det forekommer store, men ikke så hyppige skred i området.



Figur 5.10 Eksempler på skredskadet skog. Venstre bilde viser skadet bjørkeskog, og høyre bilde hvordan skredet først og fremst har ødelagt grantrærne. Foto H. Norem

Karakteristisk for skredskadet skog i forhold til vindfall og flomskred er at rotsystemet ikke blir ødelagt. På nedpressete trær, som ikke reiser seg igjen, vil nye skudd på stammene danne nye toppskudd, og ved å telle årringene på disse toppskuddene kan en anslå tidspunktet for skredet. Et annet karakteristisk trekk ved skredskadet skog er lange skjærbrudd i stammens lengderetning. Disse finnes som oftest i snøhøyden ved tidspunktet for skredet.

Snøskydelen av skredet fører til skader høyere opp på stammen. Det er spesielt greinene på skred-siden av treet som skades, og dersom en ser eldre trær som bare har greiner i skredretningen er dette sterke indikasjoner på skredaktivitet.

Mange snøskred fører også med seg stein. Det kan imidlertid være vanskelig å avgjøre om steiner på bakken er avsatt av snøskred eller transportert til området på andre måter. Skredtransportert stein får oftest kontakt med bakken først etter at snøen har smeltet. Hvis vegetasjonen under steinen ikke er skadet, steinen ligger på toppen av nedbøyde stammer, eller mindre stein ligger på toppen av større stein, er dette indikasjoner på snøskred, fig 5.11.



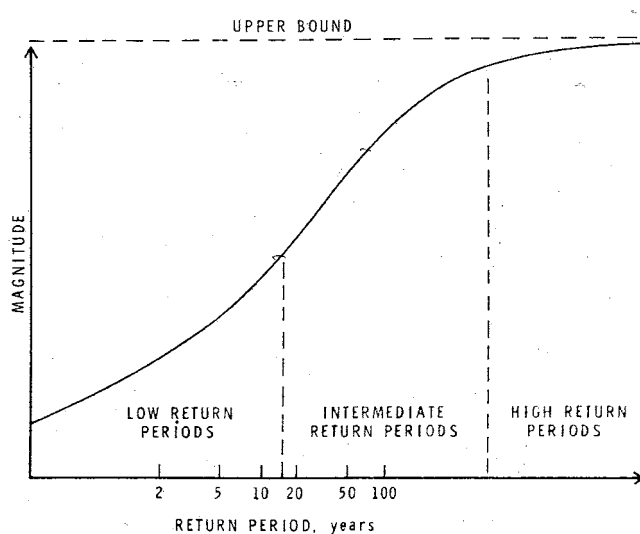
Figur 5.11 Eksempel på skredtransportert stein som har stoppet opp mot bjørketrær. Foto H. Norem

6 Beregning av hastigheter, utløpsdistanser og trykk mot konstruksjoner

6.1 Valg av dimensjonerende skred

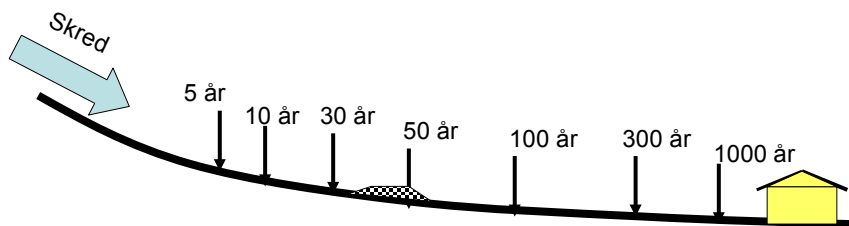
All erfaring med hensyn til registrering av skred, feltforsøk og teoretiske analyser viser at det er en klar sammenheng mellom størrelsen på skredene, hvor langt skredene går, maksimal hastighet og hvilke trykk de påfører konstruksjoner i skredbanen. For en bestemt skredbane er det også en klar sammenheng mellom størrelsen for skredene og hyppigheten for en bestemt skredstørrelse.

Fitzharris (1981) analyserte registrerte skredhendelser i perioden 1909 til 1977 mot jernbanen gjennom Rogers Pass i Canada med hensyn til returperioder, størrelsen på skredene og utløpsdistanse. På bakgrunn av denne undersøkelsen presenterte han prinsippskissen i fig 6.1 for sammenhengen mellom størrelsen på skredene og returperioder. Figuren viser at størrelsen på skredene øket gradvis med økende returperiode. Imidlertid, ved en returperiode over 200–300 år var denne økningen mindre markert. I løpet av en så lang periode har sannsynligvis alle kritiske situasjoner mellom snødybde og fastheten til glidelaget oppstått, og han antok derfor at det er en øvre, praktisk grense for hvor store snøskredene i en bestemt skredbane kan bli.



Figur 6.1 Prinsippskisse som viser sammenheng mellom skredstørrelse og returperiode.
Figuren er basert på data fra Rogers Pass i Canada. Fitzharris 1981

Tilsvarende kan en utvikle en prinsippskisse for utløpsdistanse som en funksjon av returperioden, fig 6.2. I figuren er det lagt vekt på at økningen i utløpsdistanse er relativt sett mindre fra 5 til 30 års returperiode enn fra 50 år og til 300 år. På fig. 6.2 går det tydelig fram at det er stor forskjell på hvor stort område som bør betraktes som skredfarlig, dersom en planlegger en veg med krav til ca 50 års returperiode enn et hus med krav til 1000 års returperiode.



Figur 6.2 Prinsippkisse som viser forholdet mellom utløpsdistanse og returperiode.

Byggteknisk forskrift (Kommunal og regionaldepartementet 2010) har fastsatt krav til dimensjonerende returperiode for hus. Denne er 1000 år for hus med menneskelig aktivitet og 100 år for hus med liten aktivitet, for eksempel garasjer og lagerhus. Det er verdt å merke seg at det strengeste kravet også gjelder for anleggs- og verkstedsbrakker, selv om disse bare skal brukes i en vinter.

Det finnes ingen tilsvarende forskrifter og normaler for planlegging og bygging av veger i Norge. Ved bygging av stamveger og viktige riksveger er det praksis for å ta hensyn til skred med returperiode inntil 50 år for nye veger, mens planlegging av sikringstiltak på eksisterende veger bør gis en sikkerhet for ca 20–50 års returperiode. For det øvrige vegnettet kan en redusere disse kravene noe, avhengig av trafikkmengde og hva som er mulig å oppnå innenfor de resurser som er tilgjengelige. Se også avsn. 9.1

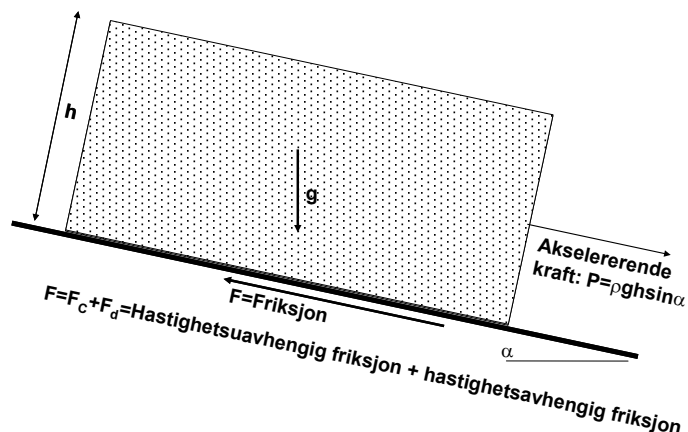
Spesiell oppmerksomhet må vies til steder hvor folk oppholder seg i lenger tid. Dette gjelder for eksempel fergekaier, bussholdeplasser og rasteplasser. På slike områder bør en minst kreve en sikkerhet som for garasjer og lagerplasser, 100 års returperiode. Dersom det forutsettes kommersiell virksomhet i forbindelse med fergekaier, må denne virksomheten tilfredsstille de strengeste kravene til sikkerhet mot skred.

6.2 Beregning av skredhastigheter

Det er viktig å kunne anslå hastigheten til dimensjonerende skred, fordi hastigheten har stor betydning for valg av sikringstiltak og hvordan disse skal utformes og dimensjoneres. Ut fra et ingeniørmessig synspunkt er det først og fremst hastigheten i utløpsområdet som er interessant. Dette skyldes at det er i dette området at vegen og eventuelle sikringstiltak oftest er lokalisert.

6.2.1 Spenninger som kontrollerer skredbevegelsen

Dersom vi betrakter et lite volum av skredmassene som beveger seg nedover en dalside, så er disse påvirket av både akselererende og retarderende spenninger, figur 6.3. Det er tyngdekomponenten parallelt bakken av skredmassene som utgjør de akselererende spenningene, mens det er forskjellige former for friksjon som utgjør de retarderende.



Figur 6.3 Krefter som virker på et kontrollvolum av skredmassene.

Etter Newtons første lov er produktet av masse og akselerasjon proporsjonal med differensen av de akselererende og retarderende kreftene. Dersom kontrollvolumet omfatter et enhetsareal kan følgende likning settes opp:

$$ma = \rho \cdot h \frac{dv}{dt} = P - F = \rho \cdot g \cdot h \cdot \sin \alpha - (F_c + F_d) \quad (6.1)$$

der	m	= massen (kg)
	a	= akselerasjonen (m/s ²)
	ρ	= densiteten (kg/m ³)
	h	= skredets flyte høyde (m)
	v	= skredets hastighet (m/s)
	t	= tid (s)
	P	= akselererende kraft pr. arealenhet (N/m ²)
	F	= friksjonskraft pr. arealenhet (N/m ²)
	F_c	= friksjon uavhengig av hastigheten (N/m ²)
	F_d	= hastighetsavhengig friksjon (N/m ²)

F er den totale friksjonskraft pr areal som virker i retning mot skredbevegelsen. Dersom denne kraften er mindre enn tyngdekomponenten, P, vil massene akselerere, og motsatt der disse er større enn tyngdekomponenten. Dersom disse er like store vil skredet få en tilnærmet konstant hastighet, som utgjør skredets maksimale hastighet, eller terminalhastigheten, ved den gitte hellingen.

Ved utvikling av modeller for å kunne beregne skredenes hastighet og utløpsdistanse er det vanlig å gruppere friksjonskraften i to hovedgrupper, en gruppe friksjon som er uavhengig av hastigheten, F_c og en friksjonstype som øker med hastigheten, F_d , fig. 6.3 og likn. 6.1. Dersom all friksjon er uavhengig av hastigheten, vil skredene aldri nå en terminalhastighet. De fleste skred ser imidlertid ut til å oppnå en tilnærmet terminalhastighet i bratt terreng. Derfor må den hastighetsavhengige friksjonen representere en vesentlig del av den totale friksjonen for de aller fleste skredtypene.

På den annen side, dersom all friksjon er representert ved en friksjon som bare er avhengig av hastigheten, vil alle skred først stoppe etter at de har kommet ut på flat mark. Siden alle snøskred ser ut til å kunne stoppe i nedoverbakke, og de oppnår også en konstant hastighet i bratt terreng, må friksjonen bestå av ledd som er både avhengige og uavhengige av hastigheten.

6.2.2 Numeriske modeller

Det foreligger i dag en rekke numeriske modeller for beregning av hastigheter og utløpsdistanser for de fleste skredtyper. Kompleksiteten til modellene varierer i stor grad. De enkleste modellene beregner hastigheten og utløpsdistansen for skredenes tyngdepunkt. Eksempel på disse er modellen til Voellmy (1955) og til Perla et al (1980) (PCM modellen). De mer komplekse modellene tar hensyn til at skredene har en viss lengde og tykkelse og de gjør det mulig å beregne endringene i flyteøyde og hastighet fra start til stopp. Denne gruppen modeller blir kalt 2-dimensjonale modeller, for eksempel NIS modellen som er utviklet ved NGI (Norem et al 1987 og 1989). De siste årene er det også utviklet 3-dimensjonale modeller som beregner både skredets hastighet, flyteøyde og bredde. Den siste typen modeller er enten basert på at en kjenner senterlinja for skredbanen og tverrprofilen langs skredbanen, eller modellene beregner selv sannsynlig skredbane ut fra oppgitt topografi, for eksempel RAMMS modellen fra Sveits (Christen 2004) og Elba+ fra Østerrike (Kleemayr 2003). Den siste modellen har også beregningsprosedyrer for snøskydelen av skredet. Alle disse modellene er kommersielle, og eventuelle lisenser må kjøpes.

Alle eksisterende modeller er basert på at friksjonen er representert ved et hastighetsuavhengig og et hastighetsavhengig ledd, som vist i likn 6.1. For det første leddet tas det utgangspunkt at snøens friksjonsegenskaper kan beskrives som et Mohr-Coulomb materiale, mens for det siste leddet er det brukt elementer enten fra hydrodynamikk eller fra teorier om partikler som kolliderer med hverandre.

Likning 6.1 kan i sin enkleste form skives slik ut fra hydrodynamiske strømningsteorier:

$$\frac{ma}{\text{enhetsareal}} = \rho \cdot h \frac{dv}{dt} = P - (F_c + F_d) = \rho \cdot g \cdot h \sin \alpha - \left(c + \mu \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \cos \alpha + \kappa \left(\frac{v}{h} \right)^2 \right) \quad (6.2)$$

Der c er kohesjonen og μ er en friksjonskoeffisient, κ representerer viskositeten og v/h er hastighetsgradienten, skredhastigheten dividert med flyteøyden.

For de fleste skredtypene er det antatt at kohesjonen til et materiale er relativt liten når partiklene er i interne bevegelser og derfor sjelden er i langvarig kontakt med hverandre. For våtsnøskred, hvor partiklene kan sintre, kan kohesjonen ha betydning, men i praksis er det vanlig å se bort fra kohesjonen i forbindelse med beregning av alle skred av betydelig størrelse.

Friksjonskoeffisienten, μ , i likn 6.2, beskriver friksjonen når snø beveger seg mot snø. Denne vil vanligvis variere mellom 0,25 og 0,6. Den laveste verdien gjelder for helt tørr snø, og den høyeste verdien for våtsnø/kram snø.

Det siste leddet i likn. 6.2, $\kappa \cdot (v/h)^2$, beskriver de hastighetsavhengige egenskapene til skredmassene. Dette leddet får stor verdi dersom viskositeten er høy, og når skredhastigheten er stor i forhold til skredtykkelsen. For hurtige skred indikerer etterberegninger av skred at den hastighetsavhengige friksjonen øker med kvadratet av hastigheten. Likn. 6.2 gir sannsynligvis en noe stor avhengighet med flyteøyden. Det er mulig at leddet $(v/h)^2$ heller burde skrives $v^2/h^{1/2}$. Likning 6.2 er mer korrekt ut fra hydrodynamiske teorier, mens $v^2/h^{1/2}$ er mer i overensstemmelse med turbulent strømning i vann. I de videre analysene vil en bruke $v^2/h^{1/2}$ som uttrykk for den hastighetsavhengige friksjonen.

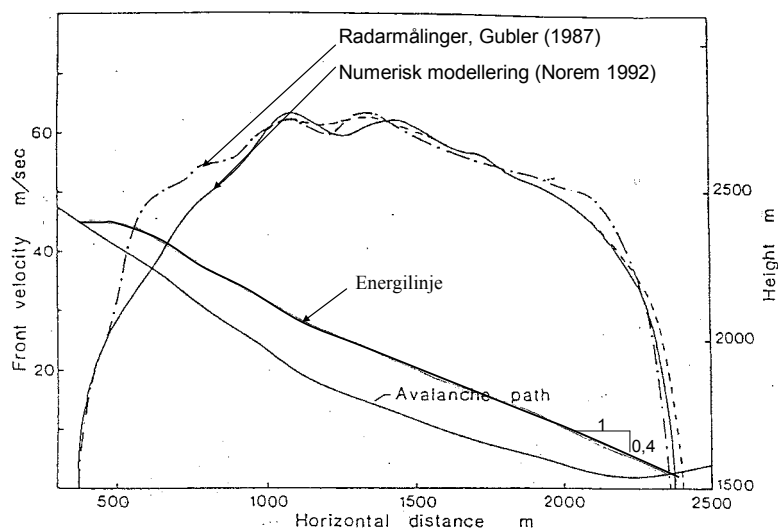
Dersom skredet beveger seg nedover en fjellside med konstant helling vil det oppnå en terminalhastighet. Når denne oppnås er akselerasjonen null og terminalhastigheten kan da finnes ved å sette $a=0$ og $c=0$ i likn. 6.2, og deretter løse likningen med hensyn til hastigheten, v , med bruk av leddet $v^2/h^{1/2}$:

$$v_{\text{term}} = \left[\frac{\rho \cdot g \cdot h^{1,5} \cdot (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{\kappa} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.3)$$

Generelt gjelder at dersom skredet består av tørr snø med små partikler mot bakken så er viskositeten liten, og skredene får derfor stor hastighet. Dessuten viser likn 6.3 at skred med stor flyte høyde kan få store hastigheter.

Ved etterberegning av skred forsøker en å velge parameterverdier slik at både hastighet og utløpslengde for det skredet en beregner, er mest mulig likt de målingene som er foretatt. Ved valg av parametere har friksjonskoeffisienten, μ , størst betydning med hensyn til utløpsdistansen, mens leddet $\kappa/h^{1/2}$ har størst betydning med hensyn til terminalhastigheten.

Fig 6.4. viser eksempel på sammenlikning av radarmålinger fra et skred i Sveits, Gubler (1987), og etterberegning av skredet ved hjelp av NIS-modellen, Norem (1992). Figuren viser at for dette skredet er det god samsvar mellom radarmålingene og beregningene. Det er ikke bestandig at dette er mulig, og generelt er det vanskeligst å få modellene til å beregne korrekt hvor raskt skredene stopper opp i utløpsområdet. I figur 6.4 er det i tillegg vist beregnet energilinje for det registrerte skredet. Dette forholdet blir behandlet i avsnitt 6.2.3.



Figur 6.4 Beregnet fronthastighet som funksjon av horisontal distanse ved hjelp av NIS-modellen, Norem (1992). De beregnede hastighetene er sammenliknet med målte fronthastigheter for skredet ved hjelp av radar, Gubler et al (1987).

Vanligvis vil relativt store skred få en hastighet mellom 40 og 70 m/s. Det er hittil ikke målt større hastigheter enn 70 m/s, og selv i relativt slake skredbaner vil de fleste større skred få hastigheter over 40 m/s.

En beregningsmodell kan bare gi et estimat for hastighetsutviklingen til skredene og for utløpsdistansen. Til nå er det ikke utviklet realistiske modeller som blant annet tar hensyn til:

- Endringer med tiden med hensyn til at snøen endrer de fysiske egenskapene underveis, for eksempel på grunn av oppvarming av skredmassene grunnet friksjon eller høyere luft- og snøtemperaturer nede i dalbunnen.
- Erosjon og medrivning av masser i skredløpet og utfelling av masser i utløpsområdet. Noen modeller har riktignok tatt med disse effektene, men anslagene for disse effektene er ennå usikre.

6.2.3 Grafiske modeller

Når skredet beveger seg nedover i skredbanen skjer det en utveksling av energi. I den første fasen har skredet først og fremst potensiell energi. Etter hvert blir denne overført til hastighetsenergi og varme, hvor hastigheten representerer hastighetsenergien og varmen representeres av energitapet. Når skredet har stoppet opp er den potensielle energien og hastighetsenergien lik null, og all potensiell energi er gått over til varme.

Bernoullis likning sier at for tynne strømninger er summen av potensiell energi, hastighetsenergi og energitap likt fra et sted til et annet. Disse energitypene kan uttrykkes ved hjelp av energihøyder, figur 6.5:

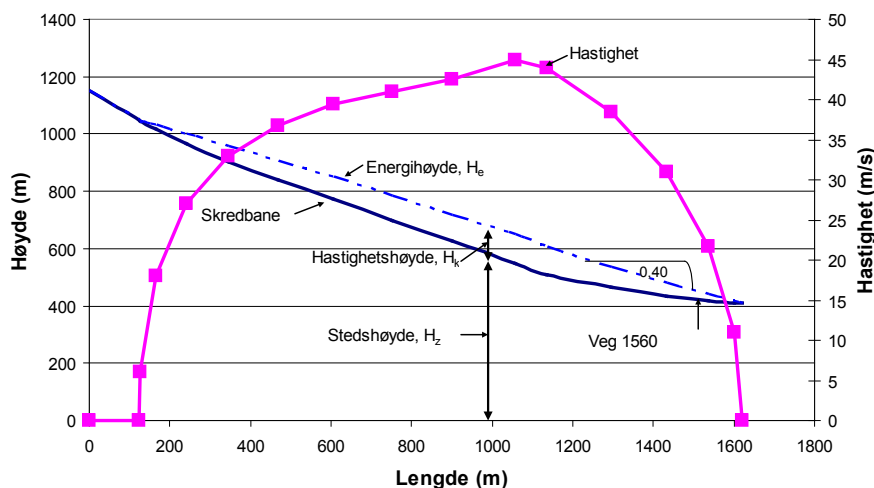
Stedshøyde: $H_z = z$ Den potensielle energien tilsvarer høyden på ethvert sted i skredbane

Hastighetshøyde $H_k = \frac{v^2}{2g}$ Hastighetsenergien varierer med kvadratet av hastigheten

Energihøyde: $H_e = H_z + H_k$ Energihøyden representerer summen av de to energileddene

Energitalpet fra en x-verdi og til den neste tilsvarer fallet i energihøyden mellom disse punktene, $H_{e1} - H_{e2}$.

Fig 6.5 viser eksempel på beregnet hastighet og energihøyde for skredområdet Nakkefonn ved fv. 60 i Møre og Romsdal fylke. Skredets hastighet er beregnet med NIS-modellen, og det er valgt parametere slik at skredet får utløp tilsvarende maksimal utløp som er registrert i dette området. De valgte parameterverdiene er: $\mu=0,31$, $\kappa=0,93\text{Pas}^2$ og $h=1,4\text{m}$.



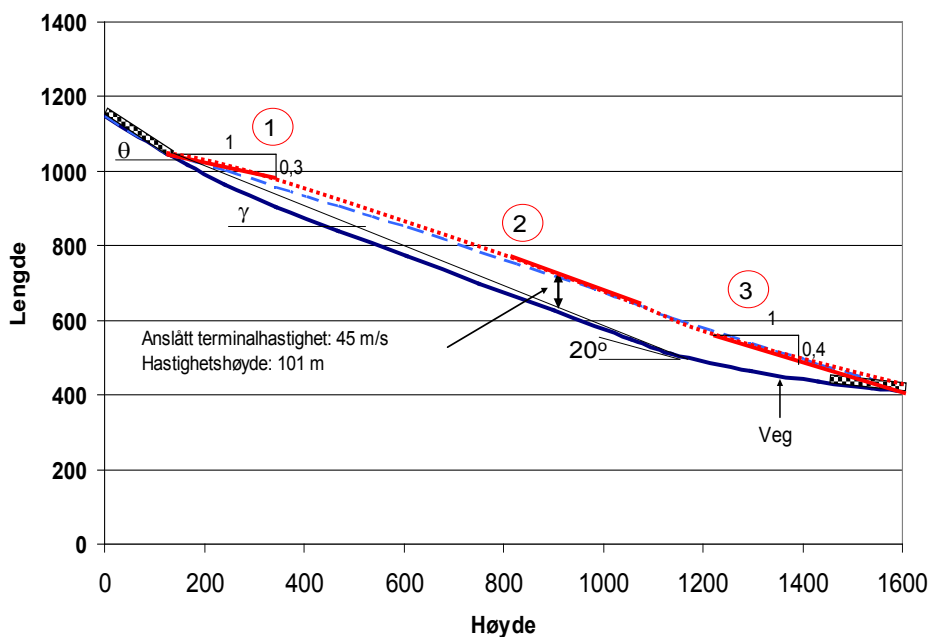
Figur 6.5 Beregnet skredhastighet og energihøyde for skredområdet Nakkefonn, Møre og Romsdal.
Norem og Brateng 2006

Hellingen på linja for energihøyden, energilinja, viser hvor raskt energitalpet skjer. Ved bratt energilinja er energitalpet pr. lengdeenhet stort, og skredene får kort utløpsdistanse. I denne beregningen er hellingen av energilinja relativt konstant, og i siste del av skredbanen har den en helling på 0,4:1 (21,8°).

Fig 6.4 viser også forløpet av energilinje basert på radarmålingene av skredet som er presentert i figuren. Denne viser at hellingen i utløsingsområdet er noe mindre enn for resten av skredbanen. Dette tyder på at energitapet i første del av skredbevegelsen er relativt lite og at skredet akselerer raskt. I den bratte delen av skredløpet har skredbanen og energilinje tilnærmet samme helling. Dette indikerer at skredet har nådd en terminalhastighet, og hastighetshøyden vil da være konstant over lengre avstander. I utløpsområdet har energilinje også for dette skredet en tilnærmet konstant helling, 0,4:1 (21,8°).

Det er foretatt en rekke undersøkelser av hellingen på energilinje for skred hvor hastigheten er registrert og for etterberegning av større, kjente skred. Disse undersøkelsene viser at en helling på 0,4:1 er en tilnærmet middelværdi, og spredningen rundt denne verdien er liten. Minimumsverdi for spesielt store skred er sannsynligvis 0,3:1, og verdier mindre enn 0,35:1 er sjeldent.

Disse opplysningene kan brukes til å gjøre rimelig gode anslag for hastighetsutviklingen av skredene, og spesielt for utløpsområdet. Dersom utløpslengden for dimensjonerende skred er fastsatt kan en konstruere en energilinje og beregne hastigheten i ethvert punkt ut fra følgende prosedyre, fig 6.6:



Figur 6.6 Forslag til konstruksjon av energilinje

1. Fra utløsningsområdets nedre begrensing trekkes en linje med helling 0,3:1.
2. Ved partiet med den bratteste delen av skredløpet trekkes det en linje som er parallell med skredløpet i dette punktet. Avstanden mellom disse to linjene tilsvarer hastighetshøyden. Dersom en ikke har kunnskaper om skredets hastighet kan terminalhastigheten anslås ut fra følgende formler:

$$\text{Skredets flyteøyde: } h_0 = 1,4 \cdot \frac{\sin 40 - 0,2 \cos 40}{\sin \theta - 0,2 \cos \theta} \quad (6.4)$$

Der θ er hellingen i utløsingsområdet, og 1,4 er en referanseøyde for flyteøyden ved $\theta=40^\circ$, og friksjonskoeffisienten, μ , er valgt lik 0,2 i overensstemmelse med Salm et al (1990), se avsnitt 3.2.4.

$$\text{Terminalhastighet: } v_{term} = \left(5000 \cdot h_0^{1,5} \cdot (\sin \gamma - 0,31 \cos \gamma) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6.5)$$

Der 3000 er en valgt gjennomsnittsverdi for $\rho g / \kappa$, se likn. 6.3, og γ er hellingen fra løsnemårets nede begrenning og til det punktet i skredbanen der hellingen er 20° .

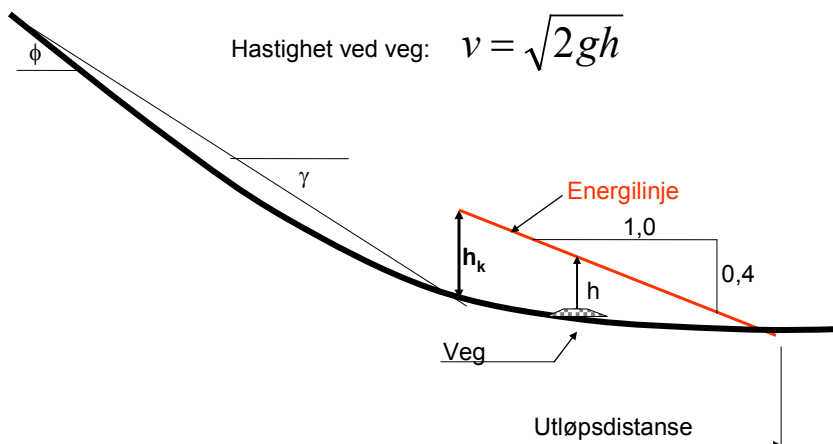
3. Fra skredets antatte stoppunkt trekkes en linje oppover i skredbanen med helling 0,4:1.
4. Etter at disse tre dellinjene er plassert, trekkes det en sammenhengende linje som forbinder disse.
5. Hastigheten i hvert enkelt punkt kan deretter beregnes ut fra hastighetshøyden, H_k , i dette punktet:

$$v = (2gH_k)^{\frac{1}{2}} \quad (6.6)$$

Denne prosedyren er vist i fig 6.6. Dessuten er det vist med blå linje den beregnete energilinje ut fra de numeriske beregningene. Figuren viser at det er relativt godt samsvar mellom disse metodene for å anslå hastigheten. Metoden kan imidlertid bare gi et grovt anslag for hastigheten fordi maksimalhastigheten er anslått ved hjelp av et forenkelt formelverk og det er benyttet etterberegnete gjennomsnittsverdier. Også den foreslåtte hellingen for energilinje er beheftet med usikkerheter. Likevel gir metoden et relativt godt grunnlag for å anslå hastigheten i skredbanen.

Den grafiske metoden er spesielt egnet for å anslå hastigheten i utløpsområdet der de fleste sikrings tiltak er lokalisert, fig 6.7. Under forutsetning av at en har fastlagt utløpsdistansen for det dimensjonerende skredet, kan hastigheten i utløpsområdet finnes ved å:

1. Fra dimensjonerende skreds antatte utløpsdistanse tegnes en energilinje med helling 0,4:1 ($21,8^\circ$).
2. Avstanden mellom profilet og energilinje, h , representerer hastighetshøyden i ethvert punkt, og hastigheten beregnes ved hjelp av; $v = (2gh)^{1/2}$.
3. Absolutt øvre grense for å bruke denne metoden er der hastighetshøyden overstiger hastighetshøyden beregnet ved hjelp av terminalhastigheten, likn 6.3 eller 6.5.



Figur 6.7 Forslag til prosedyre for å beregne skredhastigheter i utløpsområdet.

De numeriske beregningsmetodene krever at en har tilgang til de kommersielle programmene. Dessuten bør en ha god forståelse og kompetanse om skreddynamikk og skred for å velge riktige parameterverdier og å kunne tolke beregningene riktig. Den grafiske metoden er enklere i bruk, men vil ofte gi et grovere og mindre detaljert resultat enn de numeriske beregningene. Med hensyn til å gi realistiske verdier for skredhastigheten i ytre del av skredbanen gir den grafiske metoden, vist i fig. 6.7, resultater med tilstrekkelig nøyaktighet for dimensjonering av sikringstiltak.

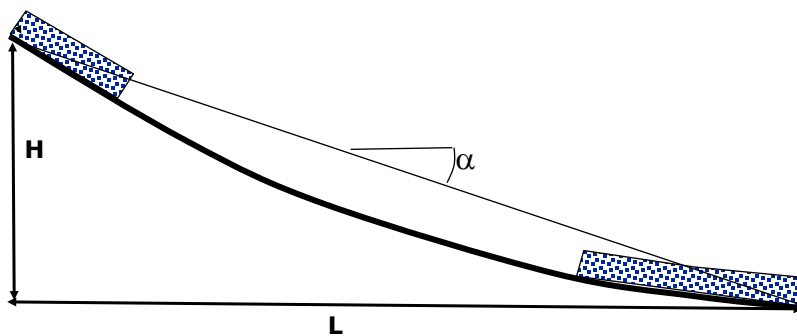
6.3 Beregning av utløpsdistanser

6.3.1 Modelltyper

Fastlegging av sannsynlig utløpsdistanse for skred er en viktig oppgave i forbindelse med planlegging og sikring av veger og annen infrastruktur. Skredets utløp er til vanlig definert som grensen for den ytterste skredavsetningen. Dette vil si at det er grensen for den tunge delen av skredet som representerer utløpsdistansen, og at utløpet av snøskydelen er utelatt. Dette kan være riktig for veger, hvor snøskydelen representerer mindre fare for trafikantene, og den ikke fører til langvarige stenginger. For annen infrastruktur, hvor menneskene oppholder seg utendørs i lengre tid, kan snøskydelen representere et større sikkerhetsproblem, og utløpet av denne bør muligens tas med i dimensjonerende utløpsdistanse

Utrekningen av skredene kan beskrives ved hjelp av to forskjellige parametere, fig 6.8:

1. Ved avstanden, L , fra bruddkanten til ytre begrensing for de avsatte skredmassene.
2. Ved hjelp av utløpsvinkelen, α , som er vinkelen fra utløsningspunktet og til ytre begrensing for de avsatte skredmassene.



Figur 6.8 Utrekningen av skredene kan beskrives enten ved lengden, L , eller ved vinkelen, α .

Kunnskaper om utløpsdistansen er bygget opp ved å samle inn data om tidligere kjente skred. Ved NGI er det blant annet bygget opp en database med over 200 skred, hvor hvert av disse representerer en returperiode som sannsynligvis varierer mellom ca 100 og 300 år. For de kartlagte skredene har en kunnskaper om uttrekningen av skredavsetningene, sannsynlig utløsningsområde og profil av skredbanen. Dette datamaterialet har gjort det mulig å foreta statistiske sammenlikninger for å utvikle modeller for å anslå utløpsdistansen.

Modellene som er utviklet kan deles i to hovedgrupper, topografiske og dynamiske modeller. De topografiske modellene er karakterisert ved at det bare er topografiske faktorer som inngår i modellen, mens de dynamiske tar utgangspunkt i de numeriske hastighetsmodellene, og beregner utløpsdistansen ved hjelp av fastlagte verdier for parameterne som inngår i modellene.

6.3.2 Topografiske modeller

α - β -modellen

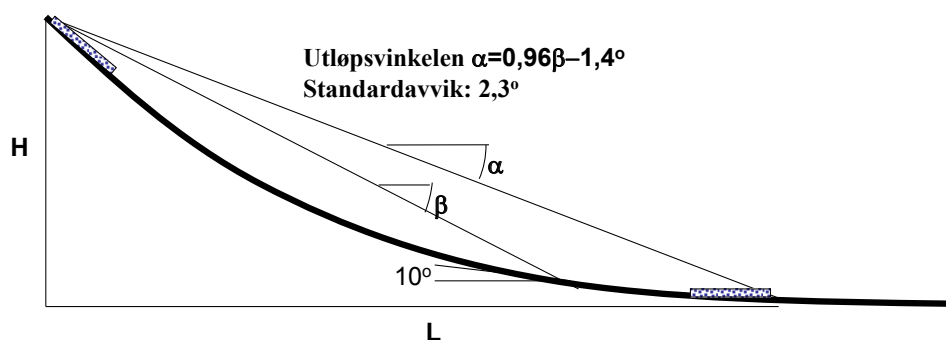
Lied og Bakkehøi (1980) var de første som presenterte en ren topografisk modell for utløpsdistansen for snøskred. Modellen er basert på data fra NGIs skredregistreringer og tar utgangspunkt i profilet til den undersøkte skredbanen, og utstrekningen av skredene er beskrevet ved hjelp av utløpsvinkelen, α , fig 6.8.

Analysene viste at det var en klar sammenheng mellom utløpsvinkelen og den gjennomsnittlige hellingen til skredbaneprofilet. Denne hellingen ble karakterisert ved hjelp av vinkelen, β , som er hellingen fra øvre begrensning av utløpsområdet og ned til punktet der skredbanen har 10° helling, 10° punktet, fig 6.9. Forholdet mellom disse to vinklene ble funnet å være:

$$\alpha = 0,96 \beta - 1,4^\circ$$

Standardavviket er $2,3^\circ$ (6.7)
Der α og β er oppgitt i grader.

Standardavviket for likn 6.7 er $2,3^\circ$ med en korrelasjonskoeffisient lik 0,92. Dette avviket representerer et avvik på 225 m dersom α er 25° , høydeforskjellen, H, er 1000 m og utløpsområdet er horisontalt.



Figur 6.9 Utløpsvinkelen, α , beskrevet som funksjon av hellingsvinkelen, β , Lied og Bakkehøi (1980)

Likn 6.7 angir en svært enkel sammenheng mellom utløpsvinkelen og hellingen på skredbanen. Til tross for at det er gjort en rekke analyser for å inkludere andre parametere som hellingen i utløpsområdet og høydeforskjellen har ikke dette gitt noe bedre nøyaktighet.

Det er funnet noen karakteristiske sammenhenger for de skredene som har lenger eller kortere utløp enn likn 6.7 tilsier. Noen av disse funnene er blant annet:

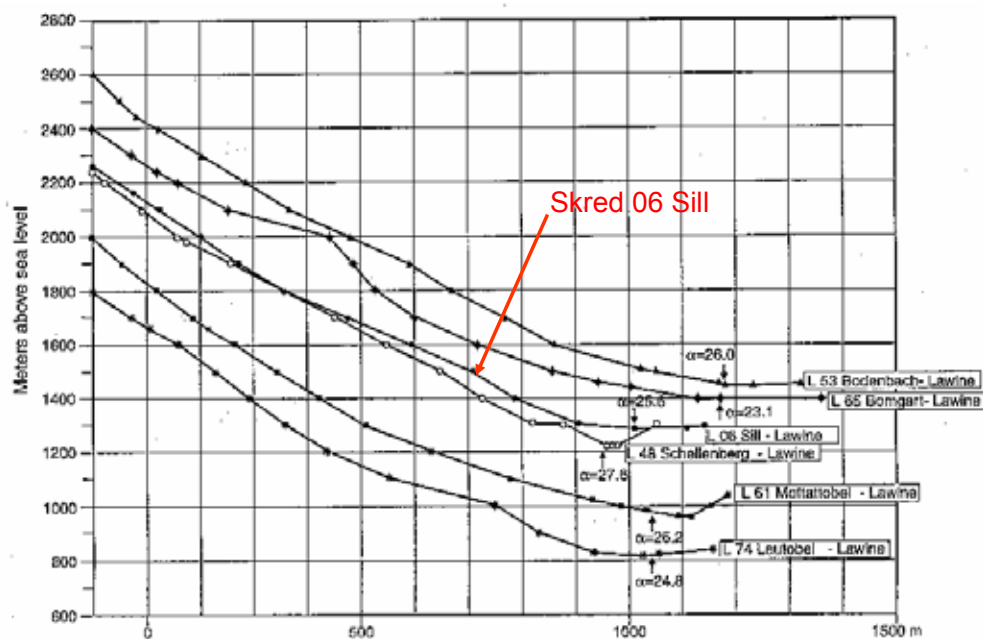
- Skred med utløpsområder høyt til fjells og i Nord-Norge ser ut til å ha gjennomgående lenger utløp, liten α . Dette har sannsynligvis sammenheng med at snøen i utløpsområdet oftere består av løs, tørr snø, som favoriserer lange utløp.
- Tilsvarende er utløpsvinkelen nær havnivå og i kystområdene gjennomgående større enn gjennomsnittsverdiene.
- Små hellinger i utløpsområdet gir lange utløp
- Skredbaner med små høydeforskjeller gir ofte lange utløp, liten α
- Skredbaner som har stort avvik fra en parabelbane gir korte utløp, stor α

Den topografiske modellen er også testet i andre land. Prinsippet med å bruke parameterne α og β har også i disse analysene gitt gode resultater, men konstantene i likn 6.7 har fått andre verdier på grunn av forskjeller i formen på skredbanene og klimatiske forhold.

Sammenlikning av skredbaneprofiler

Skreddatabasen ved NGI har gjort det mulig å finne fram til de skredbanene som er mest like den skredbanen en ønsker å undersøke. Deretter kan en se hvilke utløpsvinkler som er registrert for disse og bruke et gjennomsnitt av disse for å anslå sannsynlig utløpsvinkel, Bakkehøi og Norem (1994). Fig. 6.10 viser resultatet av en gjennomføring av denne metoden for kartlagte skred i Østerrike, Lied et al (1995). Til sammen ble det samlet inn opplysninger om skredbaneprofilet og lengste registrerte utløp for 80 skredområder. I figuren er det funnet fram til de 5 skredbanene som er mest lik skred 06. Den registrerte utløpsvinkelen for dette skredet var $25,6^\circ$. For de 5 skredbanene som var mest like varierte de registrerte utløpsvinklene mellom $23,1$ og $27,6$ med $\alpha=25,5^\circ$ som et gjennomsnitt. Tilsvarende tall for beregning med den topografiske modellen var $25,3^\circ$ for Skred 06, og $25,3^\circ$ som et gjennomsnitt for de fem mest like skredområdene.

Erfaringene fra undersøkelser både i Norge og Østerrike med denne modellen er positive, men det har ikke ennå vært mulig å beregne hvor stor forbedring av nøyaktigheten det er mulig å oppnå i forhold til α - β -modellen, Lied et al (1995).



Figur 6.10 Eksempel på bruk av metoden med sammenlikning av skredbaner. Figuren er basert på forsøk med å finne de skredbanene som er mest lik skred nr. 06 Sill. Lied et al 1995

6.3.3 Dynamiske modeller

Numeriske modeller

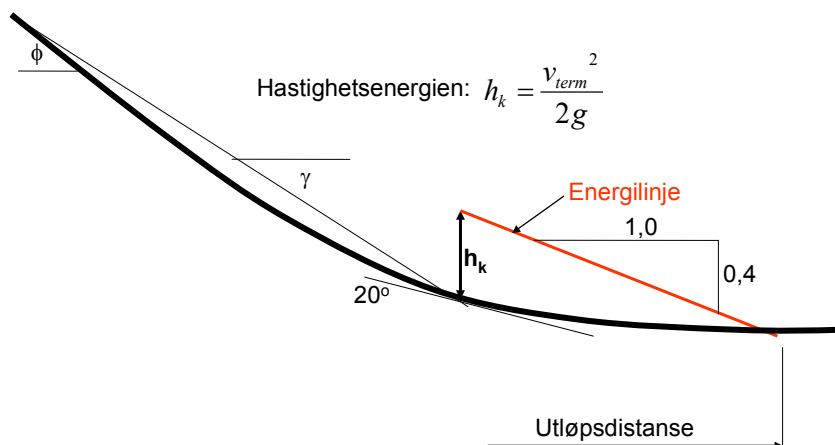
En forutsetning for å kunne bruke de numeriske modellene for å anslå utløpsdistansen er at alle parameterne blir valgt ut fra objektive kriterier. Dette kan være faste verdier eller kriterier valgt ut fra topografiske eller klimatiske forhold.

Det er gjennomført flere undersøkelser med å beregne utløpsdistansen med numeriske modeller for et stort antall kartlagte skred. Deretter er de beregnede utløpsdistansene sammenliknet med de registrerte utløpsdistansene, se for eksempel Lied et al (1995) og Bakkehøi og Norem (1994). Hittil har det ikke vært mulig å komme fram til parametersett slik at de numeriske modellene gir bedre nøyaktighet enn α - β modellen.

Energilinje modellen

Det er tidligere vist at hellingen på energilinja i utløpsområdet er ca 0,4:1 (21,8°). Denne kunnskapen kan utnyttes for å etablere en enkel grafisk modell for å anslå utløpsdistansen for skred, fig 6.11, hvor følgende prosedyre anbefales:

1. I 20° punktet (der skredbanen har helling 20°) avsettes hastighetshøyden, h_k . Denne høyden regnes ut på grunnlag av likningen for terminalhastigheten, likn 6.5. Dette punktet representerer energihøyden i 20° punktet.
2. Fra dette punktet trekkes en energilinje med helling 0,4:1 og der denne treffer skredprofilen er sannsynlig utløpsdistanse.



Figur 6.11 Forslag til prosedyre for å beregne hastigheten i utløpsområdet ved hjelp av energilinje og antatt terminalhastighet.

Denne metoden gir i gjennomsnitt den samme utløpslengden som α - β modellen. Fordelen med metoden er at vinklene er beregnet over kortere avstander enn α - β modellen, slik at usikkerheten derved blir redusert. På den annen side anslås hastigheten i 20° punktet relativt unøyaktig og hellingen på energilinja kan også variere innenfor 0,3:1 og 0,4:1. Selv om metoden ikke er testet systematisk mot den store databasen til NGI, gir denne forenklete metoden for å beregne utløpsdistansen overraskende gode resultater.

6.3.4 Forslag til valg av metode for beregning av utløpsdistanse

Det finnes i dag ingen metode for beregning av utløpsdistanse som gir nøyaktige svar med hensyn til hvor langt skred med en viss returperiode kan gå. Som en første kontroll bør en benytte seg av både α - β modellen og metoden med energilinje. Dersom en har tilgang til en numerisk modell eller en database med tidligere registrerte skred bør disse mulighetene også benyttes. Spesielt nyttig synes det å bruke metoden med å sammenlikne utløpsvinkelen for de skredbanene som er funnet å være mest lik den undersøkte skredbanen.

Modellene som er presentert gir en sannsynlig utløpsdistanse med returperiode 100–300 år, fordi databasene som er utgangspunkt for modellene er basert på registreringer med denne returperioden. Etter at utløpsdistansen basert på disse modellene er beregnet, er det viktig å foreta justeringer basert på hvilken returperiode som er dimensjonerende. Dessuten må en vurdere om en også bør foreta justeringer ut fra spesielle klimatiske eller topografiske forhold.

Dimensjonerende utløpsdistanse for nye veger bør baseres på en returperiode på 20–50 år. Dette vil si at de presenterte modellene gir noe lenger utløp enn det som skal legges til grunn for planleggingen. Anslagsvis er det anbefalt å legge til et kvart til ett halvt standardavvik for α - β -modellen, avhengig av vegens viktighet. Dessuten bør en foreta visse justeringer med hensyn til klima. For områder med stabilt, kalt klima langs vegen bør utløpsmodellene brukes uten justeringer, mens en i kystnære områder muligens kan trekke fra inntil et halvt standardavvik, selv for viktige veger.

Med hensyn til planlegging av annen viktig infrastruktur, som det bør settes større sikkerhetskrav til, er det vanlig å legge til et standardavvik (reducere α -verdien med 2,3°). Derved tar en hensyn til at dimensjonerende returperiode skal økes til 1000 år, i forhold til returperioden på 100–300 år som modellene beregner. Dessuten tar en i en viss grad hensyn til de lengre utløpsdistansene for snøskydelen.

6.4 Belastninger mot konstruksjoner

6.4.1 Måling av skredbelastninger

Ethvert tiltak som skal sikre infrastruktur mot snøskred har til hensikt å stoppe eller styre skredet i andre retninger. Slike tiltak vil derfor bli utsatt for store belastninger, og det er nødvendig å kunne anslå disse belastningene med rimelig grad av nøyaktighet.

Ved planlegging av sikringstiltak for veger tas det utgangspunkt i at tiltaket skal hindre at vegen blir sperret av skred innenfor en valgt returperiode. Ved dimensjonering av et sikringstiltak er det viktig at verdien av tiltaket beholdes, selv om selve skredet passerer tiltaket og vegen blir sperret. Det bør derfor som oftest velges en høyere returperiode for dimensjonerende skred for styrkeberegningene enn for selve utformingen av tiltaket. Håndbok N400 Bruprosjektering angir å bruke 200 års flomlaster for dimensjonering av bruer, og det vil være naturlig å velge tilsvarende returperiode for skredtrykk.

Belastninger fra skred mot konstruksjoner vil i hovedsak omfatte følgende typer belastninger:

1. Trykk mot konstruksjoner normalt på skredretningen.
2. Skjærspenninger mot konstruksjoner som er plassert parallelt med skredet
3. Belastninger mot flater som danner en vinkel i forhold til skredretningen

Kunnskaper om trykk mot konstruksjoner er samlet opp gjennom mange år på bakgrunn av:

- Feltforsøk, ved at det er montert instrumenterte konstruksjoner i skredbanen
- Etterberegning av konstruksjoner som er ødelagt av skred
- Teoretiske analyser
- Kunnskaper om trykk mot konstruksjoner av andre materialer enn snø, men som har sammenliknbare fysiske egenskaper

De mest omfattende feltforsøkene med hensyn til måling av trykk mot konstruksjoner er Ryggfonn-prosjektet, som er gjennomført i Grasdalen, Strynefjellet, Sogn og Fjordane, i regi av NGI, Norem et al (1985) og Gauer et al (2007), og Sionne-prosjektet i Sveits i regi av Schnee und Lawinenforschung, Sovilla et al (2008).

I dette avsnittet gis det forslag til relativt enkle metoder for å anslå hvilke belastninger skred utøver mot konstruksjoner. Dersom det er ønskelig eller nødvendig med mer detaljerte beregninger for å fastlegge dimensjonerende skredkrefter henvises til spesiallitteratur.

6.4.2 Skredtrykk

Trykket skredet utøver mot konstruksjoner er avhengig av hvilket lag i skredet som belaster dem. De lagene en må ta hensyn til er, fig 4.5:

- Snøen på bakken
- De tunge skredmassene
- Snøskydelen

Snøen på bakken

Mengden snø som ligger på bakken før skredet opptrer er viktig av to grunner. For det første har tykkelsen av dette laget betydning for hvor høyt på en konstruksjon de tunge massene treffer konstruksjonen. For det andre er det store skjærspenninger i grensesjiktet mellom dette laget og skredet. Disse skjærspenningene blir overført nedover i snødekket, som fører til trykk mot eventuelle konstruksjoner som snødekket hviler mot.

Denne typen skjærspenninger er registrert som trykk mot mastekonstruksjoner i blant annet Ryggfonn-prosjektet, Norem (1990) og Norem (1991). En enkel metode for å anslå dette trykket er å fordele trykket lineært nedover i snølaget. Ved toppen av snølaget brukes det skredtrykket som beregnes for nedre grenseflate av skredet, se neste avsnitt, og dette trykket reduseres lineært til null mot bakken, fig 6.12.

De tunge skredmassene

De største skredtrykkene er registrert fra de tunge skredmassene. Trykket avhenger først og fremst av:

- Skredhastigheten, maksimal hastighet og hastighetsfordelingen med høyden
- Densiteten til skredmassene
- Bredden og høyden på konstruksjonen
- Tykkelsen på skredlaget
- Hvor høyt i skredmassene trykkes måles

Skredets hastighet kan beregnes ved hjelp av numeriske modeller eller ved hjelp av enklere grafiske løsninger, presentert i avsn. 6.2. Skredets flyte høyde er oftest en funksjon av tykkelsen av flaket som initierer skredet, likn 6.4, men vil variere nedover i skredbanen i forhold til hvor i skredbanen en gjennomfører beregningene og hvor stor medrivning av masser det er under skredbevegelsen.

Flyte høyden kan anslås ved hjelp av to- eller tredimensjonale numeriske modeller. Dersom en ikke har tilgang til disse anbefales å bruke likn 6.4 i den bratte delen av skredløpet, og øke konstanten 1,4 til 2,0 i utløpsområdet.

Ved beregning av skredtrykk er det vanlig å ta utgangspunkt i generelle formler utviklet for væsker. Når en væske strømmer mot en flate av stor utstrekning vil belastningen mot denne tilsvare stagnasjonstrykket, som er:

$$p_s = \frac{1}{2} \cdot \rho v^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (6.8)$$

Der p_s = stagnasjonstrykket (N/m^2), ρ =væskens densitet (kg/m^3) og v = hastigheten (m/s).

Når væsken treffer en konstruksjon med en bestemt form og størrelse vil væsken utøve en trykkraft mot denne konstruksjonen som kan uttrykkes ved:

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 = C_d \cdot A \cdot p_s \quad (\text{N}) \quad (6.9)$$

Der C_d =dragkoeffisienten og A =eksponert areal mot strømmen (m^2).

Dragkoeffisienten er avhengig av formen på konstruksjonen og strømningstypen. Koeffisienten beskriver hvor strømlinjeformet den undersøkte konstruksjonen er, og i gode lærebøker om hydrodynamikk vil en finne tabeller for hvilke verdier en bør velge for dragkoeffisienten. Disse verdiene gjelder for turbulente strømninger, det vil si lettflytende væsker med store hastigheter.

Snøskred har stor viskositet og til tross for store hastigheter vil dragkoeffisienten være større i snøskred enn de en finner i håndbøker. En annen effekt er at fasthetsegenskapene til skredmassene også vil gi et bidrag til trykket. Dette gjør at trykket fra skred er vesentlig høyere enn generelle formler for trykk fra væskestrømmer tilsier.

For å gjøre relativt enkle overslag for skredtrykket kan dette bidraget inkluderes ved å øke verdien for dragkoeffisienten utover standardverdiene ved hjelp av en konstant, k . For overslagsberegninger anbefales å bruke følgende formel og verdier for parametrene, Norem (1990):

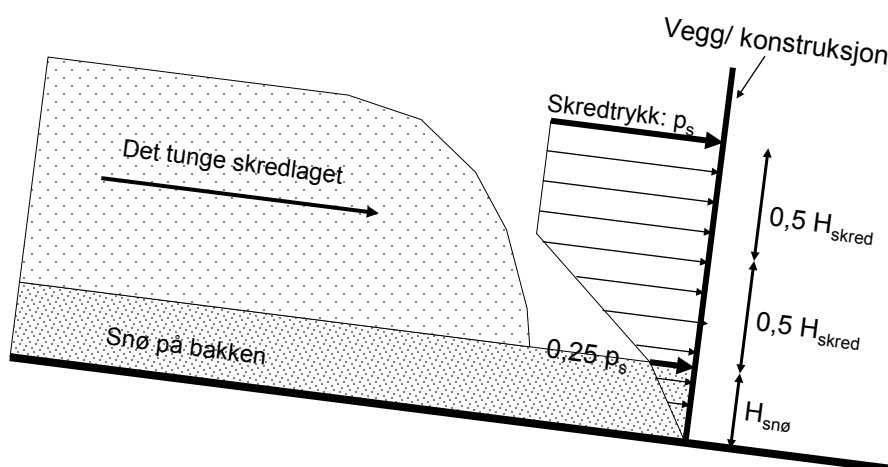
$$P_s = \frac{1}{2} \cdot k \cdot C_d \cdot \rho \cdot v^2 \quad (\text{N}) \quad (6.10)$$

Der k er en konstant, som anslagsvis er 2 for helt tørre skred, og opptil 6 for våtsnøskred. Konstanten kan velges lik 3 som et gjennomsnitt for de fleste dimensjonerende skred. Densiteten, ρ velges lik 200 kg/m^3 som et gjennomsnitt, og den kan variere mellom 150 og 300 kg/m^3 . Skredets hastighet, v , beregnes ut fra avsnitt 6.2.

Likning 6.10 oppgir de lokale skredtrykkene basert på hastigheten i det undersøkte området. Skredhastigheten er størst i den øvre delen av skredmassene og reduseres kraftig i området mot bakken, Gubler (1987). Det er derfor grunnlag for å redusere det dimensjonerende skredtrykket mot bakken. Figur 6.12 viser forslag til beregning av dimensjonerende skredtrykk fra skredets overside og ned til bakken.

Regnet fra toppen av skredlaget bør følgende verdier velges:

1. I den øvre halve delen av det tunge skredlaget beregnes trykket ut fra likn. 6.10
2. I den nedre halvdel av det tunge skredlaget reduseres dimensjonerende skredtrykk lineært nedover til 25 % av maksimalt skredtrykk ved øvre grense for snø på bakken
3. Skredtrykket reduseres videre lineært nedover til 0 ved bakken.



Figur 6.12 Forslag til beregning av dimensjonerende skredtrykk mot konstruksjoner

Snøskydelen

I snøskydelen av skredet er det turbulens i luften som holder snøpartiklene svevende. Turbulensen genereres i grensesjiktet på toppen av det tunge skredlaget og i luften over, og turbulensen reduseres med økende avstand fra dette grensesjiktet. Feltforsøk, modellforsøk og teoretiske analyser har vist at både hastighet og tetthet av snøpartikler reduseres med høyden. Norem (1990) foreslo å beregne skredtrykket fra snøskydelen ved grenseflaten mellom de faste massene og snøskya etter følgende kriterier, fig. 6.13:

1. Ved nedre grenseflate beregnes trykket etter likn 6.11:

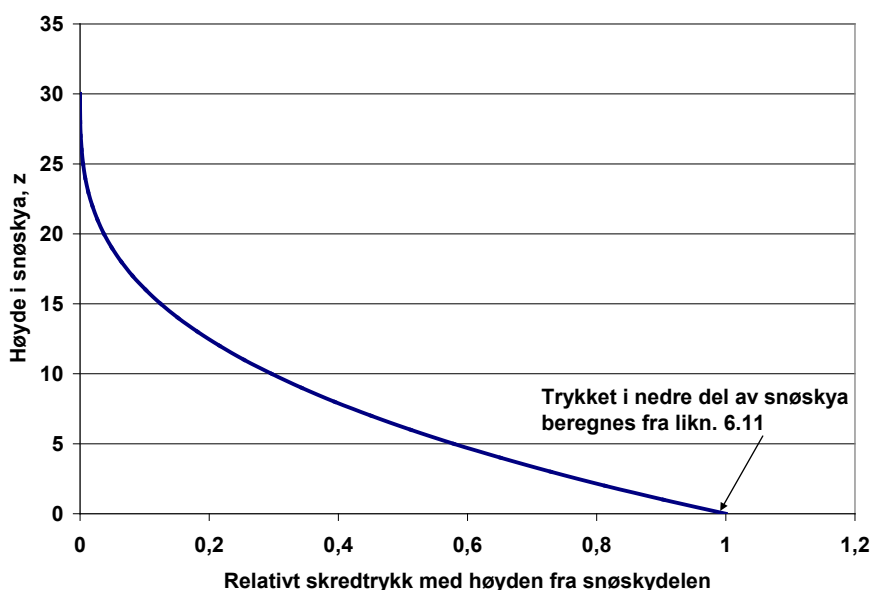
$$p_{s0} = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_{s0} \cdot v^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (6.11)$$

ρ_{s0} = densiteten i nedre del av snøskya. Denne varierer sannsynligvis mellom 4 og 10 kg/m³, og kan velges lik 8 kg/m³ som en gjennomsnittsverdi

2. Trykket reduseres med tredje potens av høyden i snøskya, $h_{\text{snøsky}}$, fig 6.13

$$p_s(z) = p_{s0} \cdot \left(\frac{h_{\text{snøsky}} - z}{h_{\text{snøsky}}} \right)^3 \quad (\text{N/m}^2) \quad (6.12)$$

3. Høyden av snøskydelen velges lik 30 m dersom det ikke er foretatt detaljerte beregninger

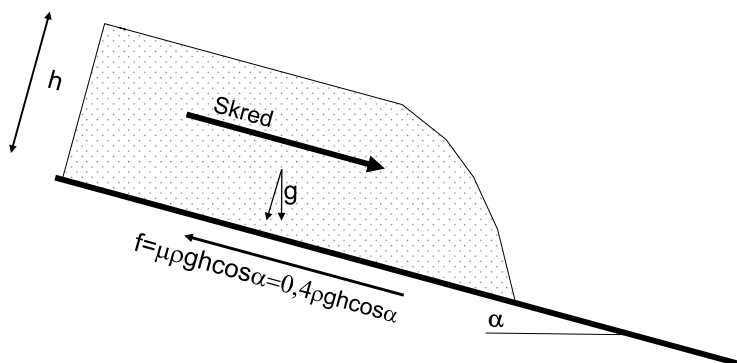


Figur 6.13 Trykkfordeling med høyden fra snøskydelen av skred.

6.4.3 Skjærspenninger mot konstruksjoner

Når et skred beveger seg langs et plan som ligger parallelt med skredet, for eksempel taket av et skredoverbygg, overføres det store skjærspenninger til dette planet. Disse spenningene tilsvarer de retarderende spenningene som er behandlet i avsnitt 6.2 og figur 6.3.

De overførte skjærspenningene kan beskrives som produktet av normaltrykket og en friksjonskoeffisient, fig 6.14. Denne friksjonskoeffisienten skal inkludere både effekten av den hastighetsavhengige og hastighetsuavhengige friksjonen. En sannsynlig gjennomsnittsverdi er 0,4. Denne verdien er også i overensstemmelse med den foreslåtte hellingen på energilinja.



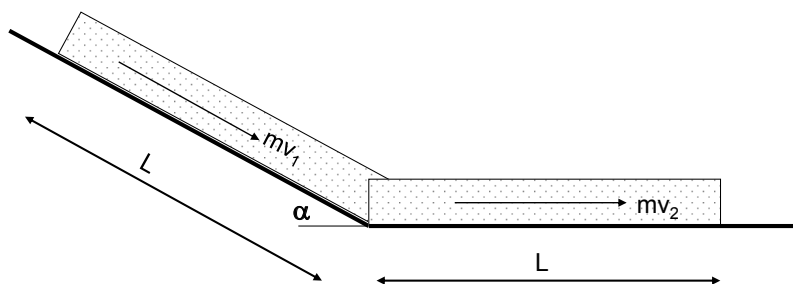
Figur 6.14 Overførte skjærspenninger til plate som er parallell med skredets retning

6.4.4 Skredets retning og flaten danner en vinkel

Når et skred treffer en flate som har en vinkel i forhold til skredets retning, for eksempel taket av et overbygg eller en ledemur, vil skredet bli tvunget til å skifte retning, fig 6.15. Denne retningsendringen vil kreve at det overføres avbøyningskrefter fra flaten og til skredet. Disse avbøyningskreftene kan beregnes ved hjelp av impulssetningen. Når strømningsmengden er konstant inn og ut av et kontrollvolum sier denne at produktet av kraft, K , ganger tid, Δt , tilsvarer endringene i impuls, som er produktet av masse og hastighet.

Figur 6.15 viser en del av skredet, med lengde, L , og høyde, h , og med enhetsbredde, som treffer en flate som danner en vinkel, α , i forhold til skredets opprinnelige retning. I løpet av tiden, Δt , blir denne delen av skredet avbøyd til en ny retning. Følgende likning kan da settes opp på grunnlag av impulssetningen:

$$\vec{K} \cdot \Delta t = m \cdot (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) = \frac{\rho L h}{L h} (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) \quad (\text{Ns/m}) \quad (6.13)$$



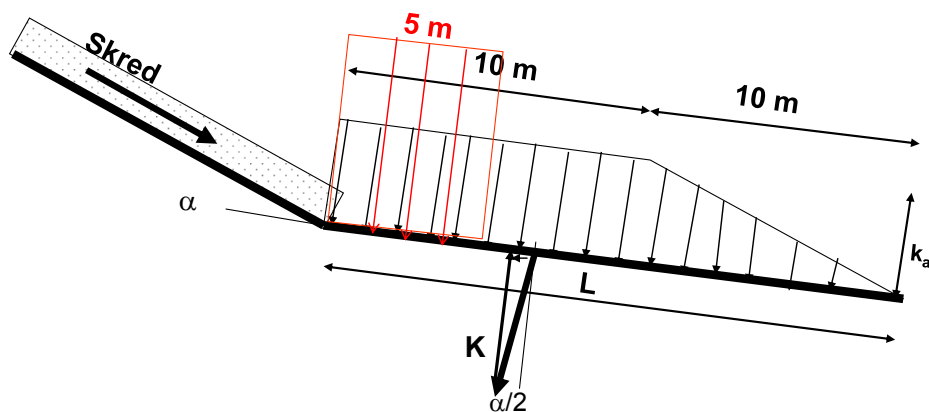
Figur 6.15. Skisse som viser avbøying av et skredvolum, m , når det treffer en flate med vinkelen α , i forhold til skredets opprinnelige retning.

Tiden skredet beveger seg, strekningen L , tilsvarer lengden dividert med skredhastigheten, L/v , og likn. 6.13 kan skrives som:

$$K = 2 \cdot \rho \cdot h \cdot v^2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (\text{N/m}) \quad (6.14)$$

der differensen av de vektorene er: $2 \cdot v \cdot \sin \alpha / 2$

Denne kraften må fordeles over en lengde, L , for å kunne anslå et dimensjonerende trykk mot en konstruksjonsflate. Det er vanlig praksis å fordele denne kraften som en jevn belastning dersom lengden av flaten er ≤ 10 m. Ved større lengder foreslås det å fordele belastningen som en jevnt fordelt last over de første 10 m, og deretter som en lineært redusert last for den øvrige delen inntil 20 m fra der retningsendringen skjer, fig 6.16.



Figur 6.16 Fordeling avbøyningskraften over en flate

Trykket avbøyningskraften utøver mot konstruksjonen, k_a , resulterer derved i følgende trykk som virker med en vinkel $\alpha/2$ på flaten hvor avbøyningen skjer:

$$\text{Ved } L \leq 10 \text{ m:} \quad k_a = K/L \quad (\text{N/m}^2) \quad (6.15)$$

$$\text{Ved } 10 \text{ m} < L \leq 20 \text{ m:} \quad k_a = K / (10 + \frac{1}{2}(L-10)) \quad (\text{N/m}^2) \quad (6.16)$$

Likn. 6.15 er basert på at det ligger noe snø nær området hvor skredet blir avbøyd, slik at avbøyningen skjer over en viss lengde. Fronten av skredet kan i noen tilfeller treffe flaten hvor avbøyningen foregår helt inn mot avbøyningen, og avbøyningskraften vil da bli fordelt over en mindre lengde. Det anbefales derfor, hvis for eksempel taket av et overbygg er trukket helt inn mot avbøyningen, å dimensjonere for en ekstrabelastning for effekten av fronten ved å fordele frontlasten over 5 m. Dette forholdet er vist med rødt i fig. 6.16.

Avbøyningstrykket, k_a , resulterer i at skredets normaltrykk mot flaten øker, og som igjen fører til større friksjonsspenninger langs flaten. De økte normal- og friksjonsspenningene på grunn av avbøyningstrykket, k_a , blir da:

$$\text{Trykk normalt flaten: } p_{an} = k_a \cdot \cos \alpha/2 \quad (6.17)$$

$$\text{Skjærspenninger parallelt flaten: } \tau_{an} = \mu \cdot k_a \cdot \cos \alpha/2 + k_a \sin \alpha/2 \quad (6.18)$$

6.5 Snøsigkrefter mot konstruksjoner

Alle typer konstruksjoner som blir satt opp i hellende terreng blir utsatt for snøens sigekrefter. Slike konstruksjoner kan for eksempel være forbygninger som skal hindre at snøskred blir utløst og maste-konstruksjoner for kraftledninger og skiheiser.

Kunnskaper om hvordan en kan anslå sigekrefter er bygget opp gjennom registrering av trykk mot instrumenterte konstruksjoner og mer teoretiske analyser. Slike feltforsøk ble først gjennomført i

Sveits. Senere har det vært gjennomført målinger i de fleste land hvor snøskred representerer en fare for befolkningen. I Norge er det vært gjennomført systematiske målinger mot forbygninger og master i regi av NGI siden 1975, Larsen (1989, 2000a og 2000b). Resultatene fra disse arbeidene er det viktigste grunnlaget for forslagene som er presentert i dette avsnittet. For mer detaljerte opplysninger henvises først og fremst for grunnlaget for dette arbeidet og til sveitsiske retningslinjer, BUWAL/WSL (2001)

6.5.1 Sigetrykk mot forbygninger

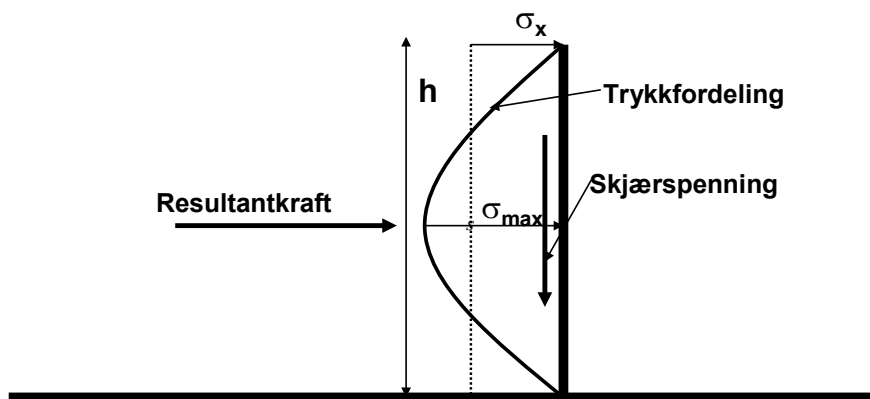
En forbygning settes opp for å forankre snøen slik at en hindrer at snødekket blir satt i bevegelse. I løpet av vinteren kan en forbygning bli utsatt for store sigekrefter og må dimensjoneres for å motstå disse. De viktigste faktorene som en må ta hensyn til i forbindelse med dimensjoneringen er:

- Vekten av snødekket
- Hellingen på terrenget
- Ruheten langs bakken

Sigetrykket er også avhengig av temperaturen i snødekket. Dersom alle andre faktorer er konstante er sigetrykket relativt moderat så lenge snødekket har en temperatur godt under frysepunktet. Når temperaturen i snødekket er isotermt og nær 0°C , øker snøsiget og derved også belastningene. Størst trykk har en derfor om våren når snødekket blir varmet opp, men før snøsmeltingen har ført til vesentlig reduksjon av snømengdene.

Ved beregning av belastningen mot en konstruksjon er det nødvendig å kjenne, fig 6.17:

- Gjennomsnittlig trykk
- Trykkfordelingen med høyden fra bakken
- Skjærspenninger parallelt forbygningen
- Endeeffekter



Figur 6.17 Trykkfordeling og resulterende krefter mot en forbygning

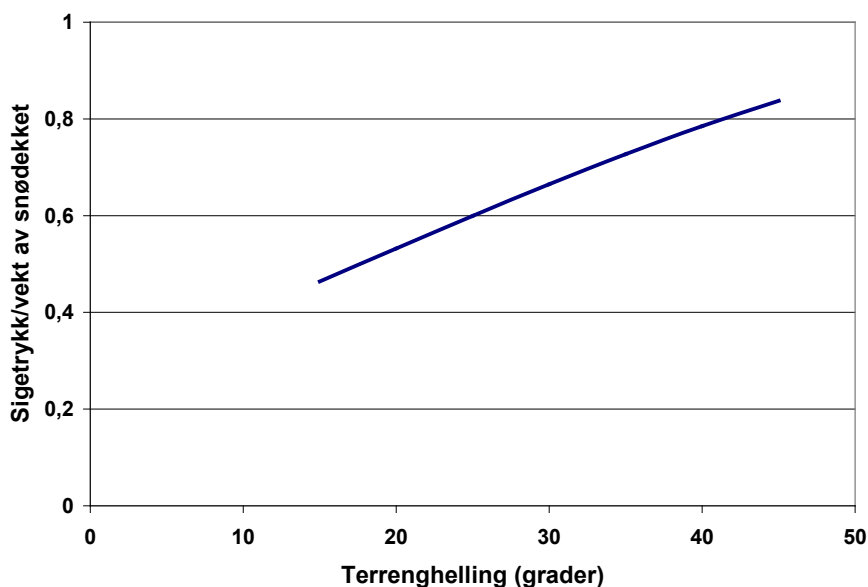
Trykket mot en forbygning varierer med høyden. Dette er først og fremst en funksjon av overlageringstrykket og av hellingen, men er også påvirket av glidningen mot bakken. I Norge er glidningen mot bakken minimal og effekten av denne er derfor ikke tatt med i de videre analysene. Tilnærmet kan en anslå en parabolisk trykkfordeling med null trykk ved overflaten og ved bakken, fig 6.17. Dette gir et maksimaltrykk på 1,5 ganger det gjennomsnittlige trykket og resultanten angriper midt på forbygningen.

Det maksimale gjennomsnittstrykket over vinteren, σ_x , kan etter Larsen (2000b) beregnes etter følgende formel:

$$\frac{\sigma_x}{\rho gh} = 3,125 \left[0,25 \cdot (\sin \alpha)^{1/2} + 0,05 \right]^{1/2} \cdot \sin \alpha + 0,28 \cos \alpha \quad (6.19)$$

Der ρgh er vekten av snødekket, og α er terrenghellingen. For densiteten, ρ , kan en bruke 500 kg/m^3 som en gjennomsnittsverdi.

Verdierne for gjennomsnittstrykket som funksjon av terrenghellingen er vist i fig. 6.18. Merk at disse verdiene må ganges med vekten av snødekket for å få sigetrykket i kN/m^2



Figur 6.18 Gjennomsnittlig sigetrykk mot forbygning i forhold til vekten av snødekket som funksjon av terrenghelling, likn 6.19. Etter Larsen (2000b)

Når snøen setter seg vil det etableres en skjærspenning som virker parallelt med forbygningen, fig 6.17. Larsen (2000b) foreslår følgende formel for beregning av denne spenningen:

$$\frac{\tau}{\rho gh} = 0,25(\cos \alpha)^{1/2} \left[1 - 0,84 \cdot (\sin \alpha)^{1/2} \right] \quad (6.20)$$

Likning 6.19 og 6.20 gjelder for lange forbygninger. Ved endene av forbygningene oppstår det store randbelastninger. Disse kan bli opptil 2–5 ganger sigetrykket, likn 6.19, og fordeles over en lengde på 4 m. (BUWAL/WSL (2001)

7 Vurdering av fare for skred

7.1 Formål med skredfarevurderinger

Formålet med å vurdere faren for skred er å øke trafikksikkerheten ved å redusere sannsynligheten for ulykker for trafikanter og for dem som arbeider på vegen. Formålet kan deles inn i følgende grupper:






- Innføring av trafikkregulerende tiltak
- Gjennomføring av drifts- og vedlikeholdstiltak
- Gjennomføring av anleggsarbeid i skredfarlige områder
- Bestemme tidspunkt for kunstig utløsning av skred

For de tre første gruppene er det sannsynligheten for naturlig utløste skred som er viktige for vurderingen. Med hensyn til anleggsarbeid bør en også vurdere i hvilken grad sprengingsarbeid kan utløse skred. I den siste gruppen er det vurdering av sannsynligheten for vellykket sprenging i utløsesområdet som er viktigst.

7.2 Inndeling av faregrader

I 1993 ble det vedtatt en europeisk standard for å beskrive faren for snøskred, fig. 7.1. Skalaen er inndelt i fem faregrader; liten, moderat, betydelig, stor og meget stor. Bakgrunnen for inndeling i grupper er basert både på sannsynligheten for naturlige skred og for at tilleggsbelastninger, for eksempel fra skiløpere, kan utløse skred. Dessuten er konsekvensene av eventuelle skred i de forskjellige faregruppene beskrevet. Det er derfor en separat beskrivelse av konsekvenser for både skiløpere og for veger og annen infrastruktur.

Bruk av en felles skala for veger og skiløpere kan by på utfordringer, fordi vurderingen vil være forskjellig om en vurderer faren for naturlige skred eller for kunstig utløste skred. Spesielt ved skredfare 3, betydelig skredfare, er det begrenset sannsynlighet for naturlige skred, mens det kan være potensielle glidelag i snødekket som gjør at skiløpere lett kan utløse skred. Det er derfor nødvendig med god kunnskap om begrunnelsen for valgt faregrad for å kunne bruke denne skalaen fornuftig til sitt spesielle formål. Ved tolkning av et skredvarsel vil det derfor være relevant å vite om en vektlegger sannsynligheten for naturlig utløste skred som følge av værforholdene, eller sannsynligheten for at skiløpere kan utløse skred. Vanligvis er det naturlig utløste skred som er mest truende for vegnettet.

Faregrad	Symbol	Stabilitet av snødekket	Sannsynlighet for snøskred	Konsekvenser for veier og bebyggelse / anbefalinger	Konsekvenser for ferdsel utenfor sikrede områder / anbefalinger
5 Meget stor		Snødekket har generelt svake bindinger og er svært ustabil.	Mange store, i noen tilfeller svært store, naturlig utløste skred forventes, også i moderat bratt terreng*.	Akutt fare. Omfattende sikkerhetstiltak.	Svært ugunstige forhold. Unngå alt skredutsatt terreng.
4 Stor		Snødekket har svake bindinger i de fleste brattheng*.	Skredutløsning er sannsynlig også ved liten tilleggsbelastning** i mange brattheng*. Under spesielle forhold forventes det mange middels store og noen store naturlig utløste skred.	Mange utsatte steder er i fare. Forebyggende tiltak anbefales på disse stedene.	Ugunstige forhold. Omfattende erfaring i bedømming av skredfare er nødvendig. Ferdsel begrenses til moderat bratt terreng*, utløpsområder bør unngås.
3 Betydelig		Snødekket har moderat til svake bindinger i mange brattheng*.	Skredutløsning er mulig, også ved liten tilleggsbelastning** i brattheng*. Under spesielle forhold kan det forekomme noen middels store og enkelte store naturlig utløste skred.	Noen utsatte steder er i fare. Enkelte forebyggende tiltak anbefales på disse stedene.	Delvis ugunstige forhold. Erfaring i bedømming av skredfare er nødvendig. Brattheng* som er spesielt utsatt bør unngås hvis mulig.
2 Moderat		Snødekket har moderate bindinger i noen brattheng*, for øvrig har det sterke bindinger.	Skredutløsning er mulig, spesielt ved store tilleggsbelastninger** i brattheng*. Store naturlig utløste skred forventes ikke.	Liten fare fra naturlige skred.	Stort sett gunstige forhold. Gjennomtenkt rutevalg, spesielt i utsatte brattheng*.
1 Liten		Snødekket har generelt sterke bindinger og er stabilt.	Skredutløsning er generelt kun mulig ved store tilleggsbelastninger i noen få ekstreme heng*. Kun små naturlig utløste skred er mulig.	Ingen fare.	Generelt trygge forhold.

Forklaringer:

* Kan være beskrevet i mer detalj i teksten i et skredvarsel (bl.a. avhengig av høydenivå, hengretning (le-side, skygge-side) og terrengforhold).

- moderat bratt terreng: Heng slakere enn ca. 30 grader
- brattheng: Heng brattere enn ca. 30 grader
- ekstreme heng: Terreng spesielt skredutsatt pga; bratthet (vanligvis brattere enn ca. 40 grader), terrengform, nærhet til rygg, underlagets ruhet.

** Tilleggsbelastning:

- stor (f.eks. gruppe skiløpere uten avstand, snøskuter, sprengning).
- liten (f.eks. en skiløper, snowboarder, en person på truger)

naturlige skred: utløst uten menneskelig påvirkning
hengretning: kompassretningen skråningen vender mot (sett nedover skråningen)
utsatte steder: spesielt farlige steder

Figur 7.1 Presentasjon av den europeiske fareskalaen for snøskred (Utforming: NGI)

7.3 Værtyper som påvirker faren for snøskred

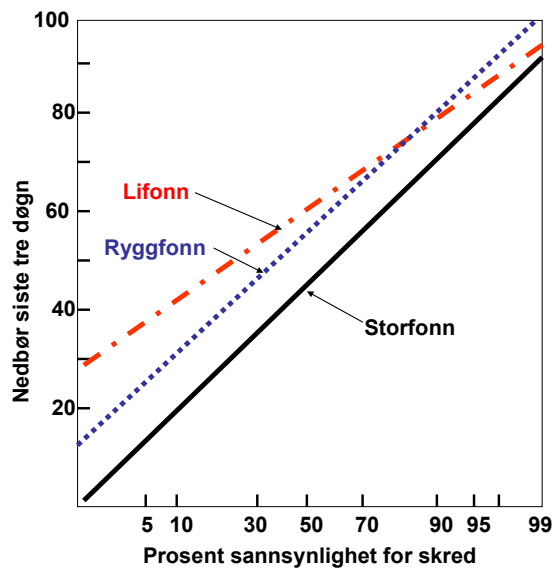
Et naturlig snøskred blir bare utløst hvis snødekket er i en labil likevekt, og værforholdene er slik at snødekkets stabilitet reduseres med tiden. De viktigste faktorene som gir økende skredfare er:

- Nedbør
- Vindstyrke og vindretning
- Temperatur og solstråling

7.3.1 Nedbør

Vekten av ny snø til et labilt snødekke vil føre til at belastningene på det potensielle glidelaget øker, likn 3.2. Den økte vekten fører også til at snødekket setter seg og får økende fasthet med tiden. Det er derfor bare når nedbørsintensiteten forårsaker større økning i belastningen enn i fastheten at det er økende skredfare.

NGI ved Bakkehøi (1987) analyserte nedbørsdata for tre skredområder i Grasdalen, langs rv. 15 Strynefjellsvegen, for dager med skredaktivitet. Best sammenheng ble funnet ved å analysere sannsynligheten for skred med nedbøren siste tre døgn, fig 7.2. Når nedbørsmengdene siste tre døgn er mer enn 90 mm, er det 99 % sannsynlighet for skred i alle de tre undersøkte skredområdene. Ved så store nedbørsmengder har den nye snøen sjelden fått tid til å bygge opp så stor fasthet at det kan hindre at det nye snølaget glir ut. Det kan derfor gå nye skred ved tilstrekkelige nysnømengder, selv om det gamle snødekket er stabilt og ikke har potensielle glidelag.



Figur 7.2 Sannsynligheten for skred beregnet på grunnlag av nedbøren siste tre døgn. Data fra tre skredområder langs rv. 15, Strynefjellsvegen. Bakkehøi 1987

Ved mindre nedbørsmengder reduseres sannsynligheten for skred, og det er store variasjoner fra et skredløp til et annet. For å forstå hvorfor det er så store variasjoner ved moderate nedbørsmengder er det viktig å ha kunnskaper om og å ta hensyn til:

- Terrenghellingen i utløsingsområdet
- Skredområdets helling i forhold til nedbørsførende og framherskende vindretninger
- Snødekkets mektighet og sammensetning, og lokalisering av potensielle glidelag.

Noen av de forskjellene som karakteriserer de tre skredområdene i fig 7.2 er:

- Lifonn; som har minst sannsynlighet for å utløse skred ved en gitt nedbørmengde, er det skredområdet som har minst helling i utløsningsområdet, og området samler snø fra SV-V.
- Ryggfonn; har noe brattere løseområde enn Lifonn og samler drivsnø i sektoren SØ-SV.
- Storfonn; som har høyest skredfrekvens ved en gitt nedbørmengde, har det bratteste utløsningsområdet og samler snø i sektoren V-NV

Dette viser at hellingen i utløsningsområdet har stor betydning for frekvensen av skred ved en gitt nedbørmengde. Betydning har også eksponeringen i forhold til nedbørsførende vindretninger, men denne effekten er mindre klar i dette utvalget, da alle utløsningsområdene samler snø ved vindretninger som kan gi store nedbørmengder.

Nedbør i form av regn vil bestandig øke skredfaren, fordi regnet både gir øket vekt til snødekket, og vannet ødelegger bindingene mellom snøpartiklene. Det er derfor sannsynlig at de kritiske nedbørmengdene i fig. 7.2 bør reduseres dersom nedbøren faller som regn istedenfor snø, som danner grunnlag for figuren.

Ved intenst regnvær, større enn 50 mm pr. døgn, vil tilførselen av vann kunne føre til at det dannes fritt vann i porene og bindingene mellom partiklene brytes helt ned. Under slike vær-situasjoner må en også vurdere faren for sørpeskred, som kan opptre i helt andre områder enn der snøskred forekommer. Mer kunnskap om sørpeskred og sikring mot disse finner en i Hb. V139 Flomskred og sørpe-skred..

Hvis det er lite vind og konstant temperatur trengs det relativt store nedbørsintensiteter for at økningen i belastningen skal overstige fasthetsøkningen i snødekket. Erfaringer fra NGI's forskningsstasjon på Strynefjellet tyder på at en helst bør ha en nedbørsintensitet på 2-3 mm/t for å få utløst naturlige skred. I tillegg må kriteriene for tre-døgns nedbør vist i fig. 7.2 være oppfylt. Imidlertid er det mulig å utløse skred kunstig i flere dager eller uker etter intense snøfall, dersom det er glidelag i snødekket som fortsatt er intakte.

7.3.2 Vind

Det er et uttrykk som sier at vinden er snøskredenes byggmester. Det er liten tvil om at vindtransportert snø kan gi vesentlige bidrag til de totale snømengdene som samler seg i en fjellside, se også avsnitt 2.3 og figurene 2.5 og 2.6.

Meister (1989) påpekte at 40 % av alle skred i Davos-området kunne relateres til sterk vind i fjellet og snøtransport fram til leområdene. Tilsvarende erfaringer er påvist på Island, hvor Björnsson (2001) fant at 35 av 37 undersøkte skred hadde skjedd i forbindelse med vindstyrker > 15 m/s. Også i Norge er det påvist at det er en klar sammenheng mellom vind og utløsning av snøskred. Jädicke et al (2007) fant at den viktigste faktoren for utløsning av skred i Vest-Norge var nedbør, mens det i Nord-Norge var vindstyrker det siste døgnet som var den dominerende faktoren.

Mengden snø som kan transporteres langs bakken og fram til en fjellside avhenger først og fremst av vindhastigheten og tilgjengelig løs snø på bakken. Dyunin (1974) har presentert følgende formel for maksimal drivsnømengde som funksjon av vindhastigheten 10 m over bakken:

$$Q = 0,056 \cdot (V_{10} - 5)^3 \quad (\text{kg/m} \cdot \text{s}) \quad (7.1)$$

Der Q er snøfluksen, transportert snømengde i kg pr sek og pr meter bredde, og V_{10} er vindhastigheten 10 m over bakken.

Med vindhastighet på 15 m/s tilsvarer dette en snømengde på 0,056 kg/m•s eller 200 kg/m•time. Dersom det antas at denne snøen fordeler seg jamt over en lengde på 100 m, tilsvarer det en nedbørsintensitet på 10 mm vann/time, når densiteten for drivsnøen settes lik 200 kg/m³.

Lehning et al (2000) presenterte målinger av snøakkumulasjon på både lovart og le side av en fjellrygg i forbindelse med en periode med både snøfall og vind. På lovart side av fjellryggen var det ingen akkumulasjon og i perioden med sterk vind ble snømengdene på bakken redusert på grunn av erosjon. På le side var det i hele perioden stor akkumulasjon av snø, og 75 m nedenfor fjellryggen var den gjennomsnittlige økningen i snøhøyde 20 mm/time. Nær inntil fjellryggen var tilsvarende tall 55 mm/time. Dette tilsvarer en nedbørsintensitet på henholdsvis 4 og 11 mm vann pr. time. Disse tallene inkluderer både avsetningene av drivsnøen som transporteres langs bakken og av fallende snø som avsettes i de store virvelsystemene på le side av fjellrygger, fig 2.6.

Snømengdene som transporteres langs bakken vil derfor ved sterk vind, helst over 10 m/s, være tilstrekkelig til å utløse naturlige skred i lehang. Dette gjelder selv om det ikke er samtidig nedbør.

Dersom det er sterk vind samtidig med nedbør vil en få både effekten av fallende snø som avsettes i lesidene, og det vil alltid være løs snø langs bakken som vinden kan erodere og transportere fram til lesidene. Kombinasjonen av nedbør og sterk vind er derfor en hyppig årsak til at naturlige skred utløses.

7.3.3 Temperatur og solstråling

Temperaturen har stor påvirkning på snødekkets utvikling og stabilitet gjennom vinteren. Store endringer av temperaturen over kort tid vil også påvirke stabiliteten i positiv eller negativ grad.

I kald snø, temperaturer < -2° C, vil en økning i temperaturen føre til at snøen setter seg raskere og bidra til å heve stabiliteten. Derimot, dersom snødekket er isotermt og har temperatur nær smeltepunktet, vil en temperaturstigning til godt over 0° C bidra til at bindingene mellom snøkrystallene får redusert styrke. Dersom denne prosessen går så raskt at en også får fritt vann i snødekket øker sannsynligheten for våtsnøskred raskt.

Tidspunktet for våtsnøskred er vanskelig å varsle. Dersom snødekket er kaldt når mildværsperioden inntreffer, kan det gå dager før hele snødekket er tilstrekkelig oppvarmet. Derimot kan det forekomme mindre løssnøskred i bratte utløsningsområder i første del av intense mildværsperioder.

Intens solstråling har også evnen til å varme opp snødekket og forårsaker at smeltevann føres nedover i snødekket. Våte løssnøskred kan derfor opptre hyppig i forbindelse med kraftig solstråling. Tidspunktet for slike skred er oftest 1–5 timer etter at skredområdet har mottatt maksimal solstråling, McClung og Schaerer (2006). Dette betyr at østvendte hellinger får skred tidligere på dagen enn vestvendte hellinger.

Snøskred som utløses i forbindelse med kraftig temperaturøkning eller solstråling, er oftest løssnøskred og de løsner gjerne i bratte fjellsider, >50°. Et spesielt forhold ved slike skred er at de starter fra et lokalt løснеområde. En vil ofte oppleve at i samme skredløp kan det komme flere skred på samme dag, dersom dette skredløpet drenerer skred fra flere potensielle løснеområder, fig. 5.1. Flere skred per dag kan en også oppleve dersom skredene kan løsne fra forskjellige høydenivåer. Da vil de første skredene løsne fra lavere nivå, og videre utover dagen, når snødekket også blir varmet opp i høyden, vil skredaktiviteten forflytte seg mot høyere nivåer. Dette vil ha stor betydning når en vurderer når en skal starte rydding av en skredstengt veg.

7.4 Metoder for vurdering av skredfare

Brukerne av en skredfarevurdering vil eksempelvis være skiløpere, driftspersonell for veger, jernbaner og skianlegg, og personell som har ansvar for viktig infrastruktur som boliger, industriområder og anleggsplasser. I noen tilfeller er formålet å utarbeide regionale varsler, som viser den sannsynlige skredfaren for et stort område. I de fleste tilfellene trengs et mer lokalt varsel som gir råd for om en bestemt vegstrekning bør stenges eller bestemte hus skal fraflyttes. I det siste tilfellet trengs grunnleggende lokal kunnskap for å vite hvordan en best kan utnytte informasjonene i et regionalt varsel til det bestemte skredområdet som vurderes.

Historisk har det vært en kraftig utvikling siden en startet med systematiske skredfarevurderinger i Sveits rundt 1950. Dette har sammenheng med bedre instrumenter for å registrere og overføre observasjoner om været, mer detaljerte og mer tilgjengelige værvarsler og utvikling av datasystemer for utarbeiding av prognoser for skredfaren.

De tre viktigste stadiene i utviklingen av skredfarevurderinger har vært:

- Bruk av lokalkunnskap kombinert med værvarsel og observasjoner i utløpsområdet
- Bruk av lokalkunnskap kombinert med værvarsel og informasjon om været og snødekket i skredenes utløpsområde
- Databaserte skredfarevurderinger

7.4.1 Vurderinger på bakgrunn av lokalkunnskap

Folk som bor og arbeider i skredutsatte områder bygger opp en imponerende god kunnskap om når det er sannsynlig at naturlige skred kan bli utløst. Denne kunnskapen er først og fremst knyttet til lokale forhold, og er mindre gyldig over større områder, hvor det er vanskeligere å følge med i hvordan været har utviklet seg over vinteren, og å ha kunnskap om lokale variasjoner med hensyn til nedbør, vind og temperatur.

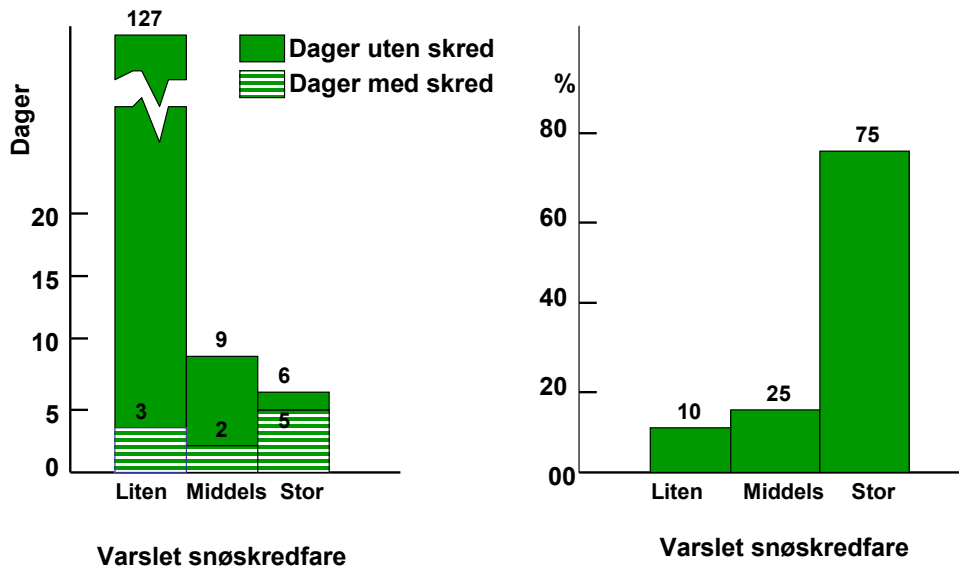
Alle land som har arbeidet med å utvikle en varslingstjeneste for snøskred, har først satset på å utnytte tilgjengelig lokalkunnskap. I Norge gjennomførte Statens vegvesen i årene 1977–1982 forsøk med varsling for forskjellige vegstrekninger i Møre og Romsdal og i Sogn og Fjordane fylke, Norem (1983). Varslene var basert på daglige observasjoner i vegnivå av nedbør, vind og temperatur, samt værvarsler for området. Skredvarslet ble utarbeidet i tre faregrader:

- Ingen eller liten skredfare
- Middels skredfare
- Stor skredfare, definert som stor sannsynlighet for skred på vegen de neste 24 timene.

Med i instruksjonen var at middels skredfare skulle brukes minst mulig fordi en ikke hadde egnede trafikkregulerende tiltak å sette inn ved denne graden av skredfare.

Figur 7.3 viser resultatene fra seks områder. I gjennomsnitt ble det varslet stor skredfare 6 dager pr. år for de undersøkte vegen, og på disse dagene ble det registrert skred på vegen 5 av dagene. På de 9 dagene med middels skredfare ble det registrert skred i 2 av dem. I tillegg var det også 3 dager med registrerte skred på de 127 dagene med meldt ingen eller liten skredfare. Figuren viser også at hele 75 % av alle skred ble utløst på dager med varslet stor skredfare.

Erfaringene med dette forsøket viste at det var relativt enkelt å varsle dagene med stor skredaktivitet. Derimot var det vanskeligere å varsle de dagene hvor det bare var enkelte skred som sperret vegen.



Figur 7.3 Resultat av forsøk med varsling av skredfare. Figuren viser et gjennomsnitt pr. år for 2 år fra 6 forskjellige områder. Norem (1983)

Når en vurderer faren for skred er det også viktig å følge med på hva som skjer i naturen. En rekke personer med god lokalkunnskap har erfaring for at på dager med stor skredaktivitet, skjer de første skredene i bestemte områder, indikatorskred. Dersom det løsner skred i disse områdene, og skredfaren fortsatt er økende, er sannsynligheten for større skred stor. Nyten av å bygge opp kunnskap om slike indikatorskred er viktig for å gjennomføre gode skredfarevurderinger på lokalt nivå.

7.4.2 Kombinasjon av lokalkunnskap og observasjoner i utløsningsområdene

Det neste skritt i utviklingen av metoder for skredvarslingen var å gjennomføre faste observasjoner i skredenes utløsningsområder. Alle land som har etablert organisert varslingstjeneste i dag har kontinuerlige observasjoner i de høydenivåene som skredene blir utløst i, og de omfatter:

- Nedbør
- Vindretning
- Vindstyrke
- Temperatur
- Snømengder
- Lokalisering og fasthet av potensielle glidelag

Opplysninger om været samles i dag inn ved hjelp av automatiske værstasjoner, som helst bør registrere og lagre data hvert 10. minutt. Kunnskap om snødekkets lagdeling og fasthet kan i dag bare undersøkes ved hjelp av feltmålinger, hvor en tester fastheten for hvert lag i snødekket med forskjellige teknikker. De vanligste er måling med rammsonde, spadeprøve, kompresjonstest, skyveramme eller rutsjblokk, avsnitt 3.2.5, se for eksempel McClung og Schaerer(2006) eller Lied og Kristensen (2003). Slike feltundersøkelser bør helst foretas minst en gang hver uke i utvalgte områder.

Det er ikke foretatt noen systematiske undersøkelser i hvilken grad observasjonene i utløsningsområdene har bidratt til å øke kvaliteten på skredfarevurderingene. Det er imidlertid helt sikkert at slike observasjoner gir observatørene en langt større sikkerhet ved utarbeiding av sine varsler.

Vurdering av skredfaren ved bruk av automatiske værstasjoner og feltundersøkelser av snødekket brukes i dag først og fremst i forbindelse med regionale varsler om faren for snøskred. For slike varsler er de ekstra opplysningene en har om været i fjellet og om snødekket helt essensielle for å utarbeide et varsel som har gyldighet for større områder.

7.4.3 Databaserte skredfarevurderinger

Med utvikling av digital lagring av data fra automatiske værstasjoner og digitale værvarsler har det de siste 30 årene vært stor innsats for å utvikle databaserte skredvarsler. Hovedprinsippene for de databaserte modellene er:

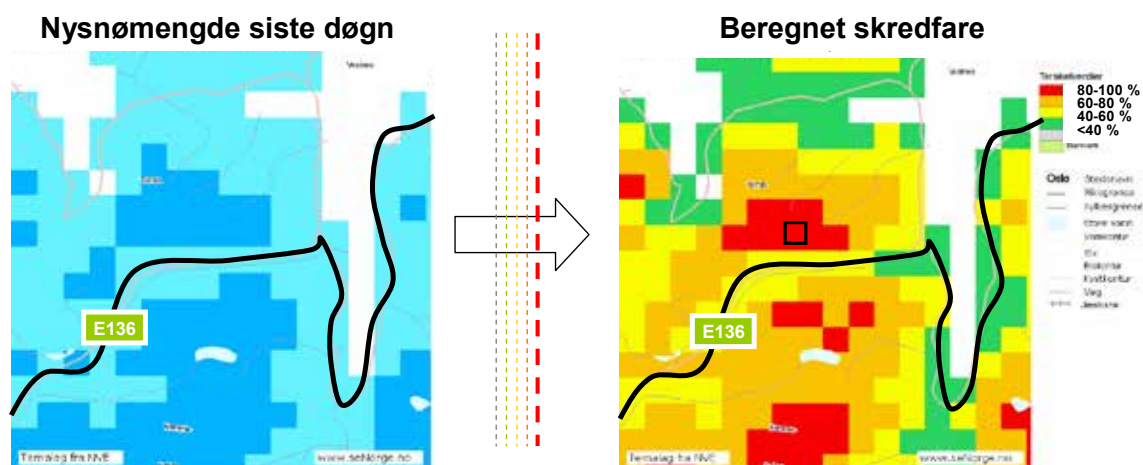
- Ekspertsystemer
- Sammenlikning av dager som likner hverandre
- Numerisk beregning av snødekkets utvikling og stabilitet

Ekspertsystemer

Ekspertsystemene er basert på at en samler inn erfaringene og kunnskapene eksperter har bygget opp. Denne kunnskapen skal deretter systematiseres slik at datamaskinen kan gjenkjenne kritiske situasjoner, og vite hvilke råd ekspertene ville gi i slike situasjoner.

I de tradisjonelle ekspertsystemene som er utviklet for snøskred, for eksempel Zishg et al (2005), er det analysert hvilke vær-situasjoner som gir stor sannsynlighet for skred og hvilke situasjoner som gir liten sannsynlighet. Når dagens værvarsel er utarbeidet, vil programmet deretter regne ut sannsynligheten for skred. Denne sannsynligheten kan enten omfatte sannsynligheten for skred over større områder eller for et bestemt boligområde eller vegstrekning.

En annen variant av ekspertsystemer er det norske nettbaserte støtteverktøyet for varsling av fare for skred, www.xgeo.no. På dette nettstedet vil en finne registrerte værobservasjoner, registrerte vannføringer og beregnede verdier for markfuktighet fra mange år tilbake. Dessuten blir varslene for de neste 24 timene lagt inn i nettportalen. Verktøyet er videre basert på at det er definert terskelverdier med hensyn til de viktigste parametrene som er antatt å være mest avgjørende for skredfaren. Resultatene av beregningene presenteres deretter grafisk med en viss prosent sannsynlighet for skred for de neste 24 timene i et rutenett på 1x1 km², fig 7.4.



Figur 7.4 Eksempel på beregning av sannsynlighet for snøskred langs E136, Tresfjord-Ørskog i nettportalen, www.xgeo.no/. Humstad 2010

Terskelverdiene som er lagt til grunn for varslingen i seNorge.no er foreløpig basert på arbeidet til Bakkehøi (1987), fig 7.2. Det arbeides med å detaljere terskelverdiene bedre og å innføre flere parametere for å øke nøyaktigheten av varslene.

Nærabometoden

Sveitserne har siden 1983 utviklet en varslingsmetode som har fått navnet «Nærabometoden». Denne metoden er utviklet videre av NGI for Statens vegvesen for å brukes i en daglig varslings-tjeneste.

Ideen bak nærabometoden er at en bygger opp kunnskapen om skred på samme måte som lokal-kjente har bygget opp sin kunnskap. Værvarslet for «dagen i dag» blir sammenliknet med tidligere, registrerte dager med mest mulig like værforhold, samtidig som en får opplysninger om vegar har vært stengt på disse dagene. For å fungere, trenger systemet en database for flest mulig vinterdager med opplysninger både om været og om skred på vegene. Jo større antall dager som ligger inne i systemet desto større er mulighetene for å finne dager som er mest mulig lik «dagen i dag». Etter hvert som systemet blir brukt, vil databasen bli utvidet, og nøyaktigheten øker med lengre tids bruk.

Hvor lik «dagen i dag» er med hensyn til tidligere dager blir regnet ut ved å sammenlikne verdiene for nedbør, vind, temperatur og skyer/stråling. Forskjellen i verdi for hver av disse parametrene blir regnet ut og vektet i forhold til den betydningen hver parameter, for eksempel nedbør, har å si for skredfaren. De dagene som får minst forskjell i samlet verdi blir så antatt å være mest lik «dagen i dag», og en får videre opplysninger om det har vært registrert skred på disse dagene.

Pedagogisk er «nærabometoden» god, men dessverre har det til nå ikke vært mulig å legge inn opplysninger om snømengdene i fjellet og opplysninger om snødekkets sammensetning som grunnlag for sammenlikningen. Varslene som en får med «nærabometoden», må derfor betraktes som et grunnlag, og bør analyseres videre før endelig varsel blir fastlagt.

Numerisk beregning av snødekkets utvikling og stabilitet

Både i Sveits og Frankrike er det utviklet datamodeller som ut fra værobservasjoner og værvarsler beregner hvor mye snø som samler seg i utløsningsområdene og hvordan lagdelingen i dette snølaget utvikler seg med hensyn til densitet og fasthet. På grunnlag av disse beregningene utarbeides det deretter en stabilitetsindeks, som er et uttrykk for sannsynligheten for skred. Det franske systemet har fått navnet Safran-Crocus-Mepra, og er blant annet beskrevet av Durand et al (1999), mens det sveitsiske systemet er kalt SNOWPACK, Lehning et al (2000).

Begge systemene har lagt inn forutsetninger for vindtransport snø fram til lesidene. Disse beregningene er dessverre beheftet med en del usikkerheter, særlig hvis beregningene gjennomføres med et grovt rutenett, >20 m. Systemene beregner også snødekkets omvandling ut fra temperatur, nedbør og stråling. Erfaring viser at disse beregningene gjennomføres med rimelig grad av nøyaktighet. Erfaring fra blant annet Japan tyder på at modellene er mer egnet for å beregne sannsynligheten for skred for mindre områder enn for regionale varsler, fordi en da kan gjennomføre beregningene med et tettere rutenett.

7.4.4 Valg av vurderingsmetode

Det er ingen tvil om at den beste vurderingen av skredfare gjøres av personer med god kunnskap om snøskred, god lokalkunnskap og som også kan støtte seg til observasjoner fra høydenivået der skredene løses ut. Dersom de rette personene kan påta seg å foreta kontinuerlige varsler så vil deres varsler ha bedre kvalitet enn de rene databaserte prognosene basert på dagens modeller.

Fordelen med de databaserte prognosene er at de er raske å regne ut, og de gir et godt grunnlag for videre bearbeiding til en mer detaljert lokal skredfarevurdering.

Svakheten med de databaserte metodene er først og fremst:

- Det er ikke mulig å legge inn data fra feltundersøkelsene i modellene. Det vil si at terskelverdiene i modellene ikke varierer med fasthet og lokalisering av potensielle glidelag
- De valgte terskelverdiene er foreløpig relativt enkle, og de tar bare i mindre grad hensyn til faktorer som en lokalkjent legger vekt på, men ikke klarer å beskrive systematisk

Kvaliteten på en databasert modell er derfor helt avhengig av hvor nøyaktig og detaljert en er i stand til å beskrive de kritiske vær-situasjonene som gir øket skredfare og å etablere gode terskelverdier. Dessuten er det nødvendig at en er i stand til å etablere prosedyrer for hvordan en kan utnytte resultatene fra feltundersøkelsene i beregningene av sannsynlighetene for skred. Det gjenstår derfor mye arbeid før de databaserte systemene for skredfarevurderinger oppnår bedre kvalitet enn personer som har både gode kunnskaper om skred, har god lokalkunnskap og som følger med i utviklingen av snødekkets sammensetning.

En viktig del av skredfarevurderingen er å overføre resultatene fra de regionale skredvarslene til lokale forhold. Dette gjelder spesielt veg- og jernbanestrekninger, men også mulige evakueringer av hus eller skiløping i spesielle områder. Til dette trengs det god lokalkunnskap.

De regionale varslene vil gi gode indikasjoner om hvor mye snø det er i fjellet og hvordan denne er fordelt på grunn av vindforholdene. Dersom det er foretatt feltundersøkelser i forbindelse med de regionale varslene vil en også få gode indikasjoner om det er potensielle glidelag i snødekket og hvor dypt disse ligger.

Ved utarbeiding av lokale varsler må en da bruke lokalkunnskapen til å vurdere i hvilken grad den aktuelle vindretningen har tilført det aktuelle skredområdet store snømengder og om det er sannsynlig at glidelagene som er funnet også er tilstede i dette skredområdet.

7.5 Skredvarsling i Norge

Statens vegvesen er i dag medeier i en nasjonal skredvarslingstjeneste sammen med blant andre Norges vassdrags og energidirektorat (NVE). Denne varslingstjenesten bruker en kombinasjon av ovennevnte metoder, observatører og datakilder.

Lokale skredfarevurderinger utført av lokalkjente rapporteres inn på systemene Regobs.no og ELRAPP. Førstnevnte system kan brukes av alle som observerer vær- og snøforhold, skredfaretegn og skredaktivitet eller utfører lokale skredfarevurderinger i terrenget. Sistnevnte brukes av Statens vegvesens entreprenører ved vurdering av faren for skred på veg i de mest utsatte driftskontraktene.

Opplysningene fra disse kildene blir sammenstilt med værprognoser, målestasjoner og datasett med terskelverdier i støtteverktøyet Xgeo.no

Basert på disse kildene blir det utarbeidet regionale varsler som publiseres på nettstedet Varsom.no.

8 Sikringstiltak mot skred

Målsettingen for ethvert sikringstiltak er å oppnå best mulig sikkerhet og framkommelighet for en så liten investering som mulig. Det er videre viktig at sikringstiltakene ikke fører til dårligere trafiksikkerhet eller andre ulemper for trafikantene, driftspersonellet eller fastboende.

Det er gjennom årene utviklet en rekke forskjellige sikringsmetoder, med store variasjoner når det gjelder kostnader og sikringseffekt. Generelt gjelder at de mest kostbare metodene gir størst sikkerhet, og de er anvendelige mot alle skredtyper og i alt slags terreng. De rimeligere tiltakene er oftest mest effektive i spesielle terrengtyper og mot enkelte skredtyper.

Sikringstiltakene mot snøskred må innpasses i vegplanene, slik at en også oppnår målsettingene om god linjeføring, trafiksikkerhet, miljø og driftskostnader. De fleste sikringstiltakene krever relativt store terrenginngrep eller bygging av store konstruksjoner. Det er en forutsetning at tiltakene får en god estetisk utforming i tillegg til at de skal være funksjonelle.

8.1 Skredoverbygg og tunneler

Skredoverbygg og tunneler gir best sikkerhet mot snøskred. De er imidlertid dyre konstruksjoner, og er bare aktuelle der andre sikringsmetoder ikke gir tilfredsstillende sikkerhet. På grunn av de høye kostnadene har det derfor vært en tendens til at overbygg og tunneler har vært bygd for korte. Sikringseffekten av bygde tiltak, definert som reduksjon av antall vegsperringer, ble undersøkt av Hammersland i 1999. Han fant at i gjennomsnitt ble skredfrekvensen på vegen redusert med ca 70 % etter at overbyggene var bygget. (Hammersland et al 2000). Overbygg kortere enn 30 m hadde en sikringseffekt på bare 50 %, mens overbyggene lengre enn 200 m hadde i gjennomsnitt en sikringseffekt på 95 %.

Planlegging og bygging av tunneler er behandlet i Hb N500, Vegtunneler. Ofte er det ikke mulig å finne et område for tunnelpåhugget som er helt trygt for skred, eller det er ikke økonomisk lønnsomt eller teknisk mulig å plassere tunnelpåhugget skredtrygt. I slike tilfeller er det nødvendig å forlenge tunnelen med en portal som er beregnet for å motstå belastningene fra snøskred og steinsprang, fig 8.1. Slike portaler må dimensjoneres ut fra kriteriene som er gitt senere i dette avsnittet og i kap. 6, Beregning av hastigheter, utløpsdistanse og skredtrykk. Dessuten gir håndbøkene V220 Geoteknikk i vegbygging og N400 Bruprosjektering viktig informasjon om fastsetting av belastninger og dimensjoneringsregler.

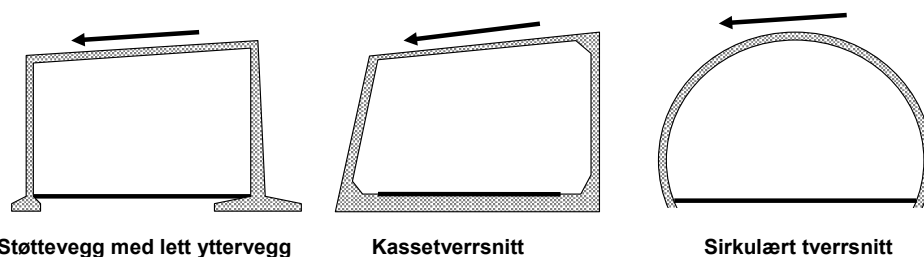


Figur 8.1 Eksempel på skredoverbygg som fungerer som en forlenget tunnelportal. Endeavslutningen er utformet med en ledemur som er trukket inn mot ledevollen og har en vinge på utsiden av overbygget for å hindre tilbakeslag av skredsnø inn mot vegen. Overflatevannet er ført i en egen renne over overbygget. Fv. 615 Hyenfjorden, Sogn og Fjordane Foto H. Norem

8.1.1 Konstruktive utforminger av overbygg

Skredoverbygg blir i dag bygget etter tre prinsipielt forskjellige utforminger, fig 8.2:

- Støttevegg med tak og lett vegg på luftsiden
- Stiv kassekonstruksjon
- Sirkulært tverrsnitt



Figur 8.2 Prinsipielle konstruksjonsløsninger for skredoverbygg.

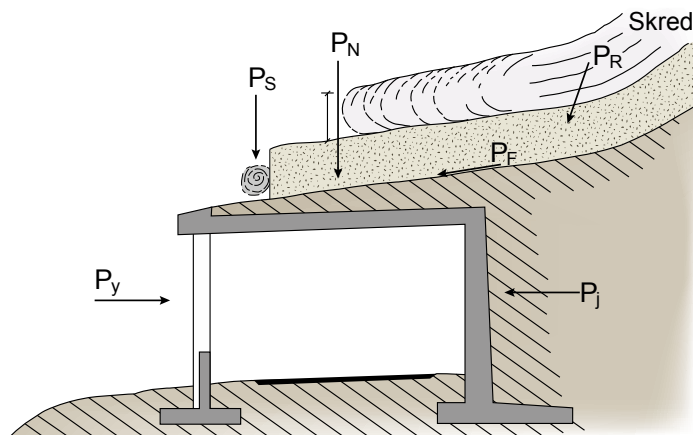
Overbygg med støttevegg er den tradisjonelle metoden for å bygge overbygg. Metoden egner seg spesielt i sidebratt terreng der den indre sideveggen skal ta opp store sidekrefter på skjæringssiden. Dersom det er fjell på skjæringssiden kan sidekreftene tas opp ved hjelp av stag mot fjellet.

Overbygg med stiv kassetverrsnitt er generelt en kostbar konstruksjon, men den krever mindre utgravinger på skjæringssiden, og de horisontale skjærkreftene kan tas opp i sålen. Dessuten er kassetverrsnittet egnet der det er vanskelig å føre ned store vertikale laster på fyllingssiden av vegen.

Metoden med overbygg med et sirkulært tverrsnitt er først og fremst egnet i terreng med liten sidehelling. Konstruksjonsprinsippet er svakt med hensyn til sidebelastninger og punktlaster. Det er derfor nødvendig at et overbygg etter dette prinsippet stabiliseres med løsmasser på begge sider og på toppen av overbygget.

8.1.2 Dimensjonerende laster

Skredoverbygg dimensjoneres for et skred med returperiode på 200 år. Lastene avhenger av dimensjonerende skreds flyte høyde, tetthet, hastighet og utformingen av overgangen mellom terrenget og overbygget. De dynamiske trykk- og friksjonskreftene som virker på et overbygg er, fig 8.3:



Figur 8.3 Typer av skredbelastninger på overbygg

- P_N = Last normalt takflaten, og er summen av avlagret snø og vekt av skredlaget
 P_F = Friksjonskraft som virker parallelt med takflaten
 P_R = Resultantkraft, som skyldes retningsendring av skredet ved taket av overbygget.
 P_J = Jordtrykslaster, som består av en ren hvilelast og et øket jordtrykk på grunn av vekten av avlagret snø og vekten av skredlaget.
 P_S = Punktlast på grunn av steinsprang eller av blokker transportert i skredet
 P_Y = Last mot ytre sidevegg, som både kan være suglast når skredet passerer, eller sidetrykk fra avlagrede skredmasser

P_N = Last normalt takflaten

Mengden av snø som blir avlagret på taket av overbygget er avhengig av størrelsen på snøskredene og utformingen av terrenget like ovenfor overbygget. Vanligvis er tykkelsen av skredlaget mellom 2,0 og 5,0 m. Der terrenget har liten helling og skredene bremses ned rundt overbygget er det større tendens til store skredavsetninger. Dette gjelder også dersom terrenget er bratt og taket av overbygget har liten helling. Det er imidlertid sjelden at tykkelsen av avlagret snø overstiger 6 m. Densiteten av avlagret snø kan anslås til 600 kg/m³.

Normaltrykket, p , fra avlagret snø kan regnes ut fra formelen:

$$p = \rho \cdot g \cdot h_a \cdot \cos \varphi \quad (8.1)$$

der

- ρ = Densiteten (600 kg/m³)
- h_a = Tykkelsen av avlagret snø (se tabell 8.1)
- φ = Hellingen på taket av overbygget

Tykkelsen av skredlaget vil vanligvis variere mellom 1,0 m og 3,0 m. Dette avhenger av skredvolumet, kanaliseringsgrad av skredet og hellingen i utløpsområdet. I enkelte tilfeller kan det oppstå også større flytehyder enn 3,0 m dersom våtsnøskred bremses opp i forbindelse med overbygget. Densiteten av skredmassene antas å være 300 kg/m³. Normaltrykket mot taket av overbygget beregnes etter likn. 8.1, tilsvarende som for avlagret snø, men nå med innsetting av flytehyden for «h».

Det totale normaltrykket blir da summen av avlagret snø og vekten av skredlaget.

I tillegg til last fra avlagret snø og skredlaget må en også ta hensyn til eventuelle avbøyningslaster. Beregning av disse er beskrevet i avsnitt 6.4.4. For beregning av skredhastighet anbefales å bruke prosedyrene gitt i avsnitt 6.2.3 og fig. 6.7.

For å forenkle dimensjoneringen av overbygg er det nedenfor gitt forslag til dimensjonerende laster for tre lastklasser. Valg av lastklasse må velges ut fra vurdering av terreng og utforming av overbygget. Dessuten er det en fjerde klasse, hvis skredene er så store at det krever spesielle vurderinger av størrelse og hastighet for dimensjonerende skred. I den siste klassen er også overbygg som kan utsettes for steinsprang og steinskrud.

Lastklasse	Avlagret snø		Skredlaget	
	Tykkelse (m)	Last (kPa)	Tykkelse (m)	Last (kPa)
1	2,0	12	1,5	4,5
2	3,0	18	2,0	6,0
3	5,0	30	3,0	9,0
4	Dimensjonerende laster beregnes i hvert enkelt tilfelle			

Tabell 8.1 Forslag til dimensjonerende tykkelser på snølag og dimensjonerende laster gruppert i lastklasser.

P_f = Friksjonskraft som virker parallelt med takflaten

Når skredet passerer overbygget vil det bli overført friksjonskrefter til taket av overbygget, avsnitt 6.4.3. Friksjonskreftene beregnes som produktet av normalspenningene skredet overfører mot overbygget og en friksjonskoeffisient, som settes lik 0,4. For beregning av normalspenningene må det også tas hensyn til eventuelle avbøyningkrefter, avsnitt 6.4.4:

$$\tau = \mu \cdot (\rho \cdot g \cdot \cos \varphi (h_s + h_a) + \mu \cdot p_{an} + \tau_{an}) \quad (8.2)$$

der: τ =friksjonsspenning (kN/m²)
 μ =friksjonskoeffesienten
 p_{an} =normalkomponenten av avbøyningstrykket, likn. 6.17 (kN/m²)
 τ_{an} =skjærkomponenten av avbøyningstrykket, likn. 6.18 (kN/m²)

P_j = Jordtrykklaster

Beregning av jordtrykklaster er beskrevet i Hb V220 Geoteknikk i vegbygging. Ved beregning av jordtrykk må en også ta med effekten av de økte lastene som skyldes avlagret snø og skredlaget.

8.1.3 Utforming av overbygget

Et overbygg vil endre kjøreforholdene langs vegen, og det er viktig at overbygget tilfredsstillere kravene til en trafikksikker utforming. Trafikksikkerheten påvirkes først og fremst av linjeføringen, lysforholdene i overbygget og dreneringen av vegen.

Et overbygg skaper endrede lysforhold for trafikantene, og det representerer et trafikkfarlig punkt. Det er derfor viktig at vegen får en god linjeføring i forbindelse med bygging av overbygget for å redusere overraskelsesmomentene til et minimum. Portalene må i tillegg sikres med rekkverk i henhold til kravene i Hb N101 Rekkverk og vegens sideområder.

Ut fra hensynet til kjøreopplevelse og komfort kan det være ønskelig at ytre vegg av overbygget er laget med søyler for å få brukbare lysforhold inne i overbygget. En slik utforming kan bare anbefales dersom terrenget nedstrøms for overbygget har stor helling. I alle andre tilfeller vil skredsnøen bygge seg opp på utsiden av overbygget og bli ledet inn i overbygget, fig 8.4. Dessuten vil det ofte ved passering av tørrsnøskred skapes et sug inne i overbygget, som igjen fører til at partiklene i snøskydelen føres inn i overbygget og skaper dårlig sikt. Det anbefales derfor som en hovedregel å utforme overbygget med en tett vegg på utsiden.



Figur 8.4 Foto av overbygg med åpen frontvegg, og hvor skredsnø har trengt inn i overbygget.
 Rv. 13, Ramsteina, Sogn og Fjordane. Foto: H. Norem

På kalde dager med sterk soloppvarming blir det ofte is på vegbanen inne i overbygget og isfri veg utenfor. Dette kan skape farlige situasjoner, og det er mange biler som har mistet kontrollen inne i overbygg når de kommer fra en bar veg til et skyggefullt parti med islagt vegbane. Et annet problem er husdyr som legger seg nær åpningen av overbyggene. En bør derfor vurdere om en bør bygge ferister og vannrister nær portalene for å hindre dyr og smeltevann å komme inn i overbyggene.

8.1.4 Tilpassing av overbygget til terrenget

Plasseringen av vegen og utformingen av terrenget rundt overbygget er oftest et kompromiss mellom flere hensyn, og hvor en bør legge vekt på å oppnå:

- Utnytte terrenget slik at skredmassene blir ledet over overbygget. Derved kan bredden av skredet og nødvendig lengde av overbygget bli redusert.
- Utforme terrenget slik at belastningene mot overbygget blir redusert.
- Oppnå en best mulig arkitektonisk utforming av overbygget
- Utforme terrenget på begge sider av overbygget for å redusere faren for nedfall av stein, eroderte masser og mindre skred på vegen.
- Oppnå en hensiktsmessig drenering av overflatevannet i skredområdet.

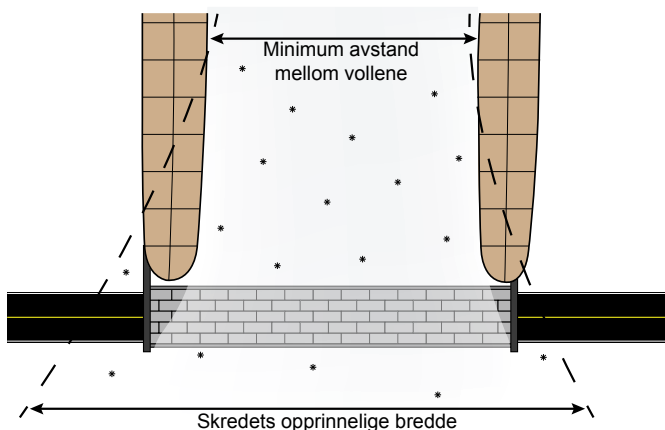
Den bakre vegg av et overbygg bør bestandig få en tilbakefylling slik at det blir en jevn overgang mellom terrenget og taket av overbygget. Derved unngår en eventuelle støtbelastninger mot overbygget, og belastningene reduseres til friksjon- og normalbelastninger, fig 8.3. For å redusere omfanget av tilbakefylling bak overbygget er det ofte ønskelig å lokalisere overbygget i en markert skjæring, 5-8 m høy. En slik plassering av overbygget gjør det også mulig å utforme overbygget med helling på taket for å redusere avbøyningskreftene, og for å få skredmassene til å gli lettere over overbygget.

Når et overbygg planlegges lagt i en stor skjæring, vil også vegen til side for overbygget oftest få skjæringer. Dette kan føre til at selv mindre skred i nabo-områdene lett når fram til vegen, og det blir vanskelig å sikre disse områdene med rimelige sikringsmetoder. Det vil derfor ofte være riktig å legge overbygget lenger ut fra terrenget slik at det blir mindre skjæringer ved munningene av overbygget, og heller godta mer kostbar tilbakefylling. Ved å legge overbygget lenger ut fra terrenget er det også lettere å utforme sideområdene med brede grøfter for å redusere faren for at mindre snøskred og steinsprang når fram til vegen.

8.1.5 Ledevoller/ledemurer for styring av skredene

Et overbygg er et kostbart byggverk og det er derfor ønskelig å ikke bygge overbyggene lenger enn strengt tatt nødvendig. Det er mulig å styre skredbevegelsen ved å bygge ledenvoller eller ledemurer. Dersom disse bygges som en endeavslutning av overbygg kan lengden av overbygget reduseres noe sammenliknet med kartlagte bredder av skred på en usikret veg. Det finnes imidlertid flere eksempler på at innkorting av overbyggene er blitt for stor, slik at skredmassene har gått over ledenvollene og stengt vegen. Dette gjenspeiles også i den dårlige sikringseffekten for korte overbygg som ble registrert av Hammersland et al (2000).

En hovedregel for plassering av ledenvoller i forbindelse med overbygg er at avstanden mellom foten av vollene ikke skal være mindre enn bredden av skredet i selve skredbanen. Det er derfor bare breddeøkningen av skredet i utløpsområdet som kan kompenseres med bygging av ledekonstruksjoner, fig 8.5.



Figur 8.5 Bygging av ledevoller og ledemurer brukes for å styre skredmassene slik at lengden av overbygget kan reduseres. Avstanden mellom foten av vollene bør ikke være mindre enn bredden av skredet rett ovenfor overbygget.

Spesielt ved korte overbygg kan en slik regel gi for korte overbygg. Årsaken til det er at dersom det kommer flere skred på en vinter vil tidligere skredavsetninger redusere effekten av ledemurene og skredmassene blir presset ut til sidene av de tidligere skredmassene. Det er derfor nødvendig å sørge for at skredoverbygg får tilstrekkelig lengde til at det blir plass til avlagring av masser fra flere skred, fig 8.6. Erfaringsmessig bør korte overbygg, <50 m, ha en ekstra bredde på ca. 10 m på hver side i tillegg til skredets opprinnelige bredde.

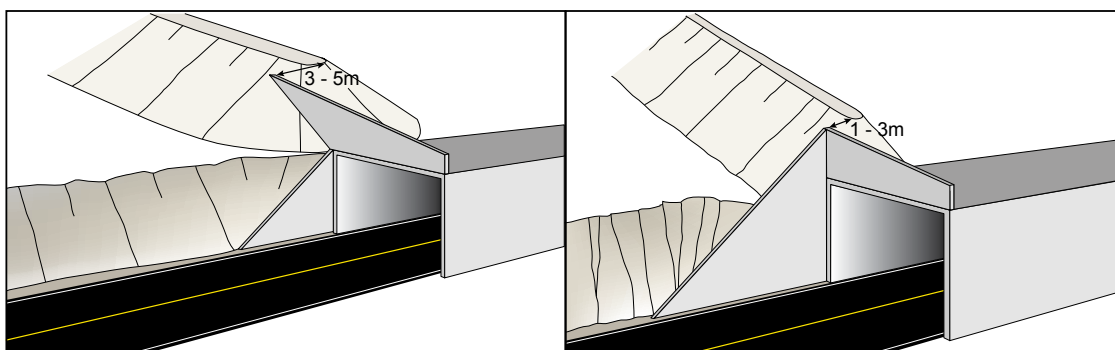


Figur 8.6 Foto av et kort overbygg hvor skredmassene som har passert overbygget har blitt stuvet opp mot terrenget utenfor og sperret vegen. Fv. 40 Remegjølet, Hjørundfjorden, Møre og Romsdal. Foto A. Hustad

Ved bygging av vollene er det viktig å ta ut masse til vollene i området mellom vollene. Derved får en øket den effektive høyden på vollene med beskjedne masseuttak, og en får en bedre kanalisering av skredløpet. I området mellom vollene er det viktig å fjerne små rygger eller store steiner. Slike detaljer fører lett til at skredmassene stuver seg opp og brer seg ut til sidene. Det skal overraskende små detaljer til før vollene blir mindre effektive.

Vollene bygges med en vollkrone som har jevn helling i lengderetningen, slik at en unngår eventuelle svanker hvor skredet kan gå over vollene. Det er også en fordel om vollene bygges med så bratt helling som mulig på skredsidene. Dersom vollene bygges med helling 1:1,5 (33,7°) kan det også forekomme at det løsner mindre snøskred fra ledevollene og inn i veggen. Med hensyn til øvrige råd for utforming av ledevoller henvises til avsnitt 8.5.2 Ledevoller.

Ledevollene føres fram til taket av overbygget. På taket av overbygget vil det som oftest være rimeligere å bygge en ledemur framfor å bygge en ledevoll, fordi en voll har større bredde og krever et lenger overbygg. De to mest aktuelle utførelsene for framføring av ledevoller og ledemurer mot overbygget er, fig 8.7:



Figur 8.7 Forslag til tilpasning av støttemurer og ledemurer ved endeavslutning av overbygg

1. Ledevollen føres inn til bakveggen av overbygget og kronen av vollen har en retning 3–5 m innenfor enden av overbygget. For å få god kontakt mellom vollen og ledemuren bygges denne med en ving inn mot vollen. Denne utførelsen er mest aktuell der terrenget har moderat helling på terrangsidene av overbygget. Utførelsen krever at overbygget lages 6–10 m lenger enn avstanden mellom vollkronene. Denne avstanden tilsvarer bredden av skredet pluss bredden av vollskråningene på skredsidene, fig 8.5.
2. Der terrenget på terrangsidene av overbygget bare er noe slakere enn naturlig rasvinkel, er det vanskelig å få bygd opp en tilstrekkelig høy ledemur av løsmasser. Det er da nødvendig å bygge en støttemur i forlengelsen av overbygget, og denne bør være like høy som ledemuren for å få støtte for ledevollen. Utformingen som er vist til høyre på fig 8.7 kan redusere lengden av overbygget med 3–4 m på hver side i forhold til utførelsen vist på venstre side.

En annen variant av denne utførelsen er vist på fig 8.1. I dette tilfellet er det bygget en tørrmur i stedet for en støttemur inn mot overbygget, og ledemuren er trukket inn i terrenget for å få kontakt med ledevollen.

En ledemur vil bli utsatt for både avbøynings- og skjærkrefter mens skredet passerer. Selv i de tilfellene der ledemuren er konstruert parallelt med skredbevegelsen er det riktig å anta at det kan forekomme en viss vinkel mellom ledemuren og skredet.

Avbøyningskreftene kan beregnes av likn 6.14, basert på tidligere antagelser om skredtykkelse, hastighet for dimensjonerende skred og bredden på skredet.

$$K_{mur} = 2 \cdot \rho \cdot h \cdot v^2 \cdot \sin \alpha / 2 \quad (8.3)$$

Minsteverdien for kraften normalt på ledemuren kan anslås ved å velge en hastighet på 30 m/s, flyte- høyde 2 m og en minimumsvinkel på 20°. Dersom høyden på muren er 3 m vil dette gi en minsteverdi for skredtrykket på 60 kPa.

8.1.6 Drenering av overflatevann

Skred forekommer som oftest i forsenkinger i terrenget hvor det er naturlige bekkeløp, og disse må føres forbi overbygget. Dreneringen gjøres helst ved å føre vannet over overbygget, fig 8.1 og 8.8, men kan i enkelte, få tilfeller føres i rør under overbygget.

Vannet bør føres i et plastret løp fram til overbygget og videre i en lav, støpt renne over overbygget. Høyden på renna bør ikke overstige 20–35 cm for at skredmassene ikke skal bli bremsset mot vannrenna, og for å redusere belastningene mot denne. Fotoet på fig 8.8 viser et tilfelle der det har vært nødvendig å forhøye den ene vangen på grunn av stor vannføring, og fordi vegen ligger i sterk stigning.

Vannet som føres over overbygget, har stor erosjonseffekt der det treffer bakken. Området under utløpet av renna må derfor erosjonssikres, samtidig som også drensløpet fram til det opprinnelige drensløpet må sikres mot erosjon, fig 8.8. Det anbefales også å erosjonssikre områdene langs hele foten av overbygget i tilfelle vannrenna blir fylt av skredsnø og vannet tar andre retninger.



Figur 8.8 Eksempel på skredoverbygg hvor vannet føres over taket av overbygget i en vannrenne og hvor området nedenfor vannrenna er erosjonssikret. Årsnesfonna, Fv 41 Hjørundfjorden, Møre og Romsdal. Foto: H. Norem

Drenering av overflatevannet med å føre dette i rør under overbygget er bare aktuelt der det er vanskelig å fange opp vannet oppstrøms for overbygget eller det gir store erosjonsproblemer å føre vannet over overbygget. Rister, rør og sluk må da utformes og få dimensjoner slik at skredtransporterte løsmasser som kommer inn i drenssystemet kan fjernes maskinelt. En annen mulighet er å føre dreneringen gjennom ledemuren og til side for overbygget. Når en slik løsning blir valgt, bør en ha tilrettelagt for alternativ dreinsveg over taket i tilfelle skredsnø tetter det opprinnelige drenssystemet.

Skredene fører oftest med seg en blanding av jord, stein og trematerialer. Det er absolutt nødvendig å bygge en tilkomstveg for anleggsmaskiner til taket av overbygget for å kunne fjerne massene og for å utføre vedlikeholdsarbeid. Denne tilkomstvegen kan etableres langs utsiden av overbygget eller på siden.

8.1.7 Sirkulære stål- og betongkulverter som skredsikring

Kulverter av korrugerte stålør eller sirkulære betongkonstruksjoner har siden 1981 vært brukt som skredsikring i Norge, fig 8.9. Bruken av slike kulverter forutsetter et samvirke mellom stålet eller betongen og jordfyllingen rundt dette, og det er jordfyllingen som representerer hovedbæreelementet og kraftfordelingen i det statiske systemet. For å oppnå tilstrekkelig styrke og sidestabilitet er det nødvendig med overdekning og sidefyllinger. En generell hovedregel er at sidefyllingene bør ha en bredde tilsvarende høyden for kulverten, og overdekningen bør være minimum 2,5 m innenfor de aktuelle spennviddene. Med hensyn til mer detaljert informasjon om utforming og beregning av sirkulære kulverter henvises til Hb V220 Geoteknikk i vegbygging og Hb N400 Bruprosjektering.



Figur 8.9 Eksempel på overbygg bygget med korrugert stålør og sikring av portalen med en ledevoll av tørrmur. Longeneset, fv 60 Hjørundfjorden, Møre og Romsdal. Foto H. Norem

Kulverter med sirkulært tverrsnitt er svake med hensyn til å ta opp horisontale belastninger. Derfor er det viktig at terrenget på skredsidene fylles helt opp slik at en unngår skredtrykk mot kulvertene. Videre må det være en stor fylling nedstrøms for overbygget for å gi støtte for friksjonsbelastningene. Skredoverbygg av kulverttypen er derfor mest aktuelt i terreng med relativt liten sidehelling hvor det er mulig å legge opp en tilstrekkelig stor sidefylling. Hellingen på sidefyllingen kan gjøres steilere ved hjelp av armert jord, tørrmur eller ordnet steinfylling.

Der forholdene ligger til rette for bruk av kulverter har erfaring vist at løpemeterprisen er vesentlig lavere enn for tradisjonelle overbygg av betong. En vesentlig svakhet ved kulvertene er at det er vanskelig å fundamentere ledemurer ved endene på grunn av at det er løsmasser på taket av overbygget. Ledevollene som skal styre massene over overbygget må derfor føres over hele overbygget. Dette krever at kulverten må gjøres minst 5-10 m lenger i hver ende enn et betongoverbygg. Kulvertene blir derved mer konkurransedyktige i pris når det er snakk om lengre strekninger som skal sikres.

En kan redusere lengden av overbygget ved å bygge ledemurene som tørrmur på begge sider, fig. 8.9. Med bratte tørrmurer oppnår en også at det er mindre tendens til nedfall av løsmasser fra vollene og ned på vegen, samtidig som det er redusert fare for utgliding av snø fra de skredfarlige vallsidene.

Ved bygging av overbygg av kulverttype er det nødvendig å føre alt overflatevann over overbygget. Dette vannet må føres erosjonssikkert over overbygget og helt fram til naturlige drensløp. Dersom det er sannsynlighet for sørpeskred eller store erosive skred mot overbygget, må hele tilbakefyllingen over overbygget utføres erosjonssikkert. Det er eksempler på at hele tilbakefyllingen er erodert ned til selve stål- og betongkonstruksjonen, men det er ennå ikke meldt om omfattende skader på selve konstruksjonen på grunn av erosjon.

8.2 Bru over skredløpet

Når vegen krysser godt kanaliserte skredløp, kan bygging av bruer være en aktuell sikringsmetode, fig 8.10. Det er da størrelsen av skredet som blir dimensjonerende for bruas lysåpning. En bru som sikringsmetode mot skred gir ofte muligheter for å gi vegen en naturlig og god linjeføring ved kryssing av kanaliserte skredløp. En bru gir imidlertid liten sikkerhet mot snøskydelen av skredet, og den er utsatt ved spesielt store skred.



Figur 8.10 Eksempel på bru bygd som sikringstiltak mot skred. Bruløsningen er kombinert med geofonanlegg for å varsle trafikantene mot å bli utsatt for snøskydelen av skredet og mot eventuelle store skred. Fv 37, Bryneberget, Tinnsjøvegen, Telemark. Foto: H. Norem

En forutsetning for å kunne bruke bru som sikringstiltak er at skredene er godt kanalisert og at faren for oppstuvning av skredmasser rundt brua er liten. Brua bør derfor ha tilnærmet samme bredde som skredløpet oppstrøms for brua. Dersom skredløpet er dårlig kanalisert kan en kanalisere dette ved hjelp av ledevoller. Eventuelle voller bør ikke ha større vinkel i forhold til skredet enn 10° . Dette er for å hindre at skredmassene bremses for mye ned og for å unngå at skredets flyte høyde øker for mye.

Skredløpet under brua bør ha tilnærmet samme helling over en lengre strekning før passering av brua. Under brua og nedstrøms for brua er det ønskelig å øke hellingen, og en må for all del ikke ha mindre helling enn oppstrøms for brua. Minimumshøyden på brua bør være ca. 5 m. Dersom det er moderate snømengder i området ved brua og skredene ikke er for store, vil skredmassene da sjelden nå opp til brukonstruksjonen.

En bru som krysser et skredområde kan bli utsatt for store horisontallaster dersom deler av skredet når opp til brua. Hvis skredmassene samler seg under brua kan den også bli utsatt for store oppadrettede laster mot bruplata. En slik bru må derfor få en helt spesiell dimensjonering og konstruksjon. Det er også ønskelig at brurekkverket utformes slik at det er enkelt å reparere dette, dersom snøskydelen av skredet skulle føre til skader på rekkverket.

Det er viktig at det bygges en atkomstveg slik at en jevnlig kan fjerne eventuelle skredmasser for å opprettholde bruas lysåpning, og for å fjerne eventuelle løsmasser som blir ført med skredene.

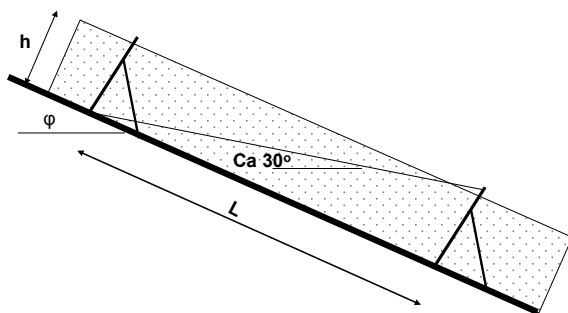
8.3 Støtteforbygninger

Skred kan hindres i å bli utløst ved å forankre snøen i utløsningsområdene ved hjelp av støtteforbygninger, fig 8.11. For å hindre utløsning av skred må hele utløsningsområdet sikres, og forbygningene må nå helt opp til toppen av snødekket. Dimensjonerende returperiode velges ut fra konsekvensene av eventuelle skred mot det området som skal sikres, og ut fra ønsket om å unngå alvorlige skader på konstruksjonene. Vanligvis velges en returperiode på 100 år.



Figur 8.11 Eksempler på støtteforbygninger mot snøskred. Til venstre nettkonstruksjon og til høyre forbygning av stål. Foto: J. O. Larsen og H. Norem

Forbygningene settes gjerne opp i flere parallelle rader, og med øvre rad ca 10–15 m fra toppen av utløsningsområdet. Avstanden mellom hver rad er avhengig av terrenghelling, snødybde og terrengets ruhet. En enkel hovedregel er at hellingen fra toppen av en rad og til foten av neste rad skal være ca. 30°, fig. 8.12. Med en høyde på 5 m for forbygningene gir dette en avstand på 47 m mellom radene dersom hellingen er 35°, og 27 m med helling 40°. For mer detaljerte retningslinjer for plassering og dimensjonering henvises til sveitsiske retningslinjer, Bundesamt für Strassen (1998) og BUWAL/SLF (1990).



Figur 8.12 En enkel regel for å bestemme avstanden mellom forbygningene er at hellingen fra toppen av en forbygning og til foten av den neste skal være ca 30°.

Dimensjonerende belastninger mot støtteforbygningene kan fastsettes ut fra likn 6.19 og 6.20 i avsnitt 6.5.1, eller på grunnlag av sveitsiske retningslinjer. Ved dimensjoneringen av støtteforbygningene er det også viktig å ta hensyn til at det vil forekomme store randkrefter i hver ende av forbygningene. Disse randeffektene kan også beregnes ut fra de sveitsiske retningslinjene.

Støtteforbygningene har tradisjonelt vært laget stålbjelker, og i enkelte tilfeller med tverrliggere av tre. De senere årene har det blitt introdusert forbygninger av nettype, som er konstruert med et sterkt

grovmasket nett og med et innernett for å oppnå tilstrekkelig tetthet. Valg av materiale er i vesentlig grad avhengig av fundamenteringsforholdene. Dersom det er mulig å etablere fundamenter som tar opp store strekkrefter, vil nett være mest økonomisk, mens stål er mest egnet der kreftene i større grad må føres ned i bakken som trykkrefter. Detaljert orientering om bruk av støtteforbygninger og montering av disse finnes i litteratur fra alpelandene, blant annet Rudolf-Miklau og Sauermoser (2011).

Der forbygninger er mest egnet for sikring av veger er der høydeforskjellen på utløsingsområdet er moderat, og det ikke er behov for mer enn 2–4 parallelle rader. Bratte svaberg hvor det kan forekomme både steinsprang, isras og mindre utglidninger av snø synes å være spesielt gunstig for bruk av forbygninger. Ved større utløsingsområder er det som oftest rimeligere å sikre vegen med tunnel eller overbygg. Erfaring har også vist at vedlikeholdskostnadene for støtteforbygninger kan være omfattende. Der forbygninger brukes i større grad er sikring av hus, boligområder og annen viktig infrastruktur som dekker store arealer.

Forbygninger av nettypen er også brukt for å sikre veger mot mindre snøskred som allerede har kommet i bevegelse, fig 8.13. Effekten mot stein og is for slike nett er vel dokumentert, men erfaringene med hensyn til snøskred er blandete. Erfaringene tyder på at nettene fanger opp mindre våtsnøskred, og til dels tørrsnøskred med liten hastighet. Helst bør det settes opp minst to parallelle rader for å få en god sikringseffekt. Det er imidlertid grunn til å advare mot å bruke nett der det kan forekomme større skred. Slike skred går lett over nettene og en har flere ganger registrert omfattende skader på nettene etter at disse har blitt utsatt for større skred.



Figur 8.13 Eksempel på bruk av nett for å fange opp mindre snø- og sørpeskred. Foto: S.H. Frækaland

8.4 Terrengtiltak

Når en studerer skredfarlig terreng er det tydelig at skredmassene i stor grad lar seg styre av terrengformasjonene. De kunnskapene vi kan samle ved å registrere hvordan terrenget styrer og bremser skred, kan også brukes for å sikre veger ved å omforme terrenget på skredsiden av vegen. Terrengtiltakene har til hensikt å:

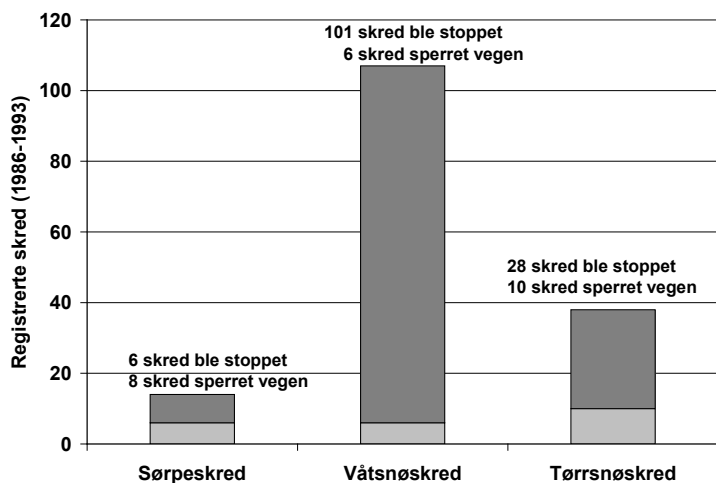
- Styre skredmassene mot områder hvor de ikke er til skade, f. eks. over tunneler, overbygg eller til områder parallelt med vegen. Dette kan gjøres med ledevoller eller ledemurer.
- Bremse ned skred slik at de ikke når fram til vegen ved bygging av bremsekjeger eller fangvoller.

Terrengtiltak har vist seg mest effektive der det er relativt lite snø på bakken i utløpsområdet, og hvor de fleste skredene består av faste masser og har moderat størrelse. Terrengtiltak er derfor best egnet nær kysten og i lavlandet, og minst egnet langs veger i fjellet.

Fv. 65 langs Hjørundfjorden i Møre og Romsdal ble i årene 1986–1990 sikret med omfattende bruk av terrengtiltak. Effekten av sikringen ble fulgt opp fram til 1993, og registreringene viste at sikringseffekten var sterkt avhengig av skredtypen. I alt ble det registrert 159 skred som hadde sperret vegen dersom sikringstiltak ikke hadde blitt bygd. Av disse skredene ble 135 fanget opp av sikringstiltakene, mens 24 passerte tiltakene og sperret vegen. Dette gir en sikringseffekt på 85 %. Fordelingen mellom de enkelte skredtypene var, fig 8.14:

- **Sørpeskred:** I alt ble det registrert 14 sørpeskred og av disse ble bare 6 stoppet av tiltakene.
- **Våtsnøskred:** Den overveiende delen av registreerte skred var våtsnøskred, totalt 107 skred eller 67 %, og av disse var det bare 6 som sperret vegen.
- **Tørrensøskred:** 38 skred eller 24 % av alle skred var tørrensøskred. Av disse passerte 10 sikringstiltakene og sperret vegen

Denne systematiske kartleggingen over flere år viser at slik vi har utformet sikringstiltakene til i dag så er de mest effektive mot våtsnøskred, og har begrenset effektivitet mot tørrensøskred. En årsak til dette er blant annet fordi snøskydelen av tørrensøskredene passerer terrengtiltakene nesten uhindret. Erfaringene med hensyn til bruk av terrengtiltak mot sørpeskred er hittil dårlige, og i Hb V139 Flom- og sørpeskred er det utarbeidet forslag til utforming av terrengtiltak for å gjøre disse også mer effektive med hensyn til vannrike skredmasser.



Figur 8.14 Registrert sikringseffekt for terrengtiltak langs Fv 65, Hjørundfjorden, Møre og Romsdal gruppert etter skredtype. Registreringer: A. Hustad, SVV, Region midt

Hammersland et al (2000) undersøkte også effekten til terrengtiltak som var bygget mellom 1976 og 1995. I alt ble 37 tiltak med en gjennomsnittsalder på 12 år kartlagt. 95 % av tiltakene hadde en sikringseffekt på 70 % eller bedre, og 20 % av tiltakene hadde en sikringseffekt på 90 %. Det var en klar tendens til at tiltak i høyfjellet, hvor det er store snømengder og høy frekvens av tørrensøskred, hadde dårligst effekt. Det var imidlertid små forskjeller i effekten når en grupperte med hensyn til den opprinnelige skredfrekvensen og kostnadene for tiltakene.

Terrengtiltak vil derfor aldri gi full sikkerhet mot skred. På den annen side vil terrengtiltakene ikke påvirke den generelle trafikksikkerheten negativt, som for eksempel skredoverbygg. I mange tilfeller vil derfor terrengtiltak gi en bedre total trafikksikkerhet framfor overbygg, samtidig som det oftest er

en langt rimeligere sikringsmetode. Ved bygging av terrengtiltak vil det oftest være regningsssvarende å utføre disse slik at en utnytter terrengforholdene optimalt med hensyn til å oppnå god sikringseffekt. Dersom en utformer terrengtiltakene for små og disse får en dårlig sikringseffekt, vil resultatet ofte bli at en i neste omgang blir tvunget til å bygge et dyrere sikringstiltak som tunnel eller overbygg.

Et terrengtiltak representerer alltid et stort inngrep i naturen, og det får oftest en utforming som bryter med de naturlige landskapsformene. Ved planleggingen er det viktig at både massetak og fyllinger tilpasses eksisterende terreng, og at området ryddes og istandsettes så snart tiltakene er ferdige.

8.4.1 Bremseskjegler

Bremseskjegler er en type terrengtiltak som brukes for å bremse skredene og derved redusere utløpsdistansen, fig 8.15. Bremseskjeglene plasseres i god avstand fra vegen, hvor skredet har en relativt stor hastighet. Kjeglenes bremseeffekt oppnås ved at den indre friksjonen i skredmassene økes. Kjeglenes effektivitet er derfor avhengig av hvordan hver kjeGLE utformes, hvordan de plasseres i forhold til hverandre og hvor de plasseres i terrenget.



Figur 8.15 Eksempel på bruk av bremseskjegler. Rv 15, Strynefjellsvegen. Foto H: Norem

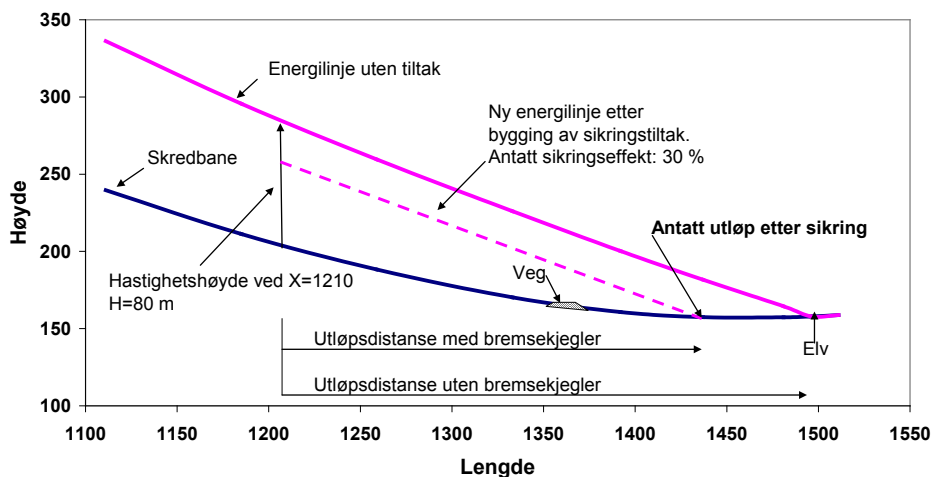
Bruk av bremseskjegler har vært kjent siden 1934 i Sveits. De første bremseskjeglene som ble bygget i Norge var i 1976 ved fv. 550, Velure i Hordaland. Siden den tid har denne sikringsmetoden vært brukt flere steder for sikring av veger og hus. Erfaringene med kjegler er noe blandet. Dette gjelder spesielt ved bruk i fjellet og som separate sikringstiltak. I dag brukes bremseskjegler som oftest sammen med fangvoller, slik at kjeglene skal redusere hastigheten, mens vollene skal stoppe skredet ved et bestemt punkt.

Siden 2000 har det vært gjennomført flere modellforsøk for å undersøke kjeglens evne til å redusere hastighetsenergien i skredet med hensyn til utforming og plassering, Hákonardóttir og Johannesson (2003), Hákonardóttir (2004), Brateng (2005), Norem og Brateng (2006). En oppsummering om bruk av kjegler er også gitt av Johannesson i «The design of avalanche protection dams» (2010). Anbefalingene som er gitt i dette avsnittet bygger i stor grad på praktiske erfaringer med kjegler og resultater fra modellforsøkene.

Beregning av energitap

Effekten til et terrengtiltak kan uttrykkes som en prosentvis andel av tapet av hastighetsenergien i forhold til skredets hastighetsenergi før det treffer bremsekjeglene. En vil da betrakte energitapet som et singulærtap ved bremsekjeglene. Skredets energilinje vil etter å ha passert bremsekjeglene ha samme helling, men forskjellig nivå. Dette forholdet er vist skjematisk i fig. 8.16. Det er her tatt utgangspunkt i beregnede hastigheter og energilinje for skredområdet Nakkefonna ved fv. 60 i Møre og Romsdal.

Ved å bygge en rad med bremsekjeglere ved profil 1210 er det videre antatt at disse kjeglere gir et energitap på 30 %, som tilsvarer en energihøyde på 24 m. Etter at skredet har passert kjeglere vil energilinje ha den samme hellingen som uten bruk av kjeglere, og en kan da grafisk finne sannsynlig utløpslengde. I dette tilfellet er utløpslengden redusert fra profil 1490 til profil 1440. Med hensyn til videre presentasjon om hvordan terrengtiltak bør lokaliseres eller utformes vil det hele tiden bli henvisning til forventet energitap i prosent av energihøyden ved det foreslåtte tiltaket.



Figur 8.16 Skjematisk framstilling for å vurdere reduksjon i utløpslengde ved bruk av energilinje og antatt energitap ved bruk av bremsekjeglere. Etter Norem og Brateng 2006

Plassering av bremsekjeglere

Plasseringen av bremsekjeglere er et kompromiss mellom en rekke hensyn ut fra forventet energitap, varighet av effekten gjennom vinteren og anleggsmessige forhold. De momentene som er positivt eller negativt for å plassere kjeglere henholdsvis høyt oppe i utløpsområdet eller nærmere vegen er:

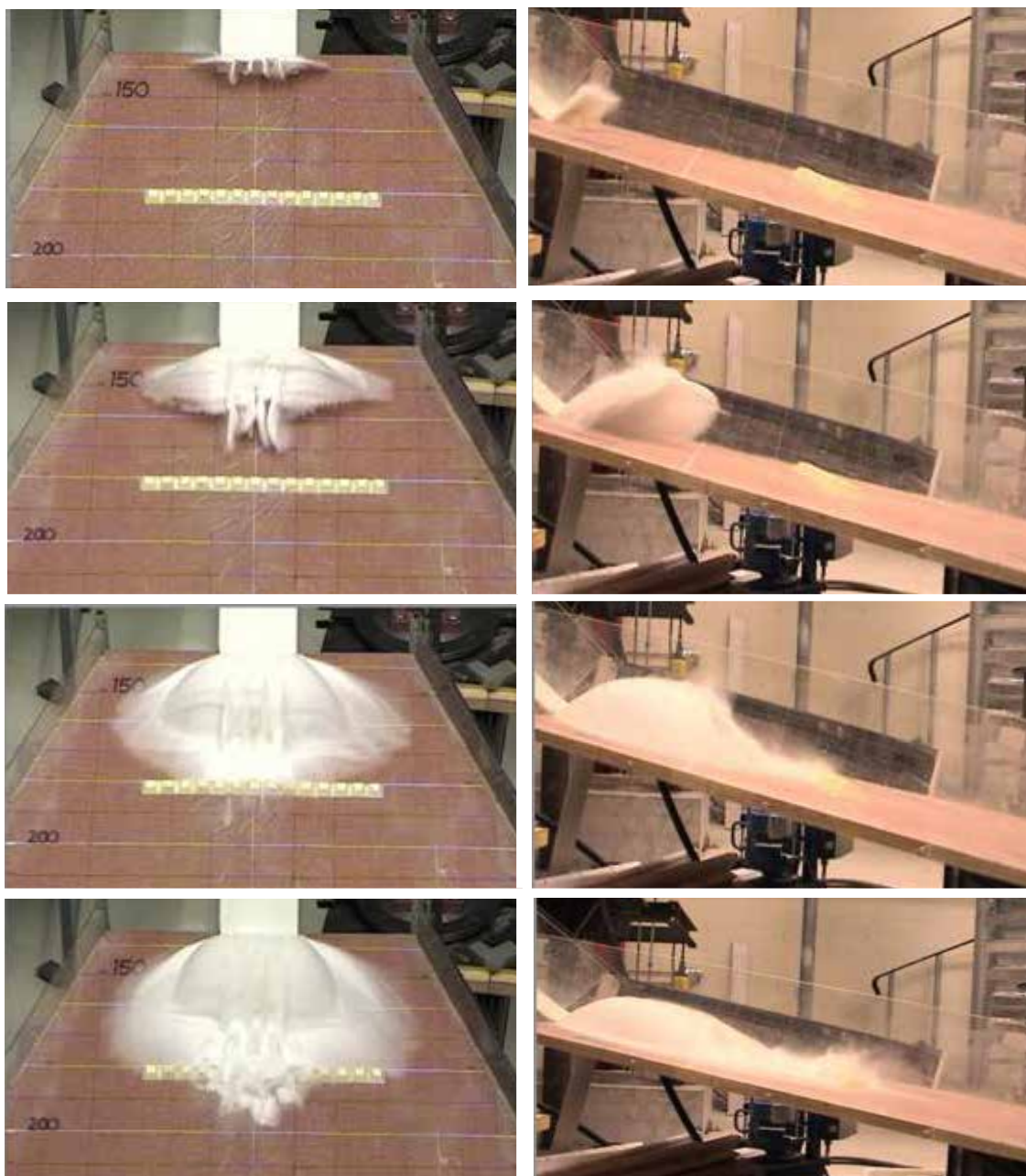
- Sikringseffekten med hensyn til å redusere utløpslengden i meter er størst når kjeglere er plassert oppe i skredbanen, der skredet har stor hastighetsenergi
- Jo høyere bremsekjeglere er plassert i terrenget, jo større er sannsynligheten for at de blir dekket av masser fra mindre skred i løpet av vinteren. Kjeglernes effektivitet kan derfor være minimal når det store skredet inntreffer.
- Anleggsteknisk er det vanskeligere å arbeide høyere opp i skredområdet, og det er vanskelig å etablere bremsekjeglere med tilstrekkelig effektiv høyde dersom terrenget er sidebratt.

Generelt er det derfor anbefalt å plassere bremsekjeglere så høyt i skredbanen en mener er ansvarlig ut fra anleggstekniske hensyn, og slik at en unngår områder hvor en finner avsetninger fra hyppige, mindre skred, som ikke vil nå fram til vegen.

Kjeglene bygges helst i en rad parallelt med kotene i terrenget. Ved plasseringen bør en legge vekt på å finne langsgående hyller eller rygger i terrenget for å oppnå best effektivitet med den samme byggehøyden på kjeglene.

Modellforsøkene har vist at kjeglene fører til at skredmassene kastes opp i lufta og de gjør et kraftig sprang. Modellforsøkene vist i fig. 8.17 er gjennomført i en 4 m lang renne med helling på henholdsvis 43° og 11°. Modellmaterialet er små glasskuler. Modellskredene oppnådde en hastighet på ca 3 m/s og hadde en flyteøyde på 6,5 mm, Brateng (2006).

Fotoene i fig 8.17 viser tydelig at når skredmassene treffer en rad med kjepler så kastes hoveddelen av skredet opp i lufta og deler av skredet strømmer i smale stråler i åpningene mellom kjeglene

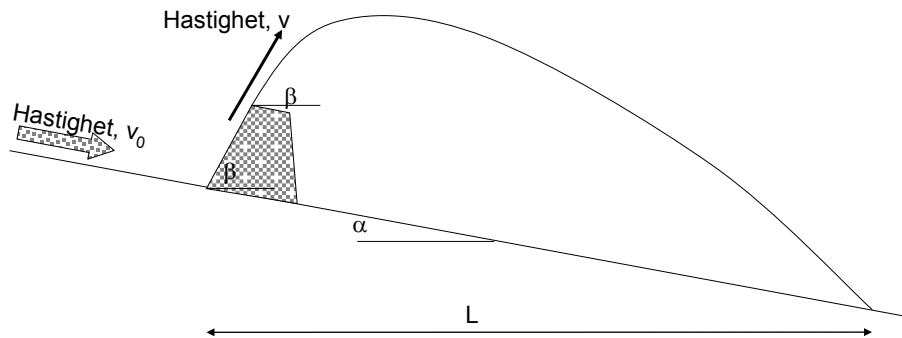


Figur 8.17 Fotoserie av modellforsøk med en kjeplerad ved profil 137 cm og en rad ved profil 180. Kjeglene er 2 cm høye og har en helling på skredsiden på 60°. Kastelengden er ca 30 cm. Brateng 2005

Kastelengden kan anslås ut fra vanlig kasteformel for legemer, fig 8.18. I hellende terreng kan kastelengden tilnærmet beregnes av likn. 8.4. I likn. 8.4 er det innført en konstant, k , som representerer effekten av energitap i forbindelse med at skredet treffer bremseskjeglene.

$$L = k \frac{v^2 \cdot \sin(2\beta)}{g} \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} \right) \quad (8.4)$$

Der α er terreghellingen og β er vinkelen for skredmassene i det de forlater toppen av kjeglen.



Figur 8.18 Kastelengder for skred som treffer en kjeglerekke med helling, α , i fronten og i terreng med helling, α .

Likn. 8.4 gir urealistisk store kastelengder dersom konstanten k velges lik 1, fordi det må tas hensyn til energitap når massene treffer kjeglene. Dessuten er det usikkerhet omkring sammenhengen mellom utkastvinkelen og vinkelen på kjeglene. Johannesson (2010) anslår at utgangshastigheten, v , for skredmassene er redusert med til ca 80 % i forhold til skredhastigheten, v_0 , før skredet treffer kjeglene. Utkastvinkelen, β , anslår Johannesson (2010) videre bør reduseres mellom 0 og 10° dersom fronten av kjeglene har en helling på ca 60°. Med god tilnærming kan en derfor anta at konstanten, k , i likn. 8.4 kan velges lik 0,7, og at utkastvinkelen tilsvarer hellingen på fronten til kjeglene.

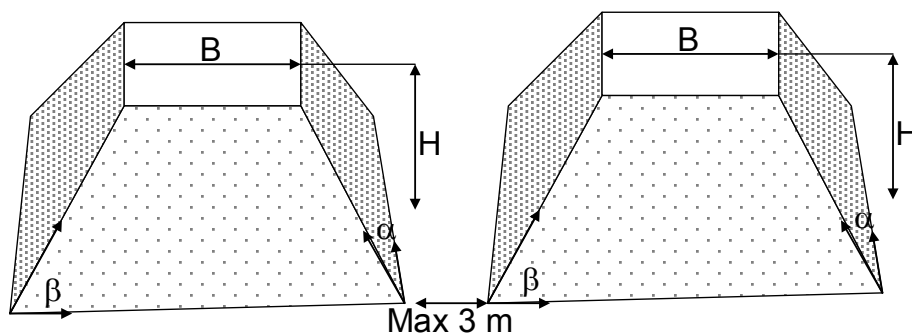
Effektiviteten for to rader med kjegler ble også undersøkt av Brateng (2005). Forsøkene viste klart at en kjeglerad som ble plassert innenfor kastelengden for den første raden hadde svært liten effekt. I dette tilfellet ble ikke reduksjonen i utløpslengde mer enn en oppnådde med en separat kjeglerekke. En vesentlig bedring i effekten ble oppnådd når avstanden tilsvarte en k -verdi på 0,6 i likn. 8.4 og best effekt ved $k=0,75$.

Dersom skredene følger en forsenkning i terrenget og det er nødvendig å føre bekker gjennom kjeglerekken, kan kjeglene da settes opp i en plogform, enten i et system med tre eller fem kjegler. Det er da lettere å føre eventuelle bekker mellom kjeglene i en S-form slik at også sørpeskred og massetransport i bekkene blir bremsset ned. På den annen side vil kjegler satt opp i plogform føre til at den øverste kjeglen bør bygges høyere i terrenget, hvor det er mer sidebratt og masser fra mindre skred tidlig på vinteren lettere kan samle seg rundt de øverste kjeglene. Det er derfor først og fremst der det er nødvendig å føre vannet gjennom en kjeglerekke og samtidig unngå åpninger i denne at det er aktuelt å plassere kjeglene i et plogmønster. I alle andre tilfeller ser det ut som om en kjeglerekke parallelt med høydekurvene er mest effektivt.

Utforming av kjeglene

Utformingen av kjeglene er karakterisert ved hjelp av, fig. 8.19:

- Høyden, H
- Hellingsvinkelen på fronten og sidene av kjeglene, henholdsvis α og β
- Bredden/høydeforholdet for kjeglene, B/H
- Avstanden i bunnen mellom kjeglene



Figur 8.19 Utforming av kjegler

Høyden på bremsekjeglene bør være minimum to ganger skredets flyte høyde. Dessuten bør en ta i betraktning at det også kan ligge snø rundt kjeglene før skredet opptrer. Dette vil i praksis si at kjeglene bør være ca 5–7 m høye.

Modellforsøk og praktisk erfaring tilsier at fronten av kjeglene bør være relativt bratt. Ved å variere fronthellingen, β , fra 30° til 60° oppnås det en vesentlig bedring av effektiviteten. Ved hellinger større enn 60° er denne økningen mindre markert. Dersom det er praktisk mulig, bør en derfor bygge kjeglene med en steil frontvegg, helst ca 60° helling og ikke slakere enn 45° . Kravene til steil frontvegg gjelder først og fremst til første kjeglerad, der skredet har størst hastighet når det treffer kjeglene. Ved mindre skredhastigheter enn 20 m/s ser det ut til at kravet til helling på fronten har mindre betydning, Brateng (2005).

Kjeglens effektivitet avhenger også av eksponeringsarealet kjeglene har mot skredet. Dette avhenger av formen på kjeglene, avstanden mellom dem og sidehellingen. Avstanden mellom kjeglene bør være så liten som mulig, men det må tas hensyn til at nødvendig anleggs- og vedlikeholdsarbeid må kunne utføres enkelt og rimelig. Maksimal avstand mellom kjeglene bør være 3 m. Dersom en forutsetter at kjeglene er 5 m høye, sidevegger med helling 60° , 3 m mellom kjeglene og bredden av toppen av kjeglene er lik høyden er eksponeringsarealet 57%. Dette er noe mindre enn det som er optimalt i henhold til modellforsøkene, men det beste en kan oppnå dersom det skal være mulig å bygge og vedlikeholde kjeglene.

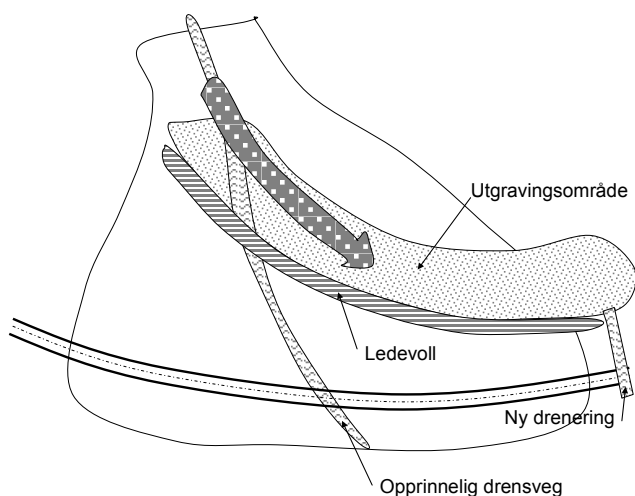
Sidehellingen på kjeglene bør også være bratt, helst ca 60° . Ved hellinger mindre enn 45° vil effektiviteten av kjeglene bli vesentlig redusert, fordi eksponeringsarealet blir redusert. Dette gjelder spesielt dersom det ligger en del snø rundt kjeglene før skredet opptrer.

Bredden av kjeglene bør sannsynligvis velges avhengig av høyden på kjeglene. Best effekt er oppnådd med kjegler som har en bredde i toppen lik høyden på kjeglene, $B/H=1$. Det er sannsynligvis ikke mulig å oppnå bedre effekt ved å øke bredden av kjeglene og heller bruke slakere sidehelling på kjeglene. Da mister en effekten av flere små åpninger mellom kjeglene, og strømmingen blir mer todimensjonal.

Basert på resultatene fra modellforsøkene bør det være mulig å oppnå et energitap på opptil 35 % med bruk av bratte kjepler. Dersom kjeplene bygges med naturlig helling for løsmasser (1:1,5 eller 34°) vil effekten maksimalt være 20 %. Ved å forutsette at skredets hastighet er 40 m/s ved kjeplene og terrenget der skredet stopper er flatt, vil dette utgjøre et energitap på 35 m og en reduksjon av utløpsdistansen med ca 90 m for kjepler med bratte sidekanter. Tilsvarende effekt med slake sider er henholdsvis 16 m for tap i energihøyde og 40 m i utløpsdistanse.

8.4.2 Ledevoller

Ledevoller brukes for å styre skredmassene mot et område hvor de ikke gjør skade. Fig. 8.20 viser et eksempel på bruk av ledevoll som er satt opp på en skredvifte og som skal styre skredmassene parallelt med vegen og til et område hvor det er plass til store skredavsetninger. Annen bruk av ledevoller kan være å styre skredmassene mot bruer, over tunneler eller over skredoverbygg.



Figur 8.20 Eksempel på bruk av ledevoll for sikring av veg.

En forutsetning for at ledevollene skal gi tilstrekkelig sikkerhet er at det legges stor vekt på både lokaliseringen, utformingen og dimensjoneringen av vollene. De forholdene en bør legge mest vekt på er:

- Vinkelen mellom skredets og vollens retning
- Utforming av retningsendringene ved bruk av buede voller
- Hellingen langs vollkrona og hellingen i skredløpet i skredets retning
- Høyden på vollen
- Helling på skredsiden av vollen
- Utforming av utgravingsområdet
- Dreneringen av vollområdet og vegen
- Erosjonssikring av området

All erfaring med bruk av ledevoller tilsier at vinkelen mellom skredet og vollen ikke bør være for stor. Denne vinkelen bør ikke være større enn 20°. Best effekt har ledevollene der det er størst hyppighet av våtsnøskred. Mot tørre snøskred har ledevoller noe dårligere effekt, og mot sørpeskred har erfaring vist at det er vanskelig å styre disse effektivt.

I forbindelse med sikring av veger og jernbaner er det ofte ønskelig å styre skredmassene parallelt med vegen, før de stopper opp i markerte forsenkninger eller utgravingsområder ved siden av vegen, fig. 8.20 og 8.21. Dette krever at skredmassene får en vinkelendring som er langt større enn 20–30°.

Dersom en velger en slik løsning må vollene få en gradvis vinkelendring slik at retningsendingen av skredene skjer gradvis.



Figur 8.21 Eksempel på ledevoll for sikring mot snøskred og sørpeskred. Vollkrona er dessverre ikke bygget med jamn stigning i øvre delen av vollen, og på dette partiet har skred gått over vollen. Vinkelen mellom skredet og vegen er også for stor til at vollen gir en god sikringseffekt. rv. 13. Sandvika, Sogn og Fjordane. Foto: Harald Norem

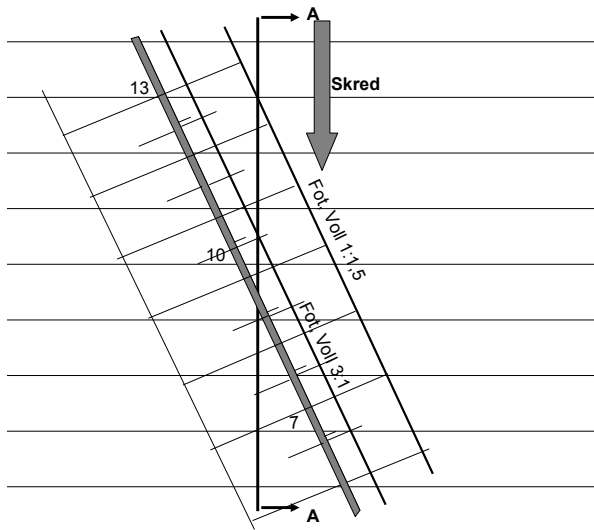
Det ble i 2005 gjennomført flere modellforsøk med hensyn til effekten voller og bremseskjegler har til å styre og bremse skredmasser, Brateng (2005). Med hensyn til ledevoller ble forsøkene gjennomført med to typer voller og med forskjelling helling på vollsidene. Volltypene var rette voller og buete voller med en total retningsendring på 70° . De rette vollene ble satt opp med en vinkel i forhold til skredet på 15° , 30° og 90° , mens for de buede vollene traff skredet vollen med en vinkel på 10° og ved enden av vollen var vinkelen 80° i forhold til skredets retning. Vollene hadde tre forskjellige hellinger på skredsidene, 30° , 60° og 90° .

Hovedkonklusjonene fra modellforsøkene var:

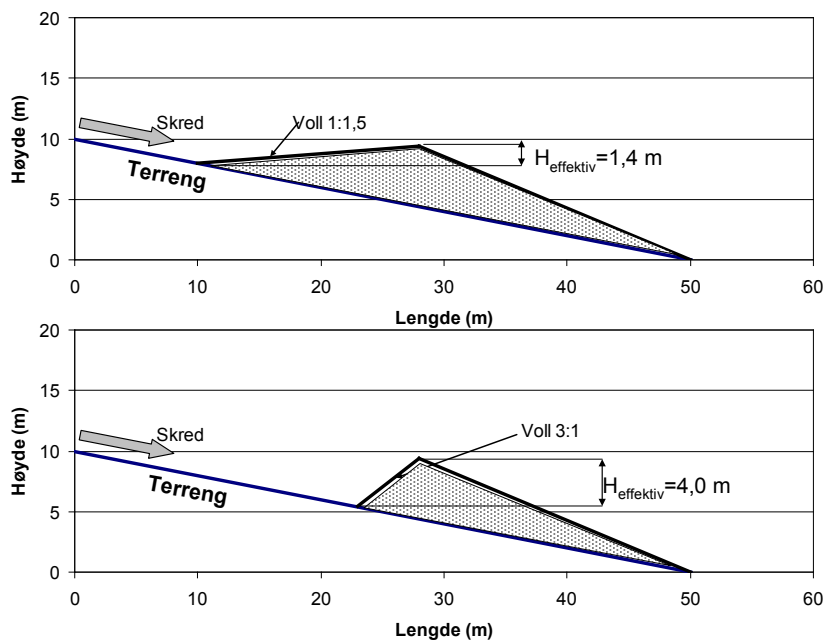
- Med de valgte dimensjonene på vollene var det bare voller som hadde en vinkel på 15° i forhold til skredet hvor skredmassene ikke gikk over vollene.
- Det var større tendens til at skredene fløt over buete voller enn rette voller.
- Mengden snø som fløt over vollene ble redusert jo lenger ut i skredbanen vollene var lokalisert.
- Snøen som flyter over vollene ble registrert i to faser. I den første fasen er det deler av frontbølgen som kastes over vollen. Denne avsetningen er gjennomgående tynn og har en begrenset utløpsdistanse. Etter at frontbølgen og den første delen av kjernen av skredet har fått en retningsendring har det blitt samlet opp masser i front av vollen. Masser lenger bak i skredet vil deretter flyte over de avsatte massene og vollen, og disse kan ha relativt lange utløp og store avsetninger. Størst avsetninger har en ved store avbøyningsvinkler og relativt slake vollsider, se også fig 8.24.

Helling på skredsidene av vollen

Både praktisk erfaring og erfaring fra modellforsøkene viser tydelig at en ledevoll har vesentlig bedre effekt med økende helling på vollsida mot skredet. Dette forholdet er illustrert i fig. 8.21 og 8.23. Ved utarbeiding av figuren er det tatt utgangspunkt i at terrenget har en jamn helling på 11° ($\tan\alpha=0,2$), og at det er bygget en ledevoll i 25° vinkel i forhold til skredet. Vollen har en konstant høyde 5 m over det opprinnelige terrenget, og det er forutsatt at vollsidene har en helling på henholdsvis 1:1,5 ($33,7^\circ$) og 3:1 ($71,6^\circ$). Fig 8.22 viser plasseringen av vollen og foten av vollsidene, mens fig 8.23 viser profiler tatt i skredets retning for de to vollalternativene.



Figur 8.22 Eksempel på ledevoll bygget i terreng med jevn helling på 11,3°, og med 25° vinkel mellom vollen og skredet. Vollen er forutsatt 5 m over opprinnelig terreng og vallsiden mot skredet har hellinger på henholdsvis 1:1,5 og 3:1.

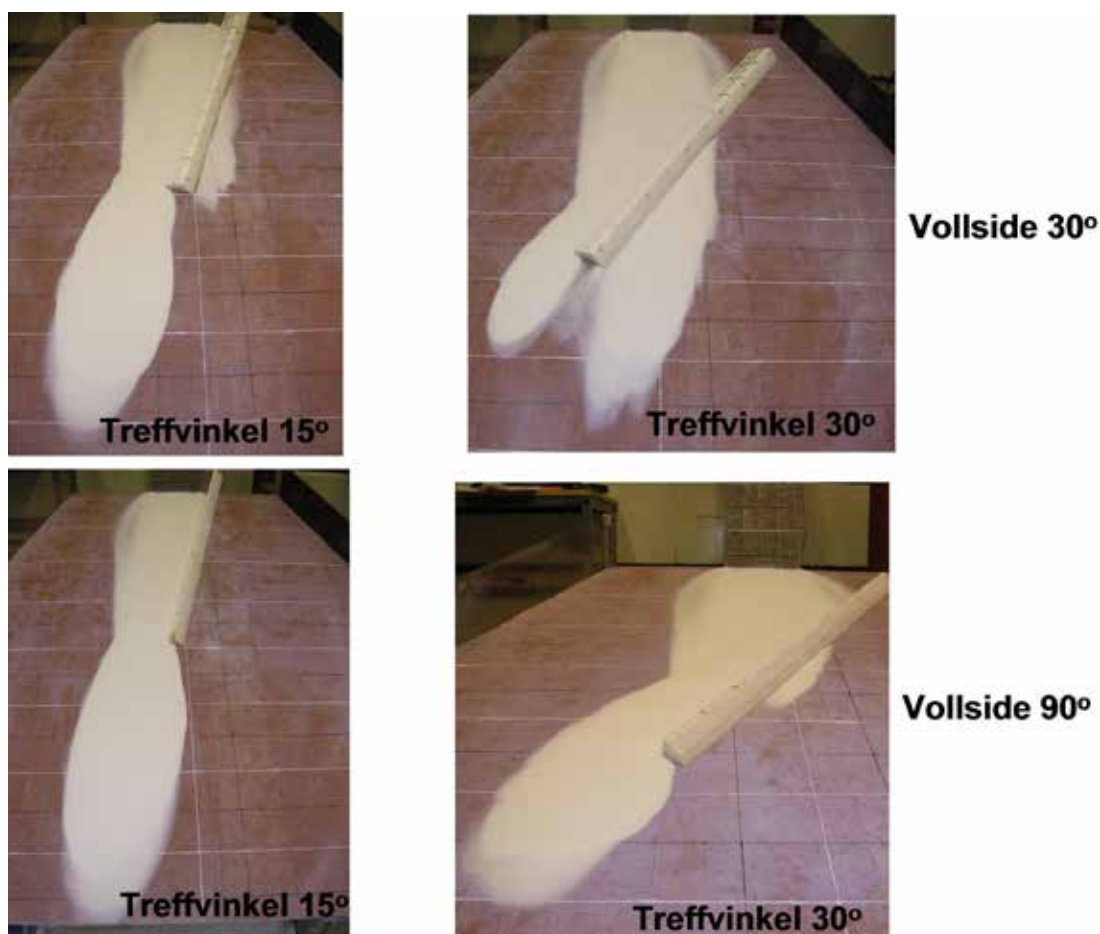


Figur 8.23 Snitt A-A av terreng og ledevoller i fig 8.22. Den øvre figuren viser profil for voll med helling 1:1,5, mens den nedre er for en voll med helling 3:1.

Figur 8.23 viser at voller med helling 1:1,5 yter beskjeden motstand mot skredbevegelsen når de bygges i terreng med helling. Den effektive høyden fra foten av vollen og til toppen av vollen er redusert til 1,4 m, når profilet tegnes i forlengelsen av skredets opprinnelige retning. Dersom hellingen på vallsiden økes til 3:1 vil den effektive vollhøyden øke til 4,0 m, og skredet vil også støte mot en brattere skråning. Derfor bør en legge stor vekt på at skredsidene av vollene gjøres så bratte som økonomisk forsvarlig.

Dette forholdet er også bekreftet gjennom forsøkene til Brateng (2005). Figur 8.24 viser resultatene av forsøkene fra fire tester. De to øverste bildene er med rette vollener som har en helling på vallsidene på 30° og hvor vinkelen mellom skredet og vollen er henholdsvis 15 og 30°. Bildene viser at for vollen med treffvinkel på 15° var det bare ubetydelige masser som fløt over vollen. Derimot var det store avsetninger bak vollen når treffvinkelen ble øket til 30°. Utløpsdistansen for skredmassene som flyter over vollen ved 30° vinkel var ubetydelig kortere enn uten noen sikring.

Langt bedre effekt oppnådde en med vollener med vertikal vallside. I dette tilfellet ble det ikke registrert noen masser over vollene ved 15° treffvinkel, og bare ubetydelig ved 30° treffvinkel, fig 8.24.



Figur 8.24 Resultat fra modellforsøk med hensyn til effekt av ledevoller. De to øverste bildene viser avlagring av skredmasser for rette ledevoller hvor hellingen på vallsiden er 30° og vinkelen mellom skredet og vollen er henholdsvis 15° og 30°. De to nedre bildene representerer tilsvarende forsøk med voll som er vertikal på skred-siden. Brateng 2005

Høyden på vollene

Vollene må ha tilstrekkelig høyde for å endre retningen til skredmassene og å hindre at skredmassene flyter over vollene. De viktigste faktorene med hensyn til valg av effektiv vollhøyde er:

- Hastigheten til skredet
- Skredets flyte høyde
- Skredets bredde
- Vinkelen mellom skredet og vollen
- Snømengde på bakken før skredet inntreffer

Med hensyn til definisjon av uttrykket effektiv vollhøyde er det forutsatt at denne måles som høydeforskjellen mellom foten av vollen og vollkrona, målt i skredets opprinnelige retning, fig 8.22. Når en ønsker å endre retningen på skredmassene, vil hastigheten på skredet føre til at massene får en ekstra oppstuvningshøyde mot vollen. Denne oppstuvningshøyden er avhengig av skredets hastighetskomponent normalt på ledevollen. Denne er $v \cdot \sin \alpha$, der v =skredets hastighet og α =avbøyningsvinkelen. Dersom det ikke er energitap eller andre effekter med hensyn til avbøyningen bør kravene til vollhøyde tilsvare hastighetsenergien i vollens retning, $H_{k\alpha}$, der skredet treffer vollen:

$$H_{k\alpha} = (v \cdot \sin^2 \alpha) / 2g \quad (8.5)$$

Det vil bestandig være noe energitap når skredet treffer vollen og derfor gir likn. 8.5 høyere verdier enn en kan forvente ved en ren energibetraktning. I tillegg må en også ta hensyn til skredets flyte-høyde og snø som ligger på bakken før skredet inntreffer. Det foreslås derfor å bruke likn. 8.6 for dimensjonering av høyden til ledevoller:

$$H_{ledevoll} = k \cdot (v \sin \alpha)^2 / 2g + H_{skred} + H_{snø} \quad (8.6)$$

Der $H_{ledevoll}$ er nødvendig høyde på vollene, H_{skred} er skredets flyte-høyde og $H_{snø}$ er avlagret snø. « k » er en faktor som angir hvor stor andel av hastighetsenergien som er bevart etter at skredet har truffet ledevollen. Denne kan anslagsvis settes til 0,8, se drøfting under avsnitt 8.5.3, Fangvoller.

Likning 8.6 bør brukes for ledevoller med helling på 60° eller brattere. Hvor mye en bør øke høyden på vollen med dersom en velger en slakere helling på vollen er usikkert. Anslagsvis vil en anbefale en k -verdi på 1,0 dersom hellingen er 1:1,5 (33,7°)

For snøskred varierer skredhastigheten vanligvis mellom 10 og 30 m/s der det er aktuelt å bruke ledevoller. Hastighetsenergien til skredet, H_k , vil da variere mellom 5 og 45 m. Dersom treffvinkelen er 30° vil oppstuvningshøyden reduseres til henholdsvis 1,25 og 11,5 m. I tillegg må en ta med flyte-høyden (1–2 m) og snø på bakken (1–2 m). Minimal høyde på en ledevoll bør derfor være 5 m.

Erfaringene fra modellforsøkene er at i mange av tilfellene var høyden på vollene tilstrekkelig til å hindre at fronten av skredet fløt over vollene, men at det var masser lenger bak som passerte vollen. Dette skyldes at i forbindelse med retningsendringen på skredene blir skredfronten bremsset ned og skredet blir konsentrert i bredde. Dette fører til at skredtykkelsen blir øket og at de bakre massene i skredet lettere kan flyte over massene som har blitt bremsset opp, og derved redusert den effektive høyden. Konstanten k bør derfor ikke velges mindre enn 0,8 og bør muligens velges større enn 1,0 dersom skredet har stor bredde når det treffer vollen.

Plassering av vollene og antatt sikringseffekt

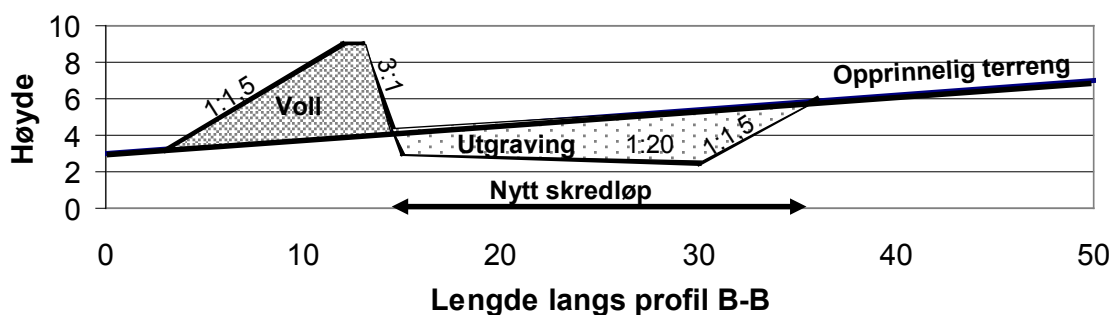
Både rette og buete voller bør plasseres så langt ut i skredløpet, og så nær vegen som mulig. Dette har sammenheng med at skredmassene er lettere å styre når skredet har mindre hastighet og det er mindre interne bevegelser i skredmassene. Dessuten øker kravene til effektiv høyde på vollene med kvadratet av hastigheten. Kravet til en rimelig utforming av vollen tilsier derfor også at vollene bør plasseres så nær vegen som mulig.

Med en vollhøyde som foreslått i likn. 8.6 er det mulig å redusere skredets utløpsdistanse i skredretningen betydelig, anslagsvis opptil 100–150 m. På den annen side må en ta i betraktning at rette ledevoller ofte lager lenger utløp enn uten voller, men det lange utløpet vil skje i et annet område enn før vollen ble bygd. For buete voller må retningsendringen foretas over en lengre strekning og det må skapes lagringsplass for skredmassene. Den praktiske reduksjonen i utløpsdistansen ved bruk av buete ledevoller vil derfor maksimalt være 50–100 m.

Utforming av skredløpet

Massene for å bygge vollene tas gjerne fra området på skredsiden av ledevollene. Ved å senke terrenget i framkant av vollen øker en den effektive vollhøyden samtidig som en også skaper bedre plass for skredmassene. Det er minst like viktig å legge vekt på utformingen av utgravingsområdet som for utformingen av vollen.

Figur 8.25 viser forslag til utforming av et nytt skredløp med en voll med helling 3:1. Det er i forslaget forutsatt at terrenget senkes 1 m i framkant av vollen. Dessuten forutsettes det at det nye skredløpet får en svak helling ut fra vollen. Dette er viktig for at skredmassene ikke skal bli presset for mye mot vollen, og for at eventuelt flomvann ikke skal erodere langs foten av vollen.



Figur 8.25 Forslag til utforming av utgravingsområdet for ledevoller.

Det bør legges vekt på at det nye skredløpet får helling nedover fra foten av vollen.

Ved etablering av ledevoller er det viktig å utforme det nye skredløpet slik at skredmassene blir bremsert minst mulig opp. Selve skredløpet må ha tilstrekkelig bredde og det må ha et jevnt fall i skredretningen. Videre bør vollkrona ha et jevnt fall slik at vollens effektive høyde er konstant.

Ved bygging av rette ledevoller er det forutsatt at skredmassene kan styres til et område der de ikke gjør skade. Det er viktig å vite at skredenes utløpsdistanse sannsynligvis blir større ved bruk av ledevoller, fordi skredene flyter lettere når de er kanalisert. En må derfor kontrollere at skredene ikke vil gjøre skade dersom de får et lenger utløp enn de tidligere har hatt.

Erfaringene med buede ledevoller for å lede skredmassene slik at de får en retning nær parallelt med vegen er noe varierende. Det er spesielt i området der vollene får en vinkel i forhold til skredet større enn 30–40°, og i enden av vollene at det er tendens til at skredene flyter over vollene, fig 8.26.



Figur 8.26 Modellforsøk med buet voll med helling 60°, venstre bilde. Den fremre bølgefronten har passert vollen, mens vollen har styrt de bakre massene tilfredsstillende. (Brateng 2005). Det høyre bildet viser vegstenging ved rv. 13 Sandvikskreda, fig 8.21, hvor det er de bakre skredmassene som har passert i nedre ende av vollen. Foto: S.H. Frækaland

Buede voller krever derfor at den effektive vollhøyden økes når treffvinkelen øker, slik som beskrevet i likn 8.6. Dimensjonerende høyde kan anslås ved å velge $k=1$ og treffvinkel, $\alpha = 45^\circ$, for den kritiske delen av vollen, som er fra $\alpha=30^\circ$ til $\alpha = 60^\circ$.

Dessuten er det viktig at det i enden av en buet ledevoll etableres tilstrekkelig lagringsrom for skredmassene som skal avsettes i dette området.

Ledevoller vil i mange tilfeller bli fylt opp med skredavsetninger. De kan også bli utsatt for betydelige erosjonsskader. Det er derfor behov for å kunne foreta jevnlig opprydding og vedlikehold, og vollområdet må utformes slik at vedlikeholdsmaskiner får god tilgjengelighet til området, fig 8.26.

Drenering av vollområdet

Bygging av ledevoller fører som oftest til at de naturlige drensvegene i skredområdet blir endret, fig 8.20. I de fleste tilfellene er det naturlig å bygge ledevollene tette slik at en må etablere ny drensveg parallelt med ledevollen. Det er da ønskelig å legge den nye drensvegen til side for foten av vollen, som vist i fig. 8.20. Likeledes må en sørge for at den nye drensvegen føres erosjonssikkert fram til eksisterende drensveger.

Det er også mulig å bygge en kulvert gjennom ledevollen for å beholde den gamle drensvegen. I et slikt tilfelle må en anta at kulverten til tider vil bli fylt opp med skredmasse, og innløpet til drensvegen bør utformes slik at den er best mulig beskyttet mot å bli tettet av skredmasser. Det er i tillegg nødvendig å etablere en alternativ drensveg dersom stikkrenna likevel går tett. Fig 8.27 viser et eksempel hvor innløpet til stikkrenna er lagt til side for adkomsten til vollområdet, og hvor innløpet er fritt for skredmasser. Innløp til alternativ drensveg er lagt i området mellom fangvollen og vegen.



Figur 8.27 Kombinert buet voll og fangvoll hvor innløpet til reserve stikkrenne er plassert til side for vollen og beskyttet for å bli tettet av skredmasser. E39, Storegjølet, Møre og Romsdal. Foto: H. Norem

8.4.3 Fangvoller

Fangvoller bygges vinkelrett på skredretningen for å stanse skredet før det når fram til vegen. De bygges da slik at vollen skal stoppe skredet, og vollen plasseres oftest tett inntil vegen. Fangvoller kan også brukes for å redusere hastighetsenergien til skredene, slik at utløpslengden for skredene blir redusert, men slik at en tillater at skredene passerer vollene. I de fleste tilfeller er bruk av bremsekjegler mer effektivt til å redusere hastighetsenergien enn bruk av rette vollene.

I Norge brukes fangvoller for sikring av både hus og veger, og det er etter hvert samlet et stort erfaringsmateriale om bruk av fangvoller. Kunnskapen om effekten av fangvoller er hovedsakelig samlet ved hjelp av:

- Registreringer og innsamling av data fra eksisterende fangvoller
- Innsamling av data fra kontrollerte feltforsøk med vollene (for eks. Ryggfonn-prosjektet ved NGI)
- Modellforsøk
- Teoretiske analyser om strømming av granulære materialer.

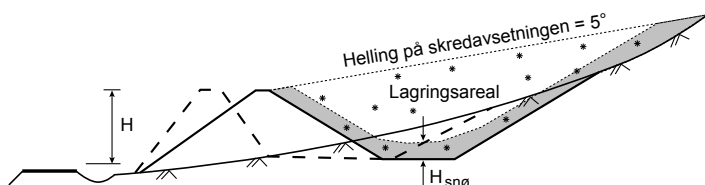
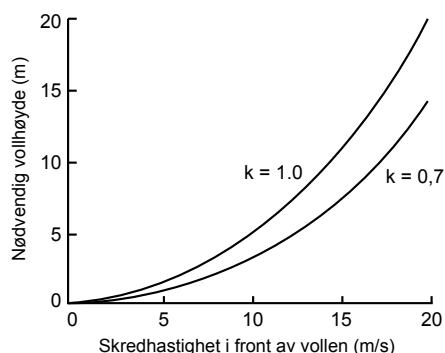
De faktorer som har størst betydning for vollens effektivitet synes å være:

- Vollens effektive høyde
- Hellingen på skredsiden av vollen
- Utforming av terrenget ovenfor vollen
- Skredets hastighet når det treffer vollen
- Skredets flyte høyde og volum
- Skredtype; sørpe, vått eller tørt

Generelt er det vanlig å uttrykke nødvendig høyde for en fangvoll for å stoppe skredene med følgende formel:

$$H_{vull} = k \cdot v^2 / 2g + H_{skred} + H_{snø} \quad (8.7)$$

hvor: H_{vull} = Nødvendig vollhøyde
 v = Skredets hastighet
 k = Konstant (varierer mellom 0,6 og 1,0)
 H_{skred} = Skredets flyte høyde
 $H_{snø}$ = Snøhøyden i fronten av vollen



Figur 8.28 Snitt av fangvoll med krav til fyllingshøyde og lagringsvolum

Likn. 8.7 sier at nødvendig vollhøyde er en funksjon av skredets hastighetsenergi når det treffer vollen, fig 8.28. Dersom det ikke er noe energitap fra skredet treffer vollen og mot toppen av vollen, så skal verdien for konstanten, k , velges lik 1. Dette er en urealistisk antagelse fordi det både er et friksjonstap langs vollsidene og det er vesentlige energitap i forbindelse med at skredet får endret retning. På den annen side viser både felt- og modellforsøkene at de fremre massene i skredet ofte blir stoppet av fangvollene, men at masser lenger bak i skredet kan gå over vollene etter at massene i fronten har redusert vollens effektive høyde. Det første argumentet tilsier at verdien for konstanten, k , kan velges vesentlig lavere enn 1,0, mens det andre argumentet kan føre til at konstanten bør velges større enn 1,0 for skred med store volum.

Det er vist fra registreringene fra fv. 65 i Hjørundfjorden, fig 8.14, at terrengtiltakene hadde vesentlig bedre effekt mot våtsnøskred enn mot tørrsnøskred. Konstanten, k , kan derfor velges med lavere verdi dersom det er våtsnøskred som er dimensjonerende skredtype, og det anbefales å bruke verdien 0,6 for våtsnøskred, og 0,8 for tørrsnøskred. Denne k -verdien gjelder for voller som har helling på 60° eller brattere. Dersom vollen bygges med hellinger på 45° eller slakere anbefales å bruke verdiene 0,7 og 0,9 for henholdsvis våt- og tørrsnøskred, konferer også Johannesson (2010). I praksis vil det si at vollene bør ha en høyde noe mindre eller lik hastighetshøyden ved vollkrona, fig 6.7, for å gi tilfredsstillende sikkerhet. I tillegg kommer snømengden ved vollen før skredet opptrer og skredets flyte høyde, likn 8.7.

Likn. 8.7 viser at kravet til vollhøyde er sterkt avhengig av hastigheten til skredet når den treffer vollen. Fangvoller bør en derfor helst benytte i ytre del av utløpsområdet hvor hastighetene er moderate. Det er også ønskelig å bygge vollene med så bratte sider som mulig på begge sider. Ved å bygge med bratte sider på skredetsiden øker en effektiviteten og kan bygge vollen noe lavere. Dersom en også bygger vollen med bratte sider mot vegen vil kronen av vollen komme lenger ut i utløpsområdet hvor skredhastigheten er noe mindre. Derved kan en også ved denne byggemåten redusere nødvendig høyde på vollen. Fig. 8.29 viser eksempel på en 5 m høy fangvoll med bratt tørrmur på begge sider av vollen. Videre viser figur 8.33 eksempel på en fangmur bygget av gabionnett.



Figur 8.29 Foto av fangvoll med bratt tørrmur på begge sider, Rv. 7, Indre Rotagjelet, Hordaland. Foto: H. Norem

Erfaring tyder også på at vollene er mest effektive ved moderate hastigheter hvor det er mindre tendens til interne bevegelser i skredmassene. Dersom en ønsker å sette opp fangvoller der hastighetene kan overstige 20 m/s bør en heller kombinere fangvoller med bremsekjegler for å få ned skredhastigheten før vollen. Dette er ofte mer kostnadseffektivt framfor å bygge en enkel, stor voll.

Kravene til høyde på vollen gjelder langs det sentrale skredløpet hvor skredet har størst hastighet og mektighet. Det er imidlertid viktig å utforme området i framkant av vollen slik at den effektive høyden er mest mulig lik langs hele vollen og vollkrona er uten svanker og har jevn helling parallelt med terrenget.

Ved bygging av fangvoller tar en oftest ut massene på skredsidene av vollen. Dette gir muligheter for å bygge vollen med kort massetransport og enkelt å øke vollens effektive høyde. Det er viktig å forstå at kravene til høyde på vollen prinsipielt er høyden i forhold til terrengets høyde før eventuelle tiltak er bygd. Dersom det tas ut mye masser i framkant av vollen vil skredet øke hastigheten før vollen og en får en økning i hastighetshøyden tilsvarende utgravingsdybden. Dimensjonerende vollhøyde skal derfor regnes ut fra opprinnelig terreng eller regnes i forhold til framkant av vollen, dersom det horisontale arealet har en bredde på min. 10 m.

En forutsetning for at fangvoller skal fungere tilfredsstillende er at lagringsarealet på skredsidene av vollen er tilstrekkelig. Lagringsarealet kan regnes ved å trekke en linje fra vollkrona og med 5° helling mot skredområdet, fig 8.28.

Enhver sikringsvoll krever et systematisk vedlikehold for å virke tilfredsstillende. Det gjelder de samme kravene for etablering av atkomstveg, erosjonssikring og utføring av dreneringen til en fangvoll som til ledevoller, avsnitt 8.4.2.

Fangvoller i forbindelse med skredtrykk

Det er vist tidligere at snøskydelen av skredene kan få vesentlig lengre utløp enn de faste skredmassene, avsn. 4.3. Selv om bremsekjegler og fangvoller er i stand til å stoppe skredmassene vil det fortsatt være fare for ulykker dersom en bil blir truffet av snøskydelen. Dette faremomentet skyldes at fonntrykket er tilstrekkelig til å blåse bilen av vegen, og at det i snøskya er dårlig sikt, slik at det er vanskelig å vite hvor vegen går.

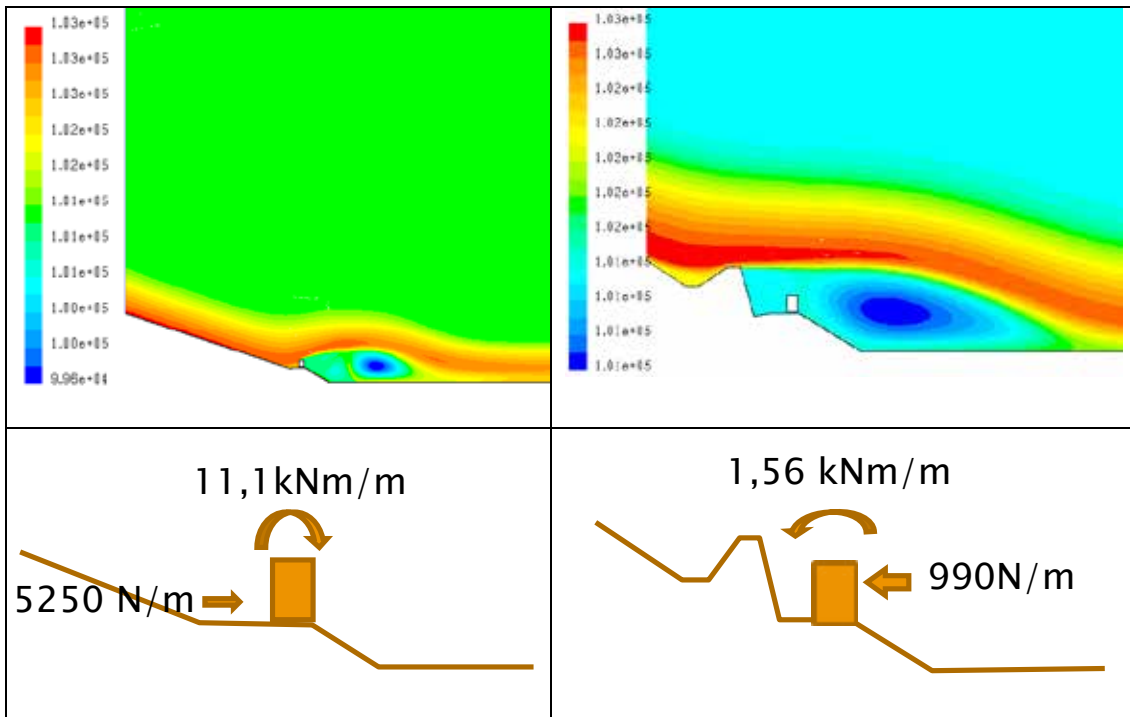
Vindtrykket fra snøskydelen kan reduseres ved å bygge voller tett inntil vegen. Det er i Norge bygget flere slike voller, og flere biler har allerede blitt utsatt for fonntrykk i le av vollene, uten at de har blitt ført ut av vegen.

I forbindelse med planleggingen av en slik voll for sikring av Storurfonna langs Rv 7 i Eidfjord ble det gjennomført en numerisk analyse for å studere leeffekten av fangvoller med hensyn til fonntrykket, (Simonsen 2002). Analysen ble gjennomført ved å beregne vindtrykket og veltemomentet fra snøskydelen av skredet mot en 3,7 m høy bil. I det ene tilfellet var det antatt eksisterende terreng, og i det andre tilfellet noe utgraving og oppsetting av en 6 m høy voll med helling 3:1 og som var plassert 3 m fra ytre skulderkant, fig 8.30. Det var antatt at skredet hadde en hastighet på 40 m/s og tetthet på 2 kg/m³.

Det beregnede vindtrykket og veltemomentet for en bil som kjører langs en veg med skjæringshelling 1:3 er henholdsvis 5250 kN/m og 11,1 kNm/m. Dette tilsvarer sidetrykket ved å kjøre i et horisontalt område i orkan (35 m/s) og som blåser normalt på vegen.

Ved å bygge en 6 m høy voll mot vegen og ha en vollhøyde på 4 m mot skredet ble fonntrykket løftet opp og det oppstår en lesone inntil vollen. Dette går tydelig fram av fargeskalaen på fig 8.30, som viser blå farge for mindre trykk og videre gul og rød farge for økende trykk. I dette tilfellet ble vindtrykket redusert til 20 % i forhold til opprinnelig trykk, og trykket var rettet inn mot vollen. Det tilsvarende veltemomentet ble redusert til 14 % av opprinnelig verdi, fig 8.30.

Det ble også gjennomført beregninger for en 10 m høy voll med helling 3:1 og denne viste at leeffekten var noe bedre i dette tilfellet.



Figur 8.30 Numeriske beregninger av le-effekten av fangvoller. Venstre side viser utformingen av terrenget og fordelingen av trykket mot en 3,7 m høy bil på en veg uten fangvoll. Nedre figur viser beregnet side-trykk og veltemoment. Høyre side viser tilsvarende for oppsetting av en 6 m høy voll, Simonsen (2002).

Det venstre bildet i figur 8.31 viser fangvollen som er bygget langs Rv. 7 i Eidfjord. Vollen varierer i høyde mellom 6 og 8 m. Det er viktig at den er minst like høy som tunge kjøretøyer og at vollkrona står så nær vegen som mulig. I dette tilfellet er vollen bygget som en tørrmur med helling 3:1, og foten av vollen er plassert 3 m utenfor ytre skulderkant av hensyn til dreneringen og for å skape tilstrekkelig lagringsplass for snø. Det høyre bildet viser en fangvoll som er bygget både for å stoppe skredmassene og for å heve fonntrykket.



Figur 8.31 Eksempler på bruk av fangvoller for å løfte skredtrykket. Det venstre bildet er fra rv.7, Eidfjord, hvor vollen utelukkende er bygget for fonntrykket, da faste skredmasser sjelden når fram til vegen. Det høyre bildet er fra fv. 362, Sandvikskreda, Vinje hvor vollen fungerer både som en fangvoll mot de faste skredmassene og for å heve fonntrykket. Foto: H. Norem

8.4.4 Bruk av brede grøfter og flytting av veg

I mange skredområder er det bare mindre skred eller utrasing av begrensede snømengder som sperrer vegene. I slike tilfeller kan vegene sikres effektivt med enkle terrengtiltak. Utflytting av vegen eller utgraving av brede grøfter har i mange tilfeller gitt en god bedring av sikkerheten mot skred. Figurene 8.32 og 8.33 viser eksempler på slike tiltak.



Figur 8.32. Eksempel på en bred grøft som har stoppet et mindre skred.
Lisjestreket, fv. 65, Hjørundfjorden, Møre og Romsdal. Foto: H. Norem

Ved utformingen av grøftene er det viktig at skredene skal stoppes effektivt og at skredmassene skal kunne fjernes manuelt for å kunne forberede seg for neste skredperiode. Best effekt av grøftene oppnår en når utgravingen eller sprengingen foretas med en så bratt skjæringsskråning som mulig. Derved treffer skredet mest mulig vertikalt på grøfta og skredet får derved et stort energitap.

Bredden på grøfta bør velges ut fra skredets hastighet og størrelse. I de fleste tilfeller er det ønskelig å etablere en grøft på min. 10–15 m. Dersom behovet for grøfter er større enn dette er det oftest mer kostnadseffektivt å bygge fangvoller i tillegg til utgravingene. Selve grøfta kan utformes med en helling på 1:6, fig 8.32, slik at maskiner kan arbeide både på tvers og parallelt med vegens retning. En slik utforming av grøfta gir også en trafiksikker utforming.

Effektiv sikring av vegen er også mulig å oppnå ved å flytte vegen lenger fra fjellsida hvor sannsynligheten for skred er mindre. Dette er aktuelt både som et separat tiltak, og som en kombinasjon med bruk av fangvoller for å få plass til disse, fig 8.33.



Fig 8.33. Bruk av bred grøft for å fange opp mindre skred. I bakgrunnen er det satt opp en fangvoll av gabionnett, hvor skredene kommer med større mektighet. Fv. 889 Havøysund, Finnmark. Foto H.Norem

I enkelte tilfeller med utflytting av vegen har denne blitt lagt på fylling i vann, fig 8.34. Et vannmagasin har både positive og negative effekter. Det positive er at skredmassene som fanges opp av magasinet delvis smelter mellom hver skredperiode, og at vannet er effektivt for å stoppe skredet. Det negative er at skred kan generere bølger som er farlige for trafikantene. Dessuten er det nødvendig med rekkverk på en fylling i vann, og det kan bli omfattende skader på disse, dersom store sjeldne skred går over fyllingen.

Et vannmagasin bryter med de vanlige reglene for vegestetikk, og vegen på en fylling i vann kan gi uheldige estetiske løsninger. Den økologiske konsekvensen dersom en ikke oppnår tilstrekkelig utsiftning i vannmagasinet må også vurderes.



Figur 8.34 Ved å flytte vegen ut på en fylling i sjøen oppnår en å få stor avstand mellom vegen og den skredfarlige fjellsida. Breidefonn, fv.65, Hjørundfjorden, Møre og Romsdalen. Foto: Harald Norem

8.5 Snøskjermer

Snøskjermer kan brukes som et sikringstiltak mot snøskred, fig 8.35. Hensikten med å bruke snøskjermer er å samle drivsnøen på et fjellplatå før snøen ellers vil samle seg i de skredfarlige fjellsidene. Snøskjermer kan enten brukes som et separat sikringstiltak, eller de kan kombineres med andre metoder, f. eks støtteforbygninger. I det siste tilfellet brukes snøskjermen for å redusere snømengden i fjellsida, slik at hovedsikringsmetoden kan utføres rimeligere.



Figur 8.35 Snøskjermer montert for å samle snø på lovart side av skredområdet. Fv.173, Nordvågen, Finnmark. Foto H. Norem

Eventuelle skjermmer som settes opp for å redusere snømengden i en fjellside virker bare på drivsnømengdene som føres langs bakken, fig 2.6. Det er derfor bare en begrenset del av de tilførte snømengdene som kan holdes tilbake med snøskjermmer.

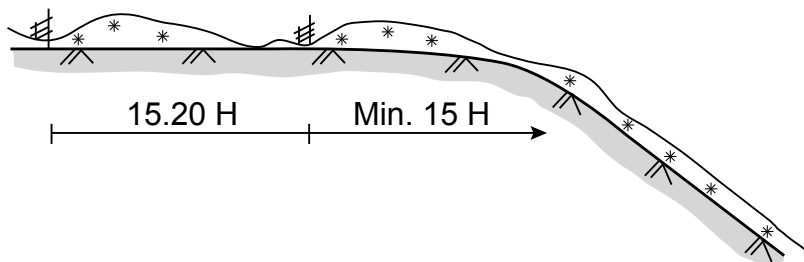
Følgende betingelser må være oppfylt for at snøskjermene skal være effektive til å redusere antall skred på vegen, fig 2.6:

- Skredets utløsningsområde må være en leside i forhold til de framherskende og nedbørsførende vindretningene
- En vesentlig del av snøen i skredets utløsningsområde må være transportert langs bakken
- På vindsiden av skredområdet må det være et stort plata for å kunne samle snøen på et skredsikkert område
- Det bør ikke være større høydeforskjell enn ca. 100 m mellom skredets utløsningsområde og plataets nivå, fordi dette antas å være den maksimale utstrekningen av skjermenes effektive lesone

Snøskjermmer som settes opp for å sikre mot skred, settes oftest opp i værharde områder. Det er derfor nødvendig å sette opp skjermmer med høyde på minst 4–5 m og som er dimensjonert for å tåle store vind og snøbelastninger. Der det er behov for høyere skjermmer enn 5,0 m anbefales det heller å sette opp to eller tre parallelle rader for å oppnå tilstrekkelig samleeffekt.

En lefonn fra en samleskjerm blir vanligvis ca. 15 ganger skjermhøyden. Minimumsavstanden mellom første skjermrad og det skredfarlige terrenget bør derfor være 15 ganger skjermhøyden, fig 8.36. Der det er nødvendig med flere skjermrader bør avstanden mellom skjermene være ca. 20 ganger skjermhøyden. Bruk av snøskjermmer krever derfor relativt store åpne flater på lovart side av skredområdet for å få plass til å samle all snøen.

Med hensyn til utforming og plassering av snøskjermmer vises til Hb V137 Veger og drivsnø.



Figur 8.36 Snøskjermmer settes opp normalt fonndannende vindretning. Avstanden mellom første skjermrad og fjellsida bør være ca. 15 ganger skjermhøyden og avstanden mellom skjermradene 15–20 ganger skjermhøyden.

8.6 Registrering av skred og varsling til trafikantene

Forsøk har vist at det er mulig å oppdage utviklingen av fjellskred en viss tid før massene settes i full bevegelse. Tilsvarende forhåndsvarsler har det hittil ikke vært mulig å utvikle for snøskred.

Langt lettere er det å registrere skredet etter at det har kommet i bevegelse. Til gjengjeld har en da kortere tid til varsling og stenging av vegen. Tiden vil maksimalt være ca. 30 sek, men oftest bare 10–20 sek.

Det finnes flere systemer for registrering av skred i bevegelse. Det vanligste er at skredet fører til en belastning eller en bevegelse i en eller annen konstruksjon i skredbanen. Konstruksjonen kan være en port som blir åpnet, belastning av en wire som er spent over skredbanen eller en rystelsesmåler som står i skredbanen. I de siste årene er det også utført forsøk med radar og sensorer basert på infralyd for å registrere skred.

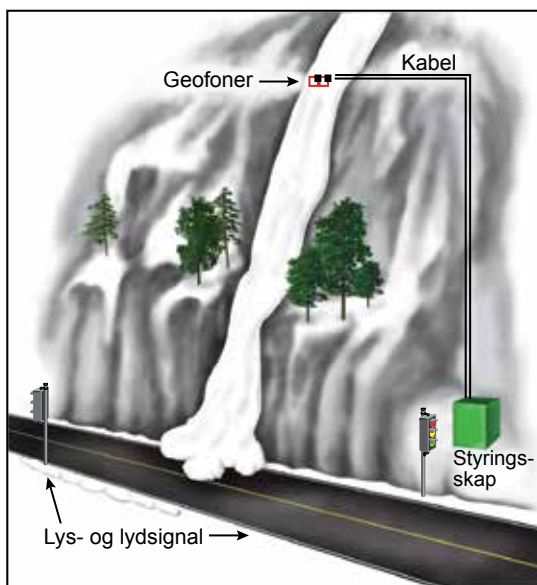
Etter at skredsensoren er blitt aktivert må signalene sendes ned til en styringsenhet ved vegen. Dette kan gjøres ved kabler eller ved fjernoverføring. Dersom signalet er høyere enn kritisk verdi vil styringsenheten slå på rødt lys, og eventuelt sette i gang en ringeklokke. Lyshodene for trafikklysene må plasseres slik at bilistene blir stoppet på et skredsikkert sted. En må derfor ta hensyn til hvor stort skredet kan bli når en plasserer lyshodene. Det er også viktig å undersøke om eventuelle skred i naboområdene kan nå fram til køene, som vil danne seg på begge sider av lysene.

Generelt vil skredet ha en hastighet på 3–5 ganger bilenes hastighet. Avstanden mellom skredsensoren og vegen bør derfor være min. 5 ganger så stor som avstanden mellom lyshodene. I tillegg bør en ta hensyn til stoppdistansen for bilene.

Det røde lyset må stå på i en tid som er tilstrekkelig lang til at en med sikkerhet vet at eventuelle skred enten har passert vegen eller har stoppet lenger opp i skredbanen. Vanligvis velges denne perioden til 3–5 minutter. Etter at det røde lyset slås av skal et gult lys blinke til mannskap er kommet til skredområdet. Dette gjøres for å unngå at bilister kjører inn i eventuelle skredmasser som ligger på vegen.

I Norge er det hittil brukt geofoner for å registrere skred, fig 8.37. Geofoner er rystelsesmålere som produserer et elektrisk signal når de blir satt i bevegelse. Sensorene trenger derfor ikke tilførsel av strøm for å fungere. Geofonene er rimelige i innkjøp og er driftssikre under vanskelige forhold. Geofonene bør plasseres sentralt i skredløpet og på forhøyninger som blir påvirket av skredmassene. For å være helt sikker på at skredet registreres anbefales det å montere 3–4 geofoner spredt i skredløpet.

Erfaringer viser at geofonene registrerer skredene effektivt, og at varslingen til trafikantene er tilfredsstillende. Varslingstiltak vil derfor gi en sikkerhetsmessig gevinst. Derimot vil vegens regularitet stort sett bli den samme om en har dette utstyret eller ikke. Erfaringene med geofonene er likevel noe blandet da utstyret trenger godt vedlikehold for å være operativt i skredsesongen.



Figur 8.37 Geofoner kan brukes til å registrere skred som er i bevegelse. Trafikantene blir varslet om skredet ved hjelp av lys- og lydsignaler. Foto H. Bjordal

8.7 Kunstig utløsning av skred

Dersom forholdene ligger til rette for det er det mulig å utløse skredene kunstig ved hjelp av sprengstoff. Dette krever at det er et markert glidelag til stede i snødekket og at det over glidelaget er tilstrekkelig med snø i utløingsområdene.

Ved bruk av sprengstoff innfører en et nytt faremoment for å fjerne et annet. Det er derfor et absolutt krav om at sprengstoffet brukes slik at det er minimal fare for dem som foretar sprengingen og for dem som ferdes på vegen og bor og ferdes i området der sprengingen foretas.

Generelt gjelder at sprengstoffet må plasseres og kunne bli avfyrt under alle værforhold, og alt personell, både operatører, trafikanter og andre som oppholder seg i området, må kunne varsles og dirigeres til sikre områder. De metodene som er mest aktuelle i Norge er forhåndsutlagte ladninger og bruk av taubane. I enkelte situasjoner utføres det også sprenging med manuell plassering av sprengstoffet umiddelbart før sprenging. De siste årene er det også utviklet gassdrevet utstyr for å tilføre det ustabile snødekket tilstrekkelig energi for å utløse skred.

Hensikten med sprengingen er å utløse eventuelle ustabile masser. En sprenging som ikke utløser skred er også en god test på stabiliteten av snødekket. En kan derfor holde en veg åpen med større sikkerhet etter at en sprenging er foretatt. Dersom en baserer seg på å sikre vegen ved hjelp av sprenging er det gunstig å foreta sprenging etter hvert kraftige snøfall. Derved kan en utløse flere mindre skred, og muligens unngå at ekstremt store skred blir utløst.

Den gunstigste plasseringen av sprengstoffet er å foreta sprengingen 2–5 m over snøoverflaten. Hvis dette ikke er mulig, bør sprengstoffet enten ligge på snøoverflaten eller ha kontakt med bakken. Dårligst effekt av sprengstoffet får en hvis sprengstoffet plasseres nede i snøen.

Nødvendig sprengstoffmengde er avhengig av stabiliteten til snødekket og dybden ned til glidelaget. I perioder med stor skredfare kan det være tilstrekkelig med 1 kg sprengstoff. En vil da kunne utløse mindre og moderate skred. Det er sjelden at så små ladninger påvirker glidelagene mer enn 0,5–1,0 m nede i snødekket. Vanligvis blir det anbefalt å bruke 5–20 kg i hver ladning for å oppnå tilfredsstillende resultat, selv om forholdene ikke er helt gunstige. Ved sprenging av skavler og for forhåndsutlagte ladninger, som ligger på bakken, bør en bruke opp mot 50 kg i hver sprenging.

Sprengstoffet bør primært plasseres i området der skjærspenningene i glidelaget er størst. I praksis vil dette si der en finner de maksimale snømengdene i utløingsområdet. Alternativt kan en foreta sprengingen i nærheten av strekkspenningene, dette vil si i området der en forventer at bruddkanten vil utvikle seg.

Sprengstoffet har best effekt når det er overveiende skjær- eller strekkspenninger som holder snødekket på plass. Derfor bør sprenging helst foretas under eller umiddelbart etter et snøfall når skredfaren bygger seg opp eller fortsatt er stor. Sprengingseffekten er også best i tørr snø. Om våren, derimot, når det har vært en spenningsomlagring i snødekket, og det er store trykkspenninger i snødekket, har sprengstoffet mindre virkning.

Bruk av sprengstoff medfører bestandig en risiko. Det har derfor vært utført flere forsøk for å finne alternativ til sprengstoff, og som har sikrere bruks- og lagringsegenskaper. Den mest lovende metoden synes å være gassblandinger av propan og oksygen eller hydrogen og oksygen. De to gassene blir da lagret hver for seg og blandes umiddelbart før bruk.

To av de kommersielle metodene for bruk av gass i dag er Gazex, og Daisy-Bell. Gazex er et fransk system hvor det bygges et tårn i skredets utløingsområde, fig 8.38. Gassen blandes og antennes ved hjelp av fjernstyring og trykkbølgen fra eksplosjonsenergien føres gjennom det buete røret og ledes mot snødekket, fig 8.38.

Daisy-Bell består av en sammenbygget «klokke» med gassblanding og rør for å dirigere eksplosjonsenergien i riktig retning, fig 8.38. Ved bruk henger utstyret under et helikopter og en kan foreta flere sprengninger i forbindelse med den samme helikopterturen. Eksplosjonsenergien fra Daisy-Bell tilsvarer effekten av ca. 1 kg sprengstoff. Ved ustabile forhold er dette tilstrekkelig til å utløse skred, men i mer stabile situasjoner eller når glidelaget er dypt nede i snødekket er dette utilstrekkelig. Bruk av helikopter medfører også at utstyret er vanskelig å bruke under dårlige siktforhold og en har begrenset oversikt over menneskelig aktivitet i utløpsområdene.



Figur 8.38 Foto av tårn for Gazex og av «gassklokke» for Daisy-Bell.

Foto: CEMAGRF, Grenoble og SKJERMDUMP, Fremover

Bruk av sprengstoff for å utløse skred har aldri fått noen stor utbredelse i Norge. I Alpelandene og i Nord-Amerika er det imidlertid omfattende bruk av sprengstoff, både for sikring av vegger og spesielt for sikring av skiområder. De sprengingsmetodene som hittil er tatt i bruk er:

- Skyting med bombekastere, artilleri eller spesialbygde kanoner
- Plassering av sprengstoff ved å kaste det ut fra helikopter
- Manuell plassering fra skredsikre standplasser
- Utkjøring av sprengstoff ved hjelp av taubane
- Detonering av utlagte ladninger og tilkoplede fjernstyrt avfyringssystem

De to første metodene er hittil ikke tillatt brukt i Norge av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Dette skyldes at en ikke har kontroll over eventuelle blindgjengere. Ved bruk av helikopter er det også i strid med reglene for transport av sprengstoff, og en har begrenset kontroll med størrelsen av eventuelle skred som blir utløst, og om det kan være personer eller infrastruktur som blir rammet.

Taubaner

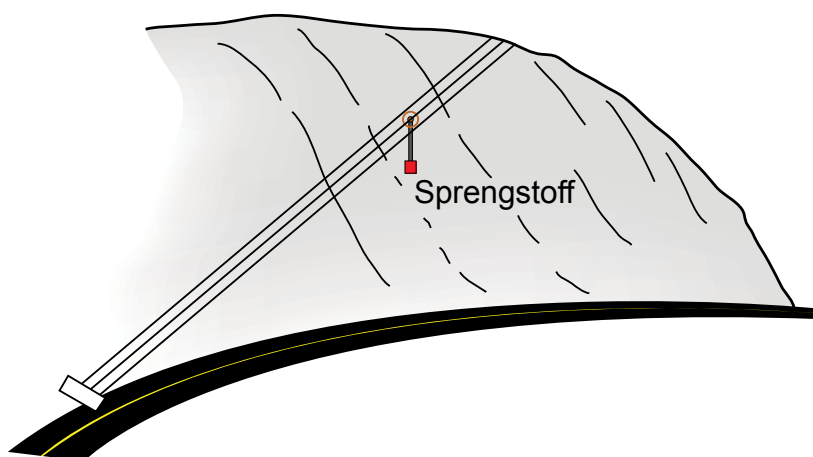
Taubaner bygges for å kunne frakte sprengstoff fra vegen og opp til skredets utløpsområde umiddelbart før sprenging, fig 6.39. Taubaner er først og fremst aktuelt der følgende kriterier er oppfylt:

- Høydeforskjellen mellom vegen og skredets utløsningsområde er moderat, og ikke mer enn 500–600 m.
- Det finnes en sikker standplass for å operere taubanen
- Terrengforholdene gjør det mulig å ha minimum 15-20m fri høyde mellom kabelen og terrenget. Dette kravet kan oppnås i mer ugunstig terreng ved å bygge et eller fler mellomtårn
- Eventuelle skred kan ikke bli så store at hus eller annen infrastruktur kan bli ødelagt.

Taubanen bør bygges med en variabel stramming på trekk- og returline. Hensikten er å kunne variere strammingen på bærekabelen for å kunne senke sprengstoffet ned mot snøen under sprengingen.

Sprengstoffet, 5-25 kg, festes til en løpekatt med en min 8 m lang stålstang, og det henger i løpekatten under utkjøring og sprenging. Detoneringen kan enklest skje med tjærelunte. Det er også utviklet spesielle løpekatter hvor en både kan senke sprengstoffet til ønsket høyde og foreta sprengingen radiostyrt.

Erfaringer med taubaner er så langt god, Hammersland et al (2000). Det er også mulig å merke dem under vanskelige værforhold hvis kablene merkes tydelig.



Figur 8.38 Prinsipp for bruk av taubane

Forhåndsutlagte ladninger

Ladninger som legges ut om høsten bør fordeles i flere serier, slik at en kan foreta sprenging flere ganger hver vinter. Vanligvis er det tilstrekkelig med fem uavhengige serier, men fler serier kan være nødvendig i områder med mange uværsperioder hver vinter.

Utlegging av sprengstoff med ferdig montert fenghette er i strid med sprengstoff-forskriftene, og det kreves tillatelse fra Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern i hvert enkelt tilfelle. Tillatelse er ikke mulig å få med mindre det er minimal ferdsel i området om høsten og vinteren der dynamitten plasseres. Det må også påvises at alternative sikringsmetoder ikke er mulig eller er vesentlig dyrere.

Det er tre prinsipper for plassering av sprengstoffet:

1. Plassering der det danner seg en markert skavl. Sprengstoffet legges ofte ut med serier på 50–100 kg, og avstanden mellom hver ladning på 15–25 kg er 5–10 m. Skyteledningene føres fram til et skredsikkert sted, og tenningen kan fjernstyres fra vegen. Når det sprenges vil snøskavlen løsne, og det er en kombinasjon av sprengingen og vekten av den fallende snøen på de ustabile massene nedenfor som utløser skredet.
2. Fjernstyrte ladninger kan også legges ut på høsten i området med størst mektighet av snø eller nær forventet bruddkant. I dette tilfellet må både sprengstoffet og det fjernstyrte tennapparatet monteres slik at det ikke blir tatt med av snøens sigekrefter.
3. Sprengstoffet kan også lagres i et tårn som er plassert i skredets utløsingsområde. I tårnet kan det lagres flere uavhengige ladninger. Disse kan senkes og detoneres ved hjelp av fjernstyrte signaler. Fig 8.40 viser eksempel på et slikt anlegg levert av Wyssen AB.



Figur 8.40 Wysse-tårn for senking av sprengstoff mot snøoverflaten og fjernstyrt detonering. Foto: Wysse AG

Manuell plassering før sprenging

I forbindelse med akutt skredfare kan det være aktuelt å utløse skred på steder hvor det ikke er forberedt for slik sprenging. Det er da nødvendig å arbeide fra et skredsikkert sted ovenfor skredets utløsningsområde.

De aktuelle sprengingsmetodene er:

- Nedsprenging av skavler over skredets utløsningsområde. Sprengstoffet graves ned i skavlen, og det er nødvendig med ca 10 kg sprengstoff i hvert hull med ca 5 m hullavstand. Totalt 50 kg sprengstoff bør brukes for hver sprenging, fig 8.41.
- Nedfiring av sprengstoff som er festet til en kjelke/akebrett og tau fra et sikkert område og ned til utløsningsområdet. Tenningen foretas med elektrisk tenning.

Ved alt arbeid med manuell sprenging er det viktig at den som plasserer sprengstoffet er sikret forsvarlig dersom skavlen løsner eller et skred blir utløst. Sikringstau må derfor benyttes og sikringsmannskaper skal være på plass.



Figur 8.41 Manuell sprenging i strekksonen for å utløse skred. Fv.362 Lauvjuvet, Vinje, Telemark. Foto H. Norem

9 Planlegging av sikringstiltak

9.1 Prioritering av sikringstiltak

9.1.1 Målsetting for prioriteringen

Ved utarbeiding av forslag til sikring av vegger mot skred skal det legges vekt på at prioriteringen omfatter både det overordnede målet om å oppnå samfunnets krav til sikkerhet mot skred og til detaljerte valg for utforming og dimensjonering av sikringstiltak. Prioriteringen av sikringstiltakene vil derfor omfatte:

- Prioritere mellom forskjellige tiltak innen vegsektoren.
- Skredsikring kontra andre tiltak for å bedre sikkerhet og regularitet
- Prioritere mellom skredfarlige vegstrekninger
- Finne fram til de mest skredfarlige partier i det undersøkte området og prioritere mellom sikring av de skredfarlige partiene på en bestemt vegstrekning
- Prioritere mellom de alternative sikringstiltakene for å oppnå størst mulig økonomisk nytte og som tilfredsstillende samfunnets krav til sikkerhet mot skred

Det er viktig at de kriteriene som blir valgt i prosessen med prioriteringen gjennomføres innenfor de rammene som er beskrevet i Hb V712 Konsekvensanalyser. Denne setter blant annet krav til at konsekvenser med hensyn til sikkerhet, miljø og økonomi skal analyseres. Det er også et krav at bakgrunnsmateriale og analysene er åpne for politikere og publikum og at anbefalingene er så objektive som mulig. Dessuten skal usikkerheter med prosjektet presenteres og konklusjonene skal være sammenstilt egnet for en videre politisk behandling.

De faktorene som det bør legges mest vekt på i forbindelse med utarbeiding av prioriteringsplaner kan grupperes i tre hovedgrupper.

- Redusere antall ulykker på grunn av skred
- Bedre framkommelighet og regularitet
- Redusere frykt og usikkerhet hos de trafikantene som er avhengig av å trafikkere en skredutsatt veg

Redusere antall ulykker

De tre mest vanlige trafikkulykkene på grunn av skred er:

- Bil og skred er i fart samtidig, eller bil kjører inn i skred som sperrer vegen
- Bil som står stille, fordi et tidligere skred har sperret vegen, og så blir truffet av et nytt skred, enten i det opprinnelige skredløpet eller av et skred i naboområdet
- Vegarbeidere som blir truffet av skred i forbindelse med brøyting eller opprydding etter tidligere skred

Det er ikke foretatt noen nøyaktige undersøkelser om andelen av ulykker i disse tre gruppene, men erfaring tyder på at gruppen hvor både bil og skred er i fart samtidig er den med færrest ulykker når det gjelder snøskred.

I tillegg til disse ulykkestypene må det også tas med faren for at fotgjengere og syklister kan bli tatt av skred. Dersom det er skredområder nær bebyggelse bør sikring av disse prioriteres høyt, fordi fotgjengere blir eksponert i lenger tid enn en bil. Spesiell oppmerksomhet bør vies områder der folk oppholder seg i lenger tid. Dette kan være bussholdeplasser, parkeringsplasser og rasteplasser, fig 9.2.



Fig 9.2. Det er viktig at områder hvor folk oppholder seg i lengre gis høy prioritet med hensyn til sikkerhet mot nedfall av snø, is og stein. Rv 7, Vallavik. (Foto H. Norem)

Når det er gått et skred langs en skredutsatt strekning er sannsynligheten ofte stor for at det skal gå flere skred i det samme området. Dette skyldes at de fleste skredene langs en fjellside oftest vil løsne under de samme værforholdene. Dessuten vil det i perioder med fare for våtsnøskred også kunne foregå flere skred i det samme skredløpet på en dag.

Perioden fra det første skredet sperrer vegen og til all trafikk er dirigert til et sikkert område er derfor kritisk med hensyn til at skredulykker kan oppstå. Derfor bør skredområder hvor det kan gå flere skred hver dag, og områder hvor flere skredløp ligger i nærheten av hverandre gis stor prioritet (naboskred).

Vegarbeidere er en utsatt gruppe med hensyn til skredulykker. Dette skyldes at de må være på vegen og brøyte når faren for skred er stor. Dessuten er de eksponert dersom det er fare for flere skred per dag i det samme skredområdet, eller det er fare for skred i naboområdene. Av hensyn til sikkerheten for vegarbeiderne er det også viktig å prioritere skredløp som kan gå flere ganger per dag eller det er fare naboskred.

Bedre framkommelighet og regularitet

Vurdert ut fra økonomi er det stenging av vegen og manglende framkommelighet som er den største ulempen med skred. For å oppnå best effekt av sikringstiltakene er det derfor ønskelig å sikre vegen mot de skredene som opptrer hyppigst og som forårsaker de lengste stengningsperiodene.

Et annet moment, som det er viktig å ta hensyn til, er at dersom det foretas sikring av et skredløp bør en prioritere alle skredløp langs en skredutsatt vegstrekning hvor skredene løses ut under de samme klimaforholdene. En vinner lite med hensyn til framkommelighet dersom en bare sikrer ett skredløp, og vegen fortsatt kan bli stengt i de samme typene uvær, fig 9.3.



Fig 9.3. Ved valg av prioritering er det viktig å sikre lengre vegstrekninger som er utsatt for skred som utløses under like værforhold. Langs denne vegen er det bygget et 20 m langt skredoverbygg. Dette ble prioritert fordi det skjedde en ulykke på dette stedet. Med hensyn til framkommelighet og redusert stengningstid har en oppnådd svært lite med å sikre bare et skredløp. Fv 40 Dalsfjorden, Møre og Romsdal. (Foto: H. Norem)

Redusere frykt og usikkerhet

Alle trafikanter føler en frykt og usikkerhet ved å være avhengig av en veg som kan bli stengt på kort varsel, og hvor en vet at faren for ulykker er relativt høy i kritiske vær-situasjoner. Dette gjelder spesielt på veger hvor det er transport av skolebarn og det er en stor andel med arbeidsreiser og nyttetraffikk.

Denne frykten for å være avhengig av en skredutsatt veg er blitt sterkere uttrykt gjennom årene. Det er også vanskelig å omskrive denne frykten i økonomiske verdier. Dette gjør at tradisjonelle nytte/kost analyser for å beregne de samfunnsmessige konsekvensene av investeringer til skredsikring er vanskelige å gjennomføre.

9.1.2 Faktorer som har betydning for prioriteringen

En plan for sikring av en vegstrekning eller flere veger i et større område må bygge på en rekke opplysninger om vegen og skredaktiviteten. De nødvendige opplysningene kan deles inn i tre hovedgrupper.

- Skredaktivitet
- Opplysninger om vegen
- Økonomiske og miljømessige forhold

Skredaktivitet

Opplysninger om skredaktiviteten omfatter både fakta om selve skredene og hvilken påvirkning skredene har for trafikkavviklingen. De viktigste faktorene er.

- Frekvens, antall skred per år i hvert skredløp og for en utsatt veglengde
- Om skredene fører til delvise eller hele stenginger
- Stengingstid
- Sannsynlighet for naboskred
- Værforhold som gir stor sannsynlighet for skred
- Responstid, som er tiden fra vegen er sperret av skred og til vegen er stengt og trafikantene dirigert til sikre områder
- Ulykkes- og driftskostnader
- Kostnader for å rydde og utbedre vegen etter et skred
- Skader på annen infrastruktur

Opplysninger om vegen

Kravene til sikkerhet er avhengig av en rekke karakteristiske trekk ved vegen, som:

- Vegens viktighet; riksveg, fylkesveg
- Trafikkmengder, ÅDT
- Viktig transport, f. eks skolebarnkjøring eller stor andel trafikk med begrenset holdbarhet; for eksempel fisk
- Tid for omkjøring dersom vegen blir stengt
- Eventuell isolasjon av lokalsamfunn ved stenging
- Vegstandard; om det foreligger planer for utbedring eller skredsikringen kan inngå i en generell opprusting av vegen

Økonomiske og miljømessige forhold

Generelt er det kostbart å sikre vegene mot skred. Dette gjelder både den fysiske sikringen av vegene og drift og vedlikehold av tiltakene. Dersom en velger å sikre vegene med å utløse skredene kunstig, kan en redusere investeringskostnadene, men til gjengjeld vil det bli nødvendig med store årlige utgifter til sprenging. De faktorene som er viktigst å ta med i prioriteringsplanene er:

- Investeringskostnader for sikringstiltakene
- Årlige drifts- og vedlikeholdskostnader
- Nytteverdien av bedret sikkerhet og framkommelighet
- Andre nytteverdier ved for eksempel at vegen har fått en bedre standard i forbindelse med sikringstiltakene
- Miljømessige konsekvenser ved for eksempel at sikringstiltakene påvirker estetikk og arealbruk i området
- Forventet ulykkesrisiko på vegstrekningen etter at sikringen er utført

9.1.3 Metoder for prioritering

Dersom en veg får en langvarig stenging på grunn av snøskred, eller i verste fall, at det skjer en ulykke i forbindelse med skredet, kan det raskt bli et politisk press for å sikre vegen, og da spesielt på det stedet som ble sperret. Fra samfunnets side er det ønskelig å utbedre og sikre vegen etter langsiktige planer for å få best mulig nytte av investeringene. For å unngå at sikringen i for stor grad skjer etter «impulsmetoden» har Statens vegvesen utarbeidet prioriterte planer for større områder og flere vegstrekninger med hensyn til hvilke strekninger som skal sikres og med tidsplan.

Det er i bruk flere metoder for å utarbeide planer med prioritering av sikringstiltak. De enkleste tar hensyn til et begrenset antall faktorer, og vil derved være enkle å gjennomføre, men vil derved også ha begrenset kvalitet. De mer sofistikerte forsøker å ta hensyn til flest mulig av de faktorene som bør påvirke prioriteringen og sikringsnivå, og det forutsettes at den samfunnsmessige effekten kan beregnes.

Tre ulike metoder som er utviklet i forbindelse med prioritering er:

- Beregning av et prioriteringstall (Prioriteringsmodellen)
- Vekttallsanalyser
- Nytte/kost beregninger

Beregning av prioriteringstall

Prioriteringsmodellen brukes i dag ved oppdatering av oversikter som viser skredutsatte punkt, som er grunnlag til arbeidet med Nasjonal transportplan (NTP). Modellen består av seks ulike parametre som beskriver blant annet skredfrekvens, trafikkmengde, omkjøringstid, stengningsfrekvens knyttet til både skred og skredfare og naboskredfare. De ulike parametrene har ulik vektning, og resulterer i et prioriteringstall. Prinsippene i metoden er nærmere beskrevet i rapporten, Ny prioriteringsmodell for rassikringsplanene, (Aronsen 2011).

Oppdatering av skredutsatte punkt gjøres jevnlig og som grunnlag til arbeidet med Nasjonal transportplan. For en detaljert beskrivelse av prioriteringsmodellen henvises det til oppdrag om oppdatering av skredutsatte punkt.

Parameter	Vekt
Trafikkmengdefaktor	0,20
Skredfaktor (frekvens x bredde)	0,20
Omkjøringfaktor	0,15
Stengningsfrekvensfaktor	0,15
Skredfarefaktor	0,10
Naboskred	0,10

Tabell 9.2. Prioriteringskriterier for skred (Aronsen 2011)

De skredområdene som får høyest prioriteringstall blir oftest tatt med i Nasjonal Transportplan (NTP).

I prioriteringsmodellen er kostnadene til bygging og drift av sikringstiltakene ikke med, og prioriteringsmodellen tilfredsstiller derfor ikke kravene fastsatt i V712 Konsekvensanalyser. Prioriteringstallet betraktes derfor kun som et første anslag som viser hvor skredproblemer på vegnettet er størst. For den endelige prioriteringen må en også ta med kostnadene for å kunne vurdere hva samfunnet får igjen for skredsikringen. På den annen side er prioriteringsmodellen enkel å bruke og den gir en god oversikt over hvilke skredområder hvor det er størst problemer på vegnettet, og hvor en sannsynligvis bør utarbeide sikringsplaner og foreta en mer detaljert analyse av behovet for sikring og hvordan denne bør gjennomføres..

Vekttallsmetoden

Vekttallsmetoden forutsetter at det er utarbeidet et forslag med flere alternativer til sikring med kostnadsoverslag for en skredutsatt vegstrekning. Nytteverdien for hvert alternativ blir da beskrevet ved hjelp av et tall. Nytteverdien for hver parameter er produktet av et vektall og den forholdsmessige forbedringen en oppnår ved tiltaket. Den totale nytteverdien blir da summen av nytteverdien for hver av de undersøkte parameterne.

Vekttallsanalysen er blant annet gjennomført for E10 i Lofoten, Norem (1990). På den 53 km lange strekningen mellom Å og Finnbyen er det tre separate strekninger med skredproblemer. På den vestre strekningen er det stor lokaltrafikk og skolebarnkjøring, mens det på de to øvrige strekningene er det hovedsakelig langtransport.

Det ble utarbeidet to forskjellige alternativ for sikring av vegstrekningen. Plan A omfatter enkle sikringstiltak på de mest utsatte områdene og spesielt der det er skolebarnkjøring. Kostnaden var anslått til 13,9 mill. kr. Plan B forutsatte sikring av de samme områdene, men med mer omfattende bruk av overbygg og tunnel. Kostnadene for dette alternativet ble anslått til 67. mill. kr.

	Vekttall	Plan A	Plan B
Bedret sikkerhet for fotgjengere og skolebarn	10	7	9
Bedret sikkerhet for lokaltrafikk	20	9	12
Redusert stengingstid Lokaltrafikk Fjerntrafikk	35	19	23
Reduksjon av vintervedlikehold	15	5	2
Bedring av vegens linjeføring	15	3	6
Bedring av drivsnøforholdene	5	2	3
Sum	100	45	55
Investering		13,9	67,7
Nyttefaktor		3,2	0,8

Tabell 9.3. Tabellen viser resultatene av en vektallsanalyse som er gjennomført for E10, Lofoten, (Norem 1990).

Tabell 9.3 indikerer at en oppnår en vesentlig bedring av sikkerheten ved å sikre vegen med enkle og rimelige tiltak, som riktignok ikke gir full sikkerhet for trafikanter og fotgjengere. Metoden er enkel i bruk og inkluderer flere faktorer enn prioriteringsmodellen. Den kan derfor egne seg til å velge mellom ulike sikringsalternativ på en strekning. Imidlertid er metoden ikke klart beskrevet og det kan derfor være et stort rom for skjønn og subjektive vurderinger.

Nytte/kost beregninger

Hb. V712 Konsekvensanalyser presenterer en metode for kost/nytte beregning av veginvesteringer. Metoden, eller programmet, har navnet EFFEKT, og tar hensyn til alle konsekvenser som kan prissettes. EFFEKT programmet er videreutviklet med en modul til å kunne foreta beregninger av de samfunnsmessige konsekvensene av skred som sperrer vegene, Bertelsen og Strømme (2013). Programmet beregner på grunnlag av fastsatte enhetspriser for ulykker og omkjøring/ventetid konsekvensene av:

- Sannsynligheten for ulykker
- Forventet ventetid og omkjøringstid
- Investeringskostnader

Dersom en har foretatt gode registreringer om skredene, driften av vegen, analyser av kjøremønster og utarbeidet alternative forslag til sikring av vegen, er det mulig å beregne den samfunnsøkonomiske effekten av de forskjellige sikringsalternativene.

Bruk av skredmodulen i Effekt vil kunne supplere prioriteringsmodellen og gi et godt grunnlag om prioritering og valg av sikringstiltak. Effekt krever imidlertid nøyaktige grunnlagsdata og et definert vegnett, og er derfor kun aktuelt å bruke på et mindre antall skredutsatte punkt enn prioriteringsmodellen.

9.1.4 Sikringsplaner på ulike plannivå

I Statens vegvesen har en i prinsippet tre plannivå, hvor hvert nivå setter egne krav til detaljering og nøyaktighet:

- Oversiktsplan (Skredsikringsplan)
- Kommunedelplan (Rapporter om utsatte vegstrekninger og alternative sikringsmetoder)
- Reguleringsplan (Detaljerte forslag til sikring)

Oversiktsplan

På oversiktsplannivå har Statens vegvesen utarbeidet skredsikringsplaner for alle regioner. Disse skredplanene gir en oversikt over alle registrerte skredområder langs eksisterende veger, samt skredfrekvens og skredtyper som stenger vegene. Det er også utarbeidet et forslag til sikring. Forslagene er lite detaljerte og kostnadsoverslagene for sikringen er derfor beheftet med store usikkerheter. I forbindelse med skredsikringsplanene blir det også utarbeidet en prioritert liste over hvilke skredområder som bør sikres. Disse opplysningene vil da danne grunnlag for arbeidet med Nasjonal transportplan (NTP)

De største kravene til nøyaktighet for skredsikringsplanene gjelder at disse skal ha registrert alle skred som har sperret vegene helt eller delvis og at skredfrekvensen er registrert med stor nøyaktighet. Dette arbeidet danner også grunnlaget for utarbeiding av beredskapsplaner. Planene har også realistiske forslag til hvilken eller hvilke sikringsmetoder som bør velges. Derimot er det umulig å sette store krav til detaljeringen av sikringsforslagene og nøyaktigheten for kostnadsoverslaget.

Kommunedelplan

Når en veg er vedtatt opptatt på planprogrammet er det nødvendig å utarbeide en kommunedelplan. Denne planen danner grunnlag for politisk behandling av arealplaner og det kreves derfor stor nøyaktighet av rapportene for skredsikringen som skal inngå i kommunedelplanen. Slike rapporter bør blant annet gi opplysninger om:

- Nøyaktig fastsetting av skredutsatt område
- Avklare valg av sikringstiltak
- Anslå restrisiko
- Sikre tilgjengelig areal for sikringstiltaket
- Utarbeide et realistisk kostnadsoverslag
- Beskrivelse av skredområdet
- Utsatt vegstrekning med antatt frekvens
- Værforhold som gir skredfare
- Alternative sikringsmetoder

For hvert alternativ som presenteres i en kommunedelplan bør detaljeringsgraden være relativt stor fordi planen vil være avgjørende for den videre arealdisponeringen av området og danne grunnlag for forslag til bevilgning. Presentasjonen av hvert alternativ bør omfatte:

- Beskrivelse av tiltaket
- Utforming av tiltaket
- Fastsetting av grenser for byggeområdet
- Dimensjonerende krefter
- Håndtering av overflatevann
- Kritiske områder for erosjon
- Restrisiko
- Krav til grunnundersøkelser

Kravene til nøyaktighet for kostnadsoverslagene er +/- 25 %

Reguleringsplan

Reguleringsplanen danner grunnlag for ekspropriasjon og bevilgning til bygging av sikringstiltakene. Reguleringsplanen har derfor krav om at alle tiltak kan settes ut i terrenget. Dette gjelder både selve

tiltaket og eventuelle massetak eller massedeponi i tilknytning til sikringstiltaket.

Det er også strenge krav til detaljeringsgraden av tiltaket, slik at nødvendige masser og bygge-metoder er avklart. Dette er nødvendig for å oppnå kravene til nøyaktighet på kostnadsoverslaget, som er +/- 10%

9.2 Valg av sikringsnivå

Valg av sikringsnivå er et vanskelig følelsesmessig problem, fordi det fra samfunnets side må kunne aksepteres noe dårligere regularitet og muligens sikkerhet på lavtrafikkerte veger enn på veger med stor trafikk. På den annen side vil enhver trafikant kreve den samme sikkerheten for sin person, uansett hva slags veg vedkommende trafikkerer.

Kommunal og regionaldepartementet (2010) har fastsatt minstekrav til sikkerhet for bygninger i skredutsatte områder. Disse inkluderer også anleggsplasser, og i prinsippet også veg. Kriteriene er imidlertid ikke tilpasset veg, og Statens vegvesen har derfor utarbeidet retningslinjer for risiko-akseptkriterier for skred på veg. Kriteriene omfatter alle tiltak på eller langs veg som krever en bygge- eller reguleringsplan, som bygging av ny veg, ombygging av veg og bygging av sikringstiltak langs eksisterende veg.

Kriteriene er beskrevet i NA-rundskriv nr 2014/08, og beskriver en fremgangsmåte for fastsettelse av risikonivå. Kriteriene baserer seg på en matrise hvor grenser for akseptabel og uakseptabel risiko er gitt ut fra skredfrekvens og trafikkmengde. Mellom disse grensene må det gjøres en nærmere vurdering av flere faktorer (nytte/kostnadsanalyse) før endelig sikringsnivå fastsettes.

Symbolliste

a	Akselerasjon (m/s ²)
A	Eksponert areal (m ²)
c	Kohesjon (N/m ²)
C _d	Dragkoeffisient
F	Friksjonskraft pr. arealenhet (N/m ²)
F _c	Friksjon uavhengig av hastigheten (N/m ²)
F _d	Hastighetsavhengig friksjon (N/m ²)
g	Tyngdens akselerasjon (m/s ²)
h	Skredets flyte høyde (m)
H _e	Energihøyde (m)
H _k	Hastighetshøyde (m)
H _z	Stedshøyde (m)
k	Konstant
K	Avbøyningskraft (N)
k _a	Avbøyningsstrykk (N/m ²)
L	Lengde (m)
m	Masse (kg)
Q	Vindtransportert snøflux (kg/m·s)
p	Normaltrykk (N/m ²)
p _s	Stagnasjonstrykk (N/m ²)
P	Akselererende kraft pr. arealenhet (N/m ²)
P _F	Friksjonskraft (N)
P _J	Jordtrykklast (N)
P _N	Skredlast normalt takflaten (N)
P _R	Resultantkraft, som skyldes retningsendring av skredet ved taket av overbygget. (N)
P _S	Punktlast på grunn av steinsprang eller av blokker transportert i skredet (N)
P _Y	Last mot ytre sidevegg (N)
t	Tid (s)
v	Skredets hastighet (m/s)
V	Vindhastighet (m/s)
z	Snødybde normalt bakken (m)
α	Helling fra bruddkanten til skredets ytre begrensning (°)
α	terrenghelling (°)
β	Helling fra bruddkanten til 10° punktet i skredbanen (°)
β	helling på fronten av bremsekjegler (°)
θ	Terrenghelling i utløpsområdet
φ	Helling på taket av overbygget (°)
γ	Helling fra løsnemåten nedre begrensning til 20° punktet i skredbanen (°)
κ	Dynamisk viskositet (Pa·s ²)
μ	Friksjonskoeffisient
ρ	Snøens densitet (kg/m ³)
σ	Normalspenning (N/m ²)
τ _f	Skjærfasthet (N/m ²)
τ _{oppt}	Opptredende skjærspenninger (N/m ²)

Litteraturliste

- Aronsen, V. (2011)
Ny prioriteringsmodell for rassikringsplanene
VD-rapport 4. Statens vegvesen, Oslo
- Bakkehøi, S og Norem, H (1994)
Sammenlikning av metoder for beregning av maksimal utløpsdistanse for snøskred.
NGI-rapport 581200-30, Norges Geotekniske institutt, Oslo
- Bakkehøi, S. (1987)
Snow avalanche prediction using a probabilistic method
Int. Assoc. Of Hydrological Sciences. No. 162. Ed. Salm, B og Gubler, H.
- Bertelsen D. og Strømme, A. (2013)
Veiledning og dokumentasjon til skredmodulen i EFFEKT
Notat, SINTEF, Teknologi og samfunn
- Björnsson, H (2001)
Veður l aðdraganda snóflóðahrina á Siglufirði.
Vedurstofa Íslands. Rapport 01018, Reykjavik
- Brateng, L.E. (2005)
Laboratorieforsøk for utforming av terrengtiltak mot snøskred
M.Sc. Inst for Bygg, anlegg og transport, NTNU, Trondheim
- Bundesamt für Strassen (1998)
Planung, Bau und Unterhalt von Schutzgalerien gegen Steinschlag- und Lawineneinwirkungen
Baudirektion GD SBB
- BUWAL/WSL (2001)
Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet
Vertrieb: EDMZ, 3003 Bern
- Christen, M., Bartelt, P., Kowalski, J. og Stöffel, L. (2004)
Calculation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain with numerical simulation program RAMMS
Journ. of Cold Regions Science and Technology, Vol 39, no 2-3, pp 181-192
- Durand, Y. Giraud, G., Brun, E. Mérindol, L. og Martin, E. (1999)
A computer-based system simulating snowpack structures as a tool for regional avalanche forecasting.
Journal of Glaciology, 45 (151), 469-484
- Dyunin, A (1974)
The new results of mechanics of snow-storms
Int. Symposium on Snow Mechanics, Grindelwald, 1974
- Fitzharris, B.B (1981)
Frequency and Climatology of Major Avalanches at Rogers Pass, 1909 to 1977
Nat. Res. Council of Canada, Div of Building Research Paper no. 956, Ottawa

- Gabl, K og Lackinger, B. (1986)
Lawinenhandbuch
Tyrolia Verlag, Innsbruck
- Gauer, P , Issler, D., Lied, K., Kristensen, K., Iwe, H., Lied, K., Rammer, L, og Schreiber, H. (2007)
On full-scale avalanche measurements at the Ryggfonn test site.
Journ. of Cold Regions Science and Technology, Vol 49, pp 39-53.
- Gubler, H (1987)
Measurements and modelling of snow avalanche speeds
Proc. of Avalanche Formation, Movements and Effects. IAHS Publication 162, pp 405-420
- Hammersland, E., Norem, H. og Hustad, A. (2000)
Evaluation of measures for snow avalanche protection of roads
Snow Engineering, Recent Advances and Developments, 4th Int. Conf. on Snow Engineering, Trondheim
- Humstad, T (2010)
Kartportalen Føre Var
Statens vegvesen, Vegteknologidagene 2010, Trondheim (Foredrag)
- Hákonardóttir, K.M. (2004)
The interaction between snow avalanches and dams
Ph.D. University of Bristol, School of mathematics.
- Johannesson, T. og Hákonardóttir, K.M. (2003)
Remarks on the design of avalanche braking mounds based on experiments
in 3, 6, 9 and 34 m long chutes.
Teknisk rapport nr. 03024. The Icelandic Meteorological Office.
- Jädicke, C et al (2007)
Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate,
the GeoExtreme Project
Natural Hazards Earth Syst. Sci. 8, 893-904
- Johannesson, T. (2010)
The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments.
(www.leeds.ac.uk/satsie)
- Kleemayr, K (2003)
Modelling and simulation in snow science
Mathematics and Computers in Simulations, Vol. 66, Issues 2-3, pp 129-153
- Kommunal og regionaldepartementet (2010)
Byggteknisk forskrift,
<http://www.lovddata.no/ltavd1/filer/sf-20100326-0489.html#map008>
Oslo
- Larsen, J.O. (1989)
Snow-Creep Pressure on Masts
Annals of Glaciology 13. Int. Glaciological Society

- Larsen, J.O. (2000a)
Design criteria for cylindrical masts exposed to snow creeping forces
Proc. of the fourth Int. Conf. on Snow Engineering, Trondheim. A. A. Balkema
- Larsen, J.O. (2000b)
Design criteria for avalanche supporting structures exposed to snow creep forces in maritime climate
Proc. of the fourth Int. Conf. on Snow Engineering, Trondheim. A. A. Balkema
- Lehning, M.J., Doorschot, Bartelt, P. (2000)
A snow drift index based on SNOWPACK models to estimate snow loading in avalanche slopes
Proc. of the fourth Int. Conf. on Snow Engineering, Trondheim. A. A. Balkema
- Lied, K. og Bakkehøi, S. (1980)
Empirical calculation of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters.
Journal of Glaciology, 26 pp: 165-177
- Lied, K, Weiler, C, Bakkehøi, S. og Hopf, J. (1995)
Calculation methods for avalanche run-out distance for the Austrian Alps
NGI-report 581240-1, Norges geotekniske institutt, Oslo
- Lied, K. og Kristensen, K. (2003)
Snøskred. Håndbok om snøskred
Vett og Viten, Nesbru
- McClung, D. og Schaerer, P. (2006)
The Avalanche Handbook
The Mountineers, Seattle
- Meister, R. (1989)
Influence of strong winds on snow distribution and avalanche activity.
Annals of Glaciology, Vol 13. pp 195-201
- Mellor, M. (1965)
Drifting snow
DA Project IV 025001A130
Cold Regions Res. and Eng. Lab., Hannover, USA
- NGI (2007)
Håndbok for observatører
Norges geotekniske institutt, Oslo
- Norem, H. (1983)
Avalanche hazard evaluation, accuracy and use
Statens vegvesen, Veglaboratoriet, Meddelelse nr. 55, Oslo
- Norem, H (1990)
Forslag til beregning av dimensjonerende snøskredlast mot konstruksjoner
NGI-rapport 581200-16, Norges geotekniske institutt, Oslo
- Norem, H (1992)
Simulation of snow avalanche flow by a continuum granular model
NGI-report 581200-26, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo

- Norem, H, Irgens, F og Schielderop, B. (1987)
A continuum modell for calculating snow avalanche velocities
Proc. of Avalanche Formation, Movements and Effects. IAHS Publication 162, pp 363-379
- Norem, H, Irgens, F og Schielderop, B. (1989)
Simulation of snow avalanche in run-out zones.
Annals of Glaciology, No 13
- Norem, H, Kvisterøy, T. og Evensen, B. D. (1985)
Measurement of avalanche speeds and forces; instrumentation and preliminary results
of the Ryggfonn Project
Annals of Glaciology Vol 6. pp 19-22
- Norem, H. (1991)
Estimating snow avalanche impact pressures on towers
Ass. Nationale pour l'étude de la Neige et des Avalanche, Symposium de Chamonix
- Norem, H og Brateng, L. E. (2006)
Ideas on the design of the design of earth mounds and dams to protect highways against
snow avalanches
PIARC, XII Int. Winter Road Congress, Torino
- NVE (2011)
Felthåndbok for snø- og skredobservasjoner
Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo
- Ólafsson, H. og Haraldsdóttir, S (2003)
Diurnal, Seasonal, and Geographical Variability of Air Temperature Limits of Snow and Rain
Int. Con. On Alpine Meteorology and Map, Meeting 2003 in Brig, Switzerland, pp 473-476
- Perla, R, Cheng, T. og McClung, D. (1980)
A Two-parameter Model of Snow Avalanche Motion
Journ. of Glaciology, 26 (94)
- Rudolf-Miklau, F., og Sauermoser, S. (2011)
Handbuch Technischer Lawinenschutz
Ernst & Sohn, Berlin
- Salm, B., Burkard, A. og Gubler, H. (1990)
Berechnung von Fliesslawinen.
Mitteilungen EISLF No 47, Davos
- Simonsen, A. (2002)
Luftstrømming over vindvoller
Eget firma
- Sovilla, B., Schaer, M., Kern, M. og Bartelt, P. (2008)
Impact pressures and flow regimes in dense snow avalanches observed at the
Valle de la Sionne test site.
Journ. of Geophysical Research 113, F1, F01010

Statens kartverk (1992)
Nasjonalatlas for Norge, Vann, snø og is.
Hønefoss.

Statens vegvesen (2010)
Geoteknikk i vegbygging
Håndbok 016, Vegdirektoratet, Oslo

Statens vegvesen (2005)
Meteorologi og klimastasjoner
Rapp. Nr. 4/2005, Vegdirektoratet, Veg- og trafikkavdelingen, Oslo

Statens vegvesen (2009)
Bruprosjektering
Håndbok 185, Vegdirektoratet, Oslo

Statens vegvesen (2011)
Konsekvensanalyser
Håndbok 140, Oslo

Statens vegvesen (2011)
Veger og drivsnø
Håndbok 285, Oslo

Statens vegvesen (2013)
Flom- og sørpeskred
Håndbok 284, Vegdirektoratet, Oslo

Statens vegvesen (2013)
Rekkverk
Håndbok 231, Vegdirektoratet, Oslo

Statens vegvesen (2011)
Ny prioriteringsmodell for rassikringsplanene
VD-rapport 4, Vegdirektoratet, Oslo

Voellmy (1955)
Über die Zerstörungskraft von Lawinen
Schweiz. Bauzeitung. 73(12) 159-162; (15) 212-217; (19) 280-285

Ziscg, A., Fuchs, S., Keiler, M. og Meissl, G (2005)
Modelling the system behaviour of wet avalanches using an expert system approach
for risk management of high alpine traffic roads
Natural Hazards and Earth Sciences, 5, 821-832.



www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker

ISBN 978-82-7207-675-6

Trygt fram sammen