



Statens vegvesen

A decorative graphic consisting of a large orange parallelogram and a smaller light gray triangle to its left.

N-V138 Veger og snøskred

VEILEDNING N-V138

Gyldig fra 2026-05-29

ISBN: 978-82-7207-815-6

Forord

Denne veiledningen er et hjelpemiddel for planlegging og prosjektering av tiltak for sikring mot snøskred. Krav til sikring av veger mot skred er gitt i vegnormal N200 Vegbygging [\[1\]](#).

Veiledningen ble først utgitt i 2014, og var gjennom en større revisjon ved digital utgivelse i 2024. Dette er en mindre revisjon hvor kapitler om aktive sikringstiltak (7.1-7.3) er oppdatert.

Kommentarer eller spørsmål til veiledningen kan sendes på epost til V138@vegvesen.no.

Oslo, mai 2026.

Vegdirektoratet

Innhold

Forord	2
1 Innledning	6
2 Snøskredtyper	7
2.1 Løssnøskred	7
2.2 Flaskskred	8
2.3 Sørpeskred	11
2.4 Glideskred	12
3 Værforhold som påvirker skredfare	13
3.1 Nedbør	13
3.2 Vind og terreng	13
3.3 Snøtransport og snøfordeling	13
3.4 Høytemperaturer og solstråling	15
3.5 Lave temperaturer, utstråling og dannelse av svakt lag	15
4 Klimaendringer og skredfare	17
4.1 Snømengder i et framtidig klima	17
4.2 Snøskred i framtidig klima	17
4.3 Kilder til informasjon om effekten av klimaendringer	17
5 Karakteristiske trekk ved skredfarlig terreng	20
5.1 Løsneområdet	21
5.1.1 Bratthet i løsneområdet	22
5.1.2 Terrengforhold i løsneområdet	22
5.1.3 Skredaktivitet fra flere løsneområder og naboskred	23
5.2 Skredløpet og utløpsområdet	24
5.2.1 Skredbevegelse	24
5.2.2 Indikasjoner på skred i terrenget	25
6 Beregning av hastigheter, utløpsdistanser og trykk mot konstruksjoner	27
6.1 Snødekkets egenskaper	27
6.1.1 Tetthet (densitet)	27
6.1.2 Fasthetsegenskaper	27
6.1.3 Flyteegenskaper	28
6.1.4 Spenninger i snødekket	29
6.2 Beregning av skredhastigheter og utløpsdistanser	32
6.2.1 Krefter som kontrollerer skredbevegelsen	32
6.2.2 Grunnlag for modellering av snøskred	34
6.2.3 Metoder for å beregne hastighet og utløp	35
6.2.4 Den topografiske modellen, α - β -metoden	36
6.2.5 RAMMS	37
6.2.6 Energilinjemodellen	38
6.2.6.1 Konstruksjon av energilinje	39
6.2.6.2 Anslå hastighet i utløpsområdet	41
6.2.6.3 Beregning av utløpsdistanse	42

6.2.6.4 Reduksjon i energi ved passering av sikringstiltak	43
6.2.7 Bruk av metoder for beregning av hastighet og utløpsdistanser	44
6.3 Belastninger mot konstruksjoner	44
6.3.1 Skredtrykk	45
6.3.2 Skjærspenninger mot konstruksjoner	48
6.4 Snøsigkrefter mot konstruksjoner	49
6.4.1 Sigetrykk mot forbygninger	49
7 Sikringstiltak	52
7.1 Stedsspesifikk skredvarsling	52
7.2 Skredvarslingsanlegg	54
7.2.1 Elementer i et skredvarslingsanlegg	54
7.2.2 Trafikale forhold	54
7.2.3 Radaranlegg	55
7.2.4 Geofonanlegg	55
7.2.5 Andre systemer	56
7.3 Forebyggende skredkontroll	56
7.3.1 Fastmonterte system for forebyggende skredkontroll	57
7.3.2 Plassering av fastmonterte anlegg	61
7.3.3 Drift og vedlikehold av skredkontrollsystem	62
7.3.4 Planlegging av skredteknisk drift	62
7.3.5 Mobil skredkontroll med helikopter og skredklokke	63
7.4 Vollkonstruksjoner og andre terrengtiltak	64
7.4.1 Bremsekjegler	65
7.4.1.1 Plassering av bremsekjegler	65
7.4.1.2 Utforming av kjeglene	67
7.4.2 Ledevoller	68
7.4.2.1 Helling på skredsiden	69
7.4.2.2 Høyde på ledevoll	70
7.4.2.3 Plassering av vollene og antatt sikringseffekt	71
7.4.2.4 Utforming av skredløpet	71
7.4.2.5 Drenering av vollområdet	72
7.4.3 Fangvoller	73
7.4.3.1 Høyde på fangvoll	74
7.4.3.2 Fangvoll som sikring mot skredtrykk (skredvind)	76
7.5 Støtteforbygninger	78
7.6 Snøsamleskjermer	80
7.7 Bru over skredløpet	82
7.8 Skredoverbygg	83
7.8.1 Konstruktive utforminger av skredoverbygg	84
7.8.2 Dimensjonerende laster	85
7.8.3 Utføre beregning av dimensjonerende trykkklaster på skredoverbygg	89
7.8.4 Utforming av skredoverbygg	90
7.8.5 Tilpasning av overbygget til terrenget	90
7.8.6 Bruk av ledevoller for å styre skred	91

7.8.7 Drenering av overflatevann	94
Referanser	96

1 Innledning

Snøskred er en vanlig årsak til at veger sperres for trafikk. I tillegg stenges utsatte veger i korte eller lengre perioder på grunn av fare for snøskred. Snøskred opptreer oftest i forbindelse med uværsperioder. I slike perioder kan flere veger være sperret på samme tid, og mindre samfunn kan bli isolert når vegene stenges.

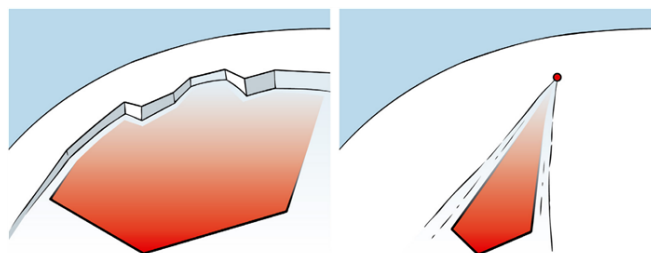
Denne veiledningen gir et faglig grunnlag for planlegging av sikringstiltak mot snøskred. Veiledningen legger vekt på de tekniske sidene av sikring mot snøskred, som utforming og dimensjonering av sikringstiltak. Mer generelle opplysninger om snø og snøskred er i mindre grad dekket i denne veiledningen.

Det vises også til NVEs veiledning for kartlegging av skredfare [\[2\]](#), og NVEs sikringshåndbok [\[3\]](#).

2 Snøskredtyper

Snøskred er en fellesbetegnelse på snø som er satt i bevegelse. De fleste snøskred løsner naturlig, men menneskelig aktivitet som ski- og skuterkjøring kan også føre til snøskred. En tredje årsak til snøskred er kontrollert utløsning som del av en sikringsstrategi.

Snøskred kan deles inn i to hovedtyper, flaskskred og løssnøskred. Disse kan videre deles inn i tørre og våte skred. En skisse av disse typene er vist i [figur 2—1](#).



Figur 2—1 — Skisse av flaskskred til venstre og løssnøskred til høyre, fra [\[4\]](#)

Inndelingen i flaskskred og løssnøskred bygger på skredets bruddform. Et løssnøskred utløses fra ett punkt, mens et flaskskred kjennetegnes ved at en større del av snødekket sklir ut langs et glideplan i snødekket.

Det kan være mange ulike årsaker til at et snøskred løsner. I varslingstjenestene brukes begrepet skredproblem for å si noe om oppbyggingen av snødekket og hvilke snøtyper som mest sannsynlig er årsak til utløsning. Konsekvens av skred er videre knyttet til skredstørrelse, som er definert fra 1 til 5, der 5 har størst skadepotensiale. Se varsom.no for mer om skredproblemer og skredstørrelse.

I tillegg til hovedtypene løssnøskred og flaskskred, kan snøskred også klassifiseres som sørpeskred, glideskred og skavlbrudd.

2.1 Løssnøskred

Løssnøskred utløses i bratte fjellsider, av at det er svake bindinger mellom snøkrystallene. Dette kan skyldes ubunden nysnø eller våt snø på grunn av oppvarming eller regnvær. Løssnøskred starter fra ett punkt og brer seg utover i dråpeform etter hvert som flere snøkorn rives med, se [figur 2—1](#) og [figur 2.1—1](#). Løssnøskredene får derfor større bredde nedover i skredbanen, og skredet stopper relativt raskt opp når terrenget blir slakere.

De fleste løssnøskred opptrer under kraftig snøvær og før snødekket 'setter' seg. Ved omslag til intense varmeperioder og i forbindelse med kraftig solinnstråling vil det også være stor aktivitet av løssnøskred. En vanlig årsak til utløsning av løssnøskred er at det faller snøklumper 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. I [figur 2.1—1](#) ser vi en situasjon der kraftig solstråling medfører utløsning av løssnøskred nedenfor knauser, dette er svært typisk da oppvarmingen blir konsentrert på og rundt mørke berg.



Figur 2.1—1 — Flere løssnøskred utløst samme dag langs rv. 13 i Kvasdalen, Vestland fylke. Fotograf: Jens Tveit, Statens vegvesen.

Løssnøskred er som regel små eller middels store, men dersom skredløpet er bratt nok kan de øke i masse og bli relativt store. Løssnøskred fører gjerne til mindre skader enn flaskred, men de kan likevel være tilstrekkelig store til at alvorlige ulykker oppstår og at vegenesperres. Det kan ofte gå flere løssnøskred på samme dag, også i samme skredløp.

2.2 Flaskred

Et flaskred oppstår når et sammenhengende og fast flak av snø går til brudd langs et løsere, svakt, lag nede i snødekket eller langs bakken.

Mekanismen bak et flaskred er at det svake laget kollapser. Det svake laget kan bestå av nedføyka nysnø, kantkorn eller overflaterim, kantkornet snø ved bakken eller kantkorn dannet under eller over et skarelag. Utløsende årsak kan være stor pålagring av snødekket på grunn av kraftig nedbør eller vind (fokksnø), vekten av en skiløper, nedfall av skavler eller andre ytre faktorer som f.eks. kontrollert utløsning.

Et flaskred kjennetegnes ved en markert bruddkant og denne kan ha stor variasjon i høyde og lengde, avhengig av egenskapene tildet svake laget og terrengformasjoner i løseområdet.

I situasjoner med vedvarende svake lag i snødekket kan flaskred bli svært store. Vedvarende svake lag består av svake snøkrystaller som kan utvikle seg i perioder med kulde og klarvær. Dette svake laget kan gi stor bruddforplantning, særlig dersom overliggende flak er fast og sammenhengende.

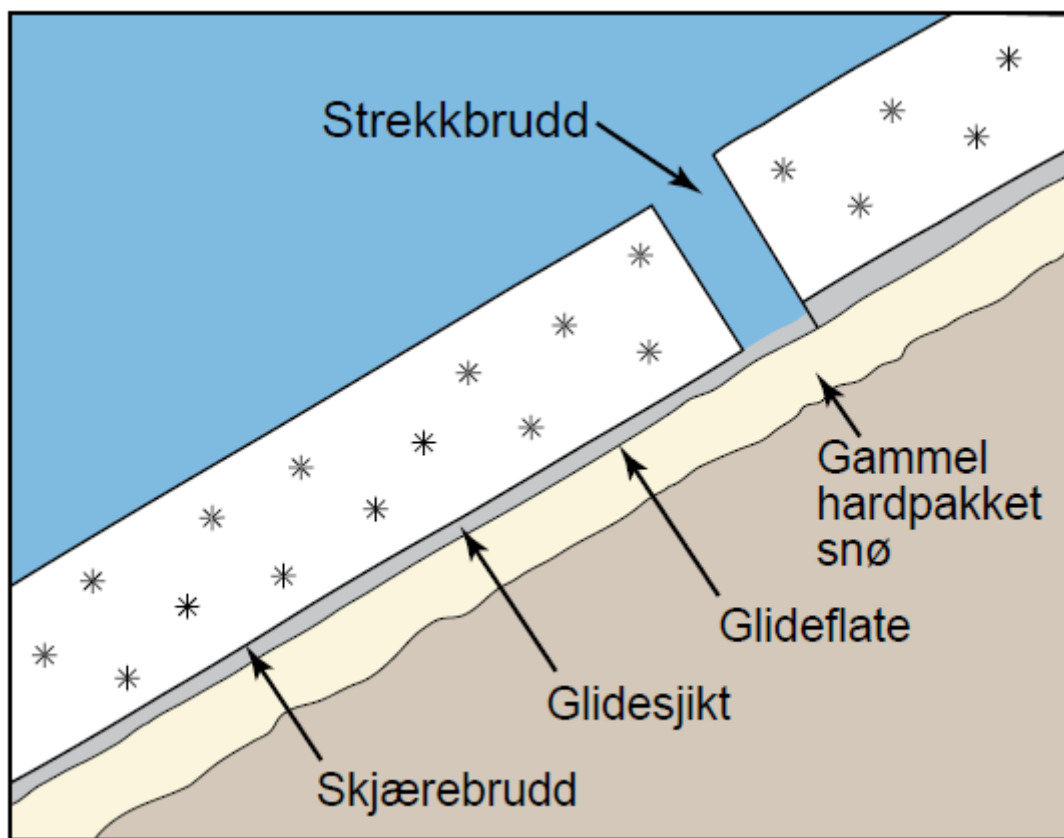
Tørre flaskskred er den skredtypen som vanligvis gir størst utløpsdistanse og belastning på eventuelle sikringstiltak, og vil derfor ofte være dimensjonerende skredtype.



Figur 2.2—1 — Bruddkant og skredmasser i flaskskred. Foto: Jan Otto Larsen, Statens vegvesen.

Bruddkanten for naturlig utløste skred finner en der snødekket har strekkspenninger. Dette kan være i overgangen mellom slakt og bratt terreng, eller områder der snømengden øker.

Bruddkanten står i hovedsak normalt på terrenghellingen. Bruddkantens høyde er ofte mellom 0,2 og 2 m. I sjeldne tilfeller kan den bli opptil 10 m. Bruddkantens lengde kan variere fra ti-talls til hundretalls meter, og det er registrert bruddkanter opptil 1-2 km. Det er derfor store variasjoner på flaskskredenes størrelse, og denne varierer vanligvis innenfor 100 og 100 000 m³, men langt større skred kan også forekomme.

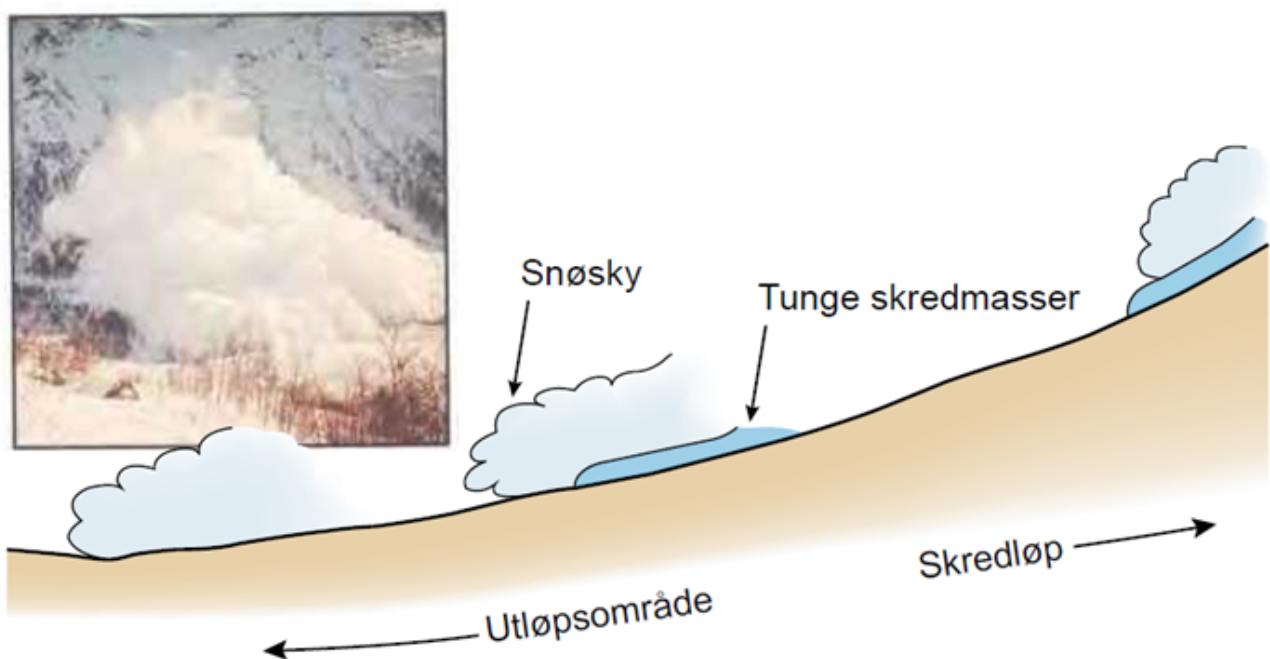


Figur 2.2—2 — De fleste skred utløses langs potensielle glidelag, som er lag med vesentlig dårligere fasthet enn omkringliggende snø.

Kort tid etter at flaskredet er satt i bevegelse brytes strukturen i snødekket ned, og skredet beveger seg dermed som en strøm av granulært materiale, dvs. atskilte snøpartikler som mister energi når de kolliderer. Tørre snøskred beholder en finkornet struktur under hele skredbevegelsen, mens det i fuktige og våte skredmasser ofte danner seg snøklumper, som kan være 5-50 cm store.

Snøskred i bevegelse kan deles inn i tre lag:

- Et flytelag med faste skredmasser nærmest bakken.
- Et saltasjonslag med snøballer som spretter opp på flytelaget.
- Dersom skredet er tørt, vil det danne seg en snøsky på toppen av skredmassen. Dette laget kan bli flere titalls meter høyt og har stor rekkevidde.



Figur 2.2—3 — 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 faste skredmassene nærmest bakken har snøpartiklene nær kontakt med hverandre, og stor tetthet. Tettheten er vanligvis ca. 100-200 kg/m³ for tørre snøskred og opptil 300 kg/m³ for våte snøskred. Det er også de faste massene som bestemmer fronthastigheten i den bratte delen av skredbanen, og som har størst ødeleggende effekt. Tørre snøskred kan få en hastighet inntil 60-70 m/s (ca. 210-250 km/t), mens fuktige og våte snøskred oftest har noe mindre hastighet. Det er bare spesielt store skred av denne typen som har hastigheter som overstiger 40 m/s (ca. 140 km/t).

Over de faste massene dannes en markert snøsky. Dette gjelder spesielt for tørrsnøskred, men snøskylaget kan også bli betydelig for skred med fuktig og våt snø. Snøskyen vil ofte være synlig før de faste massene, da skyen ligger både foran og over de faste massene. Partiklene i snøskyen holdes oppe på grunn av turbulens, og de 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 kan snøskydelen bli 50 m høy. I den bratte delen av skredbanen vil fronten av snøskya ligge 10-20 m bak fronten av de faste massene. Når terrenget blir slakere vil de faste massene bli bremsset ned mens snøskydelen vil passere, og kan få et utløp som er flere hundre meter lenger enn de faste massene. Snøskyen vil også være mindre påvirket av terrengformasjoner, og i tilfeller hvor de faste massene kan ledes av terrengformasjoner eller sikringstiltak, kan snøskyen få et annet utløp enn resten av skredet. Selv om de faste massene har størst skadepotensiale ved treff, er snøskyen kraftig og kan legge ned trær eller feie store biler av veien.

2.3 Sørpeskred

Sørpeskred karakteriseres av høy vannmetning og utløses i perioder med stor tilførsel av vann til snødekket. Dette kan være på grunn av intens snøsmelting eller ved kraftig regnvær. Sørpeskred kan løsne i helninger helt ned til 5°, og kritisk faktor er når vanntilførselen er større enn det som dreneres ut. På grunn av høyt vanninnhold kan skredmassene få høy hastighet og lange utløp.

Faretegn i terrenget på fare for sørpeskred er synlig oppdemming av vann, enten som åpne dammer, eller blå eller grå skjær i snødekket.

Strømningen i et sørpeskred vil ligne på flomskred, og erfaring har vist at sikringsmetoder som er effektive mot flomskred i stor grad også er effektive mot sørpeskred. Disse skredtypene og sikringsmetoder mot dem er beskrevet i N-V139 Flom- og sørpeskred [\[5\]](#).

2.4 Glideskred

Glideskred er en annen særtype snøskred. Denne skredtypen kjennetegnes ved at snødekket løsner helt nede på bakken. Snøen vil gli mot et glatt underlag, som sva eller gressbakke, og en kan ofte se glidesprekker før skredet løsner.

Faren for glideskred er særlig stor når det ikke er tele i bakken før snødekket etablerer seg for sesongen. Glideskred kan være vanskelige å varsle, da utløsning avhenger av vanntilførsel og snødekkets egenskaper.

3 Værforhold som påvirker skredfare

Snømengdene i et område er avhengig av nedbør, temperatur, vind og vintersesongens varighet. Ved planlegging av sikringstiltak er det viktig å sette seg inn i hvilke meteorologiske faktorer som påvirker snødekkeoppbyggingen og skredfaren i området.

Værobservasjoner og værstatistikk fra Meteorologisk institutt og aktuelle klimaframskrivninger er tilgjengelig på Norsk klimaservicesenter (www.klimaservicesenter.no). En annen nyttig kilde til vær- og klimadata er nettsiden www.senorge.no hvor vær- og klimadata er beregnet for hele landet.

3.1 Nedbør

Nedbør i form av snø og regn påvirker snøskredfaren, først og fremst gjennom utvikling, belastning og svekkelse av snødekket.

Hvor stor belastning snødekket tåler er avhengig av lagdeling og spenninger i snødekket. Kritisk nysnømengde, dvs. hvor stor snømengde snødekket tåler før det går til brudd, kan variere fra sted til sted. Ofte brukes 30-50 cm nysnø i løpet av ett døgn som en tommelfingerregel.

I en studie av nedbør i tre kjente skredområder fant en at når nedbørsmengdene siste tre døgn er mer enn 90 mm, var det 99 % sannsynlighet for skred i alle de tre undersøkte skredområdene [6]. Ved store nedbørsmengder over kort tid trenger det nye snølaget tid til å stabilisere seg. Ved mindre nysnømengder er sannsynligheten for skred lavere. Hvor store snømengder som er kritisk vil variere stort fra ett skredløp til et annet.

Hvor stor nysnømengde som er kritisk varierer også mellom kyst- og innlandsområder. Et typisk innlandsklima karakteriseres av lave temperaturer og tynnere snødekke, mens kystnære strøk gjerne har mildere temperaturer og større pålagring av snø. I et innlandsklima vil perioder med kulde og klarvær danne svake lag, enten internt i snøpakken eller ved at overflaterim eller kantkorn snør ned. I slike tilfeller kreves det mindre pålagring av nysnø før naturlige snøskred utløses. I et kystklima vil milde temperaturer ha en stabiliserende effekt på snødekket, og det er vanlig med flere perioder med mildvær. Ved første oppbløtning av snødekket kan skredfaren være stor, men i etterkant av en slik periode vil snødekket ofte være mer stabilt.

3.2 Vind og terreng

Kunnskap om framherskende vindretninger og hvilke vindretninger som er nedbørsførende er viktig for å forstå hvor og hvordan snøen avsettes. Nær bakken styres vinden mer av topografi og det kan derfor være store forskjeller på hvordan snøen fordeles i lavtliggende terreng sammenlignet med fjellterreng.

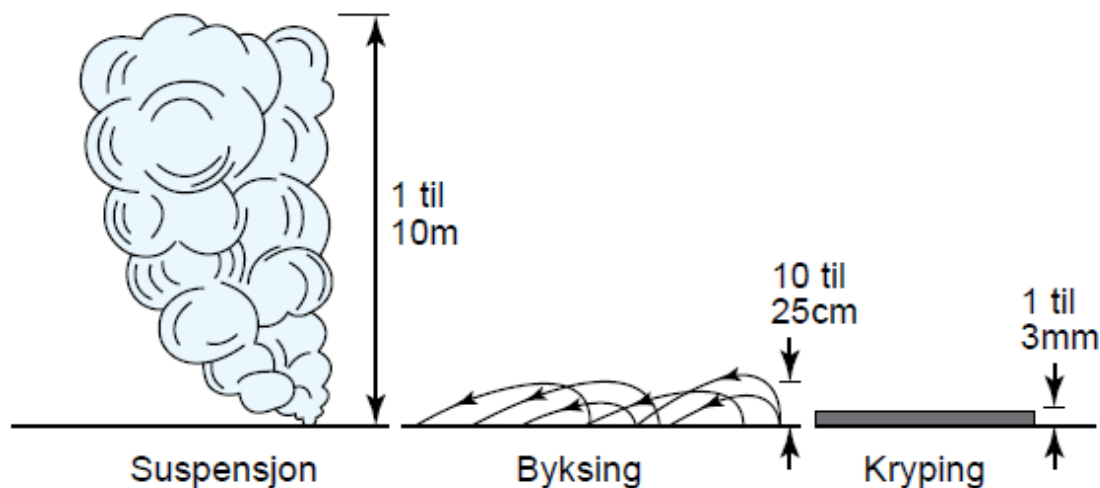
Den kraftigste vinden er i fjellet, langs åpne vann og i dalfører som ligger parallelt med hovedvindretningen. Terreng med stor ruhet har en bremsende effekt på vinden, og dalfører som ligger orientert normalt på vindretningen vil gi le-effekt. Når vinden blåser over land, tappes den for energi og blir gradvis svakere. Derfor er det gjerne sterkest vind langs kysten og mindre vind lenger inn i landet.

Vind langs bakken er også påvirket av temperaturforskjeller mellom fjellet og dalbunnen. Kald luft er tyngre enn varm luft, og kald luft i fjellet vil bevege seg mot varmere områder. Spesielt om vinteren kan det oppstå kraftige dalvinder når det er kaldt i fjellet og mildere i lavlandet langs kysten. I trange vestlandsdaler med store høydeforskjeller er det målt vindstyrker opptil storm styrke, selv om det er vindstille i fjellet.

3.3 Snøtransport og snøfordeling

Vind eroderer, transporterer og avsetter snø, og er en viktig faktor både for fordeling av snø i terrenget og lagdeling i snødekket. Skredfarevurdering og planlegging av sikringstiltak krever god kunnskap om lokale vindforhold.

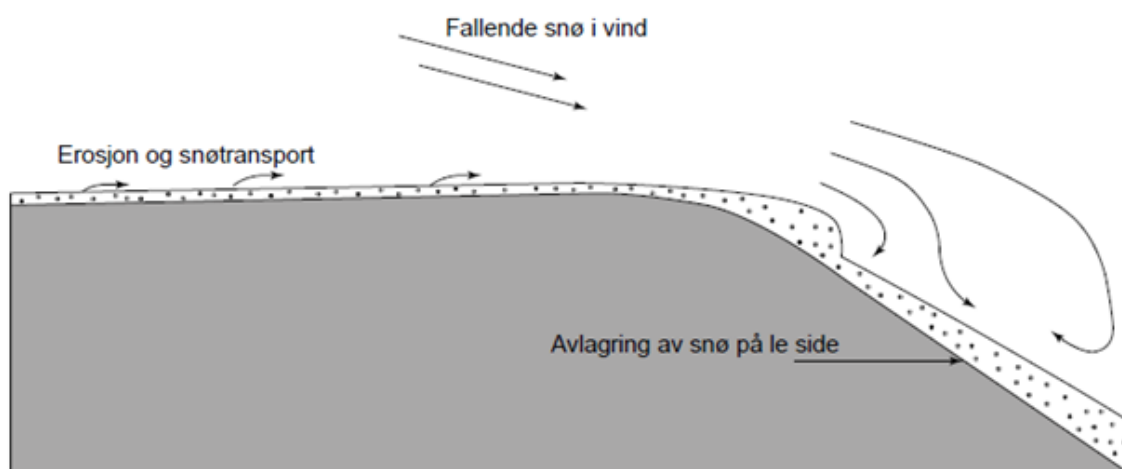
Snøtransport skjer gjennom kryping, byksing og suspensjon, [figur 3.3—1](#). Hvor mye snø som transporteres avhenger av vindhastighet og snødekkets fasthet. Tørr nysnø vil transporteres ved lavere hastigheter enn våt snø. Snøtransport vil ofte begynne ved vindhastigheter på 4-7 m/s. Ved disse hastighetene vil snøkornene bevege seg nær bakken. Ved vindhastigheter større enn 12-13 m/s vil snøkornene suspenderes i luften. Se N-V137 Veger og drivsnø [\[7\]](#) for mer informasjon om snøtransport og analyser av vind.



Figur 3.3—1 — Snøpartikler transporteres med vinden som krypende, byksende eller suspenderte partikler (basert på [\[8\]](#)).

Snøpartikler blir gradvis erodert fra bakken, og det er først etter at vinden har blåst over et 100-200 m åpent område at snøtransporten blir stor. På grunn av dette vil bratte fjellsider i le av platåer samle mer snø enn i fjellsider i le av spisse, alpine fjellformasjoner. Snø kan også transporteres med vind som beveger seg langs fjellsider. Dersom løsnemåten er markerte forsenkninger kan en betydelig snømengde avsettes også av denne vinden. Dette fenomenet kalles krysslading.

Snøen som samles på lesiden fordeler seg i fjellsiden ut fra hvordan den transporteres dit. Drivsnø langs bakken avsettes høyt oppe i fjellsidene, ofte 50-100 m nedenfor kanten av platået. Fallende snø som trekkes inn i de store virvelsystemene på le side fordeler seg imidlertid mer jevnt over hele leområdet.



Figur 3.3—2 — 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 frem til fjellsidene.

Der det er stor snøtransport langs bakken mot en bratt fjellside vil en også få dannet store skavler i overgangen fra slakt til bratt terreng. Skavler kan ha betydning for utløsning av større snøskred dersom de faller ned på et ustabilt snødekke.

Mengden snø som kan transporteres langs bakken og fram til en fjellside avhenger først og fremst av vindhastigheten og tilgjengelig løs snø på bakken. Andelen snøtransport øker omtrent med tredje potens av vindstyrken. Snømengdene som transporteres langs bakken ved sterk vind, over 10 m/s, kan være store nok til å utløse naturlige skred i leheng. Dette gjelder særlig der det finnes store områder snøen kan eroderes fra.

3.4 Høyetemperaturer og solstråling

Temperaturforhold og solinnstråling har stor betydning for snødekkets utvikling og stabilitet gjennom vinteren.

I kald snø, dvs. temperaturer under -2 °C, vil en økning i temperaturen føre til at snøen setter seg raskere og føre til et mer stabilt snødekke. Dersom snødekket derimot 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 forutsi. Dersom snødekket er kaldt når mildværsperioden inntreffer, kan det gå dager før hele snødekket er tilstrekkelig oppvarmet. Mindre løssnøskred i bratte løseområder kan likevel opptre i første del av intense mildværsperioder.

Intens solstråling har også evnen til å varme opp snødekket. Dette kan føre til at smeltevann føres nedover i snødekket. Våte løssnøskred kan derfor ofte opptre i forbindelse med kraftig solstråling. Tidspunktet for slike skred er oftest 1-5 timer etter at området har mottatt maksimal solstråling, [9].

Ettersom løssnøskred utløses fra et punkt vil en kunne få flere skred i ett og samme skredløp. I tillegg vil skredene også kunne utløses fra ulike høydenivåer etter hvert som snødekket oppvarmes. Potensialet for at det kan gå flere skred i samme skredløp, eller område, inngår i vurderingen av om en kan starte opprydding etter at skred har gått på veg. Grundige vurderinger gjøres også dersom vegstrekningen har skredløp med tilsvarende forhold andre steder.

Utløsning av våte flakskred i forbindelse med kraftig temperaturstigning og solinnstråling er knyttet til økt belastning på kritiske lag og ved opphopning av vann i snødekket. Sannsynlighet for våte flakskred er størst ved første gangs oppbløtning av snødekket.

3.5 Lave temperaturer, utstråling og dannelse av svakt lag

Kantkorn og nedføyket overflaterim er de to hovedtypene av vedvarende svakt lag. Enkelt forklart dannes disse i perioder med vedvarende kulde og klarvær. Kantkorn dannes når temperaturforskjellen mellom bunnen av snødekket og luften stor, mens overflaterim dannes når temperaturforskjellen mellom snøoverflaten og luften er stor.

Disse to hovedtypene er viktig å kjenne ved planlegging av sikringstiltak i områder med lave vintertemperaturer. Spesielt viktig er dette der snødekket er tynt, som i typisk innlandsklima. I slike områder vil kritisk nysnømengde være lavere enn i områder med mildere vintertemperatur.

Kantkorn dannes fordi varm luft inneholder mer damp enn kald luft. For å utligne vil luft med mye vanndamp bevege seg mot områder med mindre vanndamp. På vei oppover i snødekket vil vanndamp treffe på snøkrystaller og fryse fast, etter hvert vil det dannes store krystaller med kantet form. Jo lenger prosessen pågår, jo større blir krystallene og store, hule, begerformede krystaller dannes.

Overflaterim dannes når både lufttemperaturen og overflatetemperaturen på snødekket er lav. Vanndamp i lufta fryser fast på krystallene på overflata og vokser til fjærlignende strukturer. Overflaterim

er ikke farlig før de snør ned, men på grunn av den svært skjøre oppbygningen gir det perfekte forhold for store flakskred.

Skred som løsner på begravd overflaterim eller kantkorn kan bli svært store da forplatningsevnen til bruddet er god, dette gjelder særlig dersom overliggende flak er sammenhengende og fast.

4 Klimaendringer og skredfare

Klimaet endrer seg som følge av global oppvarming. Resultatet er at «gjennomsnittsværet», det vil si hvilke væertyper og vær fenomener som er normalt å oppleve i den enkelte region, endrer seg over tid.

Lokalt vil det variere hvilke klimaendringer som blir mest fremtredende. Kort sagt vil landet som helhet få økte nedbørsmengder gjennom året, høyere gjennomsnittstemperaturer og kortere vintre.

For å beskrive klimaendringers effekt på snøskredfare i et bestemt område, er det nødvendig å se de forventede endringene i sammenheng med hvilken topografi og beliggenhet området har. Nærhet til kyst gir godt med nedbør og milde temperaturer. Innlandsområder er forbundet med relativt store temperatursvingninger gjennom året.

4.1 Snømengder i et framtidig klima

Det er en klar sammenheng mellom snønedbør, vind, temperatur og forekomsten av snøskred. Værdata for de siste 100 år viser at gjennomsnittstemperaturen i Norge har økt med mer enn 1 grad. Snøsesongen blir stadig kortere over hele landet. Dette gjelder for alle høydenivåer, men størst nedgang er det i lavlandet.

Ved bruk av høyeste utslipsscenario (RCP 8.5) i klimafremskrivningene, vil vi mot slutten av dette århundret i lavlandet få en snøsesong som er flere måneder kortere enn den vi har i dag [10]. Færre områder med snø gir seg utslag i færre snøsmelteflommer [11]. Flommene kommer også stadig tidligere på året, som følge av at antallet dager med snødekke blir lavere (økte temperaturer gir senere start på snøleggingen og tilsvarende tidligere start på snøsmeltingen.). Økte temperaturer vil også føre til en økning i antallet mildværsepisoder midtvinters i fjellområdene [10].

Gjennomsnittlige snømengder forventes å minke for mesteparten av landet. Størst nedgang i snømengder forventes i høyereliggende strøk på Vestlandet og i Nordland, i tillegg til langs kysten av Troms og Finnmark [10]. For noen områder av landet, der hvor temperaturøkningen ikke blir så stor, forventes det derimot økte mengder snøfall. Dette kan gjelde i høyereliggende områder i innlandet, og skyldes at økt årsnedbør gir økte snømengder på vinteren [10].

4.2 Snøskred i framtidig klima

Økte vintertemperaturer vil gi færre tørre snøskred (flakskred) som følge av at både snøgrensen og skoggrensen flyttes oppover i terrenget [10]. Samtidig vil forekomsten av våte snøskred og sørpeskred øke i de områdene som allerede i dag er utsatt for disse skredtypene, som følge av at det blir flere dager med våt snø. Klimaendringene kan også føre til at det vil gå skred på steder som tidligere ikke har vært ansett som skredutsatte.

Forskningsprosjektet GeoExtreme (2005-2008) gjorde en statistisk analyse av en rekke meteorologiske variabler og snøskredhendelser, og fant hvilke variabler som var avgjørende for å få utløst snøskred, fordelt på ulike områder i Norge. Resultatet av studien viser at nedbør er den viktigste snøskredutløsende faktoren langs kysten av Vestlandet, mens vind er en avgjørende faktor i Nord-Norge [12]. Resultatet for Nord-Norge er imidlertid mer variert enn det er for Vestlandet.

Av disse resultatene forstås det at områder som får en økning i antallet dager med mye nedbør vinterstid, også kan regne med økt snøskredfare. Klimaframskrivninger er beregninger av hvordan klima vil se ut lengre fram i tid. Vel så viktig er perioden fram mot hundreårsskiftet, klima er hele tiden i endring og dette ivaretas ved planlegging av vegtraseer og sikringstiltak mot skred.

4.3 Kilder til informasjon om effekten av klimaendringer

[Norsk klimaservicesenter](#) leverer nasjonale anbefalinger om klimaendringer, til bruk ved klimatilpasning. Dette gjøres ved å nedskalere anbefalingene fra IPCC (International Panel on Climate Change) til norske forhold.

Klimaservicesenteret lager og reviderer klimaprofiler for hvert enkelt fylke. Klimaprofilene beskriver regionale klimaendringer og hvilke effekter dette vil gi. For hvert enkelt fylke er det angitt hvilke naturfarer det er sannsynlig at vil øke i omfang og alvorlighet, i tillegg til hvilke naturfarer det sannsynligvis vil bli mindre av. Eksempel på en klimaprofil er vist i [figur 4.3—1](#).

Klimaprofilene beskriver hvilke effekter av skred, deriblant snøskred, som forventes for det aktuelle fylket. Klimaprofilene gir også anbefalte klimapåslag for hver enkelt værhendelse, til bruk ved planlegging av nye tiltak.

VESENTLEG AUKE	
 Ekstrem nedbør	Det er venta vesentleg auke i episodar med kraftig nedbør både i intensitet og førekomst. Dette vil også føre til meir overvatn
 Regnflom	Det er venta fleire og større regnflaumar, og i mindre bekkar og elver må ein vente ei auke i flaumvassføringa
 Jord-, flom- og serpeskred	Auka fare som følgje av auka nedbørmengder
 Stormflo	Som følgje av havnivåstiging er det venta auke i stormflonivåa
MOGELEG VESENTLEG AUKE	
 Tørke	Trass i meir sommarnedbør, kan høgare temperaturar og auka fordamping auke faren for tørke om sommaren
 Isgang	Kortare isleggingssesong, hyppigare vinterisgangar samt isgangar høgare opp i vassdraga. Nesten isfrie elver nær kysten
 Snøskred	Med eit varmare og våtare klima vil regn oftare falle på snødekt underlag. Dette kan redusere faren for tørrsnøskred, og auke faren for våtsnøskred i skredutsette område
SANNSYNLEG UENDRA ELLER MINDRE	
 Snøsmelteflom	Snøsmelteflaumane vil komme stadig tidlegare på året og bli mindre mot slutten av hundreåret
USIKKERT	
 Sterk vind	Truleg lita endring
 Steinsprang og steinskred	Hyppigare episodar med kraftig nedbør vil kunne auke frekvensen av desse skredtypane, men hovudsakleg for mindre steinspranghendingar
 Fjellskred	Det er ikkje venta at klimaendringane vil auke faren for fjellskred vesentleg

Figur 4.3—1 — Utdrag fra klimaprofil for Hordaland. Tabellen viser et sammendrag av forventede endringer i klima, hydrologiske forhold og naturfarer fra perioden 1971-2000 til 2071-2100. Hentet fra Norsk klimaservicesenter.

På Klimaservicesenterets nettside (www.klimaservicesenter.no) finner en også dimensjonerende IVF-kurver, til bruk ved dimensjonering av sikringstiltak, og værstatistikk fra målestasjoner rundt om i landet (seklima.met.no). Sistnevnte er en nyttig kilde til kunnskap om hva slags vær som er normalt i dag i et bestemt område, og hvilke trender en ser i klimaeendringene.

På www.senorge.no vises klimadata for hele landet. Her finnes kart over normaler og framtidsscenarioer for nedbør, temperatur, snø og avrenning. Dette muliggjør en geografisk sammenligning av værstatistikk med klimafremskrivninger.

5 Karakteristiske trekk ved skredfarlig terreng

Kunnskap om et snøskreds løснеområde, skredbane og utløpsområde er avgjørende for å sikre at tiltak som etableres har god effekt. Det finnes mange ulike former for sikringstiltak, både permanente tiltak som valler og støtteforbygninger, men også aktive tiltak som for eksempel overvåking og varsling. Kartlegging av skredbanen er viktig for å sikre at riktig sikringstiltak brukes. I tillegg til dette kapittelet kan det være nyttig å bruke NVEs veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng [\[2\]](#).

En skredbane deles ofte inn i tre ulike soner, se [figur 5—1](#):

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



Figur 5—1 — Inndeling av skredbane i løsneområde, skredbane og utløpsområde. Vinndalsfonna, fv. 6514 i Trøndelag. Foto: Eivind Juvik, Statens vegvesen.

5.1 Løsneområdet

De viktigste faktorene i løsneområdet som kartlegges i forbindelse med skredfarevurdering og planlegging av sikringstiltak er bratthet, terrengforhold, størrelse og ruhet.

5.1.1 Bratthet i løснеområdet

Hvor bratt løснеområdet er, har betydning for hvor mye snø som kan akkumuleres, og hvor ofte skred vil løsne. De fleste naturlig utløste skred løsner i bratte områder, rundt 35°, men i praksis kan snøskred løsne i terreng mellom 28° og 60°.

Sannsynligheten for naturlig utløste flakskred er i stor grad avhengig av tilstedeværelse av et svakt lag og sensitiviteten til det svake laget. Dette vil videre påvirke hvor mye pålagring av snø, enten i form av nysnø, regn eller vindtransportert snø, som kreves før brudd oppstår. På denne måten kan selv relativt slake løснеområder være like utsatt for snøskred som bratte løśnieområder.

I løøgneområder brattere enn 55° vil det ikke akkumuleres store snømengder, og i disse områdene vil det oppstå en mer kontinuerlig utglidning i form av løssnøskred eller små flakskred. I bratt terreng er det viktig å se på dannelse av skavler. Disse kan ha stort skadepotensiale ved nedfall. Dersom snødekket nedenfor har svake lag med bruddforplantningsevne, kan nedfall av skavler føre til utløsning av store flakskred.

Det er også viktig å være oppmerksom på områder med lav fallhøyde. Selv skråninger og skjæringer ned mot 10 m høyde kan medføre utglidningene på veg.

5.1.2 Terrengforhold i løøgneområdet

Form

De terrengformasjonerne som samler mest snø, er større forsenkninger som skålformer, elvegjel og markerte skar. Disse samler ofte snø fra flere vindretninger, og det er ofte mindre vind i slike forsenkninger slik at snøen avsettes lettere. Skred utløses derfor hyppigere fra skålformete formasjoner enn fra rygger og store vindeksponerte flater.

Størrelse

Størrelsen på løøgneområdet styres i hovedsak av terrengformasjoner og snømengde. Nedre grense for løøgneområdet er også avhengig av størrelsen på selve skredløpet.

Ruhet

Skred forekommer sjelden før snøen har dekket ujevnheter i løøgneområdet. En ru overflate i løøgneområdet krever større snømengder før et sammenhengende dekke etableres. Et sammenhengende snødekke er også en forutsetning for at et svakt lag kan medføre bruddforplantning. En får derfor hyppigere skred i en fjellside med liten ruhet, enn der det stikker opp store steiner, trær eller andre ujevnheter.

[Tabell 5.1.2—1](#) viser omtrent hvor store snødybder som kreves for å dekke over ruheter slik at skred kan løsne i ulike typer terreng. For eksempel kreves det 0,6 m snø eller mer for å jevne ut terreng med mindre ujevnheter som ur og små trær.

Tabell 5.1.2—1 — Snømengder som kreves for å dekke over ruhet i terrenget [2]

Beskrivelse	Snøhøyde (m)
Relativt glatt underlag (fin steinur > 0,3 m, fast fjell/svaberg, gress)	0,3
Gjennomsnittlig terreng (ur, mindre trær, mindre ujevnheter)	0,6
Ujevnt terreng (større steinur, større trær)	1

Større formasjoner som terrasser, hyller og ryggformasjoner vil begrense arealet på løøgneområdet og forhindre potensialet for bruddforplantning.

Vegetasjon

Skog i løøgneområdet vil påvirke hvor lett skred kan løsne. Effekten av skog avhenger av treart, tykkelse på stammer og kronedekning. Kronedekning er et uttrykk for hvor stor prosentandel av trekrona som dekker eller skygger for bakken. For å hindre utløsning av skred bør det være 50 % kronedekning i barskog og 80 % kronedekning i løvskog. I tillegg bør trærne være minst dobbelt så høye som forventet

maksimal snødybde eller minimum 5 m høyde. Stammetykkelsen bør være minimum 12 cm diameter i brysthøyde [\[13\]](#).

NIBIOs kart over skogressurser inneholder data om kronedekning. Disse dataene bør verifiseres ved hjelp av flyfoto [\[14\]](#).

5.1.3 Skredaktivitet fra flere løснеområder og naboskred

Enkelte skredløp kan ha flere potensielle løснеområder. Dersom flere av disse løснеområdene kan løsne samtidig eller nær samtidig vil det gi større skred enn om bare ett løsner. Skredmassene kan hope seg opp i skredløpet og utløpsområdet og gi skredene større bredde. I slike områder kan det være risikabelt å starte rydding etter at skred har gått, i tilfelle nye skred kan komme fra andre løснеområder.

Naboskred

I mange fjellside kan flere skredløp ligge nært inntil hverandre. Hvis disse har løснеområder som er utsatt på samme tid, kan det gå skred i flere av skredløpene i samme tidsperiode. Hvis det har gått skred i ett skredløp kan det være stor fare for skred i nærliggende skredløp. Dette forholdet er viktig å være oppmerksom på når det kommer til stengning av veg, slik at ventende kjøretøy ikke står i utsatte skredløp. [Figur 5.1.3—1](#) viser bilde av en fjellside hvor en kan se at det er flere nærliggende skredløp.

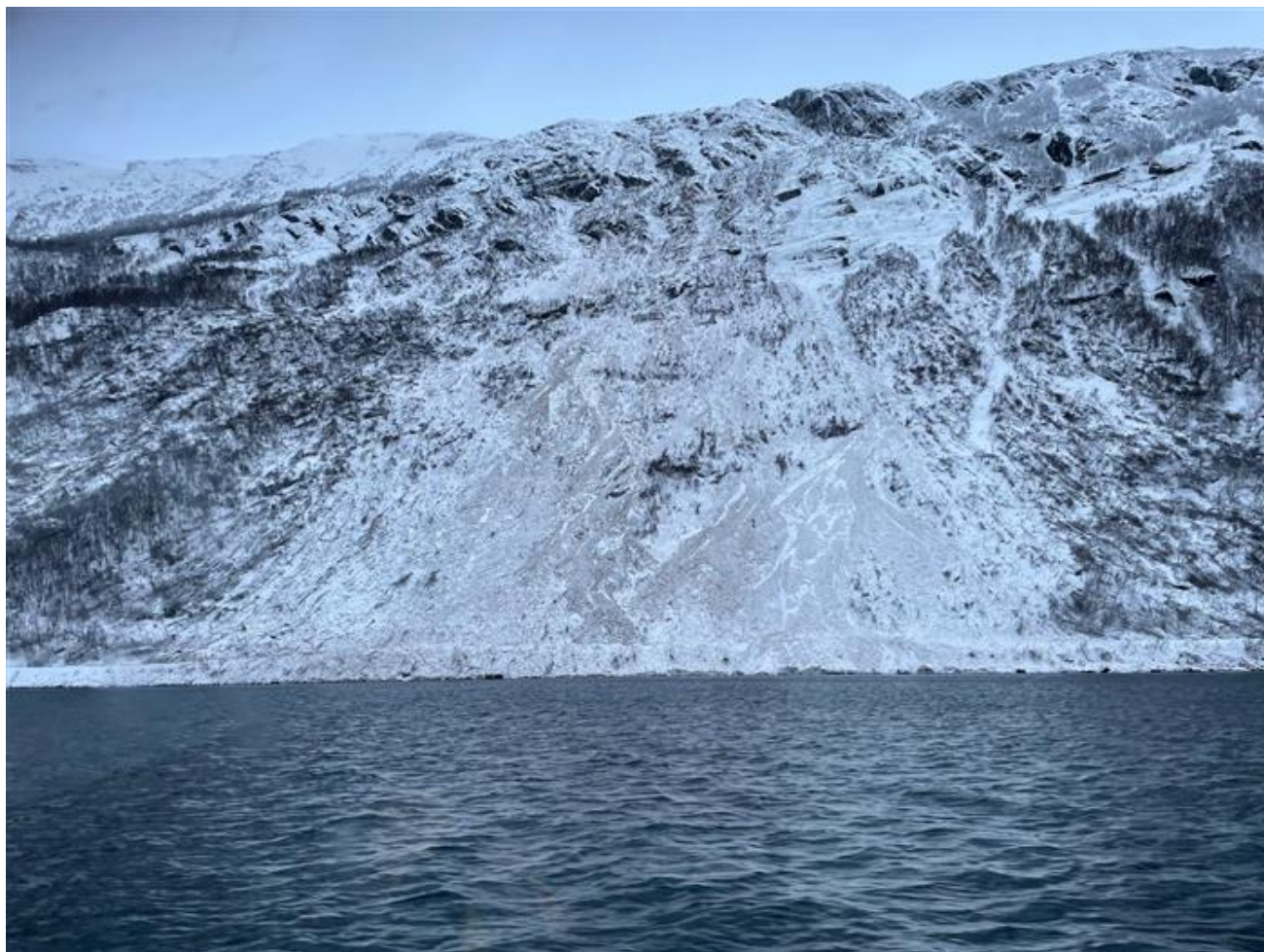


Figur 5.1.3—1 — Fjellside med flere nærliggende skredløp, fv. 7940 Arnøya i Troms. Foto: Ole-André Helgaas, Statens vegvesen.

Hendelser eller andre terrenginngrep som kan medføre skredfare

Snøskred kan oppstå på «nye» steder hvis forholdene legges til rette for det. Flomskred, jordskred og snøskred kan ha fjernet vegetasjon og løsmasser i et område, og dette kan føre til snøskredfare på steder hvor vegetasjon tidligere har bundet snømassene. [Figur 5.1.3—2](#) nedenfor viser bilde fra fv. 7570 mellom Narvik og Beisfjord hvor et stort snøskred i januar 2022 rensket bort all vegetasjon i en fjellside. En slik fjellside kan være mer utsatt for snøskred siden det ikke lenger er vegetasjon som holder igjen eller bremser snøskred.

Nye skredområder kan også oppstå dersom det er foretatt vegetasjonsrensk eller hugst i områder langs vegen.



Figur 5.1.3—2 — Fjellside hvor snøskred har fjernet vegetasjon, som kan være mer snøskredutsatt fremover, fv. 7570 mellom Narvik og Beisfjord. Foto: NVE.

5.2 Skredløpet og utløpsområdet

Analyse av skredløp og utløpsområdet gir viktig informasjon om hvordan skredmassene transporteres i skredløpet og avsettes i utløpsområdet.

5.2.1 Skredbevegelse

Skredløpet kan være kanalisert eller åpent. Kanaliserte skredløp følger tydelige søkk og forsenkninger i terrenget. De tunge skredmassene vil følge kanaliseringen, og en kan se hvor hovedtyngden av skredmassene vil treffe vegen. Snøskyen har mindre kontakt med bakken, og vil i mindre grad følge terrengformasjonene. I enkelte skredløp kan de tunge massene og snøskyen skille lag og treffe vegen på ulike steder. I kanaliserte skredløp kan det også skje at skredmassene går ut over kanaliseringen ved store skred. Skredmassene kan i slike tilfeller også ta nye og mindre definerte løp og sperre vegen langt til siden for hovedløpet.

I åpne skredløp med få terrengformasjoner som styrer skredbevegelsen, kan flakskred få tilnærmet samme bredde i skredløpet som i løsneområdet. I utløpsområdet, hvor skredene bremses opp, kan skredmassene spre seg utover i bredden. Dette skyldes at de bakre massene i skredet kan bli 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. Hvis vegen krysser skredbanen i utløpsområdet, kan lengden av vegen som sperres av et skred være mye større enn bredden av det kanaliserte skredløpet.

Ved analyse av skredløpet og utløpsområdet er det viktig å vurdere effekten av rygger og forsenkinger 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 rettlinjert bevegelse. Våte snøskred følger terrengformasjonene langt bedre. Våte snøskred kan imidlertid avsette rygger av snø i selve utløpsområdet, slik at de bakre skredmassene tar en helt annen retning enn fronten av skredet.

Skredsimulering kan gi et godt bilde på hvordan skredmassene vil bevege seg i forhold til formasjoner i terrenget, og hvor eventuelle skredarmer kan treffe vegen.

5.2.2 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. Generelt vil treslag som er sprø i kaldt vær brette, mens myke tresorter presses ned av skredmassene. Åpne baner i fjellsider med sprø treslag som gran, furu og osp er gjerne tegn på skredaktivitet. På samme måte kan en 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.

Karakteristisk for skog som er skadet av snøskred 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 skredsiden av treet som skades. I enkelte tilfeller kan snøskydelen utgjøre store skader på skogen, se for eksempel [figur 5.1.3–2](#) og [figur 5.2.2–1](#).



Figur 5.2.2—1 — Skog skadet av snøskred vinteren 2014 ved fv. 37 langs Tinnsjøen. Gran er et sprøtt treslag, og trærne vil knekke. Foto: Heidi Bjordal, Statens vegvesen.

6 Beregning av hastigheter, utløpsdistanser og trykk mot konstruksjoner

Dette kapittelet gir fremgangsmåter for å beregne utløpsdistanser, skredhastigheter og trykk mot konstruksjoner.

6.1 Snødekkets egenskaper

Umiddelbart etter at snøkrystallene har falt til ro på bakken starter en kontinuerlig omvandlingsprosess (metamorfose) som varer helt til partiklene er smeltet bort. Omvandlingen fører til at snødekkets fysiske egenskaper endres. Temperatur- og vindforhold er med på å avgjøre hvordan snødekket omdannes, og om omvandlingen kan føre til dannelse av svake lag i snødekket.

Mer informasjon om omvandlingsprosesser i snø finnes for eksempel i bøkene "Snøskred" av Lied og Kristensen [\[15\]](#), "Skred - skredfare og sikringstiltak" av NGI [\[16\]](#) og "The Avalanche handbook" av McClung og Shearer [\[9\]](#).

Ved arbeid med skredsikringstiltak, beregning av skredbevegelse og utløp er det særlig viktig med kunnskap om tetthet, fasthetsegenskaper, flyteegenskaper og spenninger i snødekket.

6.1.1 Tetthet (densitet)

Nyfallen snø har oftest en tetthet mellom 50 og 150 kg/m³. Etter at snøen har satt seg vil tettheten øke opp mot 300 kg/m³, dersom snøen ikke har vært utsatt for smelteprosesser. Fokksnø kan få en tetthet opptil 500 kg/m³.

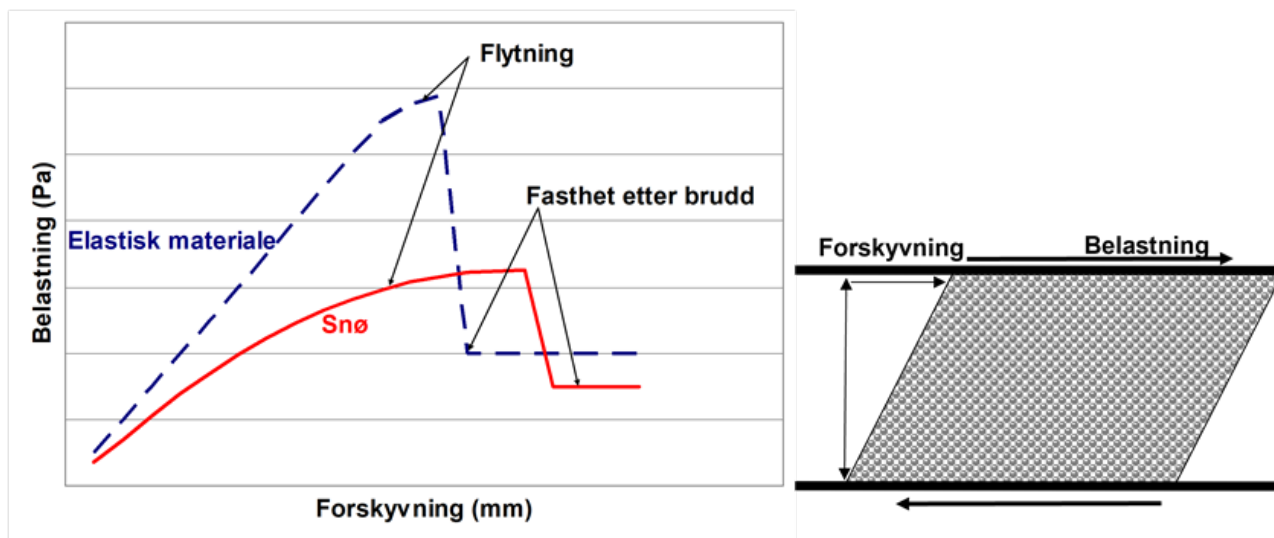
Dersom snøen har vært gjennom smelteprosesser vil tettheten øke. Midt på vinteren kan en registrere midlere tettheter opptil 500 kg/m³, mens på våren, når hele snødekket er gjennomvått, kan tettheten bli opptil 600 kg/m³.

6.1.2 Fasthetsegenskaper

Snøens fasthet avgjør hvor store belastninger snøen kan utsettes for før det oppstår et brudd. Dette bruddet skyldes at det er strekk-, trykk, eller skjærspenninger som overstiger snøens fasthet. Av disse spenningstypene er det først og fremst skjærspenningene i svake lag som har betydning for snødekkets stabilitet.

Snø som utsettes for belastninger oppfører seg som et viskoplastisk materiale. Det vil si at når belastningene er innenfor et visst nivå vil snøen kontinuerlig endre sin form ved en reorganisering av snøkrystallene. Dette forholdet er forsøkt vist i [figur 6.1.2—1](#) 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.



Figur 6.1.2—1 — Sammenheng mellom belastninger og forskyvninger for et elastisk materiale og et viskoplastisk materiale som snø. Snø får varige og store forskyvninger før materialet går til brudd.

Snøens skjærfasthet har store variasjoner og den er først og fremst avhengig av tettheten, 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:

$$\tau_f = c + \mu\sigma \quad (6.1.2—1)$$

Der:

- τ_f = skjærfasthet [N/m²]
- c = kohesjon [N/m²]
- μ = friksjonskoeffisient
- σ = normalspenning [N/m²]

Kohesjonen, c , er først og fremst avhengig av tettheten 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 [17].

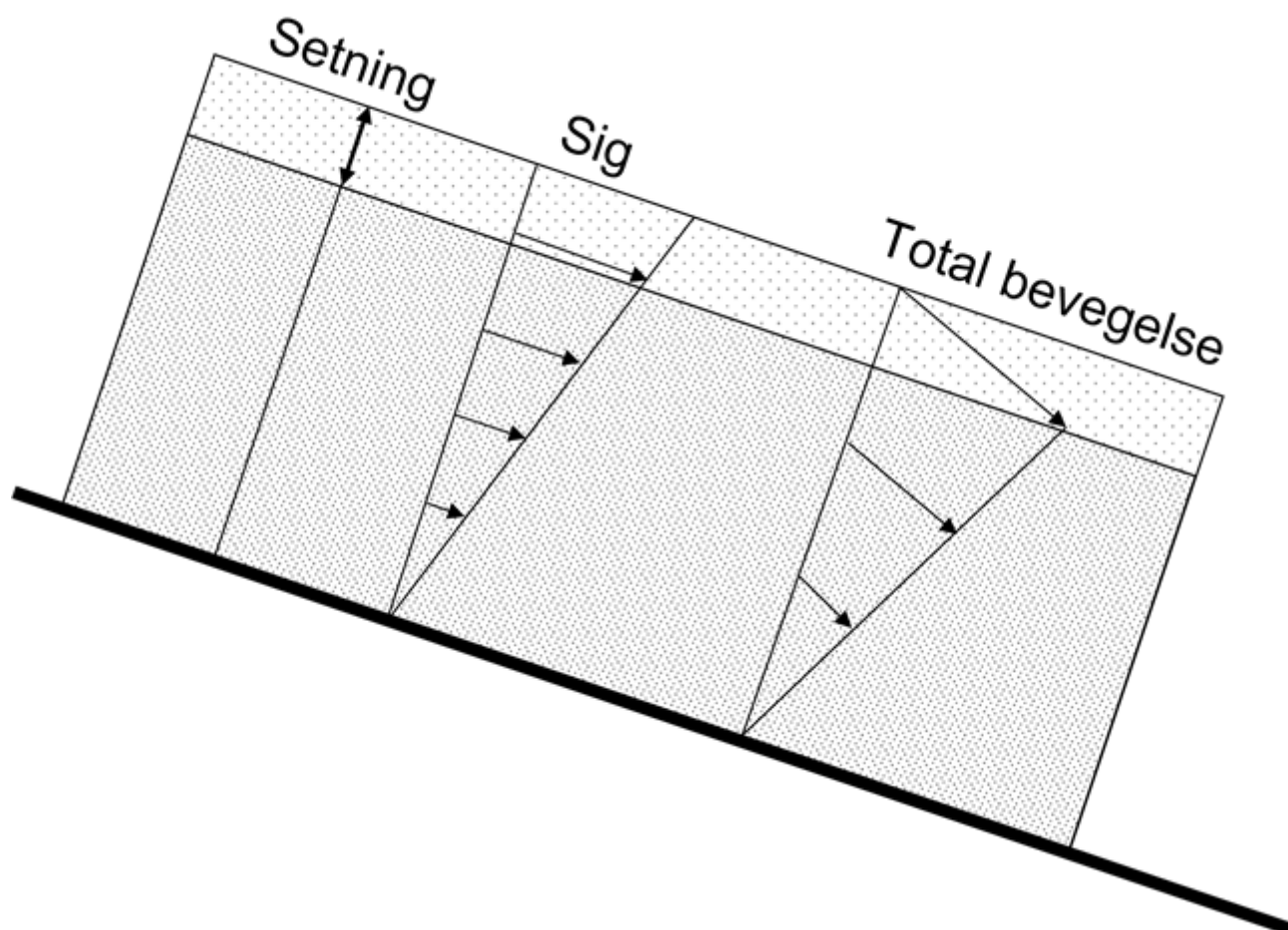
I svake lag i snødekket, som for eksempel lag av begerkrystaller eller rimsnøkrystaller, er kohesjonen gjennomgående lav, og vil oftest variere innenfor 1 og 10 kN/m². I svake lag vil kohesjonen bli redusert til et minimum umiddelbart etter at et brudd har skjedd. Ved et lokalt brudd vil sideområdene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

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.

6.1.3 Flytegenskaper

Gjennom vinteren vil et snødekke utsettes for setning, sig og glidning mot underlaget. Dette gir snødekket en forandring av formen, og [figur 6.1.3—1](#) viser at snøsiget gjennom en vinter er størst i

overflaten og gradvis mindre ned mot bakken. Eventuell glidning langs bakken er ikke vist. Glidning er mest vanlig langs spesielt glatte overflater som grasmark og glatte sva.



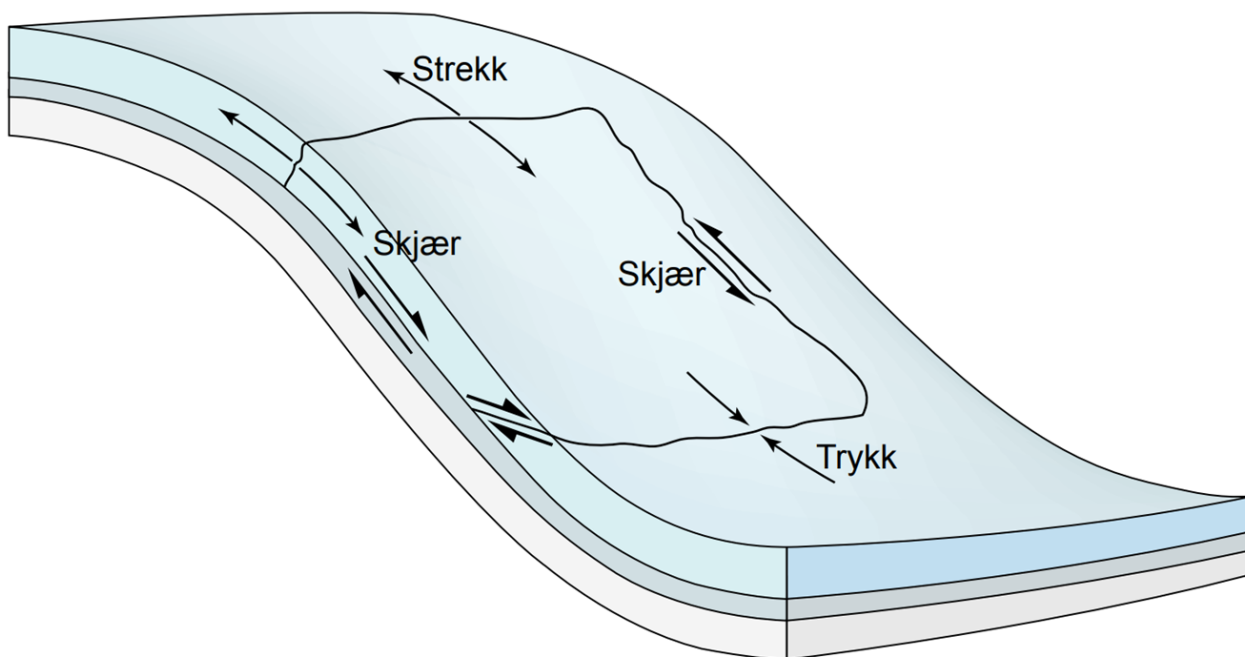
Figur 6.1.3—1 — Total bevegelse i et snødekke gjennom vinteren består av setninger og sig.

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, dvs. snødekket er isotermt, at hastigheten er betydelig. Denne hastigheten har blant annet betydning for hvor store krefter et snødekke kan overføre mot mastekonstruksjoner og støtteforbygninger.

6.1.4 Spenninger i snødekket

I områder hvor det er terrengformer, variasjon i helling eller forskjellig tykkelse på snødekket vil setninger og sig i snødekket føre til at det oppstår spenninger i snødekket.

[Figur 6.1.4—1](#) viser de ulike spenningene som kan oppstå i et snødekke. 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, og det etableres strekkspenninger i dette området.



Figur 6.1.4—1 — Fordeling av kritiske spenninger i et snøflak, etter [15].

Med tanke på utløsning av skred er det som oftest skjærspenningene som overstiger skjærfastheten til det svakeste laget i snødekket. Øvre kant av et snødekke som løsner vil en alltid finne der det er markerte strekkspenninger. Disse kan en finne i overganger med økende helling. Andre steder med markerte strekkspenninger er bak terrengdetaljer som forankrer snødekket, for eksempel store steiner og trær. Denne effekten kan en også se 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 vektkomponenten av snødekket parallelt med bakken. Vektkomponenten er, [figur 6.1.4—2](#):

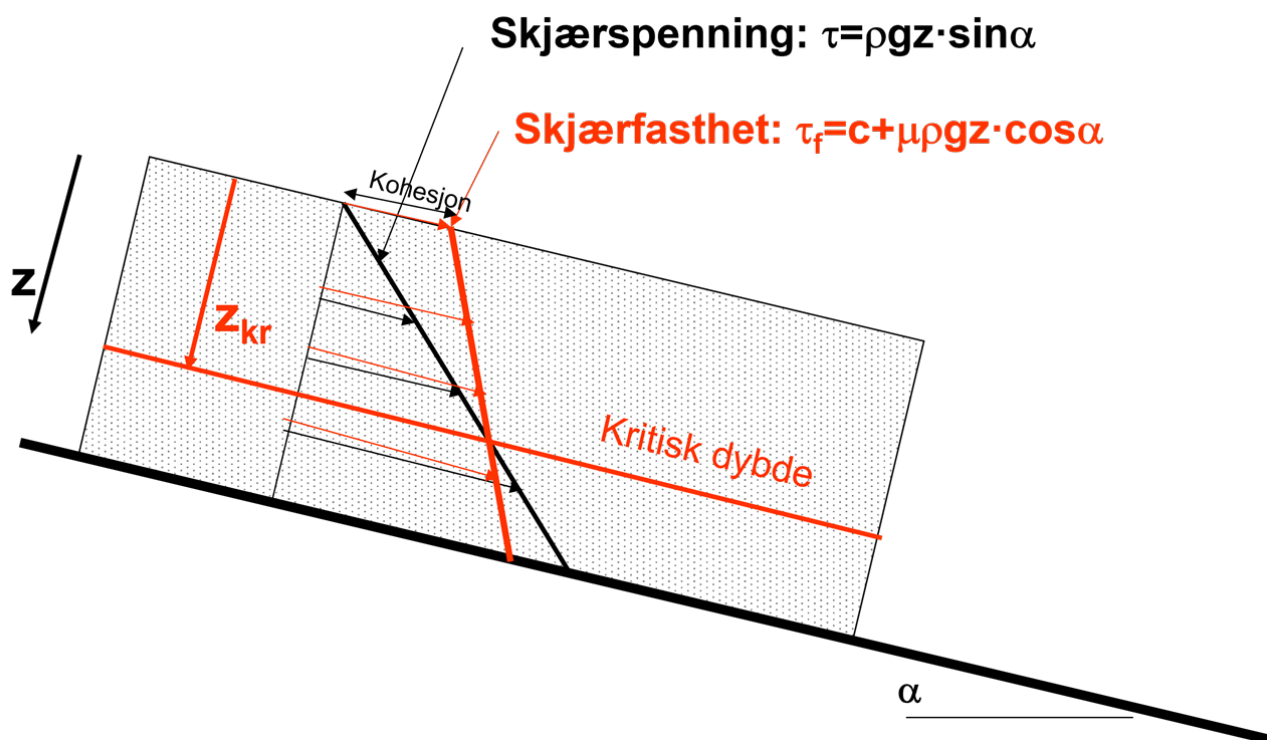
$$\tau_{\text{oppt}} = \rho \cdot g \cdot z \cdot \sin \alpha \quad (6.1.4—1)$$

Der:

- τ_{oppt} = Opptredende skjærspenninger parallelt bakken [N/m²]
- 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. [Figur 6.1.4—2](#) viser variasjonen med dybden av opptredende skjærspenninger og skjærfasthet i et homogent snødekke. Kritisk dybde, z_{kr} , er dybden hvor disse to linjene krysser hverandre, kan uttrykkes ved:

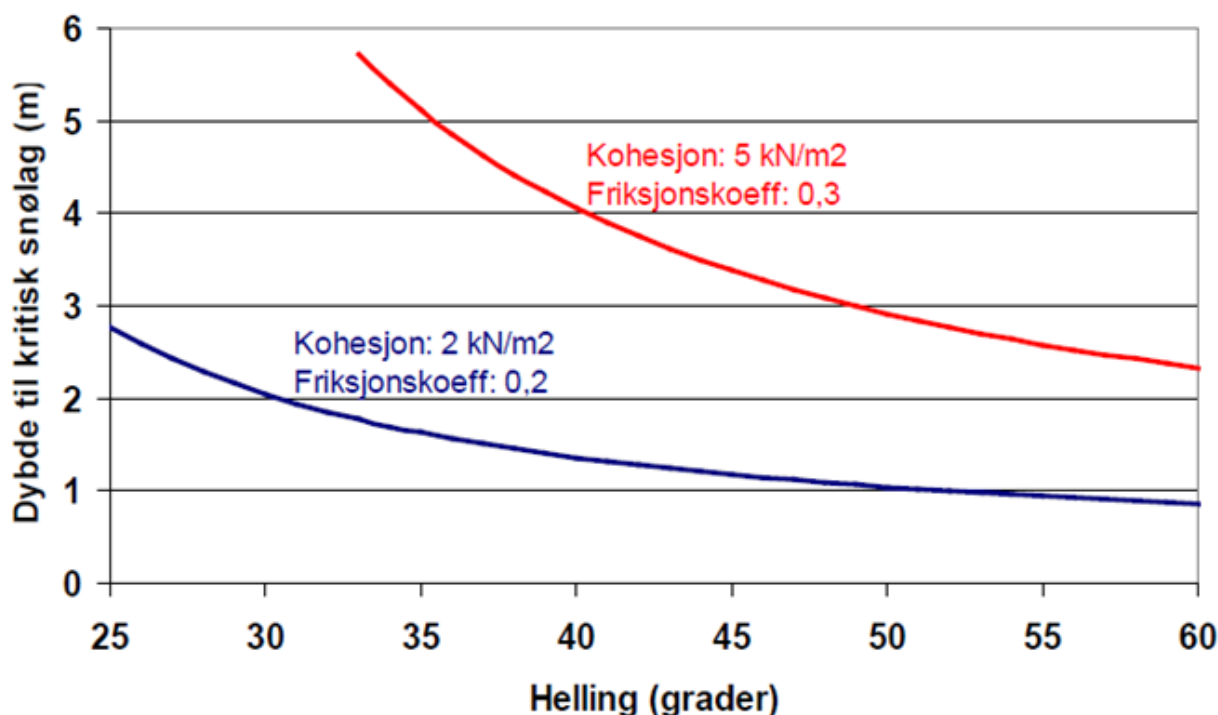
$$z_{kr} = \frac{c}{\rho \cdot g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} \quad (6.1.4—2)$$



Figur 6.1.4—2 — 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. Det anbefales å bruke verdiene 2 kN/m^2 for kohesjon og $0,2$ for friksjonskoeffisienten, μ , [18].

Figur 6.1.4—3 viser sammenhengen mellom kritisk tykkelse på snølaget og terrenghelling ved to verdsett for kohesjon og friksjonskoeffisient. I blått vises de anbefalte verdiene nevnt over på 2 kN/m^2 for kohesjon og $0,2$ for friksjon, som representerer et svakt snølag. I rødt vises sammenhengen ved en kohesjon på 5 kN/m^2 og en friksjonskoeffisient på $0,3$.



Figur 6.1.4—3 — Sammenheng mellom terrenghelling og nødvendig tykkelse på snødekket for å få utløst snøskred ved to ulike parametervalg for kohesjon og friksjonskoeffisient.

Figur 6.1.4—3 viser at i brattere områder trengs det mindre snø over det svake laget for at det kan oppstå en ustabil situasjon og skredutløsning. Dette fører til lavere bruddhøyder. I slakere områder trengs det mer snø over svakt lag for å få skredutløsning. Ved å bruke verdiene anbefalt i [18] blir det en bruddhøyde på ca. 2 m når terrenghelningen er 30°.

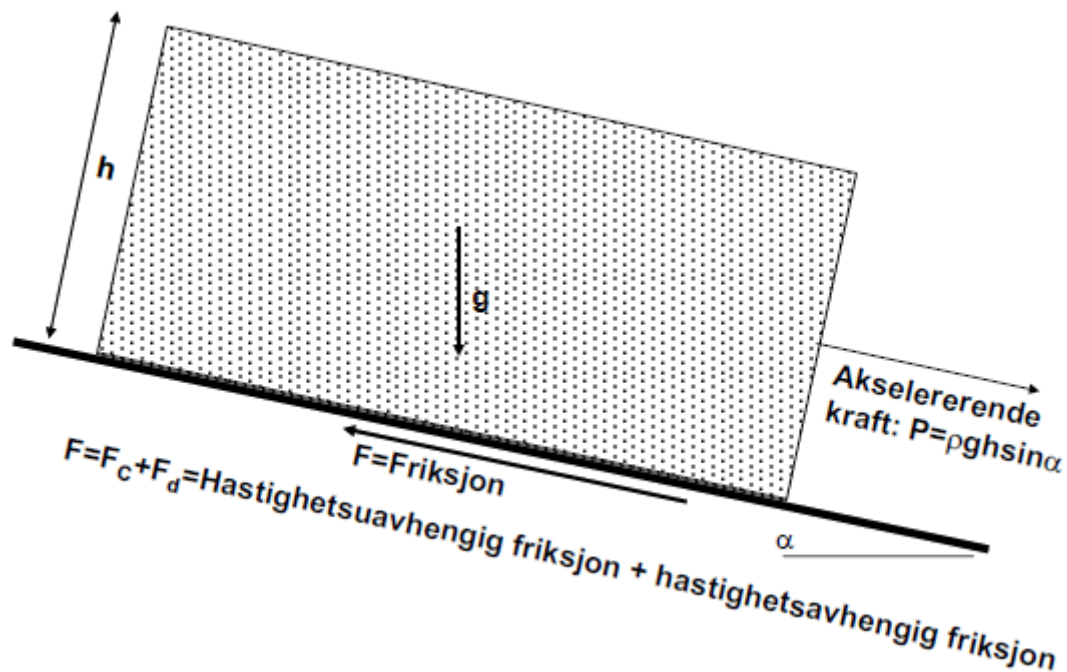
6.2 Beregning av skredhastigheter og utløpsdistanser

Skredmassenes hastighet og utløpslengde er de viktigste faktorene ved valg og dimensjonering av sikringstiltak. Utløpslengden er i første omgang med på å styre valg av type tiltak, mens beregning av hastighet har betydning for plassering og dimensjonering.

Vurdering av løsningsansynlighet og beregning av utløp gir i første omgang indikasjon på hvor skredutsatt et objekt er. Gitt at skred treffer veg vil utløpslengden gi føringer for valg av tiltak og hvor dette plasseres. I tillegg til utløpslengde er hastighet en viktig faktor. Hastigheten til skredmassene i utløpsområdet har stor betydning for hvilke krefter et sikringstiltak dimensjoneres til å tåle og hvor i terrenget det bør plasseres for å oppnå best effekt.

6.2.1 Krefter som kontrollerer skredbevegelsen

Dersom vi betrakter et lite volum av skredmasser som beveger seg nedover en dalside, så er disse påvirket av både akselererende og retarderende krefter, figur 6.2.1—1. Tyngdekomponenten av skredmassene som går parallelt bakken utgjør de akselererende kreftene, mens det er forskjellige former for friksjon som utgjør de retarderende kreftene.



Figur 6.2.1—1 — Krefter som virker på et kontrollvolum av skredmassene

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

$$ma = \rho h \frac{dv}{dt} = P - F = \rho g h \sin \alpha - (F_c + F_d) \quad (6.2.1—1)$$

Der:

- m = masse
- a = akselerasjon [m/s^2]
- ρ = densitet [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 hastighet [N/m^2]
- F_d = friksjon avhengig av hastighet [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. Denne hastigheten vil være skredets maksimale hastighet, også kalt terminalhastighet, ved den gitte hellingen.

Ved utvikling av modeller for å kunne beregne skredhastighet 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 , se [figur 6.2.1—1](#) og [formel \(6.2.1—1\)](#).

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 vil 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, kan en se at friksjonen består av ledd som er både avhengige og uavhengige av hastigheten.

6.2.2 Grunnlag for modellering av snøskred

Eksisterende simuleringsmodeller er basert på at friksjonen er beskrevet av to ledd, der det ene er avhengig av hastigheten og det andre ikke er det, som vist i [formel \(6.2.1—1\)](#). 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.

Ut fra hydrodynamiske strømnings teorier kan [formel \(6.2.1—1\)](#) i sin enkleste form skives:

$$\frac{ma}{\text{enhetsareal}} = \rho h \frac{dv}{dt} = P - F = \rho g h \sin \alpha - \left(c + \mu \rho g h \cos \alpha + \kappa \left(\frac{v}{h} \right)^2 \right) \quad (6.2.2—1)$$

Der:

- c = kohesjon
- μ = friksjonskoeffisient
- κ = dynamisk viskositet for ikke-Newtonske væsker [Pas^2]
- v/h = hastighetsgradient (skredhastighet/flyte høyde)

For de fleste skredtyper er det antatt at kohesjonen til et materiale er relativt liten når partiklene er i interne bevegelser og derfor sjelden i langvarig kontakt med hverandre. I 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 [formel \(6.2.2—1\)](#) 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 våt/kram snø.

Det siste leddet i [formel \(6.2.2—1\)](#), $\kappa \cdot (v/h)^2$, 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.

[Formel \(6.2.2—1\)](#) gir sannsynligvis en noe stor avhengighet med flyte høyden (tykkelsen av skredmasser). Det er mulig at leddet $(v/h)^2$ heller burde skrives $v^2/h^{1/2}$. [Formel \(6.2.2—1\)](#) er mer korrekt ut fra hydrodynamiske teorier, mens $v^2/h^{1/2}$ er mer i overensstemmelse med turbulent strømming i vann. I de videre analysene vil en bruke $v^2/h^{1/2}$ som uttrykk for den hastighetsavhengige friksjonen.

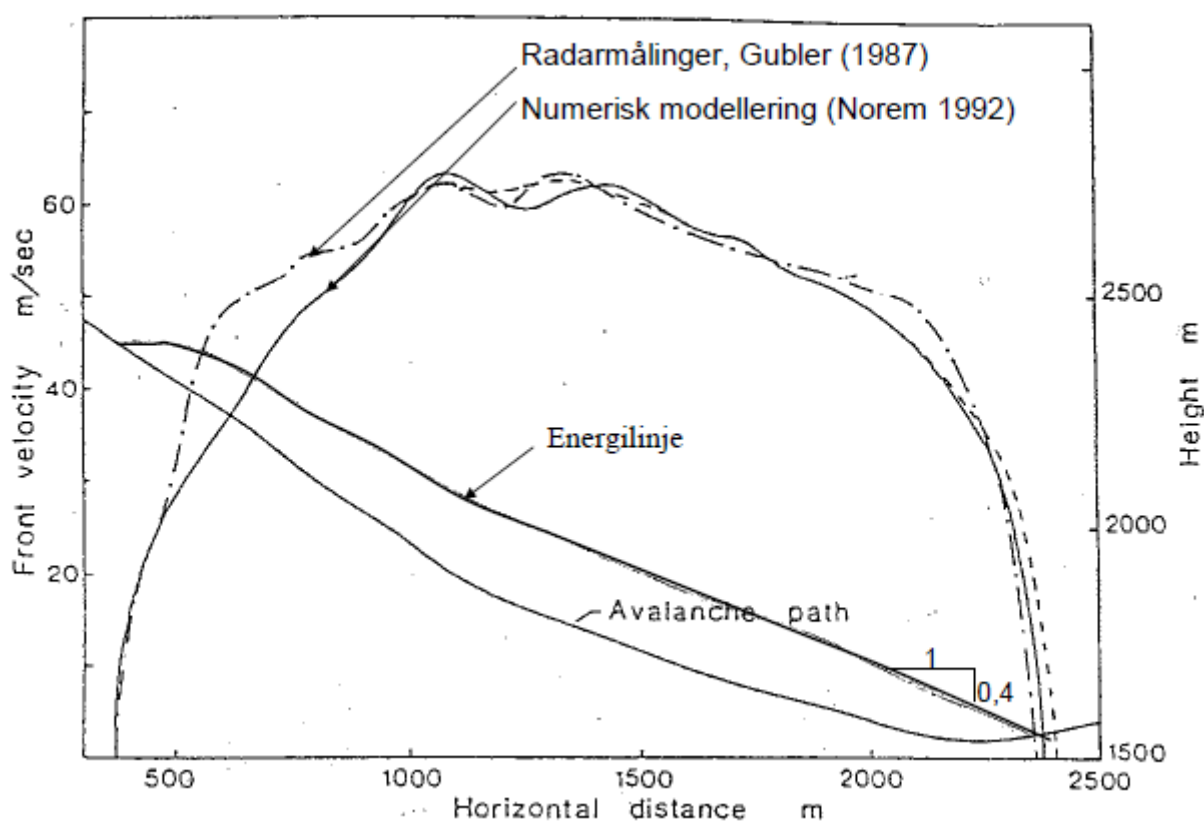
Dersom skredet beveger seg nedover en fjellside med konstant helling vil det oppnå en terminal (maksimal) hastighet. Når denne oppnås er akselerasjonen null og terminalhastigheten kan da finnes ved å sette $a=0$ og $c=0$ i [formel \(6.2.2—1\)](#). Deretter kan formelen løses med hensyn til hastigheten, v , med bruk av leddet $v^2/h^{1/2}$:

$$v_{\text{term}} = \sqrt{\frac{\rho g h^{1,5} (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{\kappa}} \quad (6.2.2—2)$$

Generelt gjelder at dersom skredet består av tørr snø med små partikler mot bakken så er viskositeten liten, og skredene får derfor stor hastighet. [Formel \(6.2.2–2\)](#) viser også 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 parametre har friksjonskoeffisienten, μ , størst betydning for utløpsdistansen, mens leddet $\kappa/h^{1/2}$ har størst betydning for terminalhastigheten.

[Figur 6.2.2–1](#) nedenfor viser en sammenligning av radarmålinger av hastigheten til et skred i Sveits, [\[19\]](#), sammen med etterberegning av skredets hastighet ved hjelp av NIS-modellen, [\[20\]](#). Figuren viser at for dette skredet er det godt samsvar mellom målt og beregnet hastighet. Det er ikke alltid like godt samsvar, og generelt er det for eksempel vanskelig å få modellene til å beregne korrekt hvor raskt skredene stopper opp i utløpsområdet. I [figur 6.2.2–1](#) er det i tillegg vist beregnet energilinje for det registrerte skredet. Metodikk for konstruksjon og bruk av energilinjer er omtalt i [kapittel 6.2.6](#).



Figur 6.2.2–1 — Beregnet fronthastighet som funksjon av horisontal distance ved hjelp av NIS-modellen [\[20\]](#). De beregnede hastighetene er sammenlignet med målte fronthastigheter for skredet ved hjelp av radar [\[19\]](#).

6.2.3 Metoder for å beregne hastighet og utløp

Skredmassenes hastighet og utløpslengde har betydning for valg og dimensjonering av sikringstiltak. 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. I tillegg til de faste massene vil store skred kunne mobilisere en betydelig snøsky i front som kan ha utløp flere hundre meter lengre enn de faste massene.

I tillegg til kartlegging av skredaktivitet i felt er modeller et godt hjelpemiddel for anslag av utløp og hastighet for dimensjonerende skredtype, selv om modellene ikke er direkte relatert til nominell årlig sannsynlighet. Det finnes to hovedtyper modeller; empiriske og numeriske.

Empiriske modeller bygger på observerte skred og er mer erfaringsbasert. Den mest brukte modellen idag er alfa-beta-modellen som ble introdusert av NGI i 1980, og som brukes til å beregne utløpsdistanse. Modellen baserer seg på en enkel statistisk behandling av observerte skred med størst kjente rekkevidde. Modellen er mer omtalt i [kapittel 6.2.4](#).

Numeriske modeller beregner skredbevegelse basert på anvendelse av matematiske formler som beskriver en ikke-Newtonske væske i en åpen kanal. Numeriske modeller har vært i utvikling siden 1950-tallet, som eksempelvis Voellmy sin modell [\[21\]](#) og PCM-modellen [\[22\]](#). Disse modellene beregner hastighet og utløpslengde basert på tyngdekraften i skredmassene langs et definert profil. Senere ble det utviklet modeller som i tillegg tar hensyn til lengde og tykkelse på skredmassene, samt beregning av endringene i flyte høyde og hastighet (f.eks NIS-modellen, [\[23\]](#) [\[24\]](#)). I de siste årene har det blitt utviklet 2-dimensjonale modeller som beregner hastighet og flyte høyde over et 3-dimensjonalt terreng. Her beregner modellene hva som er sannsynlig skredbane ut fra oppgitt topografi i form av en digital terrengmodell.

Den mest brukte modellen i dag er RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation) som er omtalt i [kapittel 6.2.5](#) nedenfor. Det finnes også andre simuleringsmodeller, blant annet SAMOS, som er utviklet av det østerrikske forskningsinstituttet WLV. Denne modellen er imidlertid ikke kommersielt tilgjengelig.

6.2.4 Den topografiske modellen, α - β -metoden

Alfa-beta-metoden er en topografisk modell der en utløpsvinkel som representerer skredmassenes utstrekning (skredets utløp) beregnes ut fra skråningens helling.

Modellen er basert på studier av løseområde og kartlagt utløpsdistanse for over 200 skredbaner, [\[25\]](#) [\[26\]](#). Skredhendelsene i de kartlagte skredbanene antas å ha en sannsynlig returperiode mellom 100 og 300 år. Datamaterialet er brukt til å foreta statistiske sammenligninger for å utvikle metode for å anslå utløpsdistanse.

Alfa-beta-modellen tar i utgangspunkt i profilet til den undersøkte skredbanen, og utstrekningen av skredene er beskrevet ved hjelp av utløpsvinkelen, α , [figur 6.2.4—1](#). Analysene viste at det er en klar sammenheng mellom utløpsvinkelen og den gjennomsnittlige hellingen til skredbaneprofilet. Den gjennomsnittlige hellingen er representert ved vinkelen β , som er hellingen fra øvre begrensning av løseområdet og ned til punktet der skredbanen har 10° helling, kalt 10°-punktet, [figur 6.2.4—1](#).

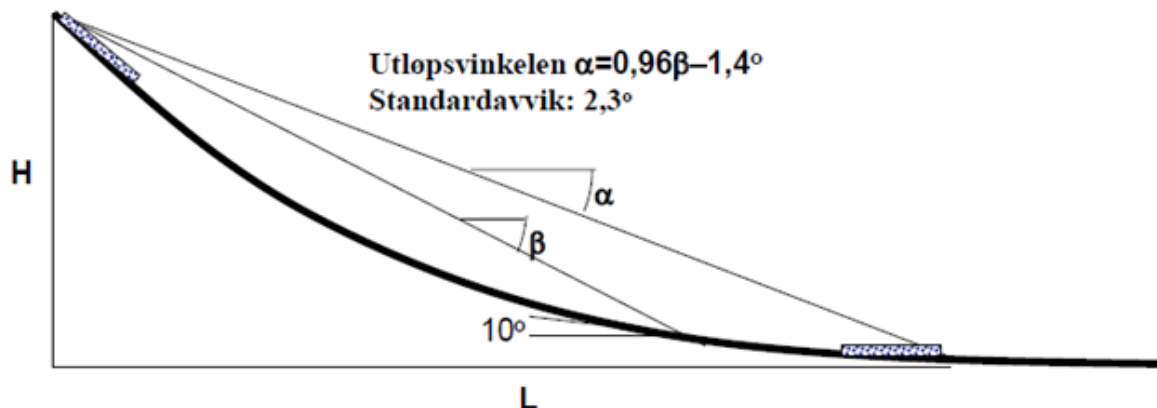
Forholdet mellom disse to vinklene ble funnet å være:

$$\alpha = 0,96\beta - 1,4^\circ \quad (6.2.4—1)$$

Der:

- α = vinkel fra øvre begrensning av løseområdet til maksimalt utløp [°]
- β = vinkel fra øvre begrensning av løseområdet til punktet i skredbanen der hellingen er 10° [°]

Standardavviket mellom estimert og observert utløpsdistanse er 2,3° med en korrelasjonskoeffisient lik 0,92. Standardavviket representerer et avvik på 225 m dersom α er 25°, høydeforskjellen, H, er 1000 m og utløpsområdet er horisontalt.



Figur 6.2.4—1 — Utløpsvinkelen, α , beskrevet som funksjon av hellingsvinkelen, β , etter [25].

Formel (6.2.4—1) 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 formel (6.2.4—1) 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, i disse klimasonene, som favoriserer lange utløp.
- Tilsvarende er utløpsvinkelen i områder nært havnivå og i kystområdene gjennomgående større enn gjennomsnittsverdiene.
- Små hellinger i løseområdene 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 .

NVE har laget et temakart basert på alfa-beta som beregner utløpslengde og angir standardavvik. I kartet kan skredbanen tegnes opp, og det settes markering (breakline) der terrenget flater ut til 10° . Deretter kan utløpslengden beregnes og resultatet vises i kart. Kartportalen finnes på [NVE AlfaBeta \(arcgis.com\)](https://nve.no/AlfaBeta) med tilhørende [brukerveiledning](#).

6.2.5 RAMMS

RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation) er et numerisk simuleringsprogram med moduler for steinsprang, flomskred og snøskred. Modellen er utviklet av det sveitsiske snø- og skredforskningsinstituttet SLF, og simulerer skredbevegelse over et tredimensjonalt terreng.

RAMMS beregner hastighet, flyte høyde og trykk langs alle punkt i skredbanen, fra start til slutt. Videre innhold om RAMMS gjelder for snøskredmodulen og det er eksisterende versjon per 2023 som omtales (1.8.0). En utvidet versjon er under utvikling, denne tar blant annet hensyn til medrivning av snømasser i skredbane og dannelse av snøsky.

RAMMS beskriver friksjonskreftene som virker på skredet ved hjelp av Voellmy-Salm modellen, som deler friksjonskreftene inn i to deler, se også [kapittel 6.2.2](#). Coulomb-friksjonen, μ , tar hensyn til friksjonen som oppstår på grunn av den faste delen av skredet og dominerer når skredet er nær ved å stoppe. Den hastighetsavhengige friksjonen, ξ , tar hensyn til friksjonen som oppstår som følge av de viskøse og turbulente kreftene. Denne friksjonen vil dominere når skredet har stor hastighet. Terrengruheten inngår også i parameteren ξ [27].

RAMMS tar ikke i betraktning at snøens fysiske egenskaper endres underveis i skredløpet. De fleste snøskred øker gjerne i volum nedover skredbanen som følge av meddriving eller erosjon (entrainment). Samtidig kan skred også avsette masser i skredbanen. Modellen tar heller ikke hensyn til endring i volum. Dette betyr at løsnervolumet (startvolumet) er det samme som det totale skredvolumet i modellen. I noen skredløp kan denne forenklingen gi et godt resultat, mens i andre skredløp, der for eksempel meddriving utgjør en stor del av dynamikken, kan det totale skredvolumet bli underestimert.

For mer informasjon om bakgrunnen til modellen, se [27], nettsiden til SLF([RAMMS - WSL \(slf.ch\)](http://www.slf.ch)) og brukermanualen til RAMMS [RAMMS_AVAL_Manual.pdf \(slf.ch\)](#).

6.2.6 Energilinjemodellen

Energilinjemodellen tar utgangspunkt i skredbaneprofilet og betraktninger av skredets energi for å gjøre anslag om skredhastighet og utløpsdistanse. Modellen er utviklet av Harald Norem, og ble inkludert første gang i 2014-utgaven av denne veiledningen.

Hovedideen for utvikling av modellen er hentet fra erfaringer med tidligere utviklede modeller, [23] [24], og analyse av data fra NGIs forskningsstasjon Ryggfonn på Strynefjellet. Det grunnleggende prinsippet for utvikling av modellen var å ta med noe av kunnskapen om skredenes dynamiske egenskaper, samtidig som de topografiske forholdene har størst innvirkning på resultatene.

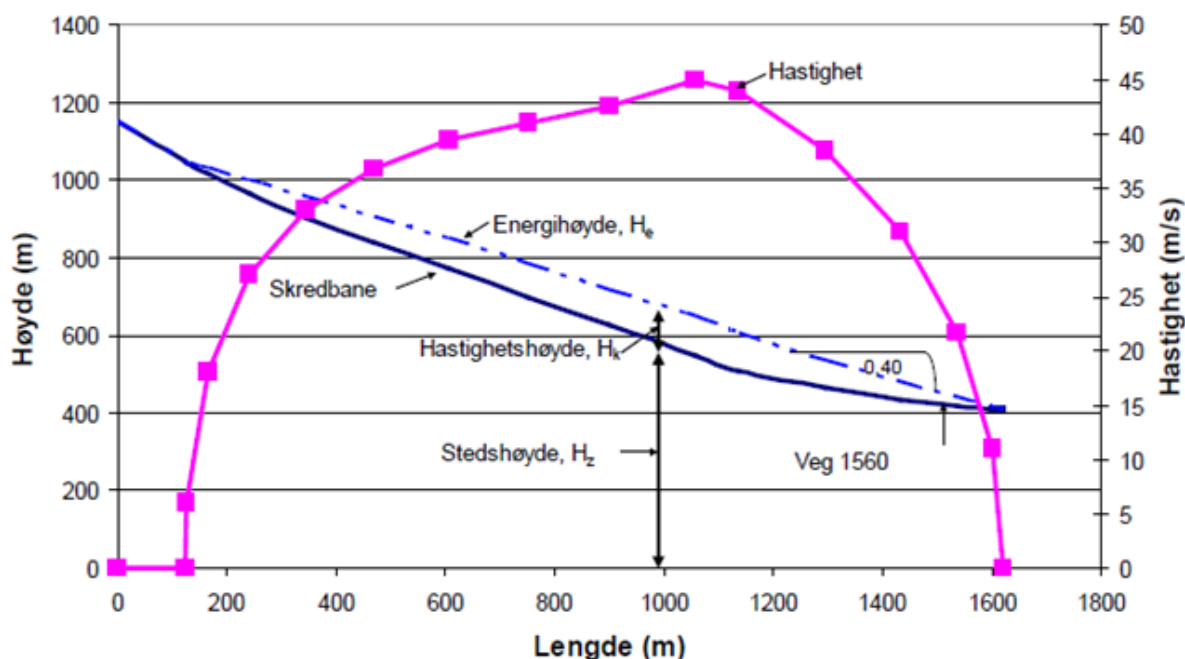
Når skredet beveger seg nedover i skredbanen skjer det en utveksling av energi. I den første fasen har skredet først og fremst potensiell energi. Etter hvert blir denne overført til hastighetsenergi og varme, hvor hastigheten representerer hastighetsenergien og varmen representeres av energitapet. Når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

Bernoullis ligning sier at for tynne strømnings er summen av potensiell energi, hastighetsenergi og energitap likt fra et sted til et annet. I en skredbane vil derfor skredets energi alltid være summen av den potensielle energien og hastighetsenergien, og i energilinjemodellen er disse uttrykt som energihøyder. Den potensielle energien vil representere en stedshøyde, mens hastighetsenergien kan representeres ved en hastighetshøyde:

- Stedshøyde: $H_z = z$ Den potensielle energien tilsvarer høyden på ethvert sted i skredbanen.
- Hastighetshøyde: $H_k = v^2/2g$ Hastighetsenergien varierer med kvadratet av hastigheten.
- Energihøyde: $H_e = H_z + H_k$ Energihøyden representerer summen av de to energileddene.

Energitalpet fra et sted i skredbanen til det neste, vil tilsvare fallet i energihøyden mellom disse punktene, $H_{e1} - H_{e2}$.

[Figur 6.2.6—1](#) viser eksempel på beregnet hastighet og energihøyde for skredområdet Nakkefonn ved fv. 60 i Møre og Romsdal. 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 6.2.6—1 — Beregnet skredhastighet og energihøyde for skredområdet Nakkefonn, Møre og Romsdal [28].

Hellingen på linja for energihøyden, energilinja, viser hvor raskt energitapet skjer. Ved bratt energilinja er energitapet 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°).

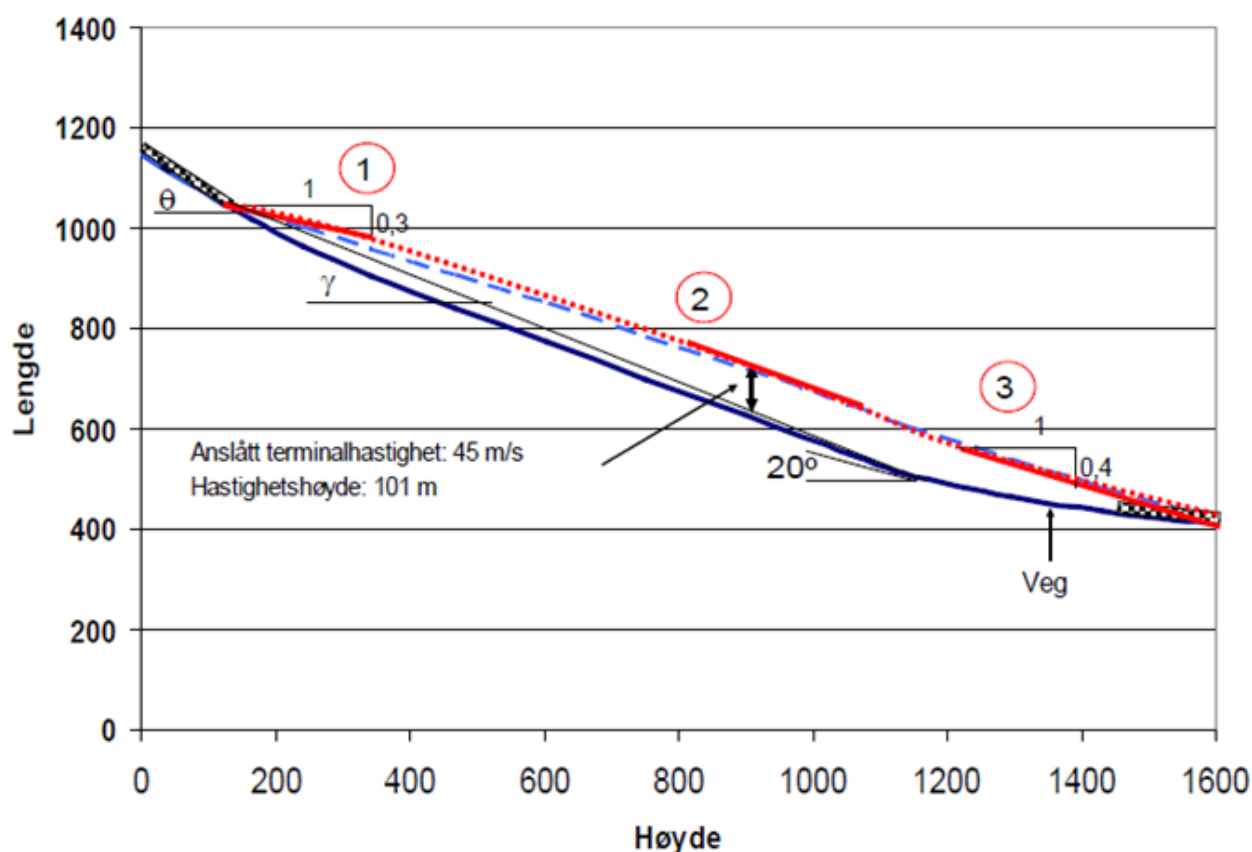
[Figur 6.2.2—1](#) viser også forløpet av energilinja basert på radarmålingene av det aktuelle skredet. Denne viser at hellingen i utløpsområdet er noe mindre enn for resten av skredbanen. Dette tyder på at energitapet i første del av skredbevegelsen er relativt lite og at skredet akselerer raskt. I den bratte delen av skredløpet har skredbanen og energilinja tilnærmet samme helling. Dette indikerer at skredet har nådd en terminalhastighet, og hastighetshøyden vil da være konstant over lengre avstander. I utløpsområdet har energilinja også for dette skredet en tilnærmet konstant helling på 0,4:1 (21,8°).

Det er foretatt en rekke undersøkelser av hellingen på energilinja 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 middelerdi, 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 skredenes hastighetsutvikling, spesielt i utløpsområdet. I de følgende kapitler er det gitt fremgangsmåte for hvordan en energilinja kan konstrueres, og hvordan hastighet i utløpsområdet kan beregnes ut fra en kjent utløpsdistanse. Det er også vist en fremgangsmåte for hvordan utløpsdistanse kan anslås ut fra en antatt terminalhastighet.

6.2.6.1 Konstruksjon av energilinja

Dersom utløpslengden for dimensjonerende skred er fastsatt kan en konstruere en energilinja og beregne hastigheten i ethvert punkt i skredbanen ut fra følgende prosedyre, som er illustrert i [figur 6.2.6.1—1](#):



Figur 6.2.6.1—1 — Fremgangsmåte for konstruksjon av energilinj

- 1) Fra løснеområdet nedre begrensning trekkes en linje med helling 0,3:1 (merket 1 i [figur 6.2.6.1—1](#)).
- 2) Skredets terminalhastighet kan anslås ut fra følgende formler:

Skredets flyte høyde:

$$h_{\theta} = 1,4 \frac{\sin 40 - 0,2 \cos 40}{\sin \theta - 0,2 \cos \theta} \quad (6.2.6.1—1)$$

Der θ er hellingen i løsnedområdet, og 1,4 er en referanse høyde for flyte høyden ved $\theta = 40^\circ$, og friksjonskoeffisienten, μ , er valgt lik 0,2, se [kapittel 6.1.4](#) og [\[18\]](#).

Terminalhastighet:

$$v_{term} = \sqrt{3000 h_{\theta}^{1,5} (\sin \gamma - 0,31 \cos \gamma)} \quad (6.2.6.1—2)$$

Konstanten 3000 er en valgt gjennomsnittsverdi for $\rho g / \kappa$, se [formel \(6.2.2—2\)](#), og γ er hellingen fra løsnedområdet nedre begrensning og til det punktet i skredbanen der hellingen er 20° .

Hastighetshøyden i 20°-punktet (merket 2 i [figur 6.2.6.1—1](#)) er for de fleste skredbaner tilnærmet lik den beregnede terminalhastigheten.

- 3) Fra skredets antatte stoppunkt trekkes en linje oppover i skredbanen med helling 0,4:1. For skred med ekstra lange returperioder brukes hellingen 0,35:1 (merket 3 i [figur 6.2.6.1—1](#)).
- 4) Etter at disse to linjene og hastighetshøyden i 20°-punktet er plassert, trekkes det en sammenhengende linje som forbinder disse linjene, og som går gjennom punktet for hastighetshøyden i 20°-punktet.
- 5) I korte skredbaner vil den beregnede hastighetshøyden i 20°-punktet ligge høyere enn linje 1 med helling 1:0,3 fra startpunktet. I disse tilfellene vil skredene ikke oppnå en terminalhastighet og en beregner skredets maksimale hastighet ved å bruke avstanden mellom linje 1 og terreng høyden i 20°-punktet som hastighetsenergi.
- 6) Hastigheten i hvert enkelt punkt kan deretter beregnes ut fra hastighetshøyden, H_k , i dette punktet:

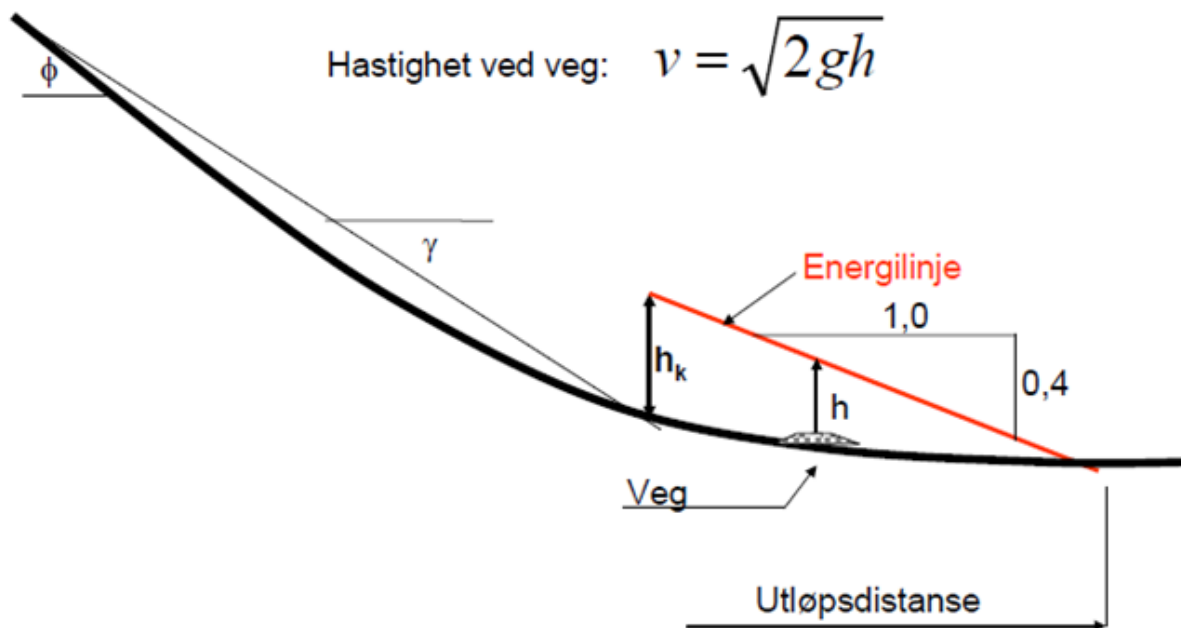
$$v = \sqrt{2gH_k} \quad (6.2.6.1—3)$$

Denne prosedyren er vist i [figur 6.2.6.1—1](#). Dessuten er det vist med blå stiptet linje den beregnede energilinje ut fra de numeriske beregningene. En ser 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 forenklet 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.

6.2.6.2 Anslå hastighet i utløpsområdet

Hvis en har et anslag på utløpsdistansen til et skred, kan energilinjemodellen brukes til å gi et enkelt overslag på hastighet langs ulike punkt i utløpsområdet.

- 1) Fra dimensjonerende skreds antatte utløpsdistanse tegnes en energilinje med helling 0,4:1 (21,8°).
- 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, [formel \(6.2.2—2\)](#) eller [formel \(6.2.6.1—2\)](#).

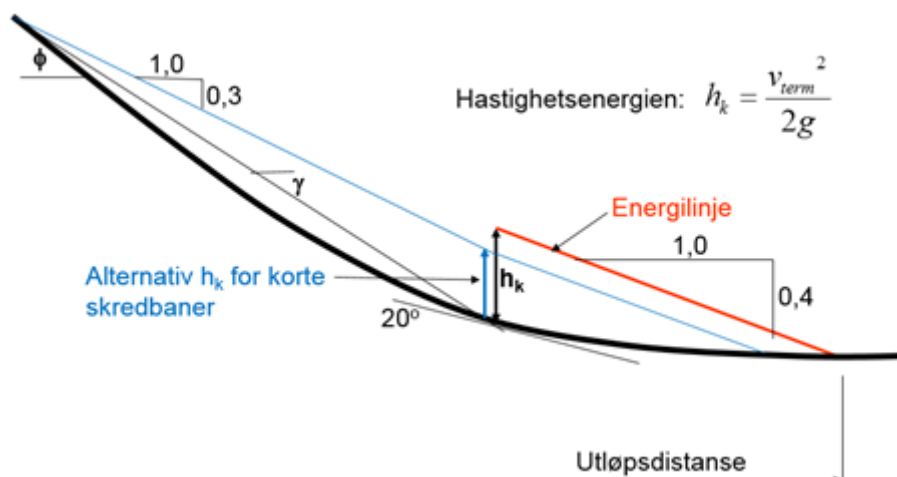


Figur 6.2.6.2—1 — Beregning av skredhastighet i utløpsområdet

6.2.6.3 Beregning av utløpsdistanse

Det er tidligere vist at hellingen på energilinja i utløpsområdet er ca. 0,4:1 (21,8°), alternativt 0,35:1 for skred med lange returperioder. Denne kunnskapen kan utnyttes for å etablere en enkel grafisk modell for å anslå utløpsdistansen for skred:

- 1) I 20°-punktet (der skredbanen har helling 20°) avsettes hastighetshøyden, h_k . Denne høyden regnes ut på grunnlag av formelen for terminalhastigheten, [formel \(6.2.6.1—2\)](#). Dette punktet representerer energihøyden i 20°-punktet.
- 2) Fra dette punktet trekkes en energilinje med helling 0,4:1 (alternativt 0,35:1) og der denne treffer skredprofilen er sannsynlig utløpsdistanse, [figur 6.2.6.3—1](#).
- 3) I korte skredbaner vil skredene sjelden oppnå terminalhastigheten beregnet etter [formel \(6.2.6.1—2\)](#). I disse tilfellene beregnes hastighetshøyden i 20°-punktet ved å trekke en linje med helling 0,3:1 fra bruddkanten og til 20°-punktet. Fra dette punktet trekkes en linje med helling 0,4:1 og der denne treffer skredprofilen er sannsynlig utløpsdistanse, [figur 6.2.6.3—1](#), markert i blått.



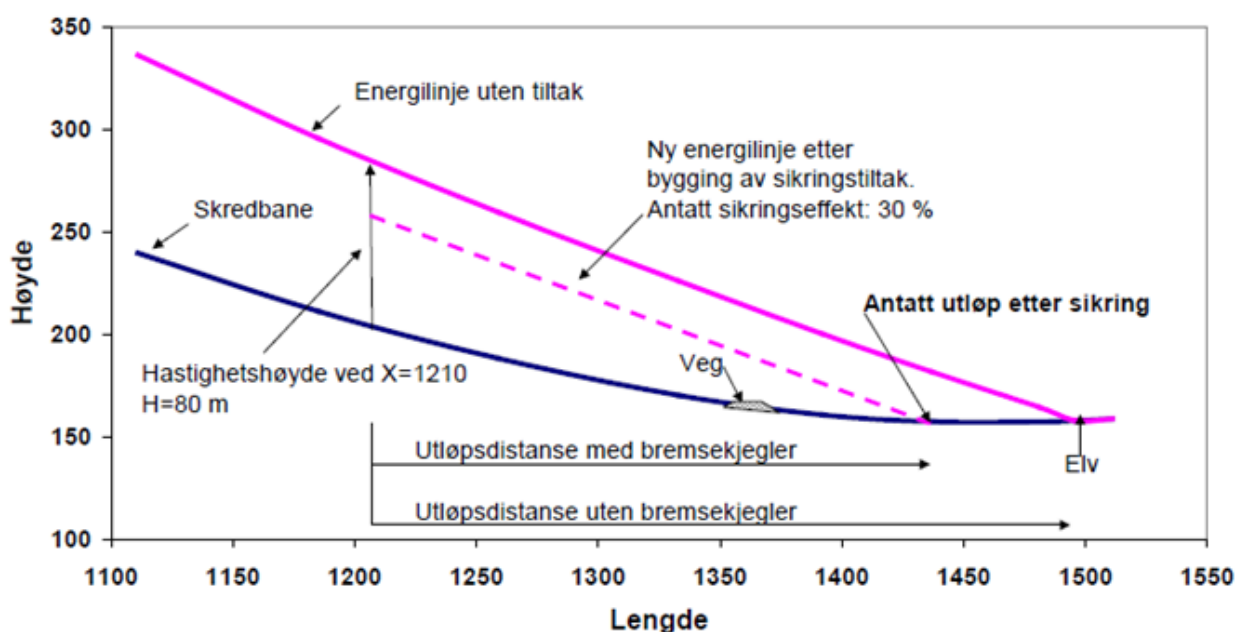
Figur 6.2.6.3—1 — Beregning av utløpsdistanse ved hjelp av energilinje og antatt terminalhastighet

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 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.

6.2.6.4 Reduksjon i energi ved passering av sikringstiltak

Effekten av et terrengtiltak kan uttrykkes som hvor mye skredets hastighetsenergi reduseres når skredet treffer tiltaket. Tegner en opp en energilinje for skredet, vil energilinjen ha samme helling etter å ha passert tiltaket, men ligge på et lavere nivå. Dette vil igjen føre til en kortere utløpslengde.

[Figur 6.2.6.4—1](#) viser et eksempel på dette. Det er her tatt utgangspunkt i beregnede hastigheter og energilinje for skredområdet Nakkefonna ved fv. 60 i Møre og Romsdal. Det er antatt at en rad med bremsekjegler vil føre til et energitap på 30 %. Hastighetshøyden på stedet er beregnet til 80 m, og dette betyr at energien vil reduseres med en energihøyde på 24 m. Dette vil si at energilinjen vil fortsette med samme helling, men på et lavere nivå. Forventet utløpslengde med bremsekjegler kan dermed anslås. Bruk av bremsekjegler er omtalt i [kapittel 7.4.1](#).



Figur 6.2.6.4—1 — Skjematisk framstilling for å vurdere reduksjon i utløpslengde ved bruk av energilinje og antatt energitap ved bruk av bremsekjeger. Det er antatt at en rad med bremsekjeger ved profil 1210 vil føre til et energitap på 30 %, som vil tilsvare 24 m. Dette vil føre til at utløpslengden reduseres fra profil 1490 til profil 1440. Etter [28].

6.2.7 Bruk av metoder for beregning av hastighet og utløpsdistanser

Ulike metoder for beregning av hastighet og utløpsdistanse forutsetter at bruker har god forståelse og kompetanse om skred og skreddynamikk for å velge riktige parameterverdier og å kunne tolke beregningene riktig.

Numeriske beregningsmetoder krever at en har tilgang til aktuell programvare og har nødvendig kompetanse til å bruke programmet. Energilinjemodellen er enklere i bruk, men vil 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 energilinjemodellen resultater med tilstrekkelig nøyaktighet for dimensjonering av sikringstiltak.

Det er viktig å være klar over at energilinjemodellen egner seg best for skredbaner med jevn kurvatur, og det anbefales ikke å bruke modellen i små og korte skredløp, eller skredløp som har krapp kurvatur eller brå utflating i utløpsområdet.

Energilinjemodellen vil heller ikke illustrere hvordan et skred vil bevege seg nedover terrenget og hvordan skredmassene vil bre seg utover i skredbane og utløpsområde.

6.3 Belastninger mot konstruksjoner

Ethvert tiltak som sikrer infrastruktur mot snøskred har til hensikt å stoppe skredet, eller styre det 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.

Vegnormal N200 Vegbygging stiller krav til hvor ofte det aksepteres at veger stenges for trafikk på grunn av skred, [1].

Ved dimensjonering av sikringstiltak er det imidlertid viktig at selve tiltaket styrkeberegnes til å tåle en høyere returperiode slik at det fortsatt er intakt selv om skredmasser passerer og veg sperres.

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, blant annet på bakgrunn av feltforsøk. De mest omfattende feltforsøkene med hensyn til måling av trykk mot konstruksjoner er Ryggfonnprosjektet, som er gjennomført i Grasdalen på Strynefjellet, i regi av NGI, [\[29\]](#) [\[30\]](#), og i Valle de la Sionne i Sveits i regi av SLF (Institut für Schnee- und Lawinenforschung), [\[31\]](#).

I dette kapittelet gis det forslag til relativt enkle metoder for å anslå hvilke belastninger skred utøver mot konstruksjoner. Dersom det er ønskelig med mer detaljerte beregninger for å fastlegge dimensjonerende skredkrefter vises det blant annet til Margreth (2004) [\[32\]](#), Margreth (2007) [\[33\]](#) og Johannesson (2009) [\[34\]](#).

6.3.1 Skredtrykk

Trykket skredet utøver mot konstruksjoner er avhengig av hvilket lag i skredet som belaster dem. De lagene en tar hensyn til er:

- 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 til snødekket betydning for hvor høyt på en konstruksjon de tunge skredmassene treffer. For det andre er det store skjærspenninger i grensesjiktet mellom dette snølaget 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 blant annet i Ryggfonnprosjektet, [\[35\]](#) og [\[36\]](#). 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 kapittel, og dette trykket reduseres lineært til null mot bakken, [figur 6.3.1—1](#).

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.
- Hvilket lag i skredmassene trykket måles.

Skredets hastighet kan beregnes ved hjelp av numeriske modeller eller ved hjelp av enklere grafiske løsninger, se [kapittel 6.2](#). Skredets flyte høyde er oftest en funksjon av tykkelsen av flaket som initierer skredet, [formel \(6.2.6.1—1\)](#), 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 [formel \(6.2.6.1—1\)](#), 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:

$$p_s = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (6.3.1-1)$$

Der:

- p_s = stagnasjonstrykket [N/m²]
- ρ = væskens densitet [kg/m³]
- v = hastigheten [m/s]

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

$$P_s = \frac{1}{2}C_d A \rho v^2 = C_d A p_s \quad (6.3.1-2)$$

Der:

- C_d = dragkoeffisienten
- A = eksponert areal mot strømmen [m²]

Dragkoeffisienten er avhengig av formen på konstruksjonen og strømningsstypen. 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 strømningsformer, det vil si leetflytende 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 parameterne, [\[35\]](#):

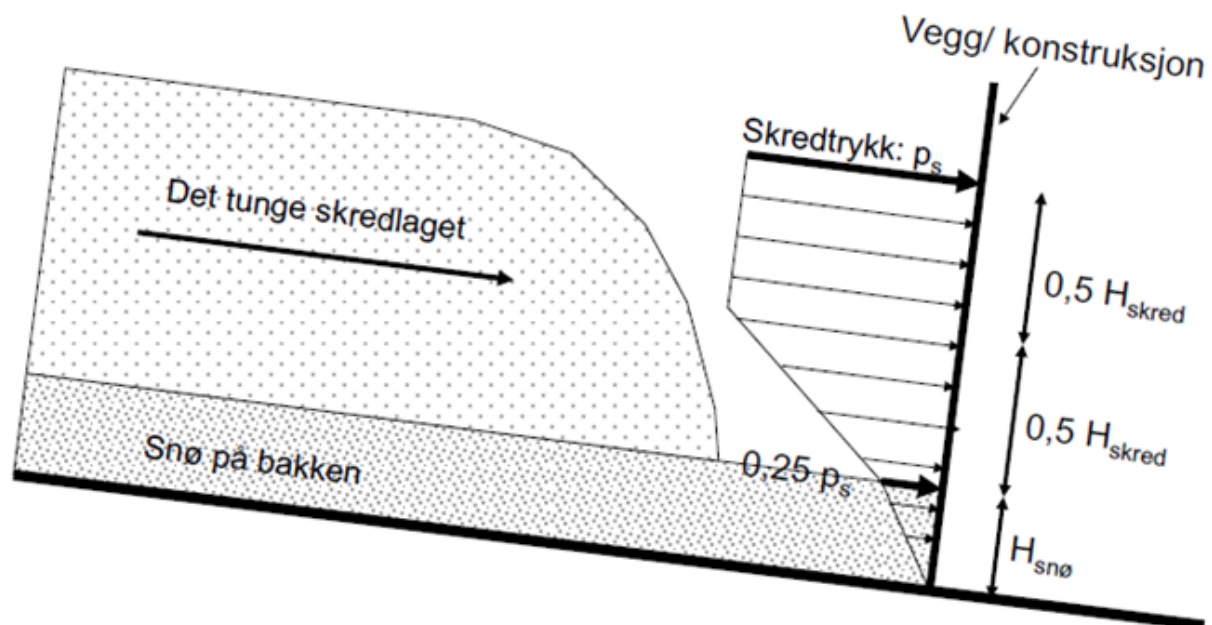
$$P_s = \frac{1}{2}k C_d \rho v^2 \quad (6.3.1-3)$$

Konstanten k er anslagsvis 2 for helt tørre skred, og opptil 6 for våtsnøskred. Som et gjennomsnitt for de fleste dimensjonerende skred kan k settes lik 3. Densiteten, ρ , velges lik 200 kg/m³ som et gjennomsnitt, og den kan variere mellom 150 og 300 kg/m³. Skredets hastighet, v , beregnes ut fra [kapittel 6.2](#).

[Formel \(6.3.1-3\)](#) 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, [\[19\]](#). Det er derfor grunnlag for å redusere det dimensjonerende skredtrykket mot bakken. [Figur 6.3.1-1](#) viser forslag til beregning av dimensjonerende skredtrykk fra skredets overside og ned til bakken.

Regnet fra toppen av skredlaget bør følgende verdier velges:

- I den øvre halve delen av det tunge skredlaget beregnes trykket ut fra [formel \(6.3.1-3\)](#).
- 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.
- Skredtrykket reduseres videre lineært nedover til 0 ved bakken.



Figur 6.3.1—1 — Beregning av dimensjonerende skredtrykk mot konstruksjoner

Snøskydelen

I snøskydelen av skredet er det turbulens i lufta som holder snøpartiklene svevende. Turbulensen genereres i grensesjiktet på toppen av det tunge skredlaget og i lufta 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 kan beregnes etter følgende kriterier [35]:

- 1) Ved nedre grenseflate beregnes trykket etter:

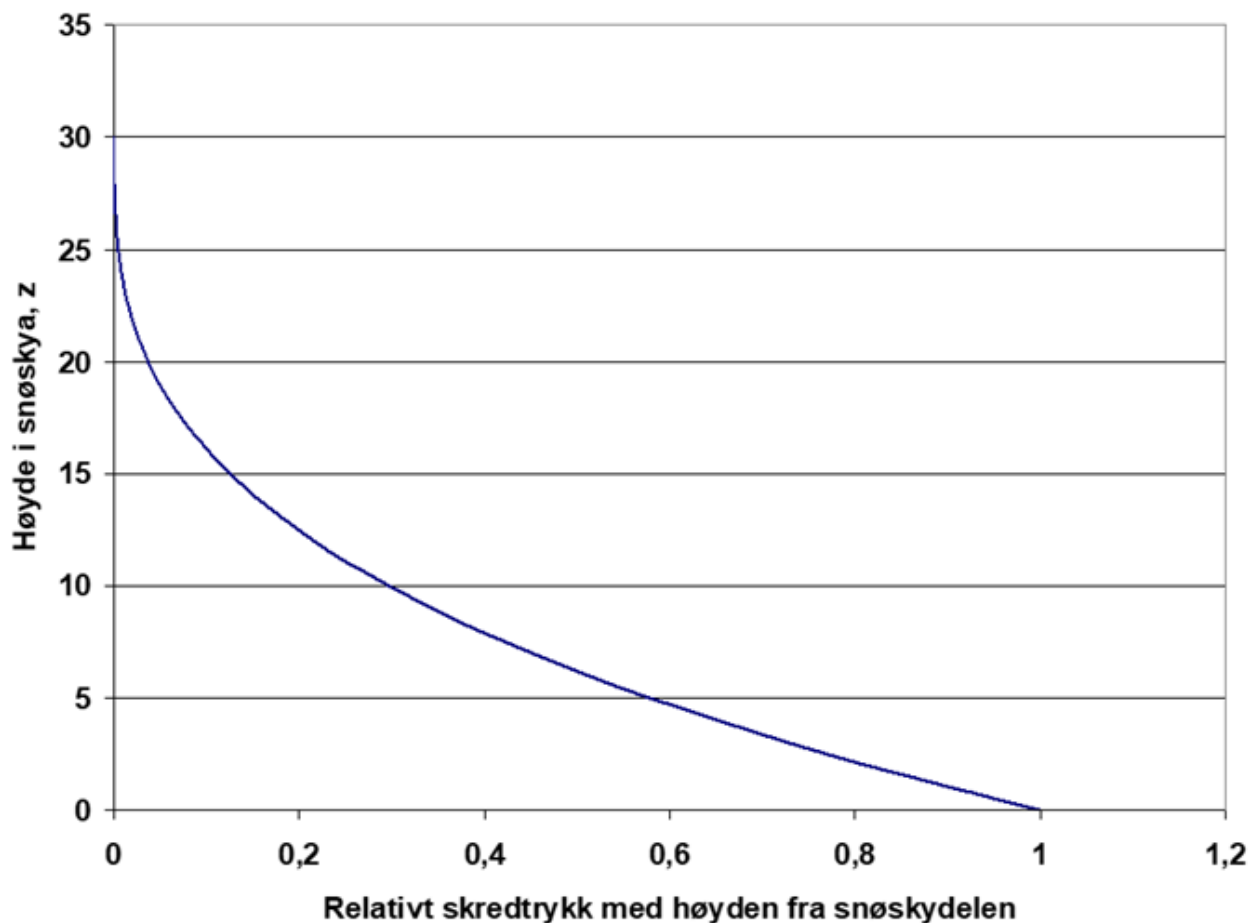
$$p_{s0} = \frac{1}{2} C_d \rho_{s0} v^2 \quad (6.3.1—4)$$

Der p_{s0} er densitet 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, $h_{snøsky}$, [figur 6.3.1—2](#):

$$p_s(z) = p_{s0} \left(\frac{h_{snøsky} - z}{h_{snøsky}} \right)^3 \quad (6.3.1—5)$$

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

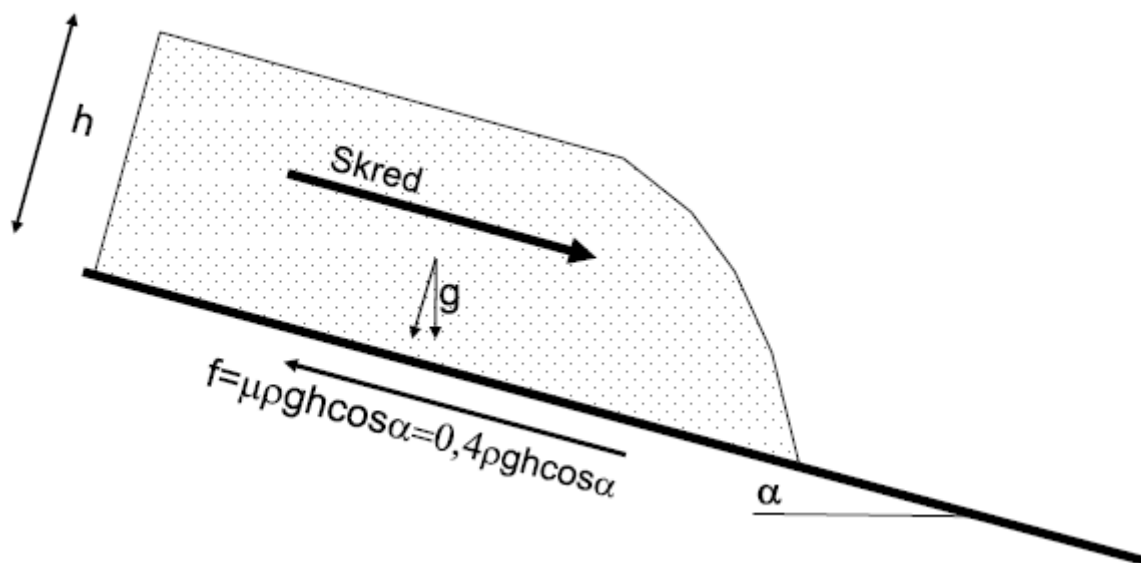


Figur 6.3.1—2 — Trykkfordeling med høyden fra snøskydelen av skred.

6.3.2 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 [kapittel 6.2](#) og [figur 6.2.1—1](#).

De overførte skjærspenningene kan beskrives som produktet av normaltrykket og en friksjonskoeffisient, [figur 6.3.2—1](#). Denne friksjonskoeffisienten inkluderer effekten av både den hastighetsavhengige og hastighetsuavhengige friksjonen. En sannsynlig gjennomsnittsverdi er 0,4. Denne verdien er også i overensstemmelse med den foreslåtte hellingen på energilinja.



Figur 6.3.2—1 — Overførte skjærspenninger til plate som er parallell med skredets retning

6.4 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 hindrer at snøskred blir utløst og mastekonstruksjoner 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, se blant annet [37], [38] og [39]. Resultatene fra disse arbeidene er det viktigste grunnlaget for forslagene som er presentert i dette kapittelet. For mer detaljerte opplysninger henvises først og fremst for grunnlaget for dette arbeidet og til sveitsiske retningslinjer, [33].

6.4.1 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 den dimensjoneres for å motstå disse. De viktigste faktorene som en tar hensyn til i forbindelse med dimensjoneringen er:

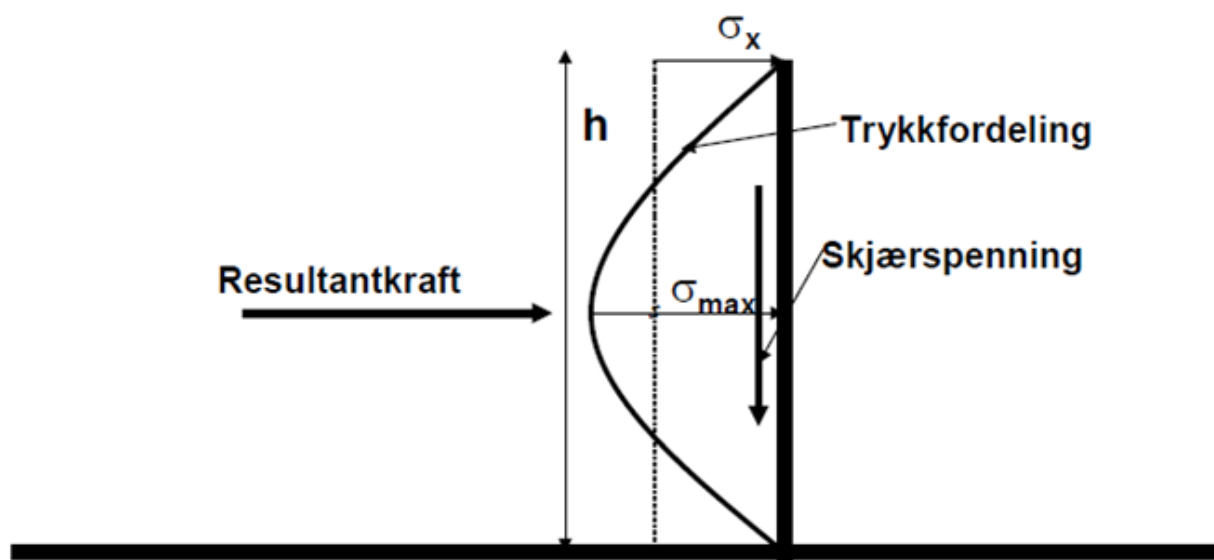
- Vekten av snødekket.
- Hellingen på terrenget.
- Ruheten langs bakken.

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, [figur 6.4.1—1](#):

- Gjennomsnittlig trykk.

- Trykkfordelingen med høyden fra bakken.
- Skjærspenninger parallelt forbygningen.
- Endeeffekter.



Figur 6.4.1—1 — Trykkfordeling og resulterende krefter mot en forbygning.

Trykket mot en forbygning varierer med høyden. Dette er først og fremst en funksjon av overlagingstrykket 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, [figur 6.4.1—1](#). Dette gir et maksimaltrykk, $\sigma_{\max}$, 1,5 ganger det gjennomsnittlige trykket, σ_x , og resultanten angriper midt på forbygningen.

Gjennomsnittstrykket på forbygningen, σ_x , kan beregnes etter følgende formel [\[39\]](#):

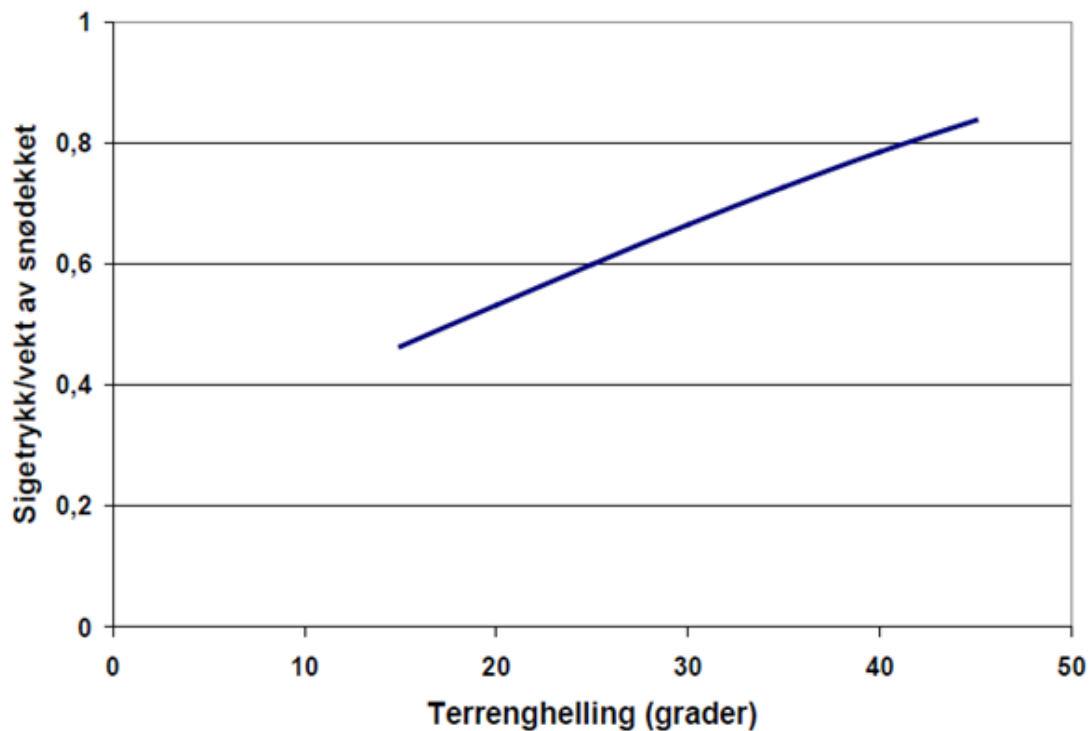
$$\frac{\sigma_x}{\rho gh} = 1,25\sqrt{0,5 \cdot \sqrt{\sin\alpha} + 0,05 \cdot \sin\alpha} + 0,28\cos\alpha \quad (6.4.1—1)$$

Der:

- ρgh = vekten av snødekket
- α = terrenghellingen.

For densiteten, ρ , kan en bruke 500 kg/m^3 som en gjennomsnittsverdi.

Verdiene for gjennomsnittstrykket som funksjon av terrenghellingen er vist i [figur 6.4.1—2](#). Merk at disse verdiene ganges med vekten av snødekket for å få sigetrykket i kN/m^2 .



Figur 6.4.1—2 — Gjennomsnittlig sigetrykk mot forbygning i forhold til vekten av snødekket som funksjon av terrenghelling. Beregnet etter [formel \(6.4.1—1\)](#)

Når snøen setter seg vil det etableres en skjærspenning som virker parallelt med forbygningen, [figur 6.4.1—1](#). Denne kan beregnes [\[39\]](#):

$$\frac{\tau}{\rho gh} = \frac{1}{4} \sqrt{\cos \alpha} (1 - 0,84 \sqrt{\sin \alpha}) \quad (6.4.1—2)$$

[Formel \(6.4.1—1\)](#) og [formel \(6.4.1—2\)](#) gjelder for lange forbygninger. Ved endene av forbygningene oppstår det store randbelastninger. Disse kan bli opptil 2–5 ganger sigetrykket, og fordeles over en lengde på 4 m, [\[33\]](#).

7 Sikringstiltak

Det er gjennom årene utviklet en rekke forskjellige sikringsmetoder mot snøskred, med store variasjoner når det gjelder funksjonalitet, kostnader og sikringseffekt.

Skredoverbygg og tunneler er tiltak som gir god sikkerhet, men har høye kostnader. Terrengtiltak som voller, murer og bremsekjegler, eller støtteforbygninger og snøskjermer er enklere tiltak som kan være effektive hvis de bygges på riktig måte.

Aktive sikringstiltak er et alternativ til tradisjonelle og fysiske tiltak. Aktive sikringstiltak er en fellesbetegnelse for systemer som forebyggende skredkontroll, skredovervåking og stedsspesifikk skredvarsling. Felles for disse systemene, er at sikringseffekten avhenger av hvordan systemet brukes og følges opp. Hvis det ikke settes av nok midler til å drifte anleggene vil gevinsten av anleggene reduseres.

I dette kapittelet beskrives ulike sikringsmetoder. De tre første kapitlene (7.1-7.3) beskriver aktive sikringstiltak, mens resten av kapittelet (7.4-7.8) beskriver fysiske tiltak. Tunneler er et mye brukt sikringstiltak, men er ikke omtalt i denne veiledningen. Krav til bygging av tunneler er gitt i N500 Vegtunneler [\[40\]](#).

Krav til hvilken sikkerhet en skal oppnå ved bygging av et sikringstiltak er gitt i vegnormal N200 Vegbygging [\[1\]](#).

Hvilken type sikringstiltak en velger er avhengig av flere forhold:

- ønsket sikkerhet mot skred på veg
- terrengforhold på stedet
- dimensjonerende skred (krefter og størrelse)
- hensyn til omgivelser (visuelle og landskapsmessige forhold, sårbare naturtyper mm.)
- økonomi (investerings- og driftskostnader)
- behov for vedlikehold, og sikkerhet for vedlikeholdsmannskap
- tiltakets sårbarhet og behov for "oppetid".

Før valg av sikringstiltak, kartlegges det aktuelle området slik at en har god oversikt over skredproblematikken i området og hvilken skredhendelse det dimensjoneres for. Det vises også til NVEs sikringshåndbok [\[3\]](#).

7.1 Stedsspesifikk skredvarsling

Stedsspesifikk skredvarsling er et tiltak for å redusere risiko ved å vurdere skredfaren i bestemte skredbaner langs veg. Varslingen gir et faglig grunnlag for å iverksette tiltak som har til hensikt å sikre trygg ferdsel for trafikanter og driftspersonell, og beskytte vegen mot skader fra snøskred.

Stedsspesifikk skredvarsling kan være egnet som et midlertidig tiltak i påvente av permanente tiltak, eller som et risikoreduserende tiltak ved anleggsarbeid i skredutsatte områder. Stedsspesifikk skredvarsling bør gjennomføres på strekninger som er sikret med forebyggende skredkontroll, se [kapittel 7.3](#).

Den europeiske skredvarslingsorganisasjonen [EAWS](#) har utgitt anbefalinger for hvordan stedsspesifikk skredvarsling bør gjennomføres [\[41\]](#) og NVE har utarbeidet en veileder for stedsspesifikk skredvarsling basert på disse anbefalingene [\[42\]](#). Anbefalingene fra EAWS og veilederen fra NVE ligger til grunn for beskrivelsene gitt her.

Stedsspesifikk skredvarsling vurderer sannsynligheten for at skred vil utløses i en eller flere skredbaner, og om skredet kan sette mennesker eller infrastruktur i fare. Formålet er å gi beslutningsgrunnlag for å iverksette tiltak i utvalgte og forhåndsdefinerte skredbaner. Varselet gir vurdering av nåsituasjonen, og

Skredvarsling vil alltid være beheftet med usikkerhet, både gjennom grunnlaget som inngår, og i selve vurderingen, og denne usikkerheten bør estimeres i skredvarselet. [Figur 7.1—1](#) under viser et eksempel på et skredvarsel utarbeidet for rv. 15 over Strynefjellet. På venstre side vises det dagsaktuelle varselet, mens på høyre side vises de forhåndsbestemte risikoreduserende tiltakene sammen med annen statistisk informasjon og forklaring.



7.2 Skredvarslingsanlegg

Et skred som har løsnet kan oppdages og varsles ved hjelp av sensorer eller målesystemer som fanger opp lyd, bevegelse eller vibrasjoner fra skredet. Hvis forholdene ligger til rette for det kan vegen automatisk stenges for trafikk før skredet når vegen.

Et skredvarslingsanlegg vil ikke hindre at et skred treffer vegen, men det kan hindre trafikanter å bli truffet av eller kjøre inn i et skred. Enkelte systemer kan også brukes slik at det kan bekrefte om skredet når vegen eller ikke, eventuelt bekrefte om skredet stopper før vegen, og kan dermed også brukes til automatisk gjenåpning av vegen.

Geofoner og radar er de systemene som er bruk på skredvarslingsanlegg i dag. Geofoner fanger opp vibrasjoner fra skredet som forplanter seg i bakken, mens en dopplerradar vil fange opp bevegelsen i skredet.

7.2.1 Elementer i et skredvarslingsanlegg

Hovedkomponenten i et skredvarslingsanlegg er et deteksjonssystem som oppdager skredet. De to mest brukte systemene er geofoner som detekterer vibrasjoner i bakken og dopplerradar som detekterer skred i bevegelse. Deteksjonssystemet omfatter vanligvis målesensorer som kan detektere skred og prosesseringsenheter for å tolke måleresultatet. Det bør også monteres kamerasystem som kan brukes til inspeksjon og dokumentasjon av hendelser. Både optiske og termiske stillbilder og film bør lagres fra skredhendelser.

Hvis skredvarslingsanlegget også er tenkt å stanse trafikken automatisk kreves i tillegg et signalanlegg. Signalanlegget består vanligvis av to eller flere signalpunkt (dvs. trafikklys), vanligvis rødblink. Signalpunktene plasseres slik at trafikanter ikke kjører inn i området der skredet krysser vegen. Det kan også etableres flere signalpunkt lenger unna skredet, for å unngå at kjøretøy kjører inn mot skredområdet. For montering av signalanlegg vises det til vegnormal N303 Trafikksignalanlegg [43].

Informasjon fra deteksjonssystemet vises i et nettbasert fagstøttesystem. Her gis en oversikt over anlegget, sensorer, og kameraløsninger slik at en kan verifisere skred registrert av deteksjonssystemet.

Det etableres også en dataflyt fra anlegget. Varsler om skred eller automatisk stengning sendes til vegtrafikksentralene, slik at trafikanter varsles om at vegen er stengt. Det lages normalt egne rutiner for hvert anlegg for når varsel om skredhendelser sendes til vegtrafikksentralene og hvilken informasjon de får. Varsler bør også sendes til byggherre og lokalt driftspersonell.

I tillegg bør systemet settes opp slik at det sender melding om skred som detekteres til NVEs registreringsløsning for skredfaretegn og hendelser, regobs.no, slik at også skredvarslingen (varsom.no) får informasjon om skredaktiviteten.

7.2.2 Trafikale forhold

Sikring ved hjelp av et skredvarslingsanlegg forutsetter at skredet bruker lenger tid fra det oppdages til det når vegen, enn trafikanter bruker på å kjøre ut av den utsatte vegstrekningen.

Trafikale forhold som vurderes:

- Hvor lang tid trafikanter bruker på å kjøre gjennom den utsatte strekningen vurderes opp mot hvor lang tid det tar fra skredet detekteres til det når vegen. Det bør tas høyde for reell hastighet vinterstid på strekningen. Vanskelige kjøreforhold vinterstid, vegbredde og møtende trafikanter kan gi redusert kjørehastighet.
- Hvor signalpunkt kan plasseres vurderes opp mot hvilke stopp-områder på strekningen som er trygge for skred. Er det nærliggende utsatte områder, og få eller korte trygge områder kan det settes opp flere stoppunkt lenger unna skredløpet for å unngå at mange kjøretøy kommer inn mot utsatte områder.
- Plassering av signalpunkt vurderes ut fra sikt, stopplengde og trafikkmengde på strekningen.

- Den utsatte vegstrekningen bør ikke ha naturlige stopplasser, eller områder hvor trafikken kan stanse opp.

Et skredvarslingsanlegg vil ikke redusere antall skred på veg, og for å opprettholde trafikantenes tillit til systemet er det viktig at antallet vegstengninger og varigheten av disse ikke øker for mye. En bør derfor inkludere automatisk gjenåpning i systemene. Dette forutsetter at deteksjonssystemet kan verifisere om skredet når vegen eller ikke. Hvis dette ikke er mulig bør man vurdere å etablere kameraer som viser den aktuelle strekningen. En bør unngå å etablere anlegg som er avhengig av at det kommer personell til stedet før vegen kan gjenåpnes, da dette vil føre til lange stengetider på skred som kanskje ikke nådde vegen.

7.2.3 Radaranlegg

Et radaranlegg består av en eller flere dopplerradarer montert på et sted med god sikt til det aktuelle skredområdet. Radarene plasseres i skredsikkert område og en kan ha tilgang til systemet hele året. I tillegg til radar bør det monteres kamera, vanlig og/eller termisk, for å kunne verifisere skred, se [kapittel 7.2.1](#).

Et radaranlegg trenger fri sikt til skredløpet, og plasseres slik at skredet beveger seg mot radaren. I trange skredløp kan dette være vanskelig å få til. En siktanalyse gir viktig informasjon om hvor radaren bør plasseres.

Radaranlegg som er bygget til nå har hatt en rekkevidde opp mot ca. 3 km. For store avstander kan gi problemer med romlig oppløsning og flere forstyrrelser fra været. Denne teknologien er i stadig utvikling og dialog med leverandørmarkedet kan gi verdifull informasjon om hvilke muligheter og begrensninger som finnes.

Hvis terreng og plassering ligger til rette for det, kan en radar «følge» skredet fra det starter til bevegelsen stopper. Hvis systemet fanger opp at skredet stanser før det når frem til vegen kan det brukes til automatisk gjenåpning av vegen.

En dopplerradar sender signaler med en viss frekvens. Bruk av frekvenser reguleres gjennom fribruksforskriften [\[44\]](#) og tildeles av Nasjonal kommunikasjonsmyndighet. Et radaranlegg krever også strømtilgang.

En utfordring med radaranlegg er at regn- eller snøbyger som beveger seg mot radaren kan feiltolkes som snøsky fra et skred, og medføre utilsiktede stengninger. Et radaranlegg bør kunne omklassifisere slike hendelser fra skred (som har medført stengning) til en falsk alarm ut fra bygens videre bevegelsesmønster. For anlegg med automatisk gjenåpning kan vegen da åpnes igjen raskt.

7.2.4 Geofonanlegg

Et geofonanlegg består av grupper med geofoner koblet til en mast med kommunikasjonsutstyr og strømforsyning. Geofonene er festet i grunnen og detekterer vibrasjoner fra skredet. Signalet om skred sendes via radio til en sentral prosesseringsenhet plassert ved vegen. Systemet er vanligvis bygget opp slik at det vil kjenne igjen vibrasjonene fra et skred. På denne måten kan en i størst mulig grad unngå stengninger på grunn av andre typer vibrasjoner (som fra dyr, lynnedslag o.l.).

Geofonanleggene bør plasseres nær, men ikke helt inne i skredløpet. Dette for å unngå at de tas av skredet. Siden geofonene og mastene er plassert i eller nær skredløpet er det vanskelig å utføre reparasjoner vinterstid. Det bør monteres minst to geofongrupper i hvert anlegg, slik at det er en viss redundans dersom det skulle oppstå feil i anlegget i løpet av skredsesongen.

Strømforsyningen er vanligvis batteri. Den sentrale prosesseringsenhetene ved vegen vil kreve strøm, det samme med signalanlegget.

Et geofonanlegg er ikke avhengig av sikt til skredet, dette kan være fordelaktig i områder hvor det er vanskelig siktforhold.

7.2.5 Andre systemer

To andre systemer som også faller inn under kategorien skredvarslingsanlegg, men som ikke egner seg til automatisk stengning er bakkebasert InSAR og Infralyd.

InSAR (Syntetisk Apertur Radar Interferometri)

Bakkebasert InSAR kan detektere langsomme deformasjoner og er brukt til å overvåke glideskred. Dette er skred som har en lang og saktegående bevegelse (cm/uker), og det som regel forekommer en økning i hastigheten før skredet endelig løsner.

InSAR er også en radar, men dataene analyseres slik at en ser små endringer i avstand til overflaten som overvåkes. Hvis bevegelsen blir for rask vil ikke radaren klare å fange den opp.

Dette gjør at systemet kan brukes til å si noe om et skred er relativt stabilt eller om det nærmer seg brudd, men ikke til å si akkurat når skredet går. Målemetoden har vært brukt for å overvåke Staybrekkfonna langs fv. 63 mellom Geiranger og Grotli. Veggen er vinterstengt, men systemet brukes til å si om fonna er stabil med tanke på brøyting. Mer om metoden kan leses i Skrede et al 2016 [\[45\]](#).

Infralyd

Infralyd er et system som detekterer lavfrekvent lyd fra et skred i bevegelse. Systemet består av flere sensorer som fanger opp lavfrekvente lyder, infralyd, fra skred. Sensorene er plassert med en viss avstand i kjent posisjon, slik at en kan beregne hvilken retning og avstand signalet som fanges opp kommer fra.

Prosesseringen av signalet tar for lang tid til at systemet kan brukes til å stanse trafikk før et skred treffer veg, men det er godt egnet til å si noe om hvor stor skredaktivitet det er i et område eller dalføre. Metoden og erfaringer med bruk i Norge er nærmere beskrevet i SVV rapport 717 Deteksjon av snøskred ved hjelp av infralyd [\[46\]](#).

7.3 Forebyggende skredkontroll

Forebyggende skredkontroll er en fellesbetegnelse på metoder hvor en aktivt utløser skred før det løsner naturlig. Ved å utløse snøskred forebyggende har en kontroll på når snøskredene går og kan stenge vegen i forkant. Bruk av forebyggende skredkontroll forutsetter at en har god kjennskap til snødekket gjennom vinteren. Dermed kan snøskred løses ut når forholdene ligger til rette for det, og før snøskredene løsner naturlig. Det anbefales at det etableres stedsspesifikk skredvarsling sammen med systemer for forebyggende skredkontroll for å få best mulig effekt av systemet, se [kapittel 7.1](#).

Ved skredkontroll til riktig tidspunkt, vil kontrollerte skred som regel være mindre enn naturlig utløste skred. Behovet for opprydding på veg etter snøskredkontroll kan derfor ofte være mindre enn om skredene går naturlig.

Forebyggende skredkontroll kan utføres ved hjelp av både fastmonterte og mobile systemer. Fastmonterte systemer er anlegg som er fastmontert på bakken, og hvor skredkontroll kun kan utføres i forhåndsdefinerte punkt eller områder. Moderne system kan fjernstyres, slik systemet kan brukes uten at det er nødvendig med ferdsel i skredutsatt terreng. Teknisk sett kan systemene også brukes under dårlige værforhold, dersom man har etablert tiltak for å hindre ferdsel av personer inn i området som kan bli påvirket. Dette gjør at systemene kan brukes raskt etter uværssituasjoner, og en kan løse ut skred på gunstige tidspunkt med tanke på skredfare og gjenåpning av veg. Systemene detonerer over snødekket, og dette gir beste effekt med tanke på utløsning av skred.

All bruk av forebyggende skredkontroll forutsetter grundige vurderinger av sikkerheten rundt aksjoner. Forhold som kan gjøre forebyggende skredkontroll spesielt krevende kan være:

- holde oversikt over trafikanter, og sikre at ingen kjører inn på en stengt vegstrekning
- sikre at det ikke oppholder seg skiløpere eller turgåere i området
- ha god sikkerhetsmargin ved stengning av veg, spesielt dersom det er nærliggende skredløp.

Et fastmontert system for snøskredkontroll kan være et alternativ til andre typer skredsikring. Sikringseffekten er avhengig av hvordan anlegget driftes. Ved planlegging av fastmonterte systemer for skredkontroll er det viktig å ta hensyn til alle de ulike fasene av prosjektet. Det vil si:

- plassering og bygging
- drift og vedlikehold av skredkontrollsystemet
- skredteknisk drift, inkludert stedspesifikk skredvarsling

I denne veiledningen omtales bruk av snøskredtårn, som bruker enten sprengstoff eller gass som sprengningsmiddel, gasskanoner og taubaner av fastmonterte anlegg. I tillegg omtales mobil skredkontroll med gassklokke hengende under helikopter. Disse systemene og erfaringer med bruk av disse i Norge er ytterligere beskrevet i Statens vegvesen rapport 623 Forebyggende snøskredkontroll [\[47\]](#).

7.3.1 Fastmonterte system for forebyggende skredkontroll

Snøskredtårn

Det finnes idag to ulike prinsipper for sprengningstårn, ett basert på sprengstoff og ett basert på gass. Felles for begge systemene er at de består av en mast påmontert et magasin med sprengningsmidler. Mastene plasseres i øvre del av løsnedområdet, vanligvis på et støpt betongfundament. For større løsnedområder eller skredområder vil en ofte plassere flere master.

Magasinet på masten inneholder nok gass eller sprengstoff til flere detonasjoner. Igangsetting av en detonasjon fjernstyres, og magasinene er selvforsynt med strøm fra solcellepanel, vindmølle e.l. Magasinene demonteres vanligvis om sommeren for vedlikehold og klargjøring til neste sesong. Montering og demontering gjøres ved hjelp av helikopter.

Systemer basert på sprengstoff vil ved avfyring senke en sprengladning fra magasinet ned et lite stykke over snøoverflaten, og deretter detoneres. For systemer basert på gass, vil magasinet inneholde to gasstanker, hydrogen og oksygen. Ved bruk vil et hulrom i magasinet fylles med en blanding av de to gassene, og ved antenning av gassene vil de gi en detonasjon rettet nedover mot snødekket.



Figur 7.3.1—1 — Snøskredtårn fra Wyssen montert ved E134 over Haukelifjell. Foto: Markus Eckerstorfer, Statens vegvesen.



Figur 7.3.1—2 — Snøskredetårn av typen O'BelIX fra MND, montert ved rv. 7, Hardangervidda. Foto: Njål Farestveit, Statens vegvesen.

Gasskanoner

Gasskanoner utnytter eksplosjonen fra en gassblanding bestående av propan og oksygen til å utløse snøskred. Systemet består av en hovedsentral med gasstanker i et enkelt lagerbygg, en eller flere gasskanoner og gassledninger mellom disse, se [figur 7.3.1—3](#). Hovedsentralen inneholder også styringssystem og batterier for anlegget. Mengden gass som lagres ved hovedsentralen tilpasses antall gasskanoner som inngår i anlegget. Systemet fjernstyres og kan opereres fra skredsikkert område. Gasskanoner kan brukes enkeltvis eller flere sammen i et nettverk. Gasskanonene plasseres i øvre del av løснеområdet og hovedsentralen plasseres i skredsikkert område.



**Figur 7.3.1—3 — Øverst: Gasskanoner montert i tilknytning til fv. 883 i Skillefjord i Finnmark.
Nederst: Oversiktsbilde som viser teknisk bygg montert i bakkant av gasskanonene i Skillefjord. Bygget inneholder styringsenhet, batterier og gass for anlegget. Foto: Heidi Bjordal, Statens vegvesen. (fortsetter)**



Figur 7.3.1—3 — Øverst: Gasskanoner montert i tilknytning til fv. 883 i Skillefjord i Finnmark. Nederst: Oversiktsbilde som viser teknisk bygg montert i bakkant av gasskanonene i Skillefjord. Bygget inneholder styringsenhet, batterier og gass for anlegget. Foto: Heidi Bjordal, Statens vegvesen.

7.3.2 Plassering av fastmonterte anlegg

Optimalisere virkningsområde fra installasjoner

Plassering av fastmonterte anlegg i terrenget bør vurderes nøye. En gjennomtenkt og god plassering av utløsningspunktene vil gi best effekt av systemet, og en kan bygge færre installasjoner. God plassering av installasjonene vil også gi mindre usikkerhet i den skredtekniske driften av anlegget.

En god skredfaglig kartlegging av relevante løснеområder ligger til grunn for å få til en god plassering av systemet.

Kontrollerte skred fra de høyeste løснеområdene i et skredløp vil normalt fungere som skredkontroll for løснеområder lengre ned i skredløpet, og det er normalt ikke behov for utløsningspunkt i ulike høyder i samme skredløp. Skulle det likevel vurderes som nødvendig med flere utløsningspunkt i samme skredløp er det viktig å vurdere installasjonenes kapasitet mot skredlaster.

For systemer med detonasjon *over* snødekket (f.eks. Wyssen skredtårn og MND O'Belx), er fri sikt mellom detonasjonen og løснеområdet man vil kontrollere viktig for at trykkbølgen kan påvirke snødekket i tilstrekkelig grad. Dette gjør at utstikkende formasjoner i eller nært løснеområdet kan være gunstige områder for plassering av utløsningspunkt, så lenge det ikke går utover rekkevidde eller fundamenteringsforhold. Mindre terrengformasjoner som fylles opp med snø tidlig på sesongen, vil normalt ikke ha stor skyggeeffekt.

For optimalisert plassering er man avhengig av at plassering designes etter rekkevidden til de enkelte leverandørenes system. Systemene som er i bruk i dag har ulik styrke på trykkbølgen som dannes ned mot snødekket, og leverandørene av ulike systemer vil anbefale hvilken verdi som bør brukes ved planlegging. Statens vegvesen gjennomførte i 2021 en enkel test av trykkbølgen fra ulike typer sprengstoff og gassblandinger. Resultatene av denne testen er presentert i [\[48\]](#).

Fundamentering og dimensjonerende kapasitet mot snø- og skredlast

Installasjonenes dimensjonerende kapasitet mot snø- og skredlast kan være bestemmende for hvor langt ned i skredløpet installasjonen kan plasseres. Se [kapittel 6.3](#) og [kapittel 6.4](#) for hvordan dimensjonerende snø- og skredlast kan beregnes. Leverandør av systemene har oversikt over systemenes dimensjonerende kapasitet.

Grunnforhold undersøkes i kartleggingen, og kan være med på å avgjøre endelig plassering. Mye løsmasser eller dårlig bergkvalitet kan være forhold som kan påvirke plassering. Behovet for fjellsikring eller forventning om tilpasninger etter grunnforhold bør komme fram av forundersøkelsene.

Fundamenteringsmetode og dimensjonering er avhengig av de ulike leverandørenes system og prosjekteres derfor ofte av leverandøren. Forundersøkelsene bør gi svar på dimensjonerende laster, samt grunnforholdene i fundamenteringspunktet for å kunne prosjektere fundamenteringen. Grunnforholdene kan også i noen tilfeller utløse behov for bergsikring som rensk eller bolter for arbeidssikring eller permanent sikring av installasjonene.

7.3.3 Drift og vedlikehold av skredkontrollsystem

Håndtering av sprengmidler

Det finnes i dag ulike fastmonterte system hvor skredkontroll gjøres med ulike sprengmidler, hovedsakelig sprengstoff eller gassblandinger.

Organisasjonen som er ansvarlig for håndtering av skredkontrollsystemer med sprengmidler, både gass og sprengstoff, må forholde seg til forskrift om håndtering av farlig stoff [\[49\]](#), eksplosivforskriften [\[50\]](#) og forskrift om landtransport av farlig gods [\[51\]](#). Drift av skredkontrollsystemet kan inngå i anskaffelsene av systemet, slik at systemleverandør blir ansvarlig for transport av sprengmidler, farlig stoff og eksplosiver i henhold til gjeldende lover og forskrifter.

For alle systemer i dagens marked etterfylles sprengmidler minimum årlig og fraktes opp til installasjonene i løsneområdene før skredsesongen. Det er derfor behov for et areal ved veien i nærheten av installasjonene hvor det kan gjøres drift og vedlikehold. Arealbehovet er avhengig av antall systemer og systemleverandør. Det bør også avklares hvor systemene lagres sommerstid.

Kapasitet

Ulike systemer og produkter har ulike antall sprengninger før systemet må etterfylles med sprengstoff. En optimalisert kapasitet vil unngå kostnader og nedetid som følge av å unngå etterfylling i skredsesongen. Ønskelig kapasitet til systemet er typisk knyttet til ønsket sikkerhetsnivå, skredløpets utforming og forventet hyppighet av aktuelle skredproblem i skredløpet. I områder med svært hyppig skredkontroll, kan det bli behov for omlading i sesongen.

Annet vedlikehold

Skredkontrollsystemene er komplekse systemer som normalt krever vedlikehold for å oppnå god levetid. I Norge har det til nå vært tradisjon for at systemleverandør tar seg av nødvendig vedlikehold på sine systemer.

7.3.4 Planlegging av skredteknisk drift

Sikkerhetsnivå og oppetid på strekningen

Systemer for forebyggende skredkontroll er avhengig av et godt opplegg for skredteknisk drift for å gi ønsket sikringseffekt. Dette innebærer oppfølging av snø- og værforhold, snøobservasjoner og jevnlig vurdering av skredfare. Det anbefales å etablere rutiner for stedsspesifikk skredvarsling, se [kapittel 7.1](#).

Ønsket sikkerhetsnivå og oppetid for vegstrekningen vil avgjøre hvor omfattende skredvarslingsoperasjonen bør være. Hvor mange skred som kan aksepteres på åpen veg (naturlig utløste), hvor lange stengetider som kan aksepteres per skredkontrollaksjon, og totalt sett for sesonen, samt hvor raskt man klarer å sette igang en aksjon er forhold som vil sette føringer for hvordan et anlegg driftes.

Mål for sikkerhetsnivå, oppetid og skredvarslingsopplegg kan for eksempel beskrives i et styringsdokument for skredteknisk drift.

Det bør også undersøkes hvilket datagrunnlag som er nødvendig for oppnå målene, der eksisterende instrumentering og eventuell ny instrumentering med tilhørende infrastruktur og behovet for feltoperasjoner beskrives.

Kommunikasjon og samhandling

Kommunikasjon og samhandling med vegmyndigheter, driftsentreprenør og øvrig samfunn ellers er også en viktig del av skredteknisk drift. Det bør allerede i forundersøkelsen legges en plan for dette.

7.3.5 Mobil skredkontroll med helikopter og skredklokke

Mobil skredkontroll foregår idag hovedsakelig med gassklokke og helikopter.

Prinsippet bak mobil skredkontroll er at en kan utføre nedsprenkning over flere områder ut fra snødekkeoppbyggingen og skredfaren i et større område. En gassklokke med to innebygde gassbeholdere fylt med hydrogen og oksygen henges under helikopter, og ved sprenkning blandes gassene i klokken og antennes. Eksplosjonen som oppstår rettes nedover på grunn av klokkenes utforming, og dersom snødekket har svake lag kan skred løses ut og store snømengder fjernes fra løsneområdene.

Sprengningene utføres ved at gassklokken plasseres på ønsket sted og en operatør som sitter inne i helikopteret styrer når systemet avfyres. Flere gjentakende avfyringer kan gjennomføres uten å etterfylle gass og en kan relativt enkelt utføre sprenninger over større områder i løpet av kort tid.

Et mobilt system for skredkontroll er godt egnet til å gjennomføre sporadisk skredkontroll langs ulike vegstrekninger, og selv om dette kan ha god effekt vil det sjelden oppnå samme resultat som et fast system. Bruk av helikopter gjør metoden avhengig av godt flyvær og god sikt, og i uværsituasjoner kan det derfor være vanskelig å gjennomføre sprenninger på ønsket tidspunkt.

For best mulig resultat ved bruk av gassklokke bør det lages gode rutiner for hvor det egner seg på ulike strekninger. Utplassering av drivstoff til helikopter og gass til gassklokken på sentrale steder kan tilrettelegges for effektiv bruk av systemet.

Siden sprenkning enkelt kan utføres nær sagt hvor som helst, er det nødvendig å ha gode rutiner og risikovurderinger for å unngå uønskede skader og konsekvenser.



**Figur 7.3.5—1 — Skredklokke, av typen DaisyBell, klar for bruk i Holmbuktura i Troms i 2017.
Foto: Geir Bakkevoll, Statens vegvesen.**

7.4 Vollkonstruksjoner og andre terrengtiltak

Voller, bremsekjegler og utvidelse av grøfter er terrengtiltak som reduserer skredhastigheten eller styrer skredmassene bort fra vegen. Voller kan utformes som fangvoller eller ledevoller.

Funksjonen til en fangvoll er å stoppe skredet, og defaste skredmassene avsettes i fanggropa foran konstruksjonen. Funksjonen til en ledevoll er å lede skredet slik at skredmassene kan avsettes i egnet område. Dette tiltaket har størst effekt i den delen av skredbanen der hastigheten er lavest. Andre eksempler på terrengtiltak er bremsekjegler og utvidelse av grøfter eller etablering av magasiner. Voller og andre terrengtiltak kan kombineres for å oppnå bedre effekt. Tiltakene dimensjoneres etter skredtype og sikkerhetsnivå.

Terrengtiltak har begrenset effekt på tørre flakskred, spesielt er snøskyen vanskelig å styre eller bremse. Tiltakene har bedre effekt på faste skredmasser.

Bygging av terrengtiltak medfører store masseflyttinger og det må undersøkes om grunnen tiltakene bygges på tåler tilleggsbelastningen tiltakene fører til. Ved bygging under marin grense bør en være spesielt oppmerksom på grunnforholdene og gjøre vurderinger av stabiliteten. Krav til geoteknisk prosjektering er gitt i vegnormal N200 Vegbygging [\[1\]](#), og N-V220 Geoteknikk i vegbygging [\[52\]](#) inneholder veiledende stoff om gjennomføring av grunnundersøkelser og metodikk for stabilitetsberegninger.

Et terrengtiltak kan representere store inngrep i naturen, og en god dialog med landskapsarkitekt om utforming kan gi gode løsninger.

7.4.1 Bremsekjegler

Bremsekjegler er et terrengtiltak som brukes for å bremse skredhastigheten og dermed redusere utløpsdistansen.

Bremsekjegler plasseres i en eller flere rader i litt oppe i skredbanen, hvor skredet har relativt stor hastighet. Skredmassene vil miste energi når det treffer kjeglen og i møtet med skredmassene fra motstående kjegle. Bremsseffekten oppstår ved at den indre friksjonen i skredmassene økes. Effekten av kjegler er avhengig av utforming, plassering i forhold til hverandre og hvor i terrenget de plasseres.



Figur 7.4.1—1 — Bremsekjegler bygget som skredsikring på rv. 15 Strynefjellet. Kjeglene er bygget nær vegen og kunne hatt bedre effekt hvis de var plassert lenger unna og mindre tett. Foto: Jeanette Gundersen, Statens vegvesen.

Bremsekjegler kan brukes i kombinasjon med andre sikringstiltak, for eksempel fangvoller. Bremsekjegler vil redusere snøskredets energi og hastighet, mens en fangvoll vil stoppe skredmassene.

Anbefalinger om bruk av bremsekjegler er i stor grad basert på praktiske erfaringer og modellforsøk. Det vises til [\[53\]](#), [\[54\]](#) og [\[34\]](#). Modellforsøk er beskrevet i [\[55\]](#) og [\[28\]](#).

7.4.1.1 Plassering av bremsekjegler

Hvor i skredbanen bremsekjegler plasseres er et kompromiss mellom flere hensyn. Forventet energitap, varighet av effekten gjennom vinteren og anleggstekniske forhold er de viktigste. Følgende forhold bør vurderes:

- Sikringseffekten med hensyn til å redusere utløpslengden i meter er størst når kjeglene er plassert i et område i skredløpet hvor skredet har størst hastighetsenergi.
- Bremsekjegler som er plassert høyt i skredløpet har større sannsynlighet for å bli dekket av snømasser fra mindre snøskred i løpet av vinteren. Kjeglenes effekt kan derfor være redusert når større skred inntreffer.
- Anleggsteknisk er det vanskeligere å arbeide høyere opp i skredområdet, og det er vanskelig å etablere bremsekjegler med tilstrekkelig effektiv høyde dersom terrenget er bratt.

En generell anbefaling er derfor å plassere bremsekjeglene så høyt i skredbanen det er forsvarlig ut fra anleggstekniske hensyn, samtidig ikke høyere enn at en unngår områder hvor en finner avsetninger fra hyppige, mindre skred som ikke vil nå fram til vegen.

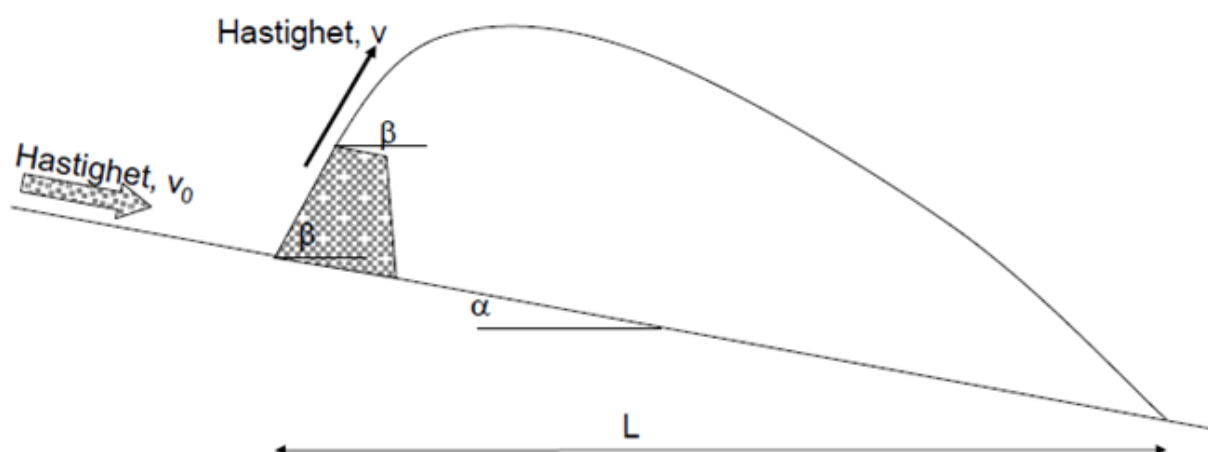
Kjeglene bygges helst i rader parallelt med kotene i terrenget. Ved plasseringen bør en legge vekt på å finne langsgående hyller eller rygger i terrenget for å oppnå best effektivitet med den samme byggehøyden på kjeglene.

Modellforsøk har vist at kjeglene fører til at skredmassene kastes opp i lufta og de gjør et kraftig sprang. De delene som ikke kastes opp strømmer i åpningene mellom kjeglene. Hvor langt skredmassene kastes kan anslås ut fra vanlig kasteformel for legemer, og i hellende terreng kan kastelengden tilnærmet beregnes av [figur 7.4.1.1—1](#). I denne er det innført en konstant, k , som representerer effekten av energitap i forbindelse med at skredet treffer bremsekjeglene.

$$L = k \frac{v^2 \sin 2\beta}{g} \left(1 + \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right) \quad (7.4.1.1—1)$$

Der:

- α = terrenghelling
- β = vinkel på skredmassene i det de forlater toppen av kjeglen, se også [figur 7.4.1.1—1](#)
- k = energitap i det skredet treffer bremsekjeglene



Figur 7.4.1.1—1 — Kastelengder for skredmasser som treffer en rad bremsekjeglener. Terrengets helling er α og kjeglens front har hellingen β .

[Figur 7.4.1.1—1](#) gir urealistisk store kastelengder dersom konstanten k velges lik 1, fordi det tas hensyn til energitapet som oppstår når massene treffer kjeglene. Det er også en usikkerhet i sammenhengen mellom utkastvinkelen og vinkelen på kjeglene. Johannesson et al (2009) [\[34\]](#) anslår at utgangshastigheten, v , for skredmassene er redusert ned til ca. 80 % i forhold til skredhastigheten, v_0 , før skredet treffer kjeglene. Utkastvinkelen, β , foreslås å redusere med mellom 0 og 10° dersom fronten av kjeglene har en helling på ca. 60°. Basert på [\[34\]](#) kan konstanten k settes lik 0,7 og bruke en utkastvinkel lik hellingen på fronten av kjeglene.

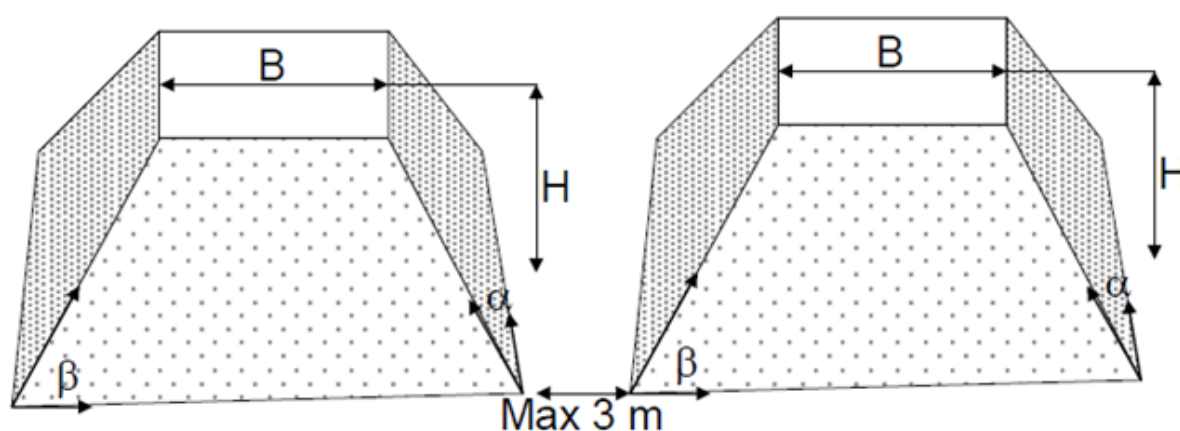
Dersom skredene følger en forsenkning i terrenget og det er nødvendig å føre bekker gjennom kjeglerekken, kan kjeglene settes opp i en plogform, i et system med tre eller fem kjegler. Det er da mulig å føre eventuelle bekker mellom kjeglene i en S-form slik at også sørpeskred og massetransport i bekkene blir bremset ned. Ulempen med bruk av plogform er at den øverste kjeglen bygges høyere i terrenget, hvor det er mer sidebratt og masser fra mindre skred tidlig på vinteren kan samle seg rundt de øverste kjeglene. Det er derfor først og fremst bare 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.

7.4.1.2 Utforming av kjeglene

Utformingen av kjeglene er karakterisert ved hjelp av følgende parametre, illustrert i [figur 7.4.1.2—1](#):

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



Figur 7.4.1.2—1 — Utforming av kjegler

Høyden, H , på bremsekjeglene bør være minimum to ganger skredets flyte høyde. I tillegg tar en hensyn til at det kan ligge snø rundt kjeglene før skredet opptrer. Dette betyr at kjeglene bør være ca. 5-7 m høye.

Modellforsøk og praktisk erfaring tilsier at støtsiden (skredsiden) av kjeglene bør være relativt bratt. Ved å øke 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 bygge kjeglene med en steil frontvegg, helst ca. 60° helling og ikke slakere enn 45° . Anbefalingen om steil frontvegg gjelder først og fremst til første kjeglerad, der skredet har størst hastighet når det treffer kjeglene. Dersom skredhastigheten er lavere enn 20 m/s ser det ut til at frontens helling har mindre betydning, [\[55\]](#).

Kjeglernes 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 ikke mindre enn at nødvendig anleggs- og vedlikeholdsarbeid enkelt kan utføres. Maksimal avstand mellom kjeglene bør være 3 m. Hvis en bygger kjegler med 5 m høyde, sidevegger med helling 60° , 3 m mellom kjeglene og en bredde av toppen av kjeglen lik høyden vil dette gi et eksponeringsareal på 57 %. Dette er noe mindre enn det modellforsøk har vist er mest effektivt. Samtidig er dette sannsynligvis det beste som kan oppnås i praksis med tanke på bygging og vedlikehold av 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 mindre. Dette gjelder spesielt dersom det ligger en del snø rundt kjeglene før skredet opptrer.

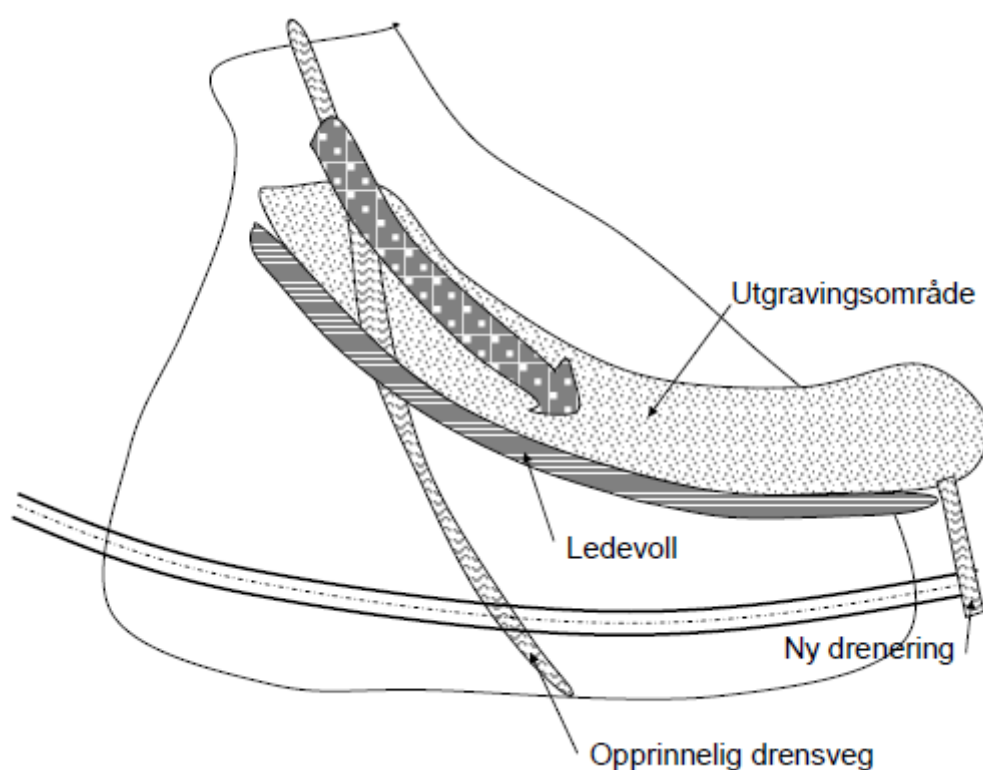
Bredden av kjeglene bør sannsynligvis velges ut fra høyden på kjeglene. Best effekt er oppnådd med kjegler som har en bredde i toppen lik høyden på kjeglene, $B/H=1$. Det er sannsynligvis ikke mulig å

oppnå bedre effekt ved å øke bredden av kjeglene og heller bruke slakere sidehelling på kjeglene. Da forsvinner 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 kjegler. Dersom kjeglene bygges med naturlig helling for løsmasser (1:1,5 dvs. 34°) vil energitapet maksimalt være 20 %. Ved å forutsette at skredets hastighet er 40 m/s ved kjeglene 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 kjegler med bratte sidekanter. Tilsvarende effekt med slake sider er henholdsvis 16 m for tap i energihøyde og 40 m i utløpsdistanse.

7.4.2 Ledevoller

Ledevoller brukes for å lede eller styre skredmassene mot et område hvor de ikke gjør skade, eller for å hindre at de sprer seg ut til siden. [Figur 7.4.2—1](#) viser et eksempel på bruk av ledevoll som er satt opp på en skredvifte og som styrer skredmassene parallelt med vegen 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 7.4.2—1 — Eksempel på bruk av ledevoll for sikring av veg

En forutsetning for at ledevoller gir tilstrekkelig sikkerhet er at vollen gis best mulig utforming, plassering og dimensjonering ut fra de skredene som går i skredløpet. Følgende forhold legges vekt på:

- Vinkel mellom skredets og vollens retning.
- Utforming av retningsendringene ved bruk av buede voller.
- Helling langs vollkrona og hellingen i skredløpet i skredets retning.
- Vollens høyde.
- Helling på støtsiden av vollen.
- Utforming av utgravingsområdet.

- Dreneringen av vollområdet og vegen.
- Erosjonssikring av området.

Ledevoller har best effekt der det er størst hyppighet av våtsnøskred. Mot tørre snøskred har ledenvoller noe dårligere effekt, og mot sørpeskred har erfaring vist at det er vanskelig å styre disse effektivt. For bruk av ledenvoll som sikring mot sørpeskred vises det til veiledning N-V139 Flom- og sørpeskred [5].

All erfaring med bruk av ledenvoller tilsier at vinkelen mellom skredet og vollen ikke bør være større enn 20°.

Det er ofte ønskelig å styre skredmassene, slik at de ender opp parallelt med vegen, før de stopper opp i markerte forsenkninger eller utgravingsområder ved siden av vegen, [figur 7.4.2—1](#) og [figur 7.4.2—2](#). Dette krever at skredmassene påføres en vinkelendring som er langt større enn 20°. Dersom en velger en slik løsning bør vollene få en gradvis vinkelendring slik at retningsendringen av skredene skjer gradvis.

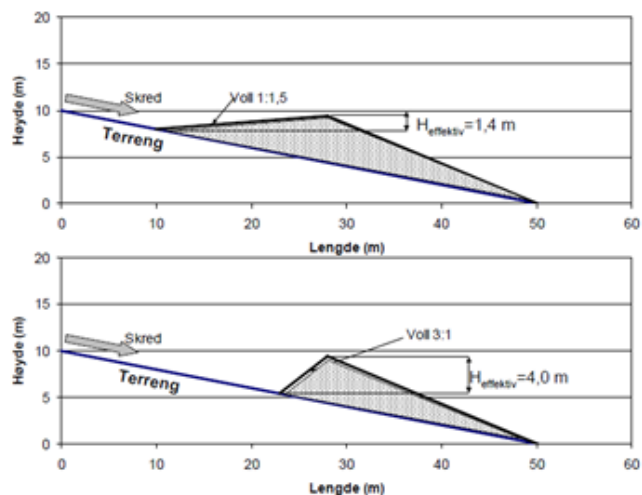
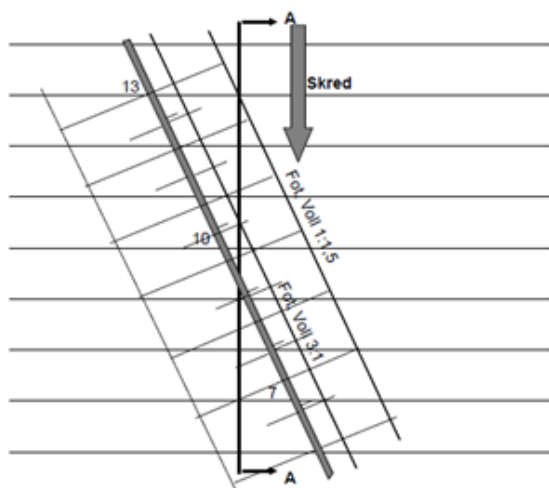


Figur 7.4.2—2 — Eksempel på ledenvoll for sikring mot snøskred og sørpeskred. Vollkrona er ikke bygget med jevn stigning i øvre del av vollen og på dette partiet har skredet gått over vollen. Vinklelen mellom skredet og veten er for stor til at vollen gir god sikringseffekt. Rv.13 Sandvika, Sogn og Fjordane. Foto: Harald Norem, Statens vegvesen.

7.4.2.1 Helling på skredsiden

Effekten av å ha en bratt helling mot skredsiden av vollen er illustrert i [figur 7.4.2.1—1](#). Figuren viser en skisse av en voll i terreng med jevn helling på 11°. Vollen har en vinkel på 25° i forhold til skredets retning, og har en konstant høyde 5 m over det opprinnelige terrenget. Skredsiden av vollen er tegnet med to hellinger, 1: 1,5 og 3:1. Til venstre vises plasseringen av vollen og foten av vallsidene, mens høyre del av figuren viser profiler tatt i skredets retning (A-A) for de to vollalternativene.

[Figur 7.4.2.1—1](#) viser at vollen med helling 1:1,5 yter liten motstand mot skredbevegelsen når den bygges i terreng med helling. Effektiv høyde fra foten av vollen og til toppen 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. Effektiv vollhøyde er høydeforskjellen mellom foten av vollen og vollkrona målt i skredretningen.



Figur 7.4.2.1—1 — Eksempel på ledevoll bygget i terreng med jevn helling på 11,3° (tan $\alpha=0,2$), og med 25° vinkel mellom vollen og skredets retning. Vollen er forutsatt 5 m over opprinnelig terreng og på skredsidens er vollen tegnet med to ulike hellinger, 1:1,5 (33,7°) og 3:1 (71,6°). Til høyre vises tverrsnitt A-A av terreng og ledevoller. Den øvre figuren viser profil for vull med helling 1:1,5, mens den nedre er for en vull med helling 3:1.

7.4.2.2 Høyde på ledevoll

De viktigste faktorene med hensyn til valg av effektiv vollhøyde er hastighet, flythøyde, bredde av skredmasser, og vinkel mellom skred og voll. I tillegg vil snømengden på bakken før skredet inntreffer være viktig.

Når en ønsker å endre retningen på skredmassene, vil skredets hastighet føre til at massene får en ekstra oppstuvningshøyde mot vollen. Denne oppstuvningshøyden er avhengig av skredets hastighetskomponent normalt på ledevollen. Denne er $v \sin \alpha$, der v er skredets hastighet og α er avbøyningsvinkelen. Avbøyningskraft er vist i [figur 7.8.2—2](#). Dersom det ikke er energitap eller andre effekter med hensyn til avbøyningen bør anbefalingen til vollhøyde tilsvare hastighetsenergien i vollens retning, $H_{k\alpha}$, der skredet treffer vollen:

$$H_{k\alpha} = \frac{v \sin^2 \alpha}{2g} \quad (7.4.2.2—1)$$

Der:

- $H_{k\alpha}$ = Skredets hastighetsenergi i vollens retning
- α = avbøyningsvinkel mellom skredets retning og vollens retning
- v = skredets hastighet

Det vil være noe energitap når skredet treffer vollen og derfor gir [formel \(7.4.2.2—1\)](#) høyere verdier enn en kan forvente ved en ren energibetraktning. I tillegg tar en også ta hensyn til skredets flyteheight og snø som ligger på bakken før skredet inntreffer. Det foreslås derfor å bruke [formel \(7.4.2.2—2\)](#) for dimensjonering av høyden til ledevoller:

$$H_{ledevoll} = \frac{k(v \sin \alpha)^2}{2g} + H_{skred} + H_{snø} \quad (7.4.2.2—2)$$

Der:

- $H_{ledevoll}$ = Nødvendig høyde på vollen
- H_{skred} = Skredets flyteheight

- $H_{snø}$ = avlagret snø
- k = faktor som angir hvor stor del av hastighetsenergien er som er bevart etter at skredet har truffet vollen. Kan anslagsvis settes til 0,8, se også [kapittel 7.4.3.1](#).

[Formel \(7.4.2.2—2\)](#) 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 tar 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 modellforsøk er at i mange av tilfeller er høyden på vollene tilstrekkelig til å hindre at fronten av skredet flyter over, men at masser lenger bak i skredet kan passere. Dette skyldes at i forbindelse med retningsendringen på skredene blir skredfronten bremsset ned og skredet blir konsentrert i bredde. Dette fører til at skredtykkelsen øker og de bakre massene i skredet kan lettere flyte over massene som har blitt bremsset opp. Dermed reduseres vollens effektive høyde. 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.

7.4.2.3 Plassering av vollene og antatt sikringseffekt

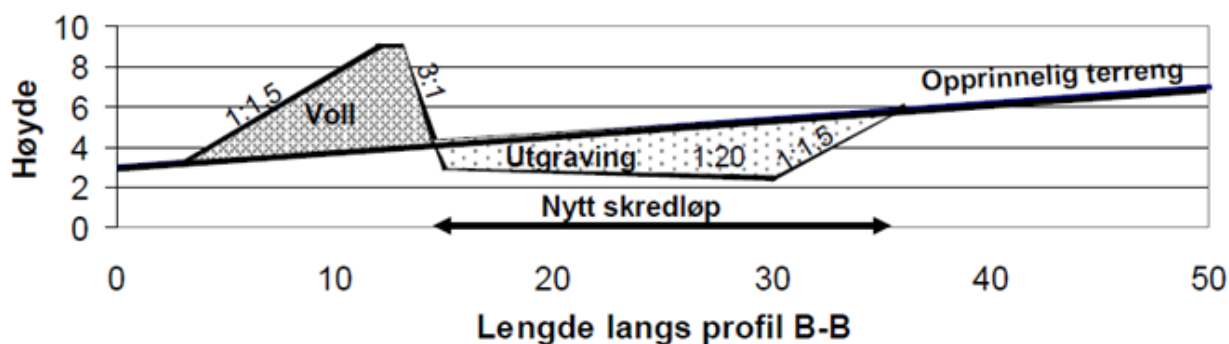
Både rette og buede voller bør plasseres så langt ut i skredløpet, og så nær vegen som mulig. Dette har sammenheng med at skredmassene er lettere å styre når skredet har mindre hastighet og det er mindre interne bevegelser i skredmassene. Dessuten kan vollene bygges lavere, siden effektiv vollhøyde dimensjoneres ut fra kvadratet av hastigheten.

Med en vollhøyde som foreslått i [formel \(7.4.2.2—2\)](#) er det mulig å redusere skredets utløpsdistanse i skredretningen betydelig, anslagsvis opptil 100 -150 m. Samtidig vil rette ledevoller ofte gi lenger utløp enn om det ikke etableres voller, men det lange utløpet vil skje i et annet område enn før vollen ble bygd. For buede voller foretas retningsendringen over en lengre strekning og det er nødvendig å etablere lagringsplass for skredmassene. Den praktiske reduksjonen i utløpsdistansen ved bruk av buede ledevoller vil derfor maksimalt være 50 - 100 m.

7.4.2.4 Utforming av skredløpet

Massene for å bygge vollene tas gjerne fra området på skredsiden av ledevollene. Ved å senke terrenget i framkant av vollen økes 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 7.4.2.4—1](#) 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 presses for mye mot vollen, og for at eventuelt flomvann ikke eroderer langs foten av vollen.



Figur 7.4.2.4—1 — 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 bremsset minst mulig opp. Selve skredløpet etableres med tilstrekkelig bredde og det 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. Eventuelle muligheter for at skredene gjør skade dersom de får lengre utløp enn tidligere inngår i vurderingene som gjøres.

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.

Buede voller forutsetter at den effektive vollhøyden økes når treffvinkelen øker, slik som beskrevet i [formel \(7.4.2.2—2\)](#). 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 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 utformes slik at vedlikeholdsmaskiner får god tilgjengelighet til området.

7.4.2.5 Drenering av vollområdet

Bygging av ledevoller fører som oftest til at de naturlige dreneringsvegene i skredområdet blir endret. Ide fleste tilfellene er det naturlig å bygge ledevollene tette slik at ny drenering etableres parallelt med ledevollen. Det er da ønskelig å legge den nye dreneringsvegen til side for foten av vollen, som illustrert i [figur 7.4.2—1](#). Den nye dreneringsvegen føres erosjonssikkert fram til eksisterende dreneringsveger. Det vises til veiledning N-V240 Vannhåndtering [\[56\]](#).

Det er også mulig å bygge en kulvert gjennom ledevollen for å beholde den gamle dreneringsvegen. I et slikt tilfelle kan kulverten til tider bli fylt opp med skredmasse, og innløpet til kulverten bør utformes slik at den er best mulig beskyttet mot å bli tettet av skredmasser. Det er i tillegg nødvendig å etablere en alternativ drenering dersom kulverten likevel går tett. [Figur 7.4.2.5—1](#) 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 drenering er lagt i området mellom fangvollen og vegen. For dimensjonering av kulverter og drenering vises det til vegnormal N200 Vegbygging [\[1\]](#) og N-V240 Vannhåndtering [\[56\]](#).



Figur 7.4.2.5—1 — 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: Harald Norem, Statens vegvesen.

7.4.3 Fangvoller

Fangvoller bygges vinkelrett på skredretningen for å stanse skredet før det når fram til vegen. Støtsiden bygges bratt og vollen plasseres som regel tett inntil vegen, avhengig av terrenget. Fangvoller, som ledevoller, kan bygges for å redusere hastighetsenergien i skred. I slike tilfeller tillater en at skredmasser passerer vollen, men fangvollen reduserer utløpsdistansen.

De faktorer som har størst betydning for vollens effektivitet er:

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

Dersom fangvollen prosjekteres med mer enn 5 m høyde, ligger nærme riks- eller fylkesveg og har en støttekonstruksjon mot vegen, vil den defineres som en bærende konstruksjon og omfattes av krav til godkjenning av konstruksjoner gitt i vegnormal N400 Bruprosjektering [57].

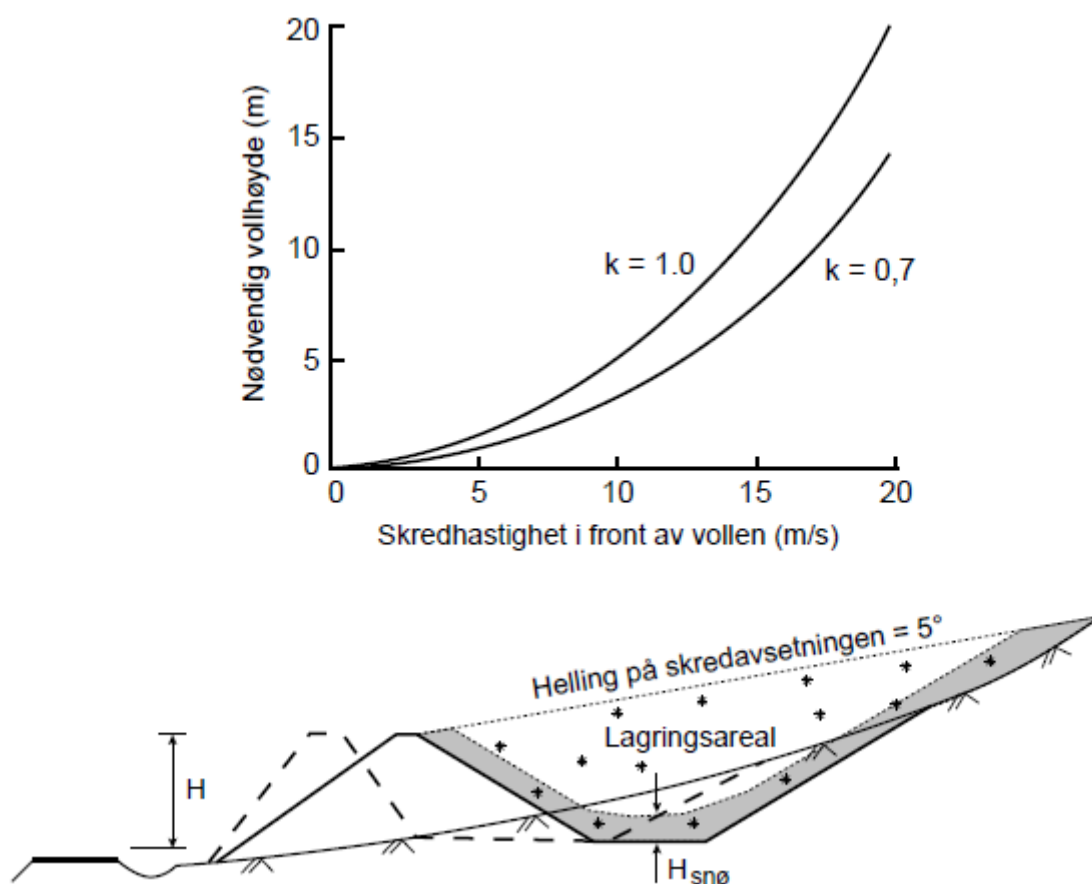
7.4.3.1 Høyde på fangvoll

Nødvendig høyde på en fangvoll kan beregnes ut fra:

$$H_{voll} = \frac{kv^2}{2g} + H_{skred} + H_{snø} \quad (7.4.3.1-1)$$

Der:

- H_{voll} = 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 7.4.3.1—1 — Snitt av fangvoll med anbefalt fyllingshøyde og lagringsvolum

Formel (7.4.3.1—1) viser at nødvendig vollhøyde er en funksjon av skredets hastighetsenergi når det treffer vollen, figur 7.4.3.1—1. Dersom det ikke er noe energitap fra skredet treffer vollen og mot toppen av vollen, så kan 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.

Erfaring viser at terrengtiltak har 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, jmf. Johannesson et al (2009) [34]. I praksis vil det si at vollene bør ha en høyde noe mindre eller lik hastighetshøyden ved vollkrona, [figur 6.2.6.2—1](#), for å gi tilfredsstillende sikkerhet. I tillegg kommer snømengden ved vollen før skredet opptrer og skredets flyte høyde, [formel \(7.4.3.1—1\)](#).

[Formel \(7.4.3.1—1\)](#) viser at anbefalingen 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 bratt støtside som mulig for å få bedre effekt av vollen.



Figur 7.4.3.1—2 — Fangvoll med bratt tørrmur på begge sider, rv. 7, Indre Rotagjelet, Hordaland. Foto: Harald Norem, Statens vegvesen.

Erfaring tyder også på at fangvoller 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 vurdere å kombinere fangvoll med bremseskjegler for å få ned skredhastigheten før vollen. Dette kan være mer kostnadseffektivt framfor å bygge en enkel, stor voll.

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

Ved bygging av fangvoller tar en oftest ut massene på skredsiden 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 anbefalingene om vollhøyde er høyden i forhold til terrengets høyde før eventuelle tiltak er bygd. Dersom det tas ut mye masser i framkant av vollen kan skredet øke hastigheten før vollen og en får en økning i hastighetshøyden tilsvarende utgravingsdybden.

En forutsetning for at fangvoller fungerer tilfredsstillende er at lagringsarealet på skredsiden av vollen er tilstrekkelig. Lagringsarealet kan regnes ved å trekke en linje fra vollkrona og med 5° helling mot skredområdet, [figur 7.4.3.1—1](#).

Enhver sikringsvoll krever et systematisk vedlikehold for å virke tilfredsstillende. De samme anbefalinger for som er gitt for etablering av atkomstveg, erosjonssikring og utføring av dreneringen til ledevoller bør også følges for fangvoller, se også [kapittel 7.4.2](#) om ledevoller.

7.4.3.2 Fangvoll som sikring mot skredtrykk (skredvind)

Snøskya som oppstår i et tørt snøskred kan få vesentlig lengre utløp enn de faste skredmassene. Selv om bremsekjegler og fangvoller er i stand til å stoppe eller bremse skredmassene vil det fortsatt være fare for ulykker dersom en bil blir truffet av snøskydelen. Dette faremomentet skyldes at trykket i snøskya er tilstrekkelig til å blåse biler av vegen, og at det i snøskya er dårlig sikt slik at det er vanskelig å vite hvor vegen går.

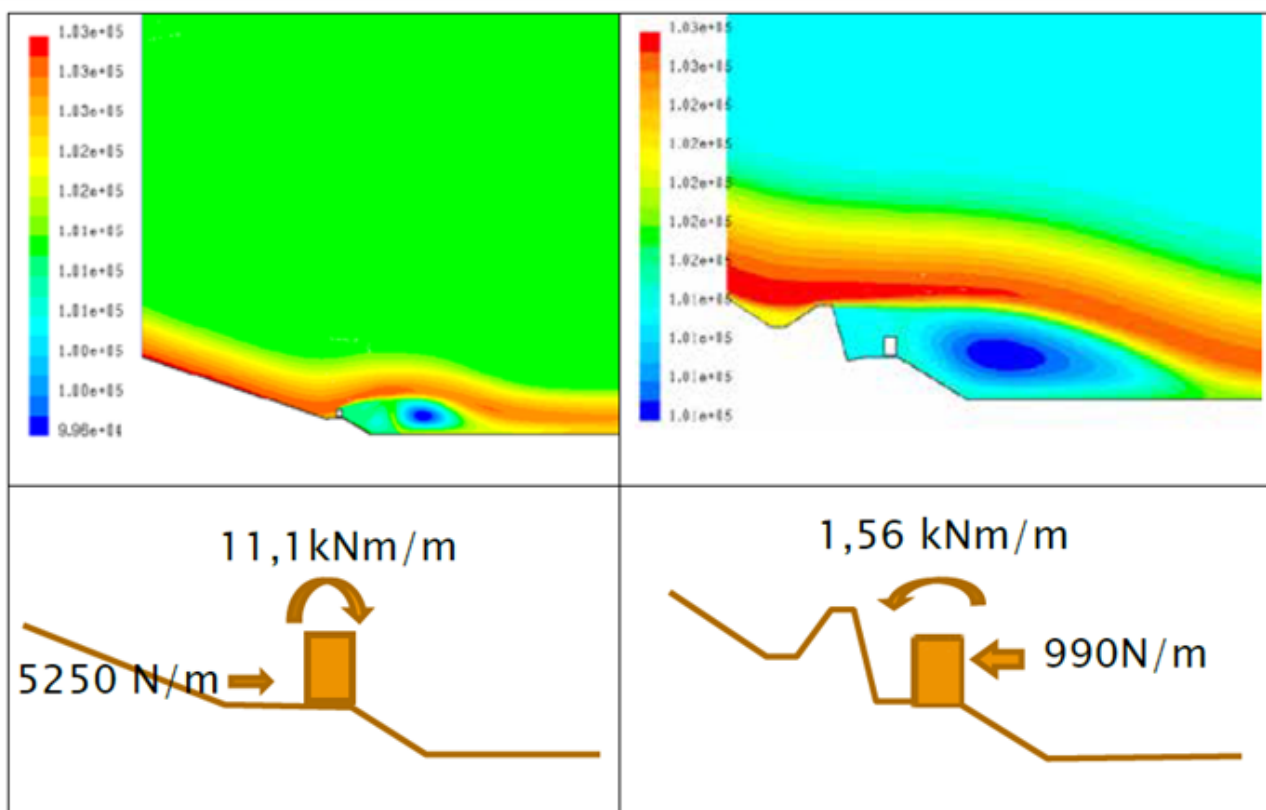
I forbindelse med planleggingen av en slik voll for sikring av Sturufonna langs rv. 7 i Eidfjord ble det gjennomført en numerisk analyse for å studere leeffekten av fangvoller med hensyn til fonntrykket [58]. Analysen ble gjennomført ved å beregne vindtrykket og veltemomentet fra snøskydelen av skredet 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, [figur 7.4.3.2—1](#). 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 [figur 7.4.3.2—1](#), 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, [figur 7.4.3.2—1](#).

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

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.



Figur 7.4.3.2—1 — 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 sidetrykk og veltemoment. Høyre side viser tilsvarende for oppsetting av en 6 m høy voll, [58].



Figur 7.4.3.2—2 — Voll bygget for å sikre mot skredvind. Dølsteinfonna på E136 i Romsdal. Foto: Heidi Bjordal, Statens vegvesen.

7.5 Støtteforbygninger

Støtteforbygninger er et sikringstiltak som etableres i løseområdene, og hensikten er å forankre snødekket slik at det ikke går skred. Støtteforbygninger etableres gjerne i parallelle rader. Det finnes flere typer støtteforbygninger, men de mest vanlige er stive stålbroer ([figur 7.5—1](#)), snønett ([figur 7.5—2](#)) og paraplyforbygninger. Valg av type støtteforbygning er avhengig av dimensjonerende last, grunnforhold og terreng. I enkelte tilfeller kan også valg av type konstruksjon være knyttet til det estetiske og tilpasninger til landskapet og omgivelsene. For å lykkes med støtteforbygninger er det viktig å få til en god fundamentering og plassering i terrenget.

Stive stålbroer er den mest brukte støtteforbygningen her til lands, og i Europa for øvrig. Konstruksjonen består av et rammeverk i stål og med tverrliggende bjelker i stål. Noen ganger bygges tverrliggerne i tre, men i dag er det mest vanlig med stål.



Figur 7.5—1 — Sikring med stive stålbroer langs fv. 8074 ved Ivarsfjord i Finnmark. Foto: Trond Jøran Nilsen, Finnmark fylkeskommune.

Snønett består av stolper, nett og forankringer/barduner. Stolpene holder nettet oppe og er enten fundamentert på fotplate eller er festet til mikropel med kuleledd mellom stolpe og mikropel. Fra toppen av nettene er det wire som festes til stolpen og til strekkanker i grunnen. I tillegg er det wire som forankres nedstrøms, funksjonen til disse er å holde formen til nettene ved full belastning. I mange tilfeller monteres det opp et innernett som er mer finmasket enn hovednettet, dette for å redusere snøsig gjennom nettene.



Figur 7.5—2 — Sikring med snønett langs fv. 8110 ved Svartaksla i Finnmark. Foto: Trond Jøran Nilsen, Finnmark fylkeskommune.

Paraplyforbygninger er et panel av nett og bjelker med et stag av stål som forankrer konstruksjonen til bakken. Visuelt sett ser det ut som en paraply som ligger parallelt med bakken. Hele kraftoverføringen fra konstruksjonen er konsentrert til ett punkt, et såkalt monoanker.

Støtteforbygninger kan kombineres med andre typer tiltak som snøsamleskjerm og vollkonstruksjoner.

Grunnforhold

Grunnforholdene på stedet har stor betydning for hvilken type støtteforbygning som er egnet med tanke på metode for fundamentering. Behov for grunnundersøkelser og eventuelle undersøkelser av bergkvalitet avklares tidlig.

Andre viktige momenter som kartlegges i felt er vannveier og spor etter overflateavrenning og erosjon. Områder med bekker og høy grunnvannstand kan få konsekvenser for fundamentering og korrosjon av stålet.

Plassering i terrenget

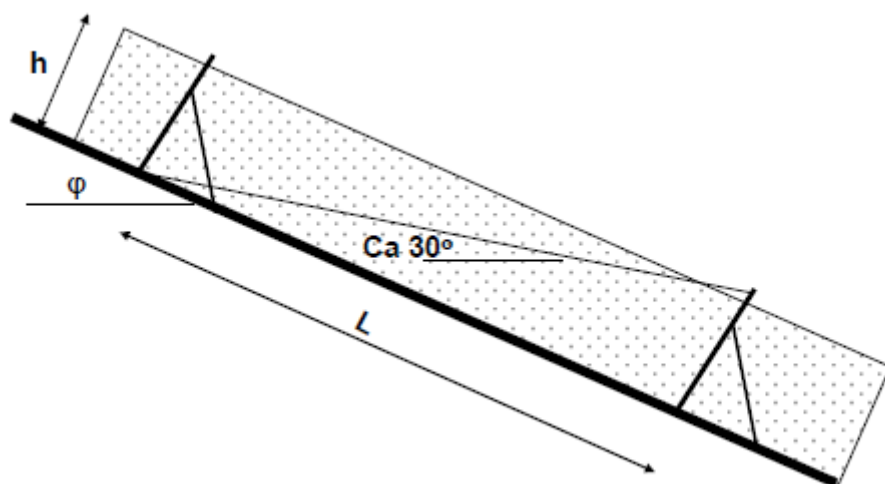
Snømengde i løснеområdet er den viktigste faktoren å kjenne til ved prosjektering av støtteforbygninger. Dersom det planlegges støtteforbygninger i et område er det svært gunstig om en har tilgang til snødybdemålinger i løśnieområdet. Dette kan gjennomføres enkelt ved utsetting av målestolper, snødybdemålere eller ved bruk av mer avansert teknologi som laserscanning. Det vil være en fordel med lengre måleserier.

Dersom støtteforbygningene er for lave eller feil plassert kan en risikere at de snør ned og mister sin funksjon. Feil plassering eller dimensjonering kan også medføre snødrift og avlagring av snøfonner på uønskede steder, som igjen kan gi løśnieområder for nye snøskred. Det er også viktig å vurdere faren for andre skredtyper i området, slik at ikke forbygningene skades av for eksempel jordskred, flomskred eller steinsprang.

Mulig plassering av forbygningene skisseres i forprosjekteringsfasen, både med tanke på antall rader, løpemeter og høyde. Selve utplasseringen av støtteforbygninger bør skje fra toppen av løснеområdet og ned. Gjennom feltbefaring, som gir grunnlag til detaljprosjekteringen, kartlegges terrengforholdene slik at en får grunnlag til å vurdere plassering, lengde og høyde på forbygningene.

Avstanden mellom hver rad er avhengig av terrenghelling, snødybde og terrengets ruhet, men en enkel hovedregel er at hellingen fra toppen av en rad og til foten av neste rad er ca. 30° , se [figur 7.5—3](#). Dimensjonerende belastninger mot støtteforbygningene kan fastsettes ut fra formler gitt i [kapittel 6.4.1](#), eller på grunnlag av sveitsiske retningslinjer, [\[33\]](#). I hver ende av støtteforbygningene vil det opptre store randkrefter. Disse randeffektene kan også beregnes ut fra de sveitsiske retningslinjene.

Støtteforbygningene tilpasses terrengforholdene, og en kan kombinere ulike typer. For eksempel kan en bruke nett i forsenkninger mellom stive stålbroer.



Figur 7.5—3 — En enkel regel for å bestemme avstanden mellom forbygningene er at hellingen fra toppen av en forbygning og til foten av den neste er ca. 30° .

7.6 Snøsamleskjermer

Snøsamleskjermer kan være et effektivt tiltak mot snøskred. Hensikten med skjermer er å unngå at drivsnø samles i løснеområdet. Snøsamleskjermer kan brukes som et separat sikringstiltak, eller kombineres med andre metoder, f. eks støtteforbygninger. Ved kombinert bruk vil snøskjermene gi mindre snø i løснеområdet hvor støtteforbygningene plasseres.



Figur 7.6—1 — Snøskjermer montert for å samle snø på lovart side av skredområdet. Fv. 8050 Nordvågen, Finnmark. Foto: Harald Norem, Statens vegvesen.

Snøskjermer er mest effektive ved følgende forhold:

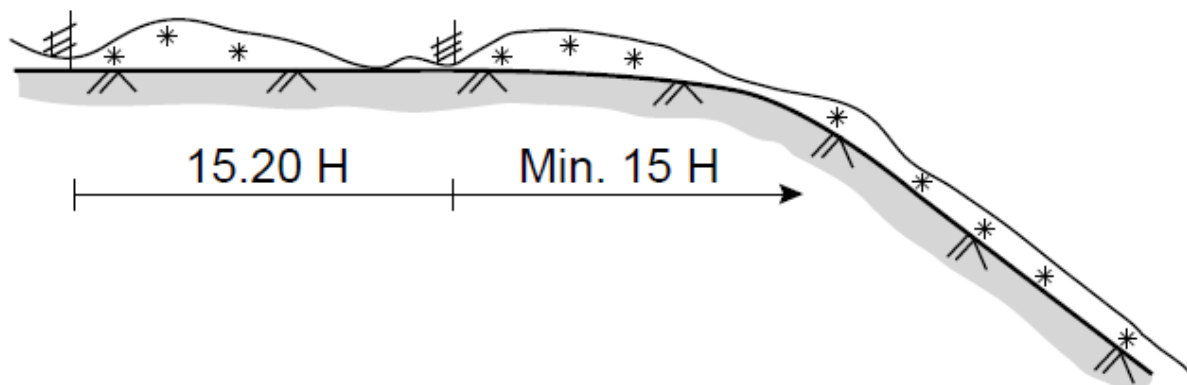
- Skredets løснеområde ligger i le for dominerende og nedbørsførende vindretning.
- En vesentlig del av snøen som akkumuleres i løснеområdet er vindtransportert.
- Det er nok plass til at snøen kan avsettes på skredsikkert område.
- Det bør ikke være større høydeforskjell enn ca. 100 m mellom skredets løснеområde og platåets nivå, da dette antas å være den maksimale utstrekningen av skjermenes effektive lesone.

For å oppnå effekt bør snøsamleskjermene være 4-5 m høye og dimensjonert for store vind- og snøbelastninger. Der det er behov for høyere skjermer enn 5 m anbefales det heller å sette opp to eller tre parallelle rader for å oppnå tilstrekkelig samleeffekt.

En lefonn fra en samleskerm får vanligvis en lengde ca. 15 ganger skjermhøyden. Minimumsavstanden mellom første skjermrad og løснеområdet bør derfor være 15 ganger skjermhøyden, [figur 7.6—2](#).

Der det er nødvendig med flere skjermrader bør avstanden mellom skjermene være ca. 20 ganger skjermhøyden. Bruk av snøskjermer 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 snøskjermer vises til N-V137 Veger og drivsnø [\[7\]](#).



Figur 7.6—2 — Snøskjermer 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.

Virveltavler

En variant av snøskjermer er virveltavler (kolktafeln på tysk). Dette er mindre enkelstående skjermmer, gjerne montert som et kryss, som vil skape turbulens i området de er satt opp slik at snøen ikke legger seg i dette området. Virveltavlene vil ha effekt i en radius 6-10 m rundt plasseringen, noe lenger i vindretningen [\[59\]](#).

Virveltavler kan egne seg hvis en ønsker å unngå at snøen legger seg i bestemte områder, for eksempel for å unngå problemer med snøskavler e.l. Konstruksjonene vil imidlertid ikke føre til at snøen felles ut i bestemte områder, slik som snøskjermer gjør. Hvis de settes opp for å unngå oppbygging av snøskavler, kan de føre til mer snø i nedenforliggende løsnedområder. Mer om virveltavler finnes for eksempel i [\[60\]](#).

7.7 Bru over skredløpet

På steder hvor vegen krysser godt kanaliserte skredløp, kan bru være en aktuell sikringsmetode. Det er da størrelsen på skredet som blir dimensjonerende for bruas lysåpning. Bruk av bruer som sikring gir ofte muligheter for å gi vegen en naturlig og god linjeføring. Bruer kan gi begrenset sikring mot snøskydelen av skredet, og lave bruer kan være utsatt ved spesielt store skred.

En forutsetning for å kunne bruke bru som sikringstiltak er at skredløpet er godt kanalisert og at faren for oppstuvning av skredmasser rundt brua er liten. Brua bør derfor ha tilnærmet samme lysåpning som skredløpet oppstrøms brua. Dersom skredløpet er dårlig kanalisert kan en bygge ledevoller inn mot brua. 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 flyteehøyde øker for mye.

Skredløpet bør ha tilnærmet samme helling over en lengre strekning brua. Under brua og nedstrømsbrua bør helningen øke. Det er særlig viktig at terrenget ikke flater ut nedstrøm brua, dette kan medføre oppstuvning av skredmasser. 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 horisontale laster dersom deler av skredet når opp til brua. Hvis skredmassene samler seg under brua kan den også bli utsatt for store oppadrettede laster mot bruaplata. Det kan være gunstig å utforme brurekkverket slik at det er enkelt å reparere dette dersom det får skader fra snøskydelen av skredet.

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.

Bruer prosjekteres i henhold til regelverk gitt i vegnormal N400 Bruprosjektering, [57].



Figur 7.7—1 — Bru bygd som sikringstiltak mot skred. Fv. 37 Tinnsjøvegen, Telemark. Brua er for smal og lav til å ta unna skredmassene. Foto: Audun Langelid, Statens vegvesen.

7.8 Skredoverbygg

Skredoverbygg gir normalt svært god sikkerhet mot snøskred. Dette er imidlertid kostbare konstruksjoner, og dette har i mange tilfeller ført til at skredoverbygg er bygd for korte.

Ved etablering av skredoverbygg vil skredbanen endre seg. Dette kan føre til at skredhastigheten reduseres og skredmassene lettere brer seg utover til sidene. En bør derfor nøye vurdere hvor lange overbyggene bør være og utforme dem slik at skredene ikke brer seg unødvendig ut til siden eller stuves opp nedstrøms overbygget. Dersom det går flere snøskred i løpet av vinteren vil gjennliggende skredmasser fra tidligere skred påvirke hvordan nye skred brer seg ut i utløpsområdet.

Skredene fører ofte med seg en blanding av jord, stein og trematerialer. Det anbefales å tilrettelegge for å fjerne dette ved å bygge atkomstveg langs utsiden av overbygget eller på siden.

Krav til dimensjonering av skredoverbygg er gitt i vegnormal N400 Bruprosjektering [57].

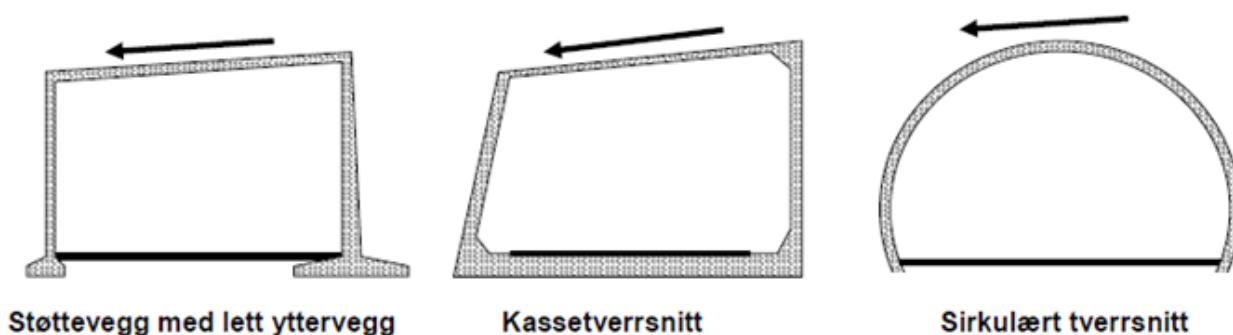


Figur 7.8—1 — Eksempel på skredoverbygg med sirkulær utforming. Fv. 91 ved Ura i Troms.
Foto: Gunne Håland, Statens vegvesen.

7.8.1 Konstruktive utforminger av skredoverbygg

Skredoverbygg bygges etter tre prinsipielt forskjellige utforminger, se [figur 7.8.1—1](#):

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



Figur 7.8.1—1 — Prinsippskisser av ulike 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 tar opp store sidekrefter på skjæringssiden. Eventuell forankring av overbygget dimensjoneres i henhold til vegnormal N400 Bruprojektering [57].

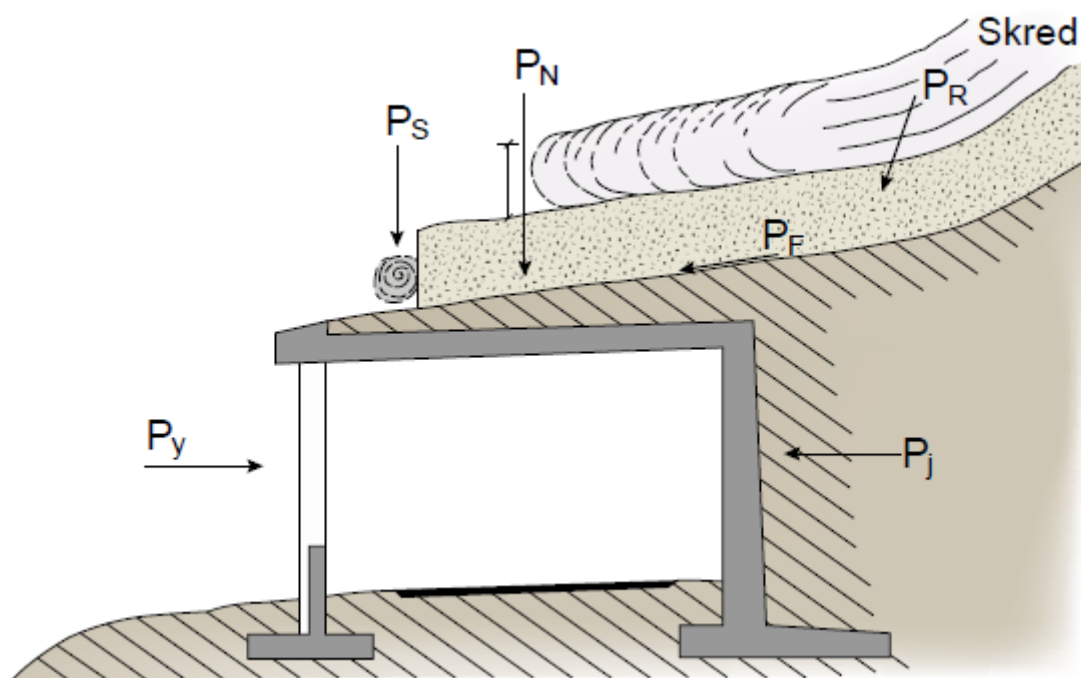
Overbygg med stivt kassetverrsnitt er generelt en kostbar konstruksjon, men den krever mindre utgravinger på skjæringssiden, og de horisontale skjærkreftene kan tas opp i sålen. Kassetverrsnittet er dessuten egnet der det er vanskelig å føre ned store vertikale laster på fyllingssiden av vegen.

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, se figur 7.8—1.

7.8.2 Dimensjonerende laster

Laster et skred påfører en konstruksjon avhenger av dimensjonerende skreds flyte høyde, tetthet, hastighet og utforming av overgangen mellom terrenget og overbygget.

De dynamiske trykk- og friksjonskreftene som virker på et overbygg er vist i figur 7.8.2—1:



Figur 7.8.2—1 — Skredlaster som virker på et overbygg

Der:

- P_N = Last normalt på takflaten. Summen av avlagret snø og vekt av skredlaget
- P_F = Friksjonskraft som virker parallelt med takflaten.
- P_R = Resultantkraft. Skyldes retningsendring av skredet ved taket av overbygget.
- P_j = Jordtrykklaster. Består av en ren hvilelast og et øket jordtrykk på grunn av vekten av avlagret snø og vekten av skredlaget.
- P_S = Punktlaster på grunn av steinsprang eller av blokker transportert i skredet.
- P_y = Last mot ytre sidevegg. Kan både være en suglast når skredet passerer, og sidetrykk fra avlagrede skredmasser.

Last normalt på takflaten (P_N)

Hvor mye snø som avlagres på taket av overbygget avhenger av hvor store skred som passerer overbygget og hvordan terrenget like ovenfor overbygget er utformet. 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.

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

$$p = \rho g h_a \cos \phi \quad (7.8.2—1)$$

Der:

- ρ = densiteten
- h_a = tykkelsen av avlagret snø (se tabell 8.1)
- ϕ = Hellingen på taket av overbygget

Tykkelsen av skredlaget vil vanligvis variere mellom 1 m og 3 m. Dette avhenger av skredvolumet, kanaliseringsgrad av skredet og hellingen i utløpsområdet. I enkelte tilfeller kan flytehyden også være større enn 3 m, hvis våtsnøskred bremses opp i forbindelse med overbygget. Densiteten av skredmassene antas å være 300 kg/m³, se [tabell 7.8.3—2](#). Normaltrykket mot taket av overbygget beregnes etter [formel \(7.8.2—1\)](#), 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 tar en også hensyn til eventuelle avbøyningslaster. Beregning av disse er beskrevet nedenfor. For beregning av skredhastighet kan en bruke simuleringsmodeller, eller fremgangsmåtene gitt i [kapittel 6.2.6.1](#) og [kapittel 6.2.6.2](#).

Friksjonskraft som virker parallelt med takflaten (P_F)

Når skredet passerer overbygget vil det bli overført friksjonskrefter til taket av overbygget, [kapittel 6.3.2](#). Friksjonskreftene beregnes som produktet av normalspenningene skredet overfører mot overbygget og en friksjonskoeffisient, som settes lik 0,4. For beregning av normalspenningene tas det også hensyn til eventuelle avbøyningskrefter, se nedenfor.

$$\tau = \mu(\rho g \cos\varphi(h_s + h_a)) + \mu p_{an} + \tau_{an} \quad (7.8.2—2)$$

Der:

- τ = friksjonsspenning (kN/m²)
- p_{an} = normalkomponenten av avbøyningstrykket, [formel \(7.8.2—6\)](#) (kN/m²)
- τ_{an} = skjærkomponenten av avbøyningstrykket, [formel \(7.8.2—7\)](#) (kN/m²)

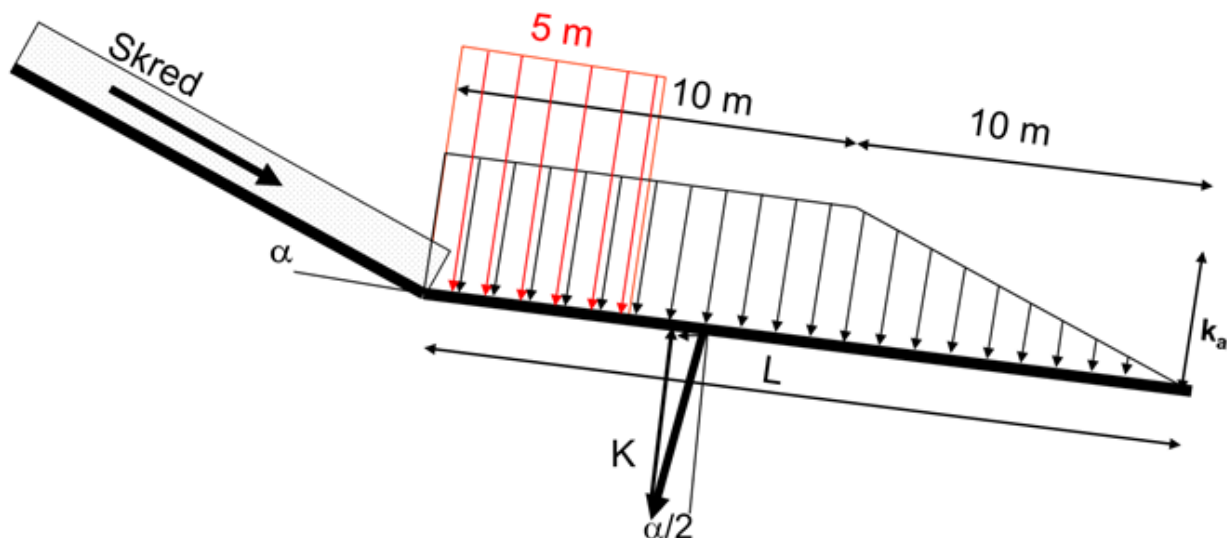
Avbøyningskraft (P_R)

Når et skred treffer en flate som har en vinkel i forhold til skredets retning, for eksempel taket av et overbygg eller en ledemur, tvinges skredet til å endre retning. Denne retningsendringen krever at det overføres avbøyningskrefter fra flaten og til skredet. Tilsvarende kraft vil virke fra skredet mot flaten, bare med motsatt retning. Avbøyningstrykket resulterer i at skredets normaltrykk mot flaten øker, som igjen fører til større friksjonsspenninger langs flaten.

Avbøyningskraften kan uttrykkes:

$$K = 2\rho h v^2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (7.8.2—3)$$

Denne kraften 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 forslås 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, se [figur 7.8.2—2](#) under.



Figur 7.8.2—2 — Fordeling av avbøyningskraft over en flate

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

Ved $L \leq 10$ m:

$$k_a = \frac{K}{L} \quad (7.8.2—4)$$

Ved $10 \text{ m} < L \leq 20 \text{ m}$:

$$k_a = \frac{K}{10 + \frac{1}{2}(L - 10)} \quad (7.8.2—5)$$

[Formel \(7.8.2—4\)](#) 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 [figur 7.8.2—2](#).

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

Trykk normalt på flaten:

$$P_{an} = k_a \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (7.8.2—6)$$

Skjærspenninger parallelt med flaten:

$$\tau_{an} = \mu k_a \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - k_a \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (7.8.2-7)$$

Last mot ytre sidevegg (P_y)

Dersom sideterrenget nedstrøms overbygget ikke er bratt nok, kan avlagrede skredmasser bli liggende igjen og utøve et statisk trykk mot ytterveggen av overbygget. Denne lasten bør tallfestes dersom det er fare for at skredmasser blir liggende igjen. Lasten kan settes til halvparten av vekten som virker fra avlagret snø (h_a):

$$P_s = 0,5ph_s \quad (7.8.2-8)$$

Punktlast fra steinsprang (P_s)

Beregning av last fra steinsprang er beskrevet i vedlegg 1 i VD rapport 32 Sikring av veger mot steinskred [61].

Jordtrykklaster (P_j)

Beregning av jordtrykklaster er beskrevet i N-V220 Geoteknikk i vegbygging [52]. Effekten av økte laster på grunn av avlagres snø og skredlaget legges til i beregningene.

7.8.3 Utføre beregning av dimensjonerende trykklaster på skredoverbygg

Tabell 7.8.3—1 nedenfor sammenstiller formelverket for beregning av trykklaster normalt og parallelt på terrenget. Densitet for ulike snøtyper er gitt i tabell 7.8.3—2.

Tabell 7.8.3—1 — Sammenstilling av formelverk for beregning av trykklaster normalt på terrenget

Lastvirkning fra	Normalt på terrenget	Parallelt med terrenget
Skredlaget	$P_{Ns} = \rho_s h_s g \cos \varphi \quad (kPa)$	$\tau = \mu P_{Ns}$
Avlagrede skredavsetninger	$P_{Na} = \rho_s h_a g \cos \varphi \quad (kPa)$	$\tau = \mu P_{Na}$
Avbøyning	$K = 2\rho h v^2 \sin \frac{\alpha}{2}$	$\tau_{an} = \mu k_a \cos \frac{\alpha}{2} - k_a \sin \frac{\alpha}{2}$
	Ved L mindre enn 10 m: $k_a = K/L$	
	Ved L mellom 10 og 20 m: $k_a = K/(10 + 0,5(L - 10))$	
	$P_{an} = k_a \cos \frac{\alpha}{2}$	μP_{an}
Total lastinnvirkning	$P_{Ns} + P_{Na} + P_{an}$	$\mu(P_{Ns} + P_{Na} + P_{an}) + \tau_{an}$
Friksjonskoeffisient $\mu = 0,4$		

Tabell 7.8.3—2 — Densitet for ulike snøtyper

Snøtype	Densitet
Skredlag, våt snø (h_s)	300 kg/m ³
Skredlag, tørr snø (h_s)	100-300 kg/m ³
Avlagrede skredmasser (h_a)	600 kg/m ³

7.8.4 Utforming av skredoverbygg

Et skredoverbygg vil endre kjøreforholdene langs vegen, og det er derfor viktig å tilrettelegge for en god linjeføring og lysforhold.

En del overbygg bygges med åpen yttervegg. Dette vil gi gode lysforhold, og mulighet for utsyn i overbygget. Denne løsningen anbefales imidlertid bare hvis terrenget nedstrøms overbygget har tilstrekkelig helling slik at snøen ikke vil bygge seg opp på utsiden. Når tørrsnøskred passerer over overbygget kan det oppstå sug inne i overbygget. Dette kan igjen føre til at snø trekkes inn i overbygget og gir dårlig sikt.



Figur 7.8.4—1 — Skredoverbygg med åpen frontvegg hvor skredsnø har trengt inn i overbygget. Fv. 613 Ramsteina Sogn og Fjordane. Foto: Statens vegvesen.

Utløpet av overbygget bør utformes slik at det ikke oppstår problemer med snødrift rundt åpningene. Det vises til N-V137 Veger og drivsnø [\[7\]](#) for mer om dette.

På kalde dager med sterk soloppvarming kan det bli 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. Det bør legges vekt på å få til en god drenering i og rundt overbygget.

7.8.5 Tilpasning av overbygget til terrenget

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

- Utnytte terrengeterengdetaljer og, om mulig, tilpasse terrenget slik at skredmassene blir ledet over overbygget.
- 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 god drenering av overflatevannet i skredområdet.

Ved å gi den bakre vegg av et overbygg en tilbakefylling oppnås en jevn overgang mellom terrenget og taket av overbygget. Dette gjør at en unngår eventuelle støtbelastninger mot overbygget, og belastningene reduseres til friksjon- og normalbelastninger, [figur 7.8.2—1](#). 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.

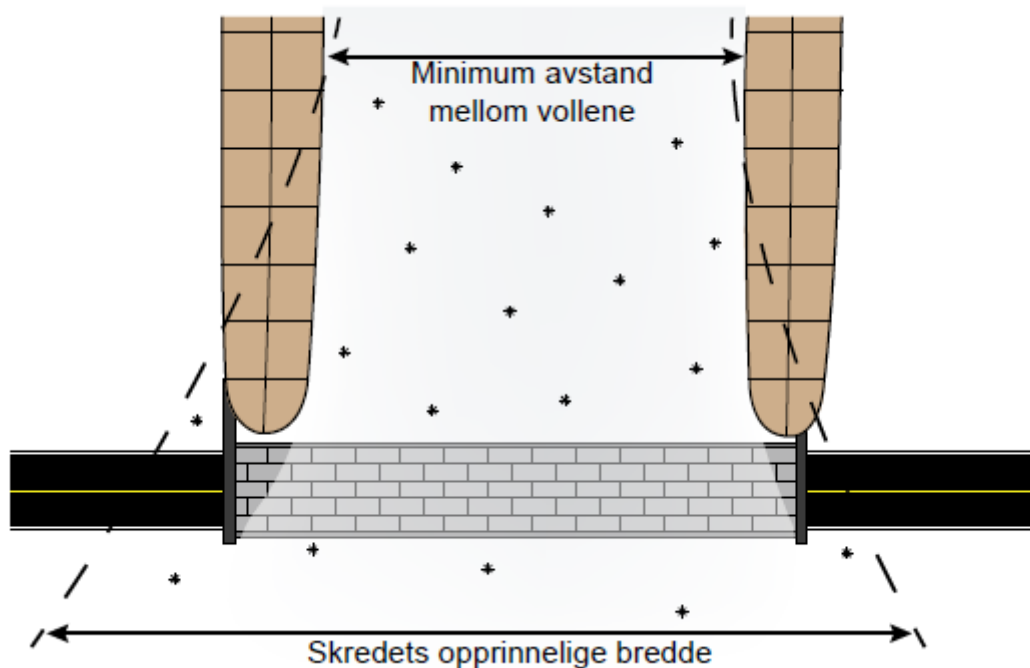
For å redusere omfanget av tilbakefylling bak overbygget kan overbygget legges inn i terrenget, i en markert skjæring, 5-8 m høy. En slik plassering av overbygget gjør det også mulig å utforme overbygget med helling på taket for å redusere avbøyningskreftene, og for å få skredmassene til å gli lettere over overbygget. Ved en slik plassering vil imidlertid også vegen til side for overbygget få skjæringer, og dette kan føre til at selv mindre skred i disse områdene når frem til vegen. Det kan bli krevende å sikre disse områdene tilstrekkelig.

Det kan være nyttig å simulere hvordan et skred vil bevege seg etter bygging av sikringstiltak. Et overbygg vil heve terrenget vesentlig, og dette kan i seg selv føre til at skredene får endret hastighet og brer seg mer ut til sidene.

7.8.6 Bruk av ledevoller for å styre skred

Det er mulig å styre skredbevegelsen over skredoverbygg ved å bygge ledevoller 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 ledevollene og stengt vegen.

En hovedregel for plassering av ledevoller i forbindelse med overbygg er at avstanden mellom foten av vollene ikke er mindre enn bredden av skredet i selve skredbanen. Det er derfor bare breddeøkningen av skredet i utløpsområdet som kan kompenseres med bygging av ledekonstruksjoner, [figur 7.8.6—1](#).



Figur 7.8.6—1 — Ledevoller og -murer kan brukes til å styre skredmasser slik at disse ikke brer seg ut over skredoverbygget. Avstanden mellom foten av vollene bør ikke være mindre enn bredden av skredet rett ovenfor overbygget.

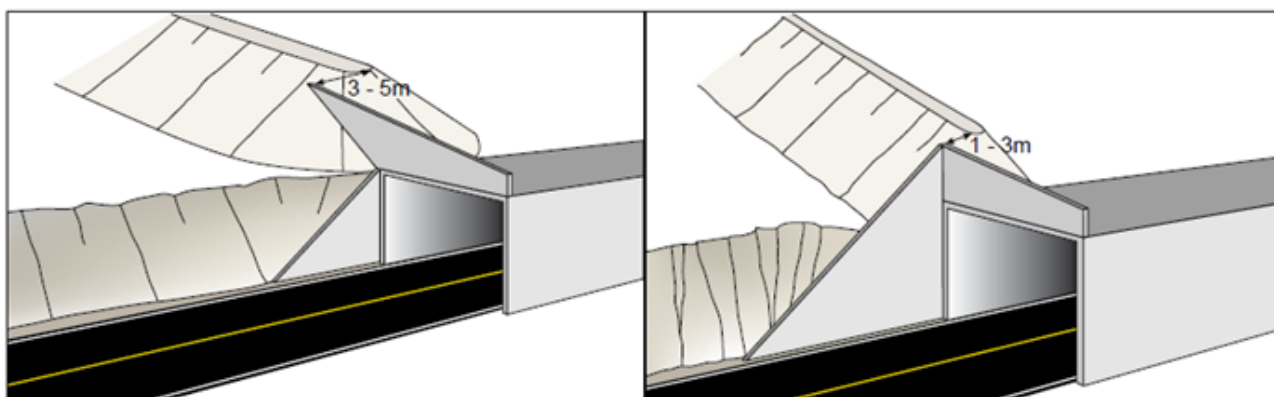


Figur 7.8.6—2 — Kort overbygg hvor skredmassene har blitt stuvet opp mot terrenget utenfor og sperret vegen. Fv. 5912 Remegjølet i Hjørundfjorden, Sunnmøre. Foto: Arnold Hustad, Statens vegvesen.

Ved bygging er det viktig å ta ut masse til vollene i området mellom vollene. Dette øker den effektive høyden på vollene, selv med beskjedne masseuttak, og gir bedre kanalisering av skredløpet. I området mellom vollene er det viktig å fjerne små rygger eller store steiner slik at skredmassene ikke stuver seg opp og brer seg ut til sidene.

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 skredsiden. Dersom vollene bygges med helling 1:1,5 ($33,7^\circ$) kan det også forekomme at det løsner mindre snøskred fra ledevollene og inn i vegen. Med hensyn til øvrige råd for utforming av ledevoller henvises til [kapittel 7.4.2](#) om 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 vist i [figur 7.8.6—3](#).



Figur 7.8.6—3 — Tilpasning av støttemurer og ledemurer ved endeavslutning av overbygg.

- 1) Illustrasjonen til venstre i [figur 7.8.6—1](#) viser at 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 vinge inn mot vollen. Denne utførelsen er mest aktuell der terrenget har moderat helling på terrengsiden 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 skredsiden.
- 2) Der terrenget på terrengsiden av overbygget bare er noe slakere enn naturlig rasvinkel, er det vanskelig å få bygd opp en tilstrekkelig høy ledemur av løsmasser. Illustrasjonen til høyre i [figur 7.8.6—3](#) viser hvordan det kan bygges en støttemur i forlengelsen av overbygget. Denne bør være like høy som ledemuren for å få støtte for ledevollen. Denne løsningen kan redusere lengden av overbygget med 3-4 m på hver side i forhold til løsningen vist til venstre.

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 ut fra [formel \(7.8.2—3\)](#) basert på tidligere antagelser om skredtykkelse, hastighet for dimensjonerende skred og bredden på skredet.

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.

I vindutsatte områder kan ledevoller over portalen føre til stor ansamling av snø. Utløpet av overbygget og ledevoller bør utformes slik at det ikke oppstår problemer med snødrift rundt åpningene, eventuelt kan snøskjermer brukes for å redusere problemet. Det vises til N-V137 Veger og drivsnø [\[7\]](#) for mer om dette.



Figur 7.8.6—4 — Ansamling av snø rundt portalområdet på skredoverbygg. E136 Fantebrauta i Romsdal. Foto: Tore Humstad, Statens vegvesen.

7.8.7 Drenering av overflatevann

Skred forekommer som oftest i forsenkinger i terrenget hvor det er naturlige bekkeløp. For å unngå erosjonsskader og vann på avveie bør gode dretnsløsninger etableres forbi, og helst over overbygget. I enkelte tilfeller kan det være mer hensiktsmessig å føre vannet 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 bremses mot vannrenna, og for å redusere belastningene mot denne. [Figur 7.8.7—1](#) 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 erosjonssikres, samtidig som også dretnsløpet fram til det opprinnelige dretnsløpet sikres mot erosjon. Det anbefales også å erosjonssikre områdene langs hele foten av overbygget i tilfelle vannrenna blir fylt av skredsnø og vannet tar andre retninger.



Figur 7.8.7—1 — Eksempel på skredoverbygg hvor vannet er ført over taket i en vannrenne. Området nedenfor vannrenna er erosjonssikret. Årsnesfonna, fv. 5912 Hjørundfjorden, Sunnmøre. Foto: Harald 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 utformes og dimensjoneres 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 drensveg over taket i tilfelle skredsnø tetter det opprinnelige drenssystemet.

Referanser

- [1] Statens vegvesen: [Vegnormal N200 Vegbygging](#)
- [2] NVE (2020) [Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng](#).
- [3] NVE (2023) [Sikringshåndboka](#)
- [4] NVE (2015) [Systematiske snødekkeundersøkelser](#). NVE Faktaark 1/2015.
- [5] Statens vegvesen: [Veiledning N-V139 Flom- og sørpeskred](#)
- [6] Bakkehøi, S. (1987) *Snow avalanche prediction using a probalistic method*. Int. Assoc. Of Hydrological Sciences. No. 162. Ed. Salm, B og Gubler, H
- [7] Statens vegvesen: [Veiledning N-V137 Veger og drivsnø](#)
- [8] Mellor, M. (1965) *Drifting snow*. DA Project IV 025001A130; Cold Regions Res. and Eng. Lab., Hannover, USA
- [9] McClung, D. og Schaerer, P. (2006) *The Avalanche Handbook*. The Mountaineers, Seattle.
- [10] Dyrørdal, A.V., Bakke, S.J., Hanssen-Bauer, I., Mayer, S., Nilsen, I.B., Nilsen, J.E.Ø., Paasche, Ø., Saloranta, T., Årthun, M. [redaktører] (2025) [Klima i Norge - kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2025](#), NCCS-rapport 1/2025, doi:[10.60839/4rqg-nn84](#).
- [11] Vormoor et al. (2016) *Evidence for changes in the magnitude and frequency of observed rainfall vs. snowmelt driven floods in Norway*.
- [12] Jaedicke, C., Solheim, A., Blikra, L. H., Stalsberg, K., Sorteberg, A., Aaheim, A., Kronholm, K., Vikhamar-Schuler, D., Isaksen, K., Sletten, K., Kristensen, K., Barstad, I., Melchiorre, C., Høydal, Ø. A., and Mestl, H. (2008) *Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 893–904.
- [13] NGI (2015) *Skog og skred, forslag til kriterier for verneskog mot skred*. I NVE Rapport 2015/92 Oppsummeringsrapport for skog og skredprosjektet: samanstilling av rapportar frå prosjektet.
- [14] Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO). *Kart over skogressurser*. [Kart over skogressurser - Nibio](#)
- [15] Lied, K. og Kristensen, K. (2003) *Snøskred. Håndboken om snøskred*. Forlaget Vett og Viten.
- [16] NGI (2014) *Skred. Skredfare og sikringstiltak - praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*. Universitetsforlaget.
- [17] Gabl, K og Lackinger, B. (1986) *Lawinenhandbuch*. Tyrolia Verlag, Innsbruck.
- [18] Salm, B., Burkard, A. og Gubler, H. (1990) *Berechnung von Fliesslawinen*. Mitteilungen EISLF No 47, Davos
- [19] Gubler, H (1987) *Measurements and modelling of snow avalanche speeds*. Proc. of Avalanche Formation, Movements and Effects. IAHS Publication 162, pp 405-420
- [20] Norem, H (1992) *Simulation of snow avalanche flow by a continuum granular model*. NGI-report 581200-26, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo
- [21] Voellmy (1955) *Über die Zerstörungskraft von Lawinen*; Schweiz. Bauzeitung. 73(12) 159-162; (15) 212-217; (19) 280-285
- [22] Perla, R, Cheng, T. og McClung, D. (1980) *A Two-parameter Model of Snow Avalanche Motion*. Journ. of Glaciology, 26 (94)

- [23] 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
- [24] Norem, H, Irgens, F og Schielderop, B. (1989) *Simulation of snow avalanche in run-out zones*. Annals of Glaciology, No 13
- [25] 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
- [26] Bakkehøi, S, Domaas, U, og Lied, K. (1983). *Calculation of snow avalanche runout distances*. Annals of Glaciology, Vol 4, pp 24-29.
- [27] Håland, G., Orset, K.I., Frekhaug, M.H. og Norem, H. (2015) *Sammenligning av modelleringsverktøy for norske snøskred*. NVE-rapport nr 107-2015
- [28] 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
- [29] 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
- [30] 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.
- [31] 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
- [32] Margreth, S (2004) *Snow pressure on cableway masts: Analysis of damages and design approach*. Proceedings of the 2004 International Snow Science Workshop, Jackson Hole Wyoming.
- [33] Margreth S., (2007) *Defense structures in avalanche starting zones. Technical guideline as an aid to enforcement*. Environment in Practice no. 0704. Federal Office for the Environment, Bern; WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos. 134 pp.
- [34] Johannesson, T. et al. (2009) *The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments*.
- [35] Norem, H (1990) *Forslag til beregning av dimensjonerende snøskredlast mot konstruksjoner*. NGI-rapport 581200-16, Norges geotekniske institutt, Oslo
- [36] Norem, H. (1991) *Estimating snow avalanche impact pressures on towers*. Ass. Nationale pour l'étude de la Neige et des Avalanches, Symposium de Chamonix
- [37] Larsen, J.O. (1989) *Snow-Creep Pressure on Masts*; Annals of Glaciology 13. Int. Glaciological Society
- [38] Larsen, J.O. (2000) *Design criteria for cylindrical masts exposed to snow creeping forces*. Proc. of the fourth Int. Conf. on Snow Engineering, Trondheim. A. A. Balkema
- [39] 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
- [40] Statens vegvesen: [Vegnormal N500 Vegtunneler](#)
- [41] EAWS (2023) [Stedsspesifikk skredvarsling. Definisjoner og anbefalinger.](#)
- [42] NVE (2025) [Veileder stedsspesifikk snøskredvarsling.](#)

- [43] Statens vegvesen: [Vegnorsmal N303 Trafikksignalanlegg](#)
- [44] Forskrift om generelle tillatelser til bruk av frekvenser. [Fribruksforskriften](#). FOR-2012-01-19-77.
- [45] Skrede, I., Kristensen, L., Rivolta, C. (2016) *Use of ground based radar (InSAR) to monitor glide avalanches*. Proceedings of International Snow Science Workshop, Breckenridge, Co, U.S.A., October 3-7, 2016.
- [46] Statens vegvesen (2021). SVV rapport 717 [Deteksjon av snøskred ved hjelp av infralyd](#).
- [47] Statens vegvesen (2020). SVV rapport 623 [Forebyggende snøskredkontroll. Erfaringsrapport fra RESPONS-prosjektet](#).
- [48] Tveit, J. og Farestveit, N., (2023) [Avalanche control on Norwegian highways](#). Proceedings International Snow Science Workshop, Bend, Orgegon 2023.
- [49] Forskrift om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff samt utstyr og anlegg som benyttes ved håndteringen. [Forskrift om håndtering av farlig stoff](#). FOR-2009-06-08-602
- [50] Forskrift om sivil håndtering av eksplosjonsfarlige stoffer. [Eksplosivforskriften](#). FOR-2017-06-15-844.
- [51] [Forskrift om landtransport av farlig gods](#). FOR-2009-04-01-384
- [52] Statens vegvesen: [Veiledning N-V220 Geoteknikk i vegbygging](#).
- [53] Johannesson, T. og Hákonardottir, 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.
- [54] Hákonardottir, K.M. (2004) *The interaction between snow avalanches and dams* Ph.D. University of Bristol, School of mathematics.
- [55] Brateng, L.E. (2005) *Laboratorieforsøk for utforming av terrengtiltak mot snøskred* M.Sc. Inst for Bygg, anlegg og transport, NTNU, Trondheim
- [56] Statens vegvesen: [Veiledning N-V240 Vannhåndtering](#)
- [57] Statens vegvesen: [Vegnorsmal N400 Bruprosjektering](#)
- [58] Simonsen A. (2002) *Luftstrøming over vindvoller*.
- [59] Margreth, S. (2015) *Basics for the design of snow drift measures*. Davos: WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF.
- [60] Rudolf-Miklau, F. og Sauermoser, S., (2014) *The Technical Avalanche Protection Handbook*.
- [61] Statens vegvesen (2011). VD rapport 32 [Sikring av veger mot steinskred. Grunnlag for veiledning](#)

