

Oddbjørn Bruland, Bjørn Frengstad mfl

# Innspel til Flaum- og Skredmeldinga

Trondheim 03.11.2023

NTNU  
Noregs teknisk-naturvitskaplege  
universitet  
Fakultet for Ingeniørvitskap



# Innspel flaum- og skredmeldinga

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet  
Fakultet for Ingeniørvitskap

## Samandrag

**Ingeniørkompetanse er og vil vere sentralt i arbeidet med flaum- og skredutfordringar. Det er eit stort gap mellom behovet for og tilgangen til denne kompetansen lokalt der utfordringane er størst og det vil bli ei svært stor utfordring og dekke dette behovet i framtida. Det må utdannast og etterutdannast fleire med den rette kompetansen og det må tilsettast fleire lokalt som kan handtere utfordringane.**

Utfordringane er tverrfaglege og ingeniørane må utdannast med tilstrekkeleg grunnlag både innan hydrologi, hydraulikk, geoteknikk og geologi. Dei må samtidig forstå problemstillingane i eit samfunnsøkonomisk perspektiv og forstå miljøproblematikk og kunne kommunisere med ulike aktørar.

NTNU dekkjer alle relevante fagområde og må ta, og få styrka, hovudansvar for å utdanne ledande ingeniørar til dette feltet.

Utdanninga må vere forskingsbasert og NTNU må få tilstrekkeleg ressursar til å utvikle betre metodar for alt frå kartlegging, arealplanlegging, sikring, overvaking/varsling til krisehandtering og formidling.

Der er framleis store kunnskapshol både i forhold til flaum og skred som krev styrka FoU-innsats og infrastruktur for FoU. Spesielt i grensesjiktet mellom fagområde og i forhold til heilheitstenking, kommunikasjon og samfunnsøkonomisk optimalisering er der stor trong for styrking av FoU innsatsen. NTNU har forutsetningane og må få/ta eit nasjonalt ansvar for å fylle desse kunnskapshola.

I tillegg til Oddbjørn Bruland og Bjørn Frengstad har følgjande fagpersonar ved NTNU har bidrege til denne rapporten:

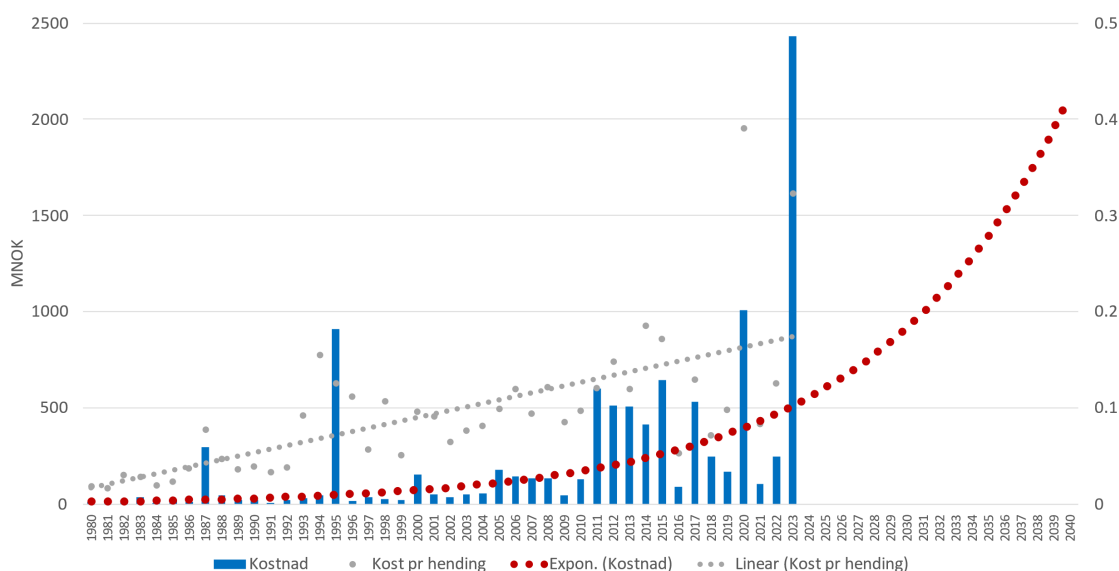
Gudmund Eiksund, Maarten Felix, Ola Fredin, Reginald Hermanns, Kristin Holmøy, Per Terje Osmundsen, Jan Ketil Rød, Sveinung Sægrov

## Innhald

<b>Samandrag</b> .....	1
<b>1 Innleiing</b> .....	3
<b>2 Kartlegging</b> .....	4
2.1 Kartlegging for flaumfare .....	5
2.2 Kartlegging for skredfare .....	6
2.2.1 Kvikkleireskred.....	7
2.2.2 Jord- og Flaumskred.....	7
2.2.3 Fjellskred og Steinsprang .....	8
2.3 Kartlegging og NTNU si rolle .....	8
2.4 Arealplanlegging.....	9
2.4.1 Arealplanlegging og NTNU si rolle .....	10
<b>3 Sikring</b> .....	10
3.1 Sikring mot flaum.....	10
3.1.1 Miljø i og langs vassdraget .....	11
3.1.2 Erosjon, massetransport og sedimentering i vassdraget .....	11
3.1.3 Reguleringsmagasin og flaumtunnelar.....	11
3.2 Sikring mot skred.....	12
3.3 Sikring og NTNU si rolle .....	12
<b>4 Overvaking/varsling</b> .....	13
4.1 Overvaking mot flaum .....	14
4.2 Overvaking mot skred .....	14
4.3 Overvaking og NTNU si rolle .....	14
<b>5 Krisehandtering</b> .....	15
5.1 Krisehandtering og NTNU si rolle .....	15
<b>6 Forsking/Formidling</b> .....	15

# 1 Innleiing

Flaum og skredhendingar er livstruande og kostbart. Klimaendringane har ført til at omfanget aukar og denne trenden vil halde fram. Gjerdrumskredet i årsskifte 2022-2023 kosta 10 liv og ekstremhendinga «Hans» hausten 2023 medfører åleine kostnader over 2.5 Milliardar kroner. Trenden som er basert på data frå Norsk Naturskadepool tyder på at kostnadane har auka og truleg vil auke eksponentielt med åra som resultat av både fleire og dyrare hendingar (Figur 1).



Figur 1 Kostnader for flaum og skred hendingar (NASK)

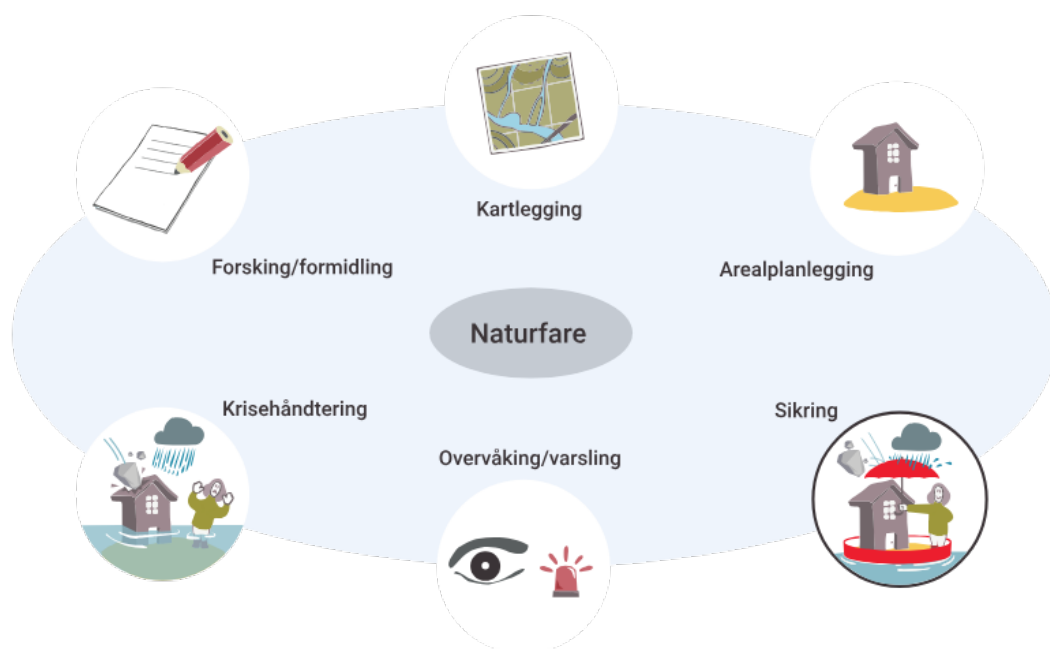
Å motvirke denne trenden og å redusere risiko knytt til flaum og skred krev mange tiltak og store investeringar. Skal dette få samfunnsaksept og vere mogleg innafor gjevne økonomiske rammer, må ein finne dei samfunnsoptimale løysingane. Løysingane med best kost/nytte som samstundes er berekraftige med tanke på miljø og andre samfunnsinteresser. Dette krev heilheitleg tankegang og vanskelege prioriteringar.

I dette arbeidet vil ingeniør- og samfunnplanleggingskompetanse vere sentralt. Det er ingeniørar som skal planlegge, dimensjonere det bygde miljø og bygge infrastruktur som veg, bane og vatn- og avløps (VA)-anlegg og utvikle nye, innovative robuste løysingar som taklar eit framtidig klima. Ingeniørar som har kompetanse innan grunnleggjande fag som hydrologi og hydraulikk, geoteknikk og geologi, bygg- og konstruksjonslære, og geomatikk/GIS. Samstundes må dei evne å sjå konsekvensar og tiltak i eit heilheitleg og samfunnsøkonomisk perspektiv og kunne kommunisere dette med interessentar og samarbeidspartnarar.

Dette er kompetanse som NTNU er bygd for å utvikle og utdanne. NTNU er Noregs viktigaste institusjon for utdanning av ingeniørar og dekkar alle ingeniørfag som er viktige i dette arbeidet, samstundes som NTNU også dekkar samfunnsplanlegging, økonomi, miljø og humaniora fag som er viktige fag for å forstå heilheita, kunne kommunisere og få samfunnsaksept.

NTNU må ta og må ha ressursar til å ta hovudansvaret og styrke innsatsen på utvikling av meir og enno betre spisskompetanse på dette området. Den spisskompetansen som skal lede utviklinga og bidra til at også andre institusjonar i Norge har grunnlaget for og kan utdanne relevante kandidatar. Dette betyr at NTNU må sikrast langsiktige løyvingar til både utdanning og FoU for førebygging og handtering av flaum- og skredfare.

I denne tilbakemeldinga vil vi gå nærare inn på kva NTNU meiner trengst innafor kvar av områda framheva i sikringshandboka til NVE samt kva NTNU kan bidra med innan desse områda.



Figur 2 NVE sin heilheitleg forvaltningsmodell for skred- og flaumskadeførebygging

## 2 Kartlegging

For å forstå omfanget av farane flaum og skred utset oss for, er kartlegging grunnleggande. Kartlegging vil vere fundamentalt for å forstå dei naturlege (dvs. geologiske) prosessane som utløyser flaum- og skredhendingar. Utan tilstrekkeleg grunnlagsdata vil det ikkje vere mogleg å optimalisere kva tiltak som skal gjennomførast og dimensjonering av kvart enkelt tiltak. Ein vil ikkje ha statistisk grunnlag til å vurdere kost/nytte effekten av innsatsfaktorane i langsiktige prioriteringar og vil styre i blinde. Moderne matematiske (deterministiske) modellar som viser områder med stor geofare, eller varslar farlege hendingar i fortid treng gode inngangsdata. Difor er kartlegging grunnleggande for sikringsarbeidet.

For å forstå det totale omfanget av utfordringa er det viktig også å kartlegge dei totale kostnadane knytt til hendingane og ikkje berre dei registrert gjennom forsikringsselskap.

Dreneringsområde bør kartleggast og analyserast i forhold til vassføring, erosjon, skredhendingar og svakheitssoner i fjell. Under marin grense bør det etablerast betre kartleggingsrutinar for kvikkleire. Kystsonemorfologi må kartleggast med tanke på endring i havnivå og sedimenttilførsel frå oppstrøms dreneringsareal. Lidar- og InSar-data, samt data frå kartlegging i felt med digitale verktøy bør samlast i ein kartdatabase med tematiske lag. Denne databasen vil danne grunnlag for vidare kunnskapsutvikling, retta mot prediksjon og tiltaksanalyse.

NVE har utført flaumsonekartlegging for over 150 elvestrekningar, men har prioritert dei store vassdraga i nærleiken av eksisterande bebyggelse. Per januar 2023 er det tilgjengeleg kart over flaumfare i 138 av 356 kommunar i Norge. Flaumsona med gjentakingsintervall 200 år er den flaumsona som er oftast kartlagt (kartlagt for 127 kommunar). At det er i underkant 40 % av kommunane som har noko flaumsonekartlagt, betyr at det for mange kommunar vil vere vanskeleg å vurdere flaumfare i samsvar med TEK17. Ifølge berekningar gjort ved NTNU basert på FKB-Bygning og i dei områda som er kartlagt for flaumfare, finst det i Norge i dag likevel 7553 bygg i sikkerheitsklasse F1 som vil kunne påverkast av en 20-årsflaum, 14 593 bygg som vil kunne påverkast av en 200-årsflaum og 209 bygg i sikkerheitsklasse F3 som vil kunne påverkast av en 1000-årsflaum. Dette kan være gamle bygg som er ført opp før forskrifta trådte i kraft, eller bygg som er oppført på ein måte slik at dei likevel ikkje vil få vesentlege skader ved ein eventuell flaum.

## 2.1 Kartlegging for flaumfare

Vassføringsdata og meteorologiske observasjonar er grunnleggande for å kunne forklare og predikere korleis vassdrag oppfører seg og vil respondere på ekstreme hendingar. Norge er dominert av bratte små vassdrag, men har svært få observasjonar av vassføring i slike. Ekstreme episodar i små vassdrag utviklar seg svært raskt og er resultat av lokale styrtregn. Det er generelt for lite kunnskap om kor desse oppstår, kvifor og kor ekstreme dei vil bli. Sjølv om slike hendingar er lokale blir dei ofte svært kostbare (jmf flaumen i Utvik 2017 som dekkar 0.04% av arealet av «Hans», men kosta samfunnet nærare 10% av det «Hans» ser ut til å ville koste).

Detaljert kartlegging av kapasitetar i overvatn- og avløpsnett er avgjerande for å føreseie kor ein vil få utfordringar knytt til intense nedbørsepisodar i urbane områder. Mange kommunar har ikkje god nok kontroll på mykje av sin infrastruktur og det er behov for kartlegging og digitalisering av denne. Flaumvegar i urbane og bygde områder blir ofte påverka av menneskelege inngrep, bygningar og annan infrastruktur. Ein liten fortauskant kan til dømes lede vassmengdene i andre retningar enn ein ville forvente. Detaljerte kart med høg presisjon på terrengnivå gjev godt grunnlag for detaljert kartlegging av flaumvegar i urbane områder. Dette krev detaljerte hydrauliske simuleringar og når det i tillegg må vurderast konsekvensar av erosjon og deponering av grus, rusk og rask i og langs flaumvegane krev dette ingeniørkompetanse og erfaring.

I dei større nedslagsfelta og større vassdraga skjer responsen seinare og her er det betre dekning av vassføringsobservasjonar, men også her trengs fleire meteorologiske stasjonar og spesielt i fjellområda.

Utvikling av varslingsmodellar og berekning av dimensjonerande vassføringar avheng av vassføringsdata og/eller meteorologiske data. Desto større avstand det er til slike observasjonar desto meir usikre blir berekningane. For små dimensjonar betyr for store kostnader i vedlikehald og skadeutbetring. For store dimensjonar betyr sløsing av ressursar. Eit feil varsel betyr grunnlaus evakuering, og manglande varsel betyr unødig fare og skadar. Det er viktig å ha tett nok observasjonsnett av korttidsnedbør og vassføringar i både små og store vassdrag for å kunne optimalisere dimensjonar på bruer, kulvertar og overvassanlegg og kunne opprette og oppdatere lokale varslingsmodellar. Det er viktig å ha oversikt over kva oppstrøms forhold som kan gje nedstrøms konsekvens. Kartlegging av slike kritiske punkt vil vere utgangpunkt for kostnadsoptimalisert tiltaks prioritering.

Detaljert lokal varsling og lokale observasjonar vil bli for omfattande å opprette og drifte på nasjonalt nivå. Det må etablerast lokale ressursar i kommunar, i samarbeid mellom kommunar, eller i samarbeid med lokale tenesteytarar som kan etablere og drifte lokale observasjonar og varslingsmodellar. NTNU må ha kompetanse og kapasitet til å utdanne ingeniørar til dette føremålet.

## 2.2 Kartlegging for skredfare

Kartlegging gjev grunnlaget for alt arbeidet som kjem seinare. Gode geologiske grunnlagskart med avleidde temakart i digital versjon må holdast oppdaterte. I den internasjonale litteraturen og erfaringsgrunnlaget byrjar statistiske, matematiske og fysiske modellar å bli gode og kan føreseie kor det kan oppstå skredfare. Satellittovervaking av landskapet er og med på å varsle og forebygge geofarar. Fram til nyleg var disse metodane svært krevjande, men med rask utvikling av datakraft og kunstig intelligens byrjar desse metodane å bli praktisk brukbare for å modellere og varsle skredfare.

Den hovudsaklege problematikken i Noreg er at vi bor i eit stort land med relativt liten befolkning, som betyr at detaljert geologisk kartlegging historisk ikkje har vore prioritert. Utan detaljert geologisk kartgrunnlag, som viser for eksempel berggrunnens og lausmassane sine eigenskapar, er det umogleg å bruke moderne datamodellar for å vurdere skredfare. Den metodiske utviklinga går med andre ord raskt internasjonalt, men for å bli med i denne utviklinga treng Noreg betre geologiske, ingeniørgeologiske og geotekniske databasar. Her har NTNU ein viktig rolle å spele ved å utdanne neste generasjon geologar, ingeniørgeologar og geoteknikarar som kan være med å kartlegge Noreg effektivt. Det er og heilt tydeleg at vi må utvikle ny metodikk som gjer geologisk kartlegging langt billigare og raskare. I staden for å bruke store ressursar på kostbar og tidskrevande rekognosering og prøvetaking i felt, kan vi bruke flyborne sensorar frå dronar, geofysiske metodar og kunstig intelligens. Disse metodane kan aldri heilt erstatte god feltkartlegging, men kan få den langt meir effektiv.

### 2.2.1 Kvikkleireskred

Klimaendringane vil føre til meir nedbør og auka vassføring i bekkar og vassdrag. Auka vassføring fører til risiko for utløyning av skred pga erosjon og slike skred kan bli utløyst i områder med kvikkleire, som td. Gjerdrumskredet. I «NOU 2022: 3 På trygg grunn, betre håndtering av kvikkleirerisiko» er det foreslått ei rekkje tiltak for å redusere både risiko for og konsekvens av kvikkleireskred.

Frå NOU rapporten:

*“Utvalget anbefaler at forskningen på kvikkleirerelaterte tema styrkes gjennom et tematisk forskningsprogram for kvikkleire. Programmet bør omfatte både grunnleggende og anvendt teknisk/naturvitenskapelig samt forvaltningsrettet (samfunnsfaglig) forskning med vekt på blant annet:*

- *Hvordan effektivt identifisere kvikkleire i bakken for bedre og mer effektiv kvikkleirekartlegging.*
- *Hvordan overvåke erosjon og uønskede terrengendringer fra lufta og derved identifisere risiko for kvikkleireskred ved utvikling og bruk av mer effektiv og sikker teknologi.*
- *Hvordan hensyn til risiko for kvikkleireskred kan inkluderes bedre i regional- og kommunalplanlegging, trasévalg for infrastruktur, og beslutningsprosesser.*
- *Hvordan forbedre aktørenes og befolkningens kunnskap og styrke samhandling slik at risiko forårsaket av kunnskapsmangel eller uklare ansvarsforhold ikke fører til skredhendelser.”*

### 2.2.2 Jord- og Flaumskred

Vatn er ei viktig utløysande årsak for både jord- og flaumskred. Dermed er dette ein problemstilling som involverer både geologisk, geoteknisk, hydrologisk og hydraulisk kunnskap i lag med den ingeniørkunnskapen ein treng for å utforme og dimensjonere tiltak som skal motvirke og verne mot slike naturfarar. For betre å føreseie faren for og konsekvensane av jord og flaumskred trengs meir kunnskap (FoU) om kvar og korleis hydrologien og hydrogeologien påverkar faren og korleis hydromorfologiske og hydrauliske prosessar samspelar og påverkar, korleis jord- og flaum skred utviklar seg og kva krefter dei påfører omgjevnadane. Å kjenne desse samhengane er grunnleggande for å kartlegge kvar farane er størst og kva konsekvensar desse kan få.

Desse skreda kan gå etter langvarig nedbør og/eller snøsmelting der grunnvassmagasina er fulle, poretrykket høgt og der ytterlegare nedbør ikkje kan absorberast av grunnen. Då vil lausmassane mettast med vann, friksjonen i jordarten minskar og lausmassane skli ned for skråninga i ein valdsam bevegelse som kan ramme folk og infrastruktur. Dette såg vi sist under uveret “Hans” i august 2023 kor hundrevis av større og mindre jord- og flaumskred vart løyst ut i sentrale Norge. Infrastruktur blei skadd under “Hans” av jord- og flaumskred, men god meteorologisk varsling sørge før at folk ble evakuert.

Kraftig nedbør etter langvarig tørke kan ha same effekt ved at vatnet ikkje trengjer ned i grunnen pga overflatespenningar. Dette fenomenet er lite kjend i



Noreg, men kan observerast når ein forsøker å gje vatn til ei utttørka potteplante.

Betre forståing og førebygging av jord- og flaumskred bygger på same prinsippa som flaum- og generell skredførebygging. Lokalt og regionalt datagrunnlag på vassføring og meteorologi er viktig, saman med god geologisk forståing og kartgrunnlag. Alle desse datagrunnlaga er viktige for at varsling og modellering av jordskredsutløp skal være nøyaktig.

### **2.2.3 Fjellskred og Steinsprang**

Fjellskredfaren i Noreg er reell med katastrofale fjellskred i Loen og Tafjord tidleg på 1900-talet. Her ligg Noreg langt framme i forskning og overvaking og har utvikla ein kartleggingstilnærming og eit fare- og risikoklassifiseringssystem som i dag er kopiert av mange andre land. Professorar frå NTNU med meir enn 100 publikasjonar i internasjonale tidskrift er med i fronten av den internasjonale forskinga. Ei rekke NTNU-studentar har bidratt direkte til kartlegging og forskning gjennom mastergrads- og doktorgradsarbeid. Resultata er brukt under fare og risikoklassifisering. Over 700 ustabile fjellsider er identifisert i Noreg, kor 10 fjellsider potensielt truer med å rase med høgt sannsyn dei neste 1000 åra med enorme konsekvensar for samfunnet. Desse områda overvakast kontinuerleg frå satellitt og med avansert lokalt måleutstyr. Der er framleis utfordringar ved desse systema, men eit særskild grundig arbeid er gjort med fjellskredfaren. Dette må vidareførast.

Steinsprang, kor enkeltblokka frå fjell fell ned ei bratt fjellside, kan og true menneskeliv og infrastruktur. Skadane frå steinsprang er ofte avgrensa, men enkelte katastrofale hendingar kan skje. Steinsprang førekjem hyppig og er Noregs vanlegaste skredfare, særleg om våren og hausten. Noreg har tusenvis kilometer med bratte fjellkantar som kan være steinsprangfarlege. Desse er nesten umogleg å overvaka, men risikoen kan minimerast ved betre strukturgeologisk forståing av berggrunnen kople til automatisk detektering, ved kunstig intelligens, av skredfarlege blokker kor dronfoto og LiDAR nyttast som grunnlag.

## **2.3 Kartlegging og NTNU si rolle**

Det er stort behov for betre lokalt datagrunnlag både på vassføring og meteorologi. Spesielt gjeld dette for lokale hendingar og i bratte vassdrag. Lausmassekarta (kvartærgeologiske kart) i målestokk 1:50000 dekker berre ein brøkdel av landet og mange plassar er det behov for kart med betre detaljeringsgrad. Ein må auke kompetansen på feltkartlegging med bruk av bilete og video frå droner i områder som er vanskeleg tilgjengeleg. Studentane må og få opplæring i andre nye verktøy som LiDAR og InSAR og desse verktøya må nyttiggjerast meir.

Regional planlegging og prediksjon krev imidlertid kartlegging og kunnskapsbygging rundt dei større systema som styrer vassføring, skred og sedimenttransport. Eit slikt arbeid kan gjennomførast med hjelp av master- og PhD-studentar, som dermed også vert utdanna med kompetanse som gjer samfunnet betre rusta mot geofarar i framtida. Her må det samarbeidast tett

med NVE og NGU slik at kunnskapen vert gjort tilgjengeleg i databasar og karttenester.

Detaljert lokal varslings og lokale observasjonar vil bli for omfattande å opprette og drifte på nasjonalt nivå. Det må etablerast lokale ressursar i kommunar, i samarbeid mellom kommunar, eller i samarbeid med lokale tenesteytarar som kan etablere og drifte lokale observasjonar og varslingsmodellar. NTNU må ha kompetanse og kapasitet til å utdanne ingeniørar til dette føremålet.

## 2.4 Arealplanlegging

Arealplanlegging er grunnleggande for å ha trygge nok bu- og virkeområder og sikker nok infrastruktur. Arealplanlegging må ta omsyn til både naturlege tilhøve og bygde miljø. Kva kriterium som skal leggjast til grunn for kva som er sikkert nok vil variere frå situasjon til situasjon og krev omfattande tverrfagleg kompetanse. Ulike kriterium må gjelde for etablert bygd miljø og for nye etableringar. Skal vi handtere utfordringane og risiko på grunn av flaum og skred innafor akseptable kostnadsrammer og med samfunnsaksept krev det innovative og fleksible tilnærmingar.

For rigid bruk av fare- og aktsomheitsområde hindrar lokal utvikling, medan det motsette medfører unødige reparasjonskostnader og fare. Kost/nytte vurderingar og samfunnsøkonomisk optimalisering vil kunne finne ein best mogleg balanse mellom kva og korleis område kan takast i bruk og kva område som ikkje skal utviklast og evt fråflyttast. Under rette forutsetningar kan ein til dømes akseptere at hus blir bygd i flaumsoner så lenge dette er eit av kriteria tekne med i planlegginga og risikobildet for å bu der. Dette krev at ein har god kontroll på risikobildet, at forutsetningane er kjende og at infrastrukturen/det bygde miljøet er dimensjonert for å tole lasta eller feile kontrollert.

Areal- og reguleringsplanar og tiltaksplanar for eksisterande og nye område og infrastruktur må ha eit langsiktig og heilheitleg perspektiv. Planane må inkludere vurderingar av korleis eksisterande og ny infrastruktur påverkar faren for og konsekvensane av flaum og skred og samfunnsøkonomiske vurderingar av korleis desse kan reduserast gjennom utforming/plassering av tiltaket. Samt korleis slike «felles nytteløysingar» kan finansierast.

Suboptimalisering innanfor enkelte sektorar må unngåast. Til dømes må prinsippet om bygging av billigast mogleg meter veg som ofte vil vere bygging på elvesletter og langs vassdrag, vurderast opp mot samfunnsøkonomiske potensiell konsekvensar dette har ved flaum. For å unngå suboptimale løysingar og for kome fram til optimale samfunnsøkonomiske løysingar er det viktig at **det overordna ansvaret for planlegging for og sikring mot flaum og skred vert definert** og at denne myndigheita kan skjere igjennom offentlege og private interesser, vedta og sikre at samfunnsøkonomisk gode flaum og skred tiltak blir finansiert og gjennomført.

Det er bra dekning av flaumsonekart i større vassdrag. Derimot er det lite kunnskap om fare for erosjon og faren som kombinasjonen av vassdjup og vasshastigheit medfører. Kunnskapsnivået her er for dårleg og treng styrkast for

å kunne optimalisere bruk av areal i forhold til desse farane. Dette er kombinert kunnskap av hydrologi og hydraulikk samt om verknad av krefter på strukturar.

Arealplanlegging vil og involvere strategisk bruk av areal for å dempe konsekvensane av ekstreme hendingar. Det vil i nokre tilfelle vere samfunnsøkonomisk lønsamt å tillate at område og infrastruktur blir skada/øydelt for å verne/ta vare på meir kritisk infrastruktur/bygd miljø/område. Dette krev god kunnskap om korleis vassdrag oppfører seg, effektar og kva verdiar som blir eksponert.

#### **2.4.1 Arealplanlegging og NTNU si rolle**

NTNU må oppretthalde/få styrka sin kompetanse og kapasitet til å utdanne planleggarar innan veg, bane, vann- og avløp og innan Vassdragsteknikk. Det er og viktig at dei som skal planlegge er merksame på kva som finst i undergrunnen. Ei forståing av dei geologiske prosessane som dannar landskapet er naudsynt for å unngå at det vert bygd på skredvifter eller område der kvikkleireskred kan løysast ut.

Utdanninga skal vere forskingsbasert og det trengst meir forskning for å finne metodar for å identifisere kritiske område og å kunne føreseie nedstrøms konsekvensar. Det trengs meir forskning på korleis finne samfunnsøkonomisk optimal utnytting av areal kombinert med tiltak som vernar nedstrøms område. Det trengs meir forskning for å finne metodar for beste kombinasjonen av oppstrøms tiltak for nedstrøms sikring og kostnadsfordeling.

Det trengs infrastruktur for forskning på spesielt korleis bratte elvar oppfører seg for å kunne identifisere område som vil bli utsett. Det trengs infrastruktur for forskning på lokale hendingar og korleis ein kan føreseie desse og konsekvensane av dei.

## **3 Sikring**

Sikring vil i mange tilfelle vere samfunnsøkonomisk lønsamt. Men kva skal ein sikre seg mot? Før ein kjenner kreftene frå eller størrelsane av det ein skal sikre seg mot vil ein ikkje vere i stand til å optimalisere kva som skal sikrast, mot kva og med kva. Det grunnleggande for alt sikringsarbeid er difor å kjenne omfanget og kreftene som utspelar seg ved ulike scenario.

### **3.1 Sikring mot flaum**

Sikring mot flaum kan vere sikring mot overfløyning, mot erosjon eller mot begge deler. Tradisjonelt har flaumvollar og kanalisering av elvar blitt brukt som tiltak med einseitig fokus på å hindre overfløyning. Desse har vore fokusert på å hindre vatnet å trenge inn i kritiske område og har hatt lite fokus på kva effektar dei har skapt i forhold til miljø i og langs vassdraget.

Sikring mot flaum må også inkludere vurderingar av kva område/bygg/infrastruktur ein ved ulike scenario kan ta i bruk og eventuelt for å redusere konsekvensane. I dag omfattar sikringstiltak elva og elvebredder.

Sikring må i større grad omfatte tiltak i dei områda som kan bli eksponert og byggast opp med

- primærsikring bygd inn i elva og elvebreddene som tek omsyn til både miljø og risiko knytt til vassdraget
- sekundærsikring bygd inn i grunnen langs potensielle flaumvegar langs vassdrag og på elvesletter eller som på andre måtar sikrar mot nedstraums skader. Eksempel på dette kan vere flaumsikring under grunnen som tillèt kontrollert erosjon av området for å gje elva betre plass medan det sikrar områder bak mot vidare erosjon.
- tertiærsikring som omfattar tiltak i eller på infrastruktur og bygningar som gjer at desse enten toler overfløyming eller vasskrefter utan uføresette skader eller kostnader, eller kontrollert ofrast for å kontrollere nedstraums skadeomfang av flaumen. Eksempel på dette kan vere å planlegge delar av veggen som skal kunne eroderast bort for å lede vatnet i trygg retning nedstraums.

Denne form for sikring krev betre kunnskap om flaumvegar og kva som vil skje i desse og korleis spesielt bratte vassdrag oppfører seg. Det krev meir kunnskap og innovative løysingar for kva tiltak som kan gjennomførast og korleis desse må utformast for å sikre på denne måten.

### **3.1.1 Miljø i og langs vassdraget**

Vassdrag er viktige naturelement både for dei som lever i vassdraga og dei som lever langs vassdraga. Alle tiltak i vassdrag må vurderast i eit heilheitsperspektiv og utformast med omsyn til alle forhold og med fokus på å finne synergjar og redusere konflikhtar. Det trengs meir FoU på korleis oppnå slike løysingar som skaper synergieffektar med miljø i og langs vassdraget, effektiv arealutnytting og samtidig oppnå god sikring mot overfløyming. Dette krev kombinert kompetanse og samspel mellom kompetansar innan hydraulisk modellering, på miljø i og langs vassdraga og på samfunnsøkonomi.

### **3.1.2 Erosjon, massetransport og sedimentering i vassdraget**

Sikring mot erosjon, kombinasjonen høg vasstand og høg hastigheit og massetransport og massedeponering er område der ein manglar kunnskap og metodar til å kunne føreseie og førebygge konsekvensar. Dette krev avansert hydraulikk-kompetanse og metodeutvikling. Dette er viktig for å gjere tiltak spesielt i bratte vassdrag.

Grunne marine miljø i kystsona er mottakarar for store mengder sediment som føres med vassdraga i periodar med flaum. I eit miljøperspektiv vil det vere viktig å evaluere kva slag effektar auka nedbørsmengder og høgare havnivå vil ha i denne viktige sona i framtida. Auka sedimentlaster vil og kunne føre til skred som startar i strandsona.

### **3.1.3 Reguleringsmagasin og flaumtunnelar**

Sikring mot flaum omfattar også bruk av andre verkemiddel som kan ta bort flaumtoppane. Bruk av eksisterande reguleringsmagasin og etablering av nye der dette er formålstenleg er effektive tiltak for å redusere konsekvensen av

ekstreme vær hendingar. Reguleringsregulativ må vere situasjonsavhengig og sjåast i samanheng med effekten på flaumdemping. Incentivordningar for regulanten som går inn i driftsoptimaliseringa av kraftverk bør vurderast for at desse anlegga skal aktivt forhindre store og små flaumskadar. Regulativet for magasin i små kraftverk bør vurderast der ein kombinasjon med magasin også kan ha stor flaumdempande effekt. Dette vil også bidra til meir fornybar energi, men i slike tilfelle bør flaumdempinga leggest størst vekt på og ikkje vere vikarierende motiv for å auke kraftproduksjonen.

Flaumtunnelar er eit anna tiltak som i mange samanhengar kan vere effektivt. Der dette er mogleg bør kombinasjonen med kraftproduksjon vurderast for å gjere tiltaket økonomisk gjennomførleg, men under sama føresetnader som for kombinasjon mellom magasin for flaumdemping og kraftproduksjon. Kor lite av vatnet treng ein utnytte til kraftproduksjon for å finansiere heile eller delar av tiltaket?

Den totale samfunnsøkonomiske gevinsten som inkluderer miljø- og andre samfunnskostnadar og gevinstar må ligge til grunn for slike tiltak.

### **3.2 Sikring mot skred**

Det er dyrt og tidkrevjande å sikre kvikkleirefarleg terreng enten det gjeld kalksementpæling, saltinjeksjon eller flytting av masser. Kvikkleire finst berre i område som var under havnivå ved slutten av førre istid. Forsking på sikringsmetoder må derfor i stor grad gjerast i Noreg og nokre få andre land.

Bygging av skredvoller og ledevoller og andre fysiske terrenginngrep for sikring mot jord- og flaumskred, samt snøskred krev gode modeller i kombinasjon med praktisk erfaring

Sikring mot fjellskred er utfordrande sidan det gjeld store område som ofte er vanskeleg tilgjengelege. Det må brukast meir ressursar for å samle inn geologiske data og analysere desse. Det er ei utfordring å bestemme akseptabel risiko og kunne talfeste risikoreduksjonen som kan oppnåast ved sikring i bratt terreng. Kompetansen innanfor val av sikringsmetode og fysiske tiltak må bli betre. Dette er arbeid som krev mykje erfaring. Ofte er dei økonomiske rammene for små til at sikringa blir god nok. Det arbeidet som gjerast med overvaking og sikring mot fjellskred og steinsprang må vidareførast og vidareutviklast.

### **3.3 Sikring og NTNU si rolle**

NTNU må utdanne ingeniørar med tilstrekkeleg hydraulikk-kompetanse til å utføre grunnleggande sikringsarbeid i forbindelse med veg, bane og annan infrastruktur samt til å forstå når ein treng djupare kunnskap/analyser for å vurdere tiltak.

NTNU må utdanne spisskompetanse innan hydraulikk og geomorfologi til å kunne utvikle og dimensjonere sikringstiltak og til å kunne optimalisere tiltak i forhold til fleire omsyn.

NTNU må ha ressursar til FoU, utvikling av ny kunnskap og metodar for å berekne erosjon og massetransport i spesielt bratte elvar.

NTNU må ha infrastruktur som understøttar FoU på erosjon og massetransport i bratte vassdrag. Vassdragslaboratoriet ved NTNU vil vere viktig både for å forstå utløysande årsaker og konsekvensar av flaum og skred og for utforming, dimensjonering og testing av ulike sikringstiltak og for utvikling av nye innovative løysingar for sikring mot desse naturfarane. Vassdragslaboratoriet er rusta delvis opp gjennom infrastrukturprosjekt (NFR) i forhold til vasskraftutfordringar, men må rustast vidare opp både i forhold til infrastruktur og kompetanse for å ivareta rolla inn mot naturfarar i framtida. Dette må gjerast i tett samarbeid med NVE.

NTNU må ha kapasitet til å undersøkje korleis avgjersler både på nivå av myndigheitene, næringslivet, og private hushald rundt sikringstiltak vert tekne. Kva faktorar påverkar dei til ta effektive avgjersler? Kva er barrierar for å ta avgjerslene som trengst for å effektivt beskytte liv, eigendom, og infrastruktur? Kva hjelpemiddel kan takast i bruk for å støtte dei som tek avgjerder på ulike nivå? Kva avgjerslestrukturar gjer det enkelt å kome fram til gode tiltak som også får aksept blant dei involverte aktørane? Dette krev ei tverrfagleg tilnærming.

NTNU må utdanna ingeniørgeologar med meir fokus på bearbeiding/analyse av geologiske data (sprekkar / glideplan) for å kunne utføre stabilitetsanalysar; og numerisk analyse der skredområda er komplekse. Det er behov for forskning på metodar for å sikre skredutsette område og å kunne redusere risikoen for skred. NTNU har gode bergmekaniske og ingeniørgeologiske laboratoriefasilitetar der ein kan bestemme styrken til bergmassen og teste ut nye sikringsmetodar.

## 4 Overvaking/varsling

Overvaking og varsling er viktig og utvikling av sensorteknologi vil vere eit viktig verkemiddel for å styrke dette. Men sjølv verdas beste termometer er verdiløst dersom ein ikkje veit kor det skal plasserast. Sensorteknologi må brukast i tett samspel med kompetanse på prosessane som skaper fare for flaum og skred. Sensorteknologi må brukast i samspel med varslingsmodellar, og observasjonar må relaterast til velfunderte referanseverdier. Først då oppnår ein meirverdi av sensorering. I motsett fall skaper det falsk trygghet og negativ påverknad. Sensorteknologi må og vere robust nok til å tole det miljøet den blir plassert i over tid. Standardisering av krav til teknologien eller uhilda vurderingar av tilgjengeleg teknologi kan vere til viktig hjelp for kommunar og infrastruktureigarar utan tilstrekkeleg kompetanse. Det må finnast løysingar som gjer investering i og drift av sensor- og kommunikasjonsteknologien økonomisk berekraftig for kommunar og infrastruktureigarar. Det bør stillast krav til infrastruktureigarar og andre aktuelle aktørar om å installere relevante sensorar i alle nye anlegg og installasjonar og data bør vere offentleg tilgjengeleg for drift og utvikling av nye varslingsystem.

Å evaluere måleopplegg krev kompetanse. Dette er kompetanse bestillarane i kommunane, infrastruktureigarane og andre relevante aktørar i liten grad har. Faren er difor at dei skaper seg falsk trygghet. Dei treng tilgang til tilstrekkeleg kompetanse til å evaluere kva dei treng og kor. Leverandørindustrien treng intern kompetanse eller samarbeid med kompetanse innanfor domenet dei leverer teknologi til for å kunne levere trygge tenester/produkt mot sluttbrukarane.

Denne ingeniørkompetansen må NTNU ha hovudansvar for og få ressursar til å utdanne.

Effektiv og nyttig bruk av IoT og sensortechnologi, gjerne kombinert med kunstig intelligens, er eit område med stort potensiale innanfor trygging mot flaum og skred. Dette er eit stort FoU område som må kombinerast med annan relevant domenekunnskap. Det tverrfaglege miljøet NTNU representerer i forhold til ingeniørkompetanse både innan det bygde miljø, vatn og skred og i forhold til digitale teknologiar må utnyttast for å finne nye og optimale løysingar.

#### **4.1 Overvaking mot flaum**

Tiltak som kan forbetre overvaking og varsling i forhold til flaum er

- Relevant sensorering i på førehand definerte kritiske punkt
- Vassføringsobservasjonar
- Meteorologiske observasjonar frå øvst til nedst i nedslagsfelt

Overvakinga må vere koplå mot modellar og relevante referanseverdjar. Med godt gjennomtenkte opplegg vil dette vil kunne gje signal tidleg nok til å evakuere folk og redusere skadeomfang betydeleg.

#### **4.2 Overvaking mot skred**

Nye hjelpemiddel som InSAR (radarmålingar frå satelittar) kan detektere rørsler i grunnen ned på millimeterskala. Ved å ta i bruk maskinlæringsalgoritmar og kunstig intelligens er det von om at heile Noreg etter kvart kan overvakast. Det er mykje infrastruktur som skal på plass før eit slikt system kan være fullt operativt.

#### **4.3 Overvaking og NTNU si rolle**

Det trengst meir forskning på geofysiske metodar til kartlegging og overvaking av skred og flaum utsette område og for å kunne predikere og varsle flaum og skredhendingar. Dette inkluderer også forskning på korleis slike observasjonar kan brukast, korleis ein kan optimalisere kost/nytte av observasjonar og korleis ein koplår saman overvaking med varslingsmodellar.

Operativ overvaking krev kompetanse. Denne kompetansen må vere lokalt tilgjengeleg og kunne sette overvakinga inn i eit lokalt perspektiv. Det vil vere eit stort behov for utdanning av meir kompetanse både sentralt og lokalt for å følgje opp overvaking og varsling.

## 5 Krisehandtering

God krisehandtering avheng av god lokal kompetanse, god kommunikasjon og gode verktøy for både å forstå kva som skjer, kor konsekvensane vil bli størst og kva som kan gjerast for å redusere desse. Dette krev at det eksisterer gjennomtenkte scenario med kartlegging av potensielle kritiske punkt og konsekvensar med tilhøyrande tiltaksplanar samt kvalifisert evne til improvisasjon der uventa hendingar oppstår. God krisehandtering avheng også av god, sikker og relevant informasjon og overvaking er viktig. Lokal ingeniørkompetanse med grunnleggande geofagleg kompetanse innan hydrologi, hydraulikk, geoteknikk og geologi er viktig, men mangelvare. Kvar kommune eller kommunar i samarbeid må ha rask tilgang til slike ressursar som både kan forstå kva som skjer, kva tiltak som er relevante og når og kva eksterne ressursar det vil vere trong for.

### 5.1 Krisehandtering og NTNU si rolle

NTNU må utdanne fleire ingeniørar med tilstrekkeleg kompetanse innan geofaga som forstår og kan ta viktige beredskapsroller.

Korleis myndighetene, men også andre aktørar frå den offentlege og private sektoren forbereder seg til kriser og korleis dei handterer akutte kriser er eit område det trengs meir kunnskap om: Korleis lagar desse aktørane kriseplanar, kva ressursar er tilgjengelege, kva verktøy kunne forbetre krisehandteringa, kven er aktørane som må involverast, korleis stiller innbyggjarar seg til sikrings- og krisetiltak? Igjen, så er dette eit tverrfagleg forskingsfelt som treng tett samarbeid mellom ingeniør- / teknologisida og samfunnsvitskap som kan svare på korleis kunnskap frå naturvitskap takast i bruk, kva barrierane er, og kva verktøy som kan takast i bruk for å auke bruken av kunnskapen.

## 6 Forsking/Formidling

Forskingsbehovet i høve til tidlegare element i sikringsarbeidet er drøfta under desse overskriftene. Det er også eit FoU-behov i forhold til formidling i seg sjølv. Korleis får ein folk, planleggarar, interessentar og dei som tek avgjersler til å forstå årsaka til og verknaden av flaumar og skred?

Det er eit sterkt behov for å auke kunnskapsgrunnlaget rundt dei geologiske prosessane som utløyer flaum og skred og korleis desse vil påverkast av global oppvarming, endring i nedbørsmengd og aukande havnivå. Med eit robust kunnskapsgrunnlag kan problem lettare identifiserast og teknologiske løysningar betre bli førebudd, lokalisert og iverksett. Eit heilheitleg syn på geofarar, der system og prosesser vert kartlagt og forstått under eitt, vil by på fordelar i høve til arealplanlegging og å ta avgjersler, lokalt og regionalt.

Overføring av ingeniørkompetansen til samfunnet er ikkje trivielt og krev djup innsikt i risikopersepsjon og vedtaksprosessar. Difor er formidling eit eige fagfelt som må spele på lag med ingeniør- og samfunnsplanleggings-kompetansen.



Oddbjørn Bruland, Bjørn Frengstad mfl  
Innspel flaum- og skredmeldinga

Bruk av ny teknologi med 3D visualisering, Virtuell og Augmented Reality, spelteknologi mm opnar for nye moglegheiter for å formidle farar eller potensielle farar til folk (<https://www.ntnu.edu/digital-transformation/woww>). Dette kan vere nyttige hjelpemiddel både i planleggingsarbeid og beredskapsarbeid, men det er eit fagfelt i utvikling med stort behov for vidare FoU. Dette er FoU som må gjerast i eit miljø med relevant domenekunnskap.

**NTNU har ein kombinasjon av naturvitskapleg, ingeniørfagleg og teknologisk kompetanse som er unik blant norske universitet. Dette gjer det mogleg å samordne ei djup prosessforståing med teknologisk innovasjon i FoU prosjekt og i utdanning av nøkkelpersonell for arealplanlegging, samfunnsvitskap og geofarar i framtida.**