



Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

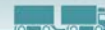


Skredfare i samfunnsøkonomiske analyser

Personskaderisiko og verdsetting av skredfrekvens og skredstørrelse

Paal Brevik Wangsness, Knut Veisten, Rune Elvik

2027/2024



Tittel:	Skredfare i samfunnsøkonomiske analyser : Personskaderisiko og verdsetting av skredfrekvens og skredstørrelse
Tittel engelsk:	Assessing landslides in cost-benefit analysis : Injury and fatality risk and valuation of landslide frequency and -volume
Forfatter:	Paal Brevik Wangsness, Knut Veisten, Rune Elvik
Dato:	05.2024
TØI-rapport:	2027/2024
Antall sider:	45
ISSN elektronisk:	2535-5104
ISBN elektronisk:	978-82-480-2156-8
Finansieringskilder:	Nye Veier AS
TØIs p.nr.:	5450 – Skredfare-SØA
Prosjektleder:	Paal Brevik Wangsness
Kvalitetsansvarlig:	Lana Krehic
Ferdigstilling:	Trude Kvalsvik
Fagfelt:	Samfunnsøkonomiske analyser
Emneord:	Personskadeulykker, samfunnsøkonomisk analyse, skred, økonomisk verdsetting

Kort sammendrag

Det er registrert over 53 000 skred på vei gjennom analyseperioden 2000-2023. De fleste av disse er relativt små og det registreres ingen skade som følge av dem. Det er registrert 674 tilfeller av skade på kjøretøy som følge av skred, og av disse er det identifisert 62 tilfeller med personskade. Av disse var det registrert 13 dødsulykker, med til sammen 18 dødsfall og to alvorlig skadde. Med anbefalt verdsetting av liv og helse til bruk i samfunnsøkonomiske analyser finner vi en forventet ulykkeskostnad på 11-21 millioner kroner (2020-kr) per personskadetilfelle. Videre foreslår vi at nyttekostnadsanalyser av skredtiltak benytter seg av enkle lineære funksjoner for å anslå betalingsvillighet per personreise for kjøring på en skredutsatt strekning: 3,70 kroner per skredtilfelle som treffer infrastrukturen per år, og 0,13 kroner per meter skredbredde som treffer infrastrukturen. Bruk av disse oppdaterte anbefalingene for å anslå forventet alvorlighetsgrad av personskader og rest-betalingsvillighet for redusert skredfare vil gi realistiske beregninger på nyttesiden i samfunnsøkonomiske analyser.

Summary

More than 53,000 landslides and avalanches hitting public roads have been recorded through the period 2000-2023. Most of these are small, with no recorded damages. A total of 674 cases of damage to vehicles due to landslides have been registered, and of these, 62 cases of bodily injury have been identified. Of these, 13 fatal accidents were registered, with a total of 18 deaths and 2 seriously injured. With the recommended valuation of statical life and health for use in cost-benefit analysis, we find an expected accident cost of NOK 11-21 million. (2020-NOK) per case with bodily injury. Furthermore, we propose that cost-benefit analyses of landslide mitigation measures use simple linear functions to estimate the willingness to pay per person trip for driving on a landslide-prone stretch of road: NOK 3.70 per landslide event that hits the infrastructure per year, and NOK 0.13 per metre landslide width that hits the infrastructure.

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [Åndsverklovens](#) bestemmelser.



Forord

På oppdrag for Nye Veier AS har Transportøkonomisk institutt (TØI) gjennomført et prosjekt for å lage et bedre kunnskapsgrunnlag for samfunnsøkonomiske analyser av skredtiltak på to konkrete områder:

1. Forventet alvorlighetsgrad av ulykker dersom en bil skulle bli truffet av skred
2. Betalingsvillighet for redusert skredfrekvens og redusert skredbredde (på toppen av ulykkesrisiko og ulemper ved veistengning)

Prosjektet har vært ledet av seniorforsker Paal Brevik Wangsness, og gjennomført i samarbeid med seniorforsker Knut Veisten og seniorforsker Rune Elvik ved TØI. Wangsness har særlig bidratt med tekst til kapittel 1, 3, 4 og 5. Veisten har særlig bidratt med tekst i kapittel 2, 3 og 4. Elvik har særlig bidratt til litteraturgjennomgangen om ulykkessannsynlighet ved skred i kapittel 2. Seniorforsker Lana Krehic har vært ansvarlig for intern kvalitetssikring. Trude Kvalsvik har bistått med ferdigstilling av rapporten.

Vi takker Helga Lysgård i Nye Veier AS og Kjersti Granås Bardal i Statens vegvesen for innspill underveis og kommentarer til rapporten. Vi håper resultatene kommer til nytte for forskere og praktikere som jobber med dette og beslektete temaer.

Oslo, mai 2024
Transportøkonomisk institutt

Bjørne Grimsrud
Administrerende direktør

Kjell W. Johansen
Avdelingsleder



Innhold

Sammendrag

Summary

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn og formål.....	1
1.2	Avgrensning	2
1.3	Rapportstruktur	2
1.4	Ordforklaring.....	2
2	Litteraturgjennomgang.....	3
2.1	Litteratur om ulykkessannsynlighet ved skred	3
2.2	Litteratur om verdsetting av skredfare.....	7
3	Data og metode	10
3.1	Data og metode – ulykkessannsynlighet ved skred.....	10
3.2	Data og metode – verdsetting av skredfare	12
4	Analyseresultater	18
4.1	Deskriptiv analyse av skreddata	18
4.2	Logit-estimering av sannsynligheter for personskade.....	27
4.3	Anslag på forventet alvorlighetsgrad.....	30
4.4	Anvendelse i et eksempel i EFFEKT.....	32
4.5	Forslag til EFFEKT-tilpasset anvendelse av verdsettingen av skredfrekvens og skredstørrelse.....	36
5	Diskusjon og konklusjon	39
5.1	Oppsummering og diskusjon av resultatene	39
5.2	Konklusjon og anbefalinger	41
5.3	Forbehold.....	42
5.4	Videre forskning.....	42
	Referanser	44

Skredfare i samfunnsøkonomiske analyser

Personskaderisiko og verdsetting av skredfrekvens og skredstørrelse

TØI rapport 2027/2024 • Forfattere: Paal Brevik Wangsness, Knut Veisten, Rune Elvik • Oslo 2024 • 45 sider

Det er registrert over 53 000 skred på vei gjennom analyseperioden 2000-2023. De fleste av disse er relativt små og det registreres ingen skade som følge av dem. Det er registrert 674 tilfeller av skade på kjøretøy som følge av skred, og av disse er det identifisert 62 tilfeller med personskade. Av disse var det registrert 13 dødsulykker, med til sammen 18 dødsfall og to alvorlig skadde. Med anbefalt verdsetting av liv og helse til bruk i samfunnsøkonomiske analyser finner vi en forventet ulykkeskostnad på 11-21 millioner kroner (2020-kr) per personskadetilfelle. Videre foreslår vi at nyttekostnadsanalyser av skredtiltak benytter seg av enkle lineære funksjoner for å anslå betalingsvillighet per personreise for kjøring på en skredutsatt strekning: 3,70 kroner per skredtilfelle som treffer infrastrukturen per år, og 0,13 kroner per meter skredbredde som treffer infrastrukturen. Bruk av disse oppdaterte anbefalingene for å anslå forventet alvorlighetsgrad av personskader og rest-betalingsvillighet for redusert skredfare vil gi realistiske beregninger på nyttesiden i samfunnsøkonomiske analyser.

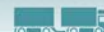
I denne rapporten har vi gjort analyser for å lage et bedre kunnskapsgrunnlag for samfunnsøkonomiske analyser av skredtiltak på to konkrete områder:

1. Forventet alvorlighetsgrad av ulykker dersom en bil skulle bli truffet av skred
2. Betalingsvillighet for redusert skredfrekvens og redusert skredbredde (på toppen av ulykkesrisiko og ulemper ved veistengning)

Forventet alvorlighetsgrad

For å gjøre analyser knyttet til forventet alvorlighetsgrad har vi benyttet oss av et relativt stort datasett av skredhendelser fra 2000 til 2023 hentet fra Nasjonal Vegdatabank (NVDB), og koblet på skreddata fra NVE med informasjon om dødsfall knyttet til skred på vei. Oss bekjent er det hittil ikke gjort analyser på et slikt datasett i Norge med mål om å anslå forventede samfunnsøkonomiske ulykkeskostnader av skred som treffer kjøretøy på vei. I litteraturgjennomgangen i kapittel 2 finner vi heller ikke et stort omfang av studier som tar for seg forventet alvorlighetsgrad av ulykker knyttet til skred på vei. Analysene våre på dette temaet bidrar dermed til å belyse et felt som det ser ut til å være lite forskning på.

Det er registrert over 53 000 skred på vei gjennom analyseperioden 2000-2023. De fleste av disse er relativt små og det registreres ingen skade som følge av dem. Vi må regne med at det



er vesentlige mørketall, men at disse mørketallene i hovedsak representerer små skred som verken fører til stengninger eller skade.

Omtrent 15 % av de registrerte skredene er registrert med noen form for skade. Den vanligste registrerte skaden er skade på veidekke eller veikropp og skade på drenering. Det er registrert 674 tilfeller av skade på kjøretøy som følge av skred, som utgjør ca. 1,2 % av de registrerte skredene. Av tilfellene med skade på kjøretøy er det identifisert 62 tilfeller med personskade. Dette utgjør ca. 0,11 % av alle de registrerte skredene på vei og 9 % av skredene med registrert skade på kjøretøy.

Sannsynligheten for personskadehendelser som følge av skred på vei er med andre ord relativt lav, med under tre tilfeller i året i gjennomsnitt. Av de 62 tilfellene med personskader var det registrert 13 tilfeller med dødsfall, altså over 20 % av personskadeulykkene. Disse 13 tilfellene utgjorde til sammen 18 dødsfall og to alvorlig skade.

Gitt at vi ikke kjenner til skadegradene i personskadeulykkene som ikke ender opp i dødsfall er det vanskelig å anslå forventet alvorlighetsgrad. Vi kan imidlertid anslå rimelige ytterpunkter, med enten en høy andel ulykker med lettere skade eller en høy andel med hardt skade.

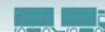
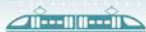
Med anbefalt verdsetting av liv og helse til bruk i samfunnsøkonomiske analyser finner vi en forventet ulykkeskostnad på mellom 11 og 21 millioner kroner (2020-kr) per personskadetilfelle. Selv med et såpass stort usikkerhetsspenn peker funnene mot relativt høye gjennomsnittlige kostnader per tilfelle.

Den relativt høye dødsraten per personskadetilfelle kan oversettes til at forventet ulykkeskostnad, gitt at kjøretøy skades av skred, også er relativt høy. Datamaterialet tilsier en forventet ulykkeskostnad per skred som skader kjøretøy på mellom 1 og 2 millioner kroner før man gjør eventuell differensiering på skredstørrelse. Det nedre ulykkeskostnadsestimatet for et skred smalere enn 10 meter som treffer et kjøretøy på vei er på ca. 0,6 millioner kroner, mens det øvre estimatet for et skred bredere enn 100 meter er på ca. 5 millioner kroner. Dette understreker viktigheten av at en samfunnsøkonomisk analyse av skredtiltak har et velfundert grunnlag for hvor store skred som kan forventes på en gitt strekning. Dette har mye å si for verdsettingen.

For å illustrere viktigheten av hvilke forutsetninger man legger for skredbredde, har vi gjennomført to eksempelberegninger med verktøyet EFFEKT (som brukes til nyttekonstadsanalyser i veisektoren) på en skredutsatt strekning. Gitt de grove breddekategoriene i NVDB sine skred-data, anslår vi at et gjennomsnittlig registrert skred på vei har en bredde på mellom 6 og 18 meter. Vi legger disse anslagene til grunn i eksempelberegningene. Dersom gjennomsnittlig skredbredde er 6 meter, med laveste anslag på skadekostnad i bredde kategorien, beregner EFFEKT en nåverdi av ulykkeskostnadene på ca. 8 millioner kroner. Dersom bredden er 18 meter, med høyeste anslag på skadekostnad, beregner EFFEKT en nåverdi av ulykkeskostnadene på ca. 54 millioner kroner. Noe av spriket i anslag skyldes usikkerhet i estimatene, men beregningene tar også innover seg de viktige prinsippene om at bredere skred gir en vesentlig høyere sannsynlighet for trefning med bil, og det vil øke forventet alvorlighetsgrad av treffet.

Betalingsvillighet for redusert skredfrekvens og skredbredde

Vi har tatt utgangspunkt i verdsettingen av endret forventet frekvens av, og forventet gjennomsnittlig bredde på skred som treffer infrastruktur fra Navrud et al. (2020), i kroner per personreise, foreslått av Magnussen et al. (2022). Estimaten er basert på en verdsettingsundersøkelse med designede valgekspesimenter som synes å ha fungert godt. Valgekspesimentet for verdsetting av skredfrekvens og skredbredde inkluderte også hard skade og dødsfall og infrastrukturstenging (av alle mulige årsaker, for begge attributter). Vi antar derfor at betalingsvilligheten for redusert skredfrekvens og skredbredde primært omfatter andre



effekter enn alvorlig ulykkesrisiko og vegstengningsrisiko, ettersom dette blir kontrollert for i analysen. Valgekspérimentet rapportert av Navrud et al. (2020) muliggjør å ta med verdsetting av redusert skredfrekvens/skredstørrelse *i tillegg til ulykkes- og vegstengingsverdsetting* i nyttekostnadsanalyser (NKAer), med lav sannsynlighet for dobbelttelling.

Det som Navrud et al. (2020) estimerte er økonomisk verdsetting av endret skredfrekvens og skredbredde som rammer infrastruktur, for gitte nivåer av infrastrukturstenging, reisetid og alvorlige personskader og dødsfall. De viste at verdsettingen av redusert skredfrekvens og skredstørrelse kun hadde svak eller ingen sammenheng med oppgitt utrygghet på grunn av skredfare (Navrud et al., 2020). Vi finner det samme basert på nye tester. Verdsettingen av redusert skredfrekvens og -størrelse kan omfatte flere mulige (ikke-spesifiserte) effekter av skredfare, i tillegg til vegstengningsrisiko, tidstap og risiko for hard skade og dødsfall. **Vi argumenterer for at verdsetting av redusert skredfrekvens og -størrelse kan reflektere en opsjonsverdi, en verdsetting av redusert usikkerhet mht. tilgjengelighet til transportmuligheter.** Det vil si at respondentene har verdsatt det å få redusert en kilde til usikkerhet om transportmulighetene på et gitt framtidig tidspunkt. Respondentene kan ha skilt denne opsjonen for tilgjengelig transport fra antallet forventede årlige vegstengninger (av alle årsaker). Vi har ikke datagrunnlag for å utelukke andre mulige motiver eller årsaker.

Vi foreslår en utvidelse fra de faste verdiene, som Magnussen et al. (2022) viste i sine eksempelberegninger, til **enkle lineære funksjoner**: Utvidelsen innebærer en kostnad lik 3,70 kroner per skredtilfelle som treffer infrastrukturen per år, og 0,13 kroner per meter skredbredde som gjennomsnittlig treffer infrastrukturen (beløp i 2019-kr). Begge parameterne er beregnet til å ha et 95 % konfidensintervall på +/- 25 %. Vi foreslår derfor å ta inn betydningen av størrelsen på de endringene som skredsikringstiltaket forventes å medføre, slik at verdsettingene bidrar til rangering av skredsikringstiltak. De tiltakene som gir større reduksjon, har da høyere nytte for disse komponentene enn tiltak som gir mindre reduksjon.

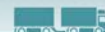
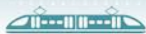
Følgende funksjoner vil gi nytteestimer per år for skredtiltak som forventes å redusere det forventede antall årlige skredhendelser med x , og redusere den forventede gjennomsnittlige skredbredden med y meter:

- Kr for endring (x) i skredfrekvens: $3,70 \text{ kr} * x \text{ skred/år} * \text{belegg} * \text{ÅDT} * 365$
- Kr for endring (y) i skredstørrelse: $0,13 \text{ kr} * y \text{ meter} * \text{belegg} * \text{ÅDT} * 365$

der y meter = $\Delta(L_A+L_B)$, der L_A er primær-skredbredde og L_B er sekundær-skredbredde (naboskred), slik dette er beskrevet i dokumentasjon av beregningsmoduler i EFFEKT.

Vi viser i et konkret eksempel, NKA av skredsikringstiltak langs Sandvinvatnet på RV 13, hvor det er tre skredpunkter, hvilke nytteestimer dette ville gi for redusert skredfrekvens (mellom 0,1 og 1) pluss redusert skredbredde (6 eller 18 meter). Nytteestimatene varierer da mellom ca. 15 og 80 millioner kroner per skredpunkt i et 75-års NKA-prosjektperspektiv. Dette er på nivå med, eller noe i overkant av den estimerte nytten av skredtilknyttet personskaderisiko-reduksjon¹. Med andre ord, hvis en NKA kun verdsetter personskaderisikoen knyttet til skred, så vil analysen hensynta mindre enn halvparten av betalingsvilligheten samfunnet har for å redusere skredfare.

¹ Samtidig er den skredtilknyttede personskaderisikoen relativt lav sammenliknet med personskaderisikoen i vegtransport tilknyttet andre årsaker.



Når infrastrukturstenging, reisetid og alvorlige ulykker allerede er tatt inn i NKA/EFFEKT, så kan **verdsetting av redusert skredfrekvens og -størrelse muligens betraktes som en «rest-betalingsvillighet for redusert skredfare»**. Denne kan inkludere opsjonsverdier og ikke-spesifiserte effekter av skredfare. Videre forskning kan avdekke om det er en opsjonsverdi eller om det er andre ikke-spesifiserte konsekvenser som eventuelt er de sterkeste driverne bak verdsettingen av redusert skredfrekvens og -størrelse.

Konklusjon og anbefalinger

Vi mener at våre funn har **implikasjoner for hvordan samfunnsøkonomisk analyse av skredtiltak i transportsektoren bør gjøres**. Nåværende vanlig praksis for verdsetting av skredtiltak i EFFEKT ivaretar i prinsippet de viktigste nyttekomponentene av å redusere skredfare. Det beregnes:

- Ulykkessannsynlighet og ulykkeskostnader
- Ulempekostnader ved veistengninger - både som følge av skred og preventive veistengninger
- Istandsettelseskostnader
- De siste årene har man også, som en uttesting, hatt mulighet til å beregne rest-betalingsvillighet for å redusere skredfrekvens og skredbredde (litt upresist omtalt som «ubehag skredfare»)

Vi vurderer det som riktig å ha med alle disse komponentene med i beregningen, og at betalingsvillighet for å redusere skredfrekvens og skredbredde (utover ulykkesrisiko og stengningsulemper) bør være en standardkomponent i samfunnsøkonomiske analyser (SØA) av skredtiltak.

Den største svakheten knyttet til vanlig praksis med samfunnsøkonomiske analyser av skredsikringstiltak, er at det ikke i tilstrekkelig grad fanger opp forskjellene i samfunnsøkonomisk nytte av å sikre områder hvor det forventes relativt store og hyppige skred imot-setning til områder hvor det forventes sjeldne og små skred. Dette gjelder for både anslag av alvorlighetsgrad knyttet til ulykkeskostnader og betalingsvillighet for å redusere skredfrekvens og bredde.

Vi anbefaler å oppdatere praksis for SØA av skredtiltak ved å ta i bruk våre resultater (parameterverdier og funksjoner). Ved å implementere våre anbefalte parameterverdier i beregning av ulykkeskostnader og rest-betalingsvillighet for redusert skredfare, som en funksjon av skredfrekvens og skredbredde, mener vi at SØAene av skredtiltak vil gi mer realistiske beregninger av nyttesiden. Dette vil gi et bedre beslutningsgrunnlag både når en vurderer ulike prosjektalternativer opp mot hverandre, og ulike prosjekter opp mot hverandre i en portefølje.

Vi må imidlertid understreke at målet med denne rapporten er å finne mer realistiske verdier og funksjoner for selve verdsettingen av ulike aspekter ved skred. Det er viktig at grundige klimafaglige, geologiske og ingeniørfaglige vurderinger legges til grunn for å gjøre realistiske anslag på forventet skredhyppighet og skredbredde på en gitt veistrekning.

Assessing landslides in cost-benefit analysis

Injury and fatality risk and valuation of landslide frequency and -volume

TØI Report 2027/2024 • Authors: Paal Brevik Wangsness, Knut Veisten, Rune Elvik • Oslo 2024 • 45 pages

More than 53,000 landslides and avalanches hitting public roads have been recorded through the period 2000-2023. Most of these are small, with no recorded damages. A total of 674 cases of damage to vehicles due to landslides have been registered, and of these, 62 cases of bodily injury have been identified. Of these, 13 fatal accidents were registered, with a total of 18 deaths and 2 seriously injured. With the recommended valuation of statical life and health for use in cost-benefit analysis, we find an expected accident cost of NOK 11-21 million. (2020-NOK) per case with bodily injury. Furthermore, we propose that cost-benefit analyses of landslide mitigation measures use simple linear functions to estimate the willingness to pay per person trip for driving on a landslide-prone stretch of road: NOK 3.70 per landslide event that hits the infrastructure per year, and NOK 0.13 per metre landslide width that hits the infrastructure.

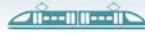
Click or start here for the main summary.

In this report, we have analysed two specific aspects that are relevant for conducting cost-benefit analysis of measures for reducing landslide- and avalanche risk:

1. Expected severity of accidents if a car were to be hit by a landslide or avalanche.
2. Willingness to pay for reduced avalanche frequency and reduced avalanche width (on top of accident risk and disadvantages of road closures).

Expected severity of accidents

To analyse the first aspect, we have used a relatively large data set of landslide- and avalanche events (we will mostly refer to landslide events, but this will cover landslides, avalanches and mudslides) hitting road infrastructure from 2000 to 2023. The data has been retrieved from the National Road Data Bank (NVDB) and has been linked to landslide data from the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE) related to deaths related to landslides on roads. To our knowledge, no analyses have been conducted on such a data set in Norway with the aim of estimating the expected socio-economic accident costs of avalanches that hit vehicles on roads. Nor does the literature review in Chapter 2 find many studies that



address the expected severity of accidents related to landslides on roads. Our analyses on this topic thus shed light on a field on which there appears to be little research.

More than 53,000 landslides hitting road infrastructure have been recorded through the period 2000-2023. Most of these are relatively small with no recorded damages. We must assume that there are significant unrecorded figures, but that these dark figures mainly represent small landslides that do not lead to closures or damage.

About 15 % of the recorded landslides are registered with some type of damage. The most common recorded damage is damage to road surfaces and damage to drainage. A total of 674 incidents of damage to vehicles due to landslides have been registered, which account for approximately 1.2 % of the registered landslides. Of the cases of damage to vehicles, 62 cases of bodily injury have been identified. This constitutes approximately 0.11 % of all registered landslides on roads and 9% of landslides with registered damage to vehicles.

In other words, the probability of bodily injury incidents due to avalanches on roads is relatively low, with less than 3 cases per year on average. Of the 62 cases of bodily injury, 13 incidents of death were registered, i.e. over 20 % of the accidents with bodily injury. These 13 cases accounted for a total of 18 deaths and 2 seriously injured.

Given that we do not know the degree of bodily injury in accidents that do not result in fatalities, it is difficult to estimate the expected severity. However, we can estimate reasonable bounds, with either a high proportion of accidents involving minor injuries or a high proportion of severely injured persons. **With the recommended valuation of life and health for use in cost-benefit analysis, we find an expected accident cost of NOK 11-21 million (2020-NOK) per bodily injury case.** Even with such a wide uncertainty interval, the findings point to relatively high average costs per case.

The relatively high death rate per bodily injury incident translates to the expected accident cost, given that a vehicle is hit by a landslide, to be relatively high. The data indicate an expected accident cost per landslide that damages vehicles of between NOK 1 and 2 million before any differentiation is made on landslide volume. The lower accident cost estimate for a landslide narrower than 10 metres that hits a vehicle on a road is approximately NOK 0.6 million, while the upper estimate for a landslide wider than 100 meters is approx. NOK 5 million. This underlines the importance of having a well-founded idea of how large landslides can be expected on a given stretch of road when doing transport appraisal. This matters a lot to the valuation.

To illustrate the importance of the assumptions for landslide width, we have carried out two example calculations using the tool EFFEKT (which is used for cost-benefit analysis – CBA) on a landslide-prone stretch. Given the rough categories in NVDB's landslide data, we estimate that an average recorded landslide on the road has a width of between 6 and 18 meters. We use these estimates as a basis for our example calculations. If the average landslide width is 6 metres, with the lowest estimate of the damage cost in the width category, EFFEKT calculates a present value of accident costs of approx. NOK 8 million. If the width is 18 metres, with the highest estimate of the damage cost, EFFEKT calculates a present value of the accident costs of approx. NOK 54 million. Some of the gap in estimates is due to uncertainty in the estimates, but the calculations also take into account the important principles that wider avalanches give a substantially higher probability of actually hitting a car, and this will increase the expected severity of the hit.



Willingness to pay for reducing frequency and volume of landslides

We have based our assessment on the valuation of changed (expected) frequency and (expected average) width of landslides hitting infrastructure from Navrud et al. (2020), in NOK per person-trip, proposed by Magnussen et al. (2022). The estimates are based on a valuation study with a choice experiment. Since the choice experiment for valuing landslide frequency and landslide width also included severe injury/fatality and infrastructure closure (for all possible causes, for both attributes), we assume that the willingness to pay for reduced landslide frequency and avalanche width primarily includes effects other than serious accident risk and road closure risk, since this is controlled for in the analysis. The choice experiment reported by Navrud et al. (2020) enables the valuation of reduced landslide frequency and volume *in addition to the valuation of expected accidents and road closures, with a low probability of double counting.*

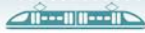
What Navrud et al. (2020) estimated are economic valuations of changed landslide frequency and landslide width/ volume affecting infrastructure, for given levels of infrastructure closure, travel time and serious injuries/deaths. The valuation of reduced landslide frequency/size may include several possible (non-specified) effects of landslide risk, in addition to road closure risk, time loss and risk of severe injury/death. **We argue that the valuation of reduced landslide frequency/size may reflect an option value, a valuation of reduced transport availability uncertainty.** In other words, respondents have appreciated reducing a source of uncertainty about travel opportunities at a given future date. Respondents are likely to have separated this transportation availability option from the number of expected annual road closures. There could also be other possible motives/causes, as we do not have the basis to exclude them.

We propose an expansion from the fixed values per stretch of landslide-prone road, as Magnussen et al. (2022) showed in their example calculations. **We recommend simple linear functions:** NOK 3.70 per landslide hitting the infrastructure per year, and NOK 0.13 per metre avalanche width hitting the infrastructure on average (2019-NOK). Both parameters are calculated to have a 95 % confidence interval of +/- 25 %. We therefore propose to include the magnitude of the changes that the landslide protection measure is expected to entail, so that the valuations can differentiate the value of these measures. Measures that provide a greater reduction will be calculated to have a higher social benefit than measures that provide a smaller reduction. The following features will provide benefit estimates per year for avalanche measures that are expected to reduce the expected number of annual landslide events (reaching the road) by x and reduce the expected average landslide width (reaching the road) by y meters:

- NOK for change (x) in landslide frequency: $\text{NOK } 3.70 * x \text{ landslides/year} * \text{occupancy} * \text{AADT} * 365$
- NOK for change (y) in landslide size: $\text{NOK } 0.13 * y \text{ meters} * \text{occupancy} * \text{AADT} * 365$

where y meter = $\Delta(L_A+L_B)$, where L_A is primary landslide width and L_B is secondary landslide width (neighbouring landslide), as described in documentation of calculation modules in EFFEKT.

We show in a concrete example (CBA of avalanche protection measures along Sandvinvatnet on riksvei 13, where there are three points of avalanche risk), which benefit estimates this would give for reduced avalanche frequency (between 0.1 and 1) plus reduced avalanche width (6 m or 18 m). The benefit estimates vary between approx. 15 and 80 million NOK per point of avalanche risk in a 75-year project perspective. This is on par with or somewhat higher than the estimated benefit of landslide-associated accident/bodily injury risk reduction (but



the landslide-associated personal injury risk is relatively very low compared to the personal injury risk in road transport associated with other causes).

When infrastructure closures, travel time and serious accidents have already been included in the CBA, **valuation of reduced landslide frequency/size may be considered a "residual willingness to pay for reduced landslide risk"**, which may include option values and non-specified effects of avalanche risk. More research is needed to reveal whether there is a transport availability option or whether there are other unspecified consequences that are the strongest drivers behind the valuation of reduced avalanche frequency/avalanche size.

Conclusions and recommendations

We believe that our findings have **implications for how cost-benefit analysis of landslide measures in the transport sector should be undertaken**. In principle, the standard system for valuation of landslide measures in EFFEKT includes the most important benefit components of reducing landslide risk. The following is usually calculated:

- Accident probability and accident costs
- Inconvenience costs of road closures - both because of landslides and preventive road closures
- Restoration costs
- In recent years, it has also been possible, as a test-option, to calculate the residual willingness to pay to reduce landslide frequency and width (previously imprecisely referred to as "discomfort due to landslide risk")

We consider it appropriate to include all these components in the calculation, and that willingness to pay to reduce landslide frequency and landslide width (beyond accident risk and road closure inconvenience) should be a standard component in the CBA of landslide measures.

The main weakness associated with the standard CBA system of landslide protection measures is that the value of securing areas with relatively large and frequent landslides are not sufficiently differentiated to areas where rare and small landslides are expected. This applies to both estimates of the severity associated with accident costs and willingness to pay to reduce landslide frequency and width.

We recommend updating the practice for CBA of landslide measures by using our results (parameter values and functions). By implementing our recommended parameter values in calculating accident costs and "residual willingness to pay for reduced landslide risk", as a function of expected landslide frequency and width, we believe that the CBAs will achieve more realistic calculations on the benefit side. This will in turn provide a better basis for decision-making when evaluating different project alternatives against each other, and different projects against each other in a portfolio.

However, we must emphasize that the aim of this report is to find more realistic values and functions for the actual valuation of various aspects of landslides. It is important that thorough climate, geological and engineering assessments are used as a basis for making realistic estimates of the expected landslide frequency and width for actual transport appraisal on a given stretch of road.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og formål

Oppdragsgiver Nye Veier skal prioritere gjennomføring av prosjekter på strekninger med høy samfunnsøkonomisk lønnsomhet foran de med lav eller negativ samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Enkelte utbedringsstrekninger i Nye Veiers portefølje (f.eks. rv. 13 og E136) skiller seg fra øvrige strekninger ved at tiltakene som er aktuelle i hovedsak er mindre utbedringer av eksisterende vei, skredsikring, trafikk-sikkerhetstiltak mv.

Nye Veier har ambisjon om å prioritere tiltak på utbedringsstrekninger opp mot større tiltak på øvrige strekninger i porteføljen.² For å kunne gjøre dette på faglig god vis er det behov for å gjøre noen forbedringer knyttet til både metodikk og parameterverdier i de samfunnsøkonomiske analysene (SØAene). Tidligere i denne prosessen er det blitt utarbeidet et drøftingsnotat (Wangness, 2023), som påpeker flere områder med forbedringspotensial for samfunnsøkonomisk analyse av utbedringsstrekninger. Dagens standardopplegg for SØAer vurderes som godt, men det er noen svakheter. Disse svakheterne er aktuelle i både analyser av utbedringsprosjekter og større tiltak, men de vil ofte være relativt mer utslagsgivende for utbedringsprosjekter.

I denne prosessen er det også blitt avdekket noen svakheter knyttet til å gjennomføre SØA av skredtiltak. Bruk av skredmodulen i nyttekostnadsanalyseverktøyet EFFEKT (Straume & Bertelsen, 2015), med foreliggende default-verdier, kunne i eksempelprosjekter generere verdier som kunne framstå som urimelige. I denne sammenhengen ønsker Nye Veier bistand til å besvare følgende spørsmål:

1. Hva er rimelige default-verdier for alvorlighetsgrad og ulykkessannsynlighet ved skred? Det ønskes innspill til hvordan EFFEKT-opplegget for veistengning-skred kan forbedres, alternativt hvordan analytikere på ryddig vis kan gjøre tilpasninger til lokale forhold.
2. I hvilken grad virker den tidligere anbefalte (marginale) default-verdien av å redusere skredfrekvensen/skredstørrelsen på vei, ofte omtalt som «ubehag skredfare» (5 kroner per tur per person), rimelig?³ Det ønskes innspill til eventuell justering av default-verdier, alternativt hvordan analytikere på ryddig vis kan gjøre tilpasninger til lokale forhold.

² I Håndbok N100 står det at ved «utredning og planlegging av strekninger med mulig utbedringsstandard bør: 1) sammenhengende strekning som utbedres være lengre enn 2 km, 2) utbedret veg bestå av minst 50 % av eksisterende vegareal» Statens vegvesen. (2019b). Veg-og gateutforming: normal [Håndbok N100]. I. Statens vegvesen. <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/n100-veg-og-gateutforming-041219.pdf>

³ De 5 kronene er beregnet på bakgrunn av: «kr 3,70 for å unngå én dag med skred, pluss kr 1,30 for en skredstørrelse på 100 m³ (alle tall er 2019-kr). Alle disse tallene er oppgitt som betalingsvillighet (BV) for én reise for én person.» (Magnussen et al., 2022, s. 28)

1.2 Avgrensning

Skredfare i samfunnsøkonomiske analyser (SØA) er et tema som kunne vært gjenstand for en omfattende gjennomgang. Dette prosjektet begrenser seg til undertemaene:

1. Alvorlighetsgrad og ulykkessannsynlighet ved et gitt skred, med fokus på å lage både defaultverdier til korreksjonsfaktoren for «Alvorlighetsgrad ulykker» i skredmodulen i SØA-verktøyet EFFEKT, samt et opplegg for hvordan analytikeren kan gjøre justeringer basert på lokale karakteristikk.
2. Verdsetting av redusert skredfrekvens og redusert skredbredde som treffer infrastruktur (Navrud et al., 2020; Magnussen et al., 2022), utover verdsettingen av redusert ulykkesrisiko og reduserte omkjøringsulemper. Dette har hittil vært benevnt som skredutrygghet/-ubehag. Her vil vi vurdere et opplegg for hvordan analytikeren kan tilpasse verdsettingene bedre til analyseverktøy. Da vil beregninger av rest-betalingsvilligheten av endret skredstørrelse/skredfrekvens (som treffer veien) blir bedre tilpasset den lokaliteten som analysen gjelder for.

Dette betyr blant annet at vi ikke kommer til å gjøre inngående vurderinger for hvordan beregne frekvensen på og omfang av skred, omfang av nedstengninger eller omkjøringer.

1.3 Rapportstruktur

Rapporten er organisert som følger:

- I kapittel 2 vil vi presentere en kort litteraturgjennomgang. Denne er delt inn etter de to hovedtemaene for oppdraget; ulykkessannsynlighet ved skred og verdsetting av skredfare.
- I kapittel 3 gjennomgår vi datamaterialet og metodene vi bruker i analysene våre.

For lesere som er mest opptatt av funnene, resultatene og anbefalingene er det mulig å hoppe over kapittel 2 og 3, da disse kapitlene kan oppleves som litt tekniske.

- I kapittel 4 gjennomgår vi analyseresultatene.
- Kapittel 5 er satt av til diskusjon og konklusjon.

1.4 Ordforklaring

Gjennom rapporten vil det bli brukt en rekke forkortelser for en rekke standard fagtermer. De viktigste er:

- NKA – Nyttekostnadsanalyse
- SØA – Samfunnsøkonomisk analyse
- BV – Betalingsvillighet
- IPV – Ikke-prissatte virkninger
- NVDB – Nasjonal vegdatabank
- NVE – Norges Vassdrags- og Energidirektorat
- WTP – Willingness To Pay, dvs. Betalingsvillighet. Kan ofte brukes istedenfor den norske forkortelsen ettersom dette er en såpass godt innarbeidet fagterm.

2 Litteraturgjennomgang

2.1 Litteratur om ulykkesansynlighet ved skred

Dette delkapitlet presenterer studier som har forsøkt å beregne sannsynligheten for personskader ved skred som går over veger som er åpne for alminnelig ferdsel. Studiene er funnet ved litteratursøk i Google Scholar og Scencedirect. Studiene presenteres i kronologisk rekkefølge.

Studiene benytter omtrent samme tilnærming til beregning av sannsynlighet for personskader. De bygger på en risikomodel som presenteres i neste avsnitt. Ingen av studiene har imidlertid testet denne risikomodellen empirisk. Slik sett må resultatene av alle studier som omtales nedenfor regnes som hypotetiske. Resultatene bygger delvis på usikre antakelser som det er grunn til å undersøke nærmere.

2.1.1 Risikomodel for personskader

Den eldste av studiene som er funnet, Hazzard (1998), presenterer en generell risikomodel for personskader ved skred. Kun sannsynligheten for å bli drept er beregnet (angitt ved $P(D)$), men modellens oppbygging er den samme for alle personskader.

Risikomodellen som presenteres i Hazzard (1998) er:

$$P(D) = f_h \times P(S|H) \times P(T|S) \times P(I|S) \times P(L|I) \quad (1)$$

Dette uttrykket beregner sannsynligheten for at det skal forekomme en dødsulykke i løpet av et år i et gitt avgrenset område. Her er:

- f_h = antall skred per år i området, delt i grupper etter størrelse. Størrelse angis i kubikkmeter utrast masse.
- $P(S|H)$ = sannsynligheten for at et kjøretøy befinner seg i det området skredet dekker (sannsynligheten for å bli truffet av et skred).
- $P(T|S)$ = sannsynligheten for at kjøretøy er på vegen samtidig som det går et skred. I modellen til Hazzard (1998) settes denne lik 1 med begrunnelsen at trafikken er kontinuerlig, slik at det alltid befinner seg et kjøretøy på en veg der det kan gå skred (men selvsagt ikke nødvendigvis på det stedet skredet går).
- $P(I|S)$ = sannsynligheten for at et skred dekker begge kjørefelt på en veg slik at kjøretøy i begge retninger kan bli truffet av et skred.
- $P(L|I)$ = sannsynligheten for at en skade er dødelig gitt at et kjøretøy treffes av skred.

I modellen til Hazzard (1998) ble forventet årlig antall skred av ulikt omfang (f_h) beregnet ved å føye funksjoner til FN-kurver. En FN-kurve viser sammenhengen mellom frekvens (F), angitt som antall hendelser per år, og omfang (N), angitt ved kubikkmeter utrast masse. I et FN-diagram brukes ofte logaritmisk skala på begge akser. FN-kurven vil da ofte være en tilnærmet rett linje som faller mot høyre i diagrammet⁴. Dette illustrerer at skred med lite omfang skjer langt oftere enn skred av stort omfang, og at antall skred (f.eks. per tiår) er sterkt avtagende i størrelseskategori.

$P(S|H)$ ble beregnet etter følgende formel:

$$P(S|H) = \frac{L_k + L_s}{L_a}$$

⁴ Slike log-log-diagrammer brukes gjerne for å illustrere sannsynlighetsfordelinger som følger en [potenslov](#) (power law), som innebærer at frekvensen av et størrelsesomfang er eksponentielt avtagende med omfanget

L_k er lengden på et kjøretøy. For personbiler regnet Hazzard (1998) med en lengde på 5,4 meter. L_s er bredden på et skred, som er lik den veglengden skredet dekker. L_a er avstanden mellom to kjøretøy. Det antas at kjøretøyene ankommer uniformt, det vil si med like lange tidsluker (maksimal avstand mellom kjøretøyene ved en gitt trafikkmengde). Avstanden kan da beregnes slik:

$$L_a = \frac{V_{m/t} \times 24}{\text{ÅDT}}$$

$V_{m/t}$ er gjennomsnittsfart regnet i meter per time. En bil som kjører i 60 km/t tilbakelegger 16,67 meter per sekund. Det tilsvarer 60 000 meter per time. Hvis årsdøgntrafikken (ÅDT) er 1 500, blir avstanden mellom biler 960 meter $[(60\,000 \times 24)/1\,500]$.

Hazzard (1998) gjorde skjønnsmessige betraktninger om sannsynligheten for at et skred skal dekke begge kjørefelt og for at det skal føre til dødelige skader. På grunnlag av modellen beregnet hun sannsynligheten for at et tilfeldig valgt kjøretøy skulle bli rammet av et skred som førte til dødsfall. På seksjon 1 av veg nummer 99 ble denne sannsynligheten beregnet til 5,5 per 100 millioner kjøretøy. Det er viktig å merke seg at denne sannsynligheten gjelder et enkelt kjøretøy, og ikke viser den totale sannsynligheten for at det skal forekomme en dødsulykke (ligning 1). Ligning 1 viser sannsynligheten for at det skal forekomme en dødsulykke i et gitt område med en gitt trafikkmengde. Denne sannsynligheten, som vi kan kalle for samfunnsmessig risiko, er normalt flere størrelsesordener høyere enn sannsynligheten for at et tilfeldig valgt kjøretøy (blant de kanskje mange tusen som passerer en strekning i løpet av et år) skal bli truffet av skred. Hvis man kjenner samfunnsmessig risiko, kan imidlertid individuell risiko enkelt beregnes.

2.1.2 Sannsynligheter for personskadeulykker og dødsfall knyttet til skred på vei

Hazzard (1998) oppgir i tabell 2.1 beregnede risiko for dødsulykker knyttet til skred på Highway 99 i British Columbia i Canada.

Tabell 2.1: Årlig sannsynlighet for dødsulykker knyttet til skred på Highway 99 i British Columbia. Kilde: Hazzard 1998)

Magnitude Class (m ³)	Annual Frequency, f_h	L_1 (m)	P(S:H)	P(I:S)	P(L:I)	P(A)
0.001-0.01	79.8	0.01	0.014	0.05	0.05	0.0028
0.01-0.1	29.3	0.1	0.014	0.1	0.1	0.0042
0.1-1.0	10.8	0.5	0.015	0.3	0.2	0.010
1.0-10	3.95	2.0	0.019	0.6	0.4	0.018
10-100	1.46	5.0	0.027	0.8	0.6	0.019
100-1000	0.53	10.0	0.040	1.0	1.0	0.021
1000-10000	0.20	25.0	0.079	1.0	1.0	0.016
10000-100000	0.068	50.0	0.14	1.0	1.0	0.0098
Total						0.10

Første kolonne viser skred inndelt etter størrelse. Det forekommer over 100 skred per år på vegen, de fleste (79,8) med et volum på mindre enn 0,01 kubikkmeter. Veglengden L_1 (m) som er berørt av skredene varierer mellom 0,01 meter og 50 meter.⁵

Sannsynligheten for at et skred treffer et kjøretøy, $P(S|H)$, varierer mellom 1,4% og 14%. Denne sannsynligheten varierer lite for skred med bredde mellom 0,01 og 2 meter. Sannsynligheten for at et skred dekker begge kjørefelt, $P(I|S)$, varierer mellom 5% og 100%.

⁵ Kun avrundede verdier oppgis. Disse verdiene bygger trolig på skjønn, ikke faktiske målinger.

Etter vår vurdering framstår verdiene for små skred noe ulogiske. Et skred med volum på 0,01-0,1 kubikkmeter har en oppgitt sannsynlighet på 10% for å dekke begge kjørefelt. Hvis et slikt skred består av en stein som vi antar har form som en terning vil den ha en lengde, bredde og høyde på høyst 0,47 meter ($0,47^3 = 0,10$). Et kjørefelt er vanligvis 3,0-3,5 meter bredt. En stein med volum 0,1 kubikkmeter kan umulig dekke mer enn høyst en liten andel av et kjørefelt. Men, består skredet av mange småsteiner som til sammen har et volum på 0,1 kubikkmeter, kan selvsagt disse steinene være spredt utover begge kjørefelt. Hvis det er 100 like store steiner (terninger), vil hver av dem ha lengde, bredde og høyde på 10 centimeter. Slike steiner vil det vanligvis være mulig å fjerne manuelt, eventuelt passere i lav fart.

Neste kolonne, $P(L|I)$, viser sannsynligheten for å bli drept hvis man treffes av skredet. Verdiene er avrundede og Hazzard (1998) sier at de er skjønnsmessige. På Highway 99 var det i en periode på 35 år 19 som ble drept av skred og fem som ble skadet. Det gis ingen informasjon om hvordan de 19 drepte fordelte seg mellom skred med ulikt volum.

Forventet antall dødsfall, $P(A)$, fremkommer som følgende produkt (første linje i tabellen brukes som eksempel): $79,8 \times 0,014 \times 0,05 \times 0,05 = 0,0028$. Ved å summere alle linjer fremkommer forventet årlig antall drepte nederst i tabellen; 0,10.

Det er årlig 12000×365 kjøretøy som passerer strekningen. Sannsynligheten for at et tilfeldig kjøretøy skal bli rammet av et skred som fører til dødsfall er da:

Sannsynlighet = $0,10 / (12000 \times 365) = 2,3$ per 100 millioner kjøretøypasseringer.

Veglengden er ikke oppgitt, så sannsynligheten per million kjøretøykilometer kan ikke oppgis. Et kart tyder på at vegen er minst 150 kilometer lang. Forutsettes dette, blir risiko for å bli drept 1,63 per 10 milliarder kjøretøykilometer. Til sammenligning var risikoen for å bli drept i trafikken i Norge i 2022 (alle trafikantgrupper) litt under 2,5 per milliard kjøretøykilometer.

Hazzard (1998) undersøker sannsynligheten for å bli drept i et skred. Samtidig vet man at dødsfall i forbindelse med skred forekommer sjeldnere enn personskader. Det er derfor av interesse å undersøke sannsynligheten for personskader, som trolig er høyere enn sannsynligheten for å bli drept. Samtidig finnes det få undersøkelser av sannsynligheten for personskader ved skred over veger. Li et al. (2019) beregnet sannsynligheten for at kjøretøy eller personer skulle bli truffet av skred for tre veger i Kina. Risikoen ble delt i tre klasser: (1) akseptabel, det vil si mindre enn 1/100.000; (2) bør reduseres, det vil si mellom 1/100.000 og 1/1000; (3) uakseptabel, det vil si høyere enn 1/1000. Resultatet viste at for alle tre veger sett under ett, ble risikoen beregnet som akseptabel for 39,1 % av veglengden. Den burde reduseres på 42,4 % av veglengden og var uakseptabel på 18,5 % av veglengden. Sannsynligheten for å omkomme hvis man ble truffet av et skred ble angitt som funksjon av skredets omfang i kubikkmeter.

Winter (2019) beregnet risikoen for å bli drept av skred for to veger i Skottland. På den ene vegen ble årlig risiko for å bli drept beregnet til 1,58 per milliard turer. På den andre vegen ble risikoen beregnet til 1,15 per 10 milliarder turer. Disse risikotallene gjaldt under forutsetning om at man tok en tur på vegen i løpet av et år. For dem som tok flere turer, var risikoen høyere. For pendlere ble den beregnet til 7,44 per 10 millioner turer og 5,39 per 100 millioner turer for de to vegene. Dessverre knytter ikke undersøkelsen til Winter (2019) denne risikoen til sannsynligheten for at det skal forekomme skred med ulikt omfang. Selv om slik sammenheng må ha vært etablert under beregningene, blir bare sluttresultatet presentert, ikke mellomregningene.

Winter og Wong (2020) bygger på Winter (2019) og analyserer de samme vegene, men med en noe utvidet kvantitativ risikomodel. Her er også sannsynligheten for at et skred som kan forårsake dødsfall beregnet. Sannsynligheten for dette ble beregnet til 4,08/1000 per år for den ene vegen og 2,62/10.000 for den andre vegen.

2.1.3 Drøfting av funn fra litteraturgjennomgangen

Risikomodellen som presenteres i avsnitt 2 er, i litt ulike varianter, benyttet i alle studier som har beregnet risiko for personskader knyttet til skred. Litt forenklet består modellen av tre ledd:

Forventet antall personskader = Forekomst av skred × Sannsynlighet for å bli truffet av skred × Sannsynligheten for å bli skadet gitt at man er truffet av skred

En slik modell er nyttig dersom man har som mål å beregne sannsynligheten for å bli drept eller skadet per tur eller per kjørte kilometer langs en vegstrekning. Modellen, slik den er formulert i kapittel 2.1.2 beregner samfunnsmessig risiko, uttrykt som forventet antall personskader per tidsenhet for en gitt vegstrekning.

De få studiene som benytter denne modellen, og som tallfester risiko eller forventet antall skader, har flere begrensninger.

For det første beregner modellene i de fleste tilfeller kun sannsynligheten for å bli drept. Dersom man skal gjøre samfunnsøkonomiske analyser av skredsikring, er imidlertid sannsynligheten for alle typer skader av interesse, alt fra rent materielle skader på veg eller kjøretøy, opp til dødsfall. Mellom disse ytterpunktene finner man personskader med ulik alvorlighetsgrad.

Hvis et skred fører til et dødsfall, kan man som oftest anta at de materielle skader også er omfattende, i det minste hvis de drepte satt i en bil. Men i noen studier, spesielt Li mfl. (2019), beregnes også en sannsynlighet for dødsfall blant personer som ikke sitter i en bil. En slik hendelse er også sannsynlig. Et eksempel er dersom en bil kommer til et skred som sperrer vegen. Personene går ut av bilen, men treffes så av steinsprang som tar livet av dem.

For det andre viser det seg at sannsynligheten for å bli drept ved et skred er lite kjent. Li mfl. (2019) benytter seg av en enkel sammenheng, vist i tabell 2.2:

Tabell 2.2: Sammenheng mellom skredvolum (steinscred) og sannsynligheten for å bli drept, gitt at bilen blir truffet av skredet. Hentet fra Li mfl. (2019).

Skredomfang (m3)	Sannsynlighet for å bli drept (personer i bil)
0,001-0,01	0,05
0,01-0,1	0,10
0,1-0,5	0,20
0,5-1,0	0,30
1-2	0,40
2-5	0,50
5-10	0,60
10-20	0,80
20-50	0,90
50 og mer	1,00

De sier at denne sammenhengen er utledet «heuristically» fra Hungr et al. (1999). Studien til Hungr et al. (1999) oppgir imidlertid ingen andre tall enn dem som er gjengitt over, men bemerker bare at: «*The vulnerability of an occupant of a vehicle in a given impact is difficult to estimate, although damage statistics compiled in the database will be used in the future to analyse this problem.*» En slik analyse er ikke funnet ved litteratursøket.

For det tredje viser ikke studiene hvordan risikoen for personskader ved skred varierer med hensyn til skredhyppighet, skredomfang og trafikkmengde. Studiene er begrenset til en eller noe få vegstrek-

ninger, der variasjonen er begrenset. Variasjon i forbindelse med trafikkmengde er av spesiell interesse. Generelt avhenger den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av alle tiltak på vegnettet sterkt av trafikkmengde. Li et al. (2019) oppgir ikke trafikkmengde for de vegene som studeres. Winter og Wong (2020) studerte vegene A83 og A85 i Skottland. Trafikkmengde oppgis ikke, men man kan anta at begge veger har relativt stor trafikk (antydningvis ÅDT i området 5.000-15.000). Mange skredutsatte veger i Norge har vesentlig mindre trafikk enn dette. Færre skred vil dermed kunne treffe passerende kjøretøy.

For det fjerde har ingen av studiene søkt å teste risikomodellen empirisk. Med det menes at de tester hvor godt modellen predikerer antall drepte på en strekning med gitt skreddata. Alle studier har bare beregnet et forventet antall drepte ved hjelp av risikomodellen, men ikke undersøkt hvor riktig det beregnede antallet er.



Figur 2.1: Riksvei 13 – eksempel på et skredutsatt område. Bilde hentet fra Nye Veier AS.

2.2 Litteratur om verdsetting av skredfare

Skredfare var ett av de mange temaene som ble gjennomgått i de to foregående verdsettingsprosjektene for samferdselssektoren (Flügel et al., 2020; Samstad et al., 2010) som ble ledet av Transportøkonomisk institutt. I begge verdsettingsstudiene inngikk det et deloppdrag om å estimere økonomiske verdier av redusert skredfare*utrygghet* eller skredfare*ubehag* (Flügel et al., 2010; Navrud et al., 2020). Verdsettingen av *utrygghet* eller *ubehag* skulle inngå som et *tillegg til* verdsettingen av (den rene) personskaderisiko og omkjøringsulempen ved infrastrukturstengning. Verdsettingen av ubehag burde dermed omfatte noe annet enn det som allerede var inkludert av skred(fare)effekter i eksisterende skredmodul for nytte-kostnadsanalyse (NKA) av skredfare-reduserende tiltak i NKA-verktøyet EFFEKT (Straume & Bertelsen, 2015, kap. 10). Her inkluderes både personskaderisiko og omkjøringsulempen ved infrastrukturstengning.

Skred i Norge har betydelige økonomiske konsekvenser når det kommer til transport. Tvungne omkjøringer gir økte reisetidskostnader, og forhindrede reiser kan gi direkte økonomiske tap (Bardal & Mathisen, 2019; Bråthen et al., 2008).

Slike effekter er tatt med som økonomiske effekter i den offisielle håndboken (Håndbok V712) for konsekvensanalyser og i EFFEKT (Statens vegvesen Vegdirektoratet, 2021; Straume & Bertelsen, 2015). Da er også potensielle personskader, kjøretøyskader og andre materielle skader (inkludert risikoendring ved bruk omkjøringsrute) tatt hensyn til.

Flere har vurdert om det kan være særskilte (økonomiske) velferdseffekter av skredfare og annen naturfare, utover de direkte målbare effektene forårsaket av transporthindring og skade. Det kunne jo f.eks. være at opplevelsen av skred som en dramatisk katastrofe gjør at folk verdsetter å redusere risikoen for å bli drept av skred høyere enn risikoen for å bli drept i mer standard trafikkulykker. Rheinberger (2011) undersøkte folks verdsetting av å redusere risikoen for dødsfall i transport, med bruk av spørreskjema-baserte valgeksperimenter. Det ble satt opp et sett med parvise valg mellom ulike utforminger av 10-årige ulykkesrisikoprojekter på sveitsiske veger. Han sammenliknet verdsettingen når ulykkesårsaken var skred opp mot mer standard trafikkulykkesårsak, og han fant ingen signifikant skredårsak-effekt på verdsettingen. Verdsettingen av personskaderisiko ble dermed estimert til å være den samme, uavhengig om risikoen stammet fra skred eller andre ulykkesårsaker.

Flügel et al. (2010) og Flügel et al. (2015) brukte valgeksperiment i et utvalg av bilførere i Norge, for parvise valg mellom alternative vegstrekninger (eller alternative strekningsutforminger). Det som var spesifisert i alternativene var reisetid, antall drepte og hardt skadde, andelen av strekningen som gikk gjennom skredutsatt område, samt reisekostnaden. Det ble funnet en signifikant positiv betalingsvillighet for å redusere andelen av veien som er utsatt for skred (med et estimert gjennomsnitt på 2-3 kroner per km med fjernet skredfare per reise).

Mattea et al. (2016), Thiene et al. (2017) og Franceschinis et al. (2020) estimerte lokalbefolkningens og turistenes betalingsvillighet for ulike skredsikringstiltak langs veg i de italienske alpene. I deres valgeksperiment inngikk kun spesifiserte tiltakstyper (bassenger og kanaler for skred-/vannoppsamling og videoovervåking og akustiske sensorer for varsling) og kostnad (bompenger), og ikke spesifiserte effekter på personskader, vegstenging o.l. Funnene peker generelt på signifikant positiv verdsetting av alle de fire spesifiserte tiltakene.

Navrud et al. (2020) gjennomførte et valgeksperiment i rutevalgssammenheng. Det omfattet (forventet) skredfrekvens og (forventet gjennomsnittlig) skredstørrelse, for skred som treffer infrastrukturen, sammen med infrastrukturstenging, antall hardt skadde og døde, reisetid og reisekostnad. Reisevalgene ble gjennomført for ulike caseområder og for ulike transportmidler, som var baserte på respondentenes bosted og rapporterte transportmiddelbruk. Alle de fem elementene, samt reisekostnaden, er å regne som uønskede («onder»), og det ble estimert signifikant negative koeffisienter for en enhets økning av alle seks. Det viste at respondentene avveide skredstørrelse og skredfrekvens (som nådde infrastrukturen) opp mot stengingsrisiko, alvorlig ulykkesrisiko, reisetid og reisekostnad. Det indikerer at det er økonomisk verdi knyttet til endring i skredstørrelse og skredfrekvens (som påvirker infrastrukturen), i tillegg til den økonomiske verdien knyttet til endring i (forventet) stengingshyppighet, endring i ulykkesrisikoen (som medfører alvorlige skader eller dødsfall) og endring i reisetiden.⁶

Spegel og Ek (2022) brukte et valgeksperiment i Sverige der det ble spesifisert flere typer skredpåvirkninger. Dette inkluderte 1) infrastrukterskade eller stenging (vei/jernbane), 2) skade eller tap av samfunnstjenester (vannforsyning, sykehus, skoler) og 3) miljøforurensning, i tillegg til 4) personskader og 5) kostnader for innbyggerne (spesifisert som kommunale avgifter). De fant en betalingsvilje for å redusere risikoen for alle påvirkninger, men relativt mindre for skade eller stenging av infrastruktur enn for de øvrige mulige effektene.

⁶ Navrud et al. (2020) inkluderte også en annen verdsettingsmetodikk, såkalt *betinget verdsetting* med direkte spørsmål om betalingsvillighet for bl.a. tunnelbyggingstiltak og andre skredsikringstiltak.

Oppsummert er forskningsoppdragene om transporttilknyttet skredfareverdsetting i Norge beskrevet som verdsetting av skredfaretrygghet/-ubehag.⁷ Internasjonalt har verdsetting av skredfare i forbindelse med transport omfattet både verdsetting av skredsikringstiltak og verdsetting av andre spesifiserte effekttyper (f.eks. personskade eller infrastrukturetskade). Verdsettingsstudiene knyttet til skredfare i Norge og utlandet har dermed hatt noe ulike innfallsvinkler.

Selv om studiene kan ha noe ulike innfallsvinkler, kan det fortsatt være en del sammenfall mellom verdsettingene. Det er mulig at noen av de effekt-typene som Spegel og Ek (2022) inkluderte i sin studie (f.eks. tap av samfunnstjenester og miljøforurensing), også kan inngå i motivasjonen for verdsettingen av tiltak for redusert skredfrekvens og skredstørrelse som rammer transportinfrastrukturen, slik som i Navrud et al. (2020). Videre kan tiltak for å redusere sannsynligheten for at skred treffer infrastrukturen eller at skredene som treffer infrastrukturen blir mindre (en smalere bredde langs vegen blir truffet) tenkes å redusere flere effekter enn de som allerede inngår i samfunnsøkonomiske analyser. Dermed kan verdsettingen av tiltakene inneholde mer enn f.eks. verdsettingen av reisetidsendring, endring i infrastrukturpålidelighet (stengning, omkjøringsulemper og istandsetting) og endring i personskaderisiko.

⁷ Riktignok knyttet Flügel et al. (2010; 2015) så vel som Navrud et al. (2020) verdsettingen til målbare elementer ved skredfarerisikoen, dvs. forventet hendelsesfrekvens og skadepotensial. Det som Flügel et al. (2011; 2015) operasjonaliserte som «andel av vegstrekningen utsatt for skredfare» kan knyttes til det som Straume og Bertelsen (2015, kap. 10, s. 138) benevner L_{TN} : «veglengden (m) for aktuell naboskredgruppe», gitt naboskred, eller L_A , gitt kun primærskred av en viss lengde (m). Vi tolker det slik at, gitt naboskred, L_B , så kan L_{TN} bli et lengre enn summen av L_A+L_B , f.eks. L_A+M+L_B , der M er et område av en viss bredde mellom primærskredet og naboskredet; slik at vegstrekningen utsatt for skredfare generelt kan være bredere enn summen av de skredbreddene som treffer vegen ($L_A+L_{B1}+L_{B2}+...+L_{Bn}$).

3 Data og metode

I dette kapitlet beskriver vi datamaterialet vi bruker, og metodene vi bruker til å analysere det. I første delkapittel gjennomgår vi data og metode for analysering av ulykkessannsynligheter ved skred i Norge. I andre delkapittel gjennomgår vi data og metode for verdsetting av redusert skredfrekvens – og volum (som kommer i tillegg til personskaderisiko og omkjøringsulemper).

3.1 Data og metode – ulykkessannsynlighet ved skred

3.1.1 Skreddata fra Nasjonal vegdatabank

Nasjonal vegdatabank (NVDB) er en database med informasjon om statlige, kommunale, private, fylkes- og skogsbilveger.⁸ Vi gjorde et uttrekk fra NVDB (via vegkart.atlas.vegvesen.no) 17.01.2024 på alle registreringer av *Vegobjekttype 445 – Skred* i Norge i databasen. Det ga oss et datasett på 63 398 skredhendelser mellom 1950 og (de første 17 dagene av) 2024.

Registrering av skred gjøres ikke automatisk, men må legges inn manuelt i rapporteringssystemet. Dette gjøres normalt av ansatte i Statens vegvesen eller entreprenører ansvarlig for drift av de utsatte vegstrekningene. I rapporten *Skredsikringsbehov for riks- og fylkesvegar i Region vest* (Statens vegvesen, 2019a) påpekes det følgende: *Vegvesenet har som krav til våre entreprenører at alle typer skred/nedfall på vegane skal registrerast. Når vi samanliknar registreringane med informasjon frå lokalkjende, ser vi at om lag 2/3 av skreda som treff vegane ikkje vert registrerte. Av erfaring veit vi at dette i hovudsak gjeld mindre skred/nedfall som ikkje stenger vegen.* Vi må derfor forvente at datasettet på skredhendelser fra NVDB representerer en underregistrering av det reelle antall skred, og at **det kan være betydelige mørketall**. Etersom Statens vegvesen (2019) påpeker at det gjerne er de mindre skredene med lav eller ingen konsekvens for trafikk som ikke blir registrert, er vi mindre bekymret for underregistrering av hendelser med konsekvenser for infrastruktur, kjøretøy eller liv og helse.

Vi begrenser oss til analyser av skredhendelser mellom 2000 og 2023. Til sammenligning hadde Statens vegvesen (2019) også år 2000 som startår i sin gjennomgang av skredstatistikken i rapporten referert til i forrige avsnitt. Vi observerer også at det er en vesentlig økning i antall årlige registreringer etter år 2000 sammenlignet med årene før. Dette kan indikere et økt fokus på registrering etter år 2000, og dermed er faren større for skjevheter i dataene dersom vi benytter data som er eldre enn år 2000. 24 år med skredregistreringer og til sammen 54 231 skredobservasjoner vurderes uansett som et tilstrekkelig datasett til dette analyseoppdraget.

Vi må imidlertid være oppmerksomme på at det sannsynligvis er en generell underrapportering av skredhendelser, og at registreringsrutiner varierer over tid og på tvers av områder. Det er viktig å være oppmerksom på denne usikkerheten i datamaterialet. Uformelle samtaler med eksperter i NGI og NVE indikerer at man bør være varsom med å legge for mye vekt på registreringene for å peke ut trender i skredaktivitet, i hvert fall hvis man bryter det ned på mindre geografiske områder. Samtidig, og som nevnt tidligere, det er grunn til å forvente mindre grad av underrapportering og usikkerhet i registreringer av skred med alvorlige konsekvenser, som er hovedfokus i denne studien.

⁸ <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/nasjonal-vegdatabank/>

3.1.2 Skreddata fra NVE

Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) har rike data på blant annet nedbørsfelt, hydrologisk data, flomdata og skreddata. Det er sistnevnte som er relevant for dette prosjektet.⁹ Per februar 2024 var det registrert 95 697 skredhendelser i databasen. Forholdsvis nøyaktige noteringer går tilbake til år 1900, men eldre skred er også registrert basert på lokale historier.

Skred-datasettet fra NVE gir en bredere dekning av skred enn det vi finner i NVDB. I NVE-datasettet registreres eksempelvis også skred som forårsaker skade på bygninger, jernbane og dyrket mark, i tillegg til vei. Registreringene er også mer detaljerte på noen områder. Spesielt nyttig er data om antall omkomne, som er informasjon som er mer inngående enn hvorvidt det var en personskafe i NVDB. Til vårt formål er alle observasjoner hvor skred forårsaket omkomne på vei som er viktig å sammenkoble med vårt datasett fra NVDB.

For tidsperioden 2000-2023 er det registrert 13 tilfeller av skred som forårsaker omkomne på vei, med totalt 18 drepte. I feltet med mer utfyllende informasjon om skredet kan man også se at det i tillegg var tre hardt skadde i disse skredulykkene. Disse observasjonene vil være sentrale i estimeringen av gjennomsnittlig skadegrad for skred som treffer kjøretøy på vei.

Det var ingen felles unik koblingsnøkkel mellom registrerte skred fra NVDB og skred registrert hos NVE. Ettersom det bare er snakk om 13 registreringer av dødsulykker på vei, kunne dette gjøres manuelt ved å sortere NVDB-registreringene etter dato og finne riktig sted. Stedsangivelsene varierer mellom de to datasettene og det er ikke praktisert konsekvent om det oppgis på kommunenivå, tettstedsnivå eller utfra andre geografiske angivelser.

I arbeidet med sammenkobling fremkommer det at det er visse svakheter i skredregistreringene hos NVDB. I 6 av de 13 tilfellene er det ikke notert «Skade på person» i NVDB-registreringene. Enda mer alvorlig er at ett av de 13 tilfellene med omkomne ikke er å oppdrive i NVDB-databasen i det hele tatt. Enten er det ikke registrert, eller så er det feilregistrert (f.eks. med feil dato). Dette viser at **underregistreringene av skred i NVDB ikke bare angår de mindre alvorlige skredene** som ikke forårsaker skade eller veistengning, men også noen av de mest alvorlige skredhendelsene. Det virker fortsatt rimelig at underregistreringene mest gjelder de mindre alvorlige hendelsene, men det understreker at det er generelt mye usikkerhet i datagrunnlaget og funnene må tolkes med forsiktighet.

3.1.3 Analysemetoder for skreddata

Så vidt vi vet er det første gang at skredhendelsene i NVDB gjennomgås systematisk, med formål om å analysere mønstre i skader på kjøretøy og person som følge av skred. Det er også første gang det settes i sammenheng med data på dødsfall fra NVE. Vi starter med en deskriptiv gjennomgang av skred-dataen, med lett forståelige figurer. Den deskriptive analysen vil starte bredt for å gi et oversiktsbilde, og gradvis snevres inn til å fokusere på personskafe og dødsfall.

Et sentralt spørsmål er i hvilken grad personer skades som følge av kontakt med et gitt skred. Med det datamaterialet vil vår hovedvariabel være en binær variabel; enten «personskafe» eller «ikke personskafe». Når vi skal estimere sannsynligheter for at de ulike kategoriene skal inntreffe er det **hensiktsmessig å bruke en logit-modell** (se f.eks. Mehmetoglu & Jakobsen, 2016). Logit-modellen beregner sannsynligheten for at for at vår avhengige variabel (1 = personskafe) skal inntreffe (i motsetning til 0 = ikke-personskafe), gitt verdien på våre forklaringsvariabler. Ettersom vår avhengige variabel er binær og ikke kontinuerlig, vil den være å foretrekke over lineære regresjonsmodeller (f.eks. minste kvadraters metode), som i slike situasjoner er ineffektive og kan produsere estimater utenfor 0-1 intervallet.

⁹ <https://nedlasting.nve.no/gis/>

3.2 Data og metode – verdsetting av skredfare

3.2.1 Spørreundersøkellesdata –verdsetting av skredfare/skredeffekter

Det er valgekspérimentet i undersøkelsen til Navrud et al. (2020) som ligger til grunn i denne rapporten. Vi tar også utgangspunkt i forslaget til anvendelse av disse verdsettingsresultatene i nytte-kostnads-analysene, gitt av Magnussen et al. (2022). Valgekspérimentet inkluderte (som allerede nevnt), følgende effekter: skredstørrelse, skredfrekvens, infrastrukturstengingsfrekvens, antall hardt skadde eller døde, reisetid og reisekostnad.

Verdsettingene av skred og skredfare-effekter i 2020 ble knyttet til to strekninger i Norge der delstrekninger er skredutsatt, nemlig mellom Bergen og Voss, og mellom Bodø og Mo i Rana. Det ble samlet inn opplysninger om skrefrekvenser og skredstørrelser på disse strekningene fra kontaktpersoner i Statens vegvesen og i Jernbaneverket (Navrud et al., 2020). I tillegg ble det tatt med en «generisk» strekning, for de respondentene som ikke hadde reist mellom Bergen og Voss eller mellom Bodø og Mo i Rana i løpet av den siste måneden. Den generiske strekningen kan beskrives som en hypotetisk skredutsatt strekning, som for så vidt kunne være hvor som helst i Norge. Den generiske strekningen hadde enten samme referanseverdier for skredrelaterte effekter som de to konkrete strekningene, eller, om det var forskjell mellom de to, fikk den generiske en referanseverdi mellom de to.

Det ble vektlagt i introduksjonen til scenariet for valgekspérimentet at skredfrekvens og skredstørrelse i denne sammenhengen handlet om det som treffer infrastrukturen. Skredstørrelsen ble forklart med en skredfigur, hvor både skredvolumet og skredbredden ble beskrevet. De presenterte forventede skredfrekvenser og gjennomsnittlige skredbreddene/-volumene på strekningene. Referanseverdiene er oppsummert i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Referanseverdier for skredstørrelse, skredfrekvens, vegstenginger, alvorlige personskader/dødsfall.

		E16, Bergen – Voss (100 km)	Generisk – en ikke- plassert 150 km strekning	Rv80/E6, Bodø – Mo i Rana (230 km)
Skredstørrelse:	Vanlig skredbredde som treffer vegen (m) / volum (m ³)	10 m / 100m ³	10 m / 100m ³	10 m / 100m ³
Skredfrekvens:	Dager med skred langs strekningen, som treffer vegen	12	12	12
Vegstenginger:	Dager stengt pga. skred per år	4	3	2
Risiko for hard skade / dødsfall:	Antall hardt skadde og døde i ulykker med transportmiddelet på strekningen i løpet av 10 år	30 (bil) / 6 (buss)	50 (bil) / 8 (buss)	70 (bil) / 10 (buss)

Merknad: Basert på Navrud et al. (2020, tabell 3.1.a).

I utvalget var bil, buss og tog de spesifiserte transportmidlene i de parvise valgene. Transportmidlet var delvis selv-selektert, men for de som hadde brukt flere av transportmidlene på strekningen ble det gitt prioritering for tog og buss før bil. Nesten 73 % av de 1606 respondentene i samvalg-analysene vurderte tiltak på veg, mens 27% vurderte tiltak for tog. 35 % av de 1169 respondentene som vurderte tiltak på veg hadde buss som transportmiddel og 65 % bil (Navrud et al., 2020). Den faktiske andelen bil og buss vil variere på ulike skredutsatte strekninger; og det som vil være tilgjengelig av transportmiddelfordelinger kan heller være andeler lettere og tyngre kjøretøy (uten buss spesifisert).

I verdsettingsstudien, i den delen som omfattet verdsetting av skredfare (Navrud et al. 2020), valgte respondentene mellom to reisealternativer. Begge ble beskrevet med tallverdier for skredstørrelse, skredfrekvens, vegstengninger, og alvorlige personskader/dødsfall, samt reisetid og reisekostnad. I diskrete valgekspesimenter vil respondentene bli bedt om å vurdere alternativer som har ulike attributtnivåer. I verdsettingen av skredfare ble tallene for disse seks attributtene variert rundt sine referanseverdier, hvor to nivåer hadde lavere tall og to nivåer hadde høyere tall. Dette er vist i tabell 3.2, der variasjonene (attributtnivåene) er tilordnet alle tre vegstrekninger (E16, Bergen - Voss, generisk strekning, Rv80/E6, Bodø - Mo i Rana).

Tabell 3.2: Attributtnivåer for skredstørrelse, skredfrekvens, vegstengninger, og alvorlige personskader / dødsfall

Attributtnivåer	1 («best»)	2	3 (referanse-verdi)	4	5 («verst»)
Skredstørrelse:	0 (skredet når kun veggrøft)	1 m	10 m	100 m	1000 m
Skredfrekvens:	0	6 (12*0.5)	12	24 (12*2)	48 (12*4)
Vegstengninger:	0	referanse_vegstenging*0.5	referanse_vegstenging (4 eller 3 eller 2)	referanse_vegstenging*2	referanse_vegstenging*4
Risiko for hard skade / dødsfall:	referanse_skade*0.4	referanse_skade*0.7	referanse_skade (30 / 6 eller 50 / 8 eller 70 / 10)	referanse_skade*1.15	referanse_skade*1.3

Merknad: Basert på Navrud et al. (2020, tabellene 3.1.b, 3.1.c, 3.1.d).

Da alle attributtene er av en slik type at større tall er mer negative for de reisende enn lavere tall, så er attributtnivå 5 det «verste» og attributtnivå 1 det «beste». Da forventer vi også at respondenten velger alternativer med lavere attributtnivåer, alt annet gitt. Men ingen av alternativ-parene var slik spesifisert at det ene alternative var «bedre» (hadde lavere attributtnivåer) for alle seks attributtene – respondenten måtte avveie noe mot noe annet. Respondentene fikk åtte slike parvise valg. Figur 3.1 viser et eksempel på dette (Navrud et al., 2020).

Hvilket alternativ foretrekker du

	Alternativ A	Alternativ B
Dager per år med skred langs strekningen	12	24
Vanlig størrelse på skred langs strekningen (hvis det går skred), bredde/volum	100 meter/ 100 lastebillass	1000 meter/ 1000 lastebillass
Dager per år med stenging av strekningen Alle årsaker, ikke bare skred	16	4
Hardt skadde og døde i bilulykker på strekningen i løpet av 10 år Alle årsaker – de fleste skadene skyldes andre årsaker enn skred	35	21
Reisetid med bil for en reise på strekningen	53 minutter	90 minutter
Kostnad med bil for en reise på strekningen	75 kroner	162 kroner
	Alternativ A	Alternativ B

Figur 3.1: Eksempel på parvist valg, mellom reisealternativ A og reisealternativ B, i valgekspériment / samvalg. Kilde: Navrud et al. (2020, figur 3.5).

Det eksperimentelle designet var slik at hver respondent fikk tilfeldig tilordnet én av 30 mulige valg-kombinasjoner, i blokker med åtte parvise valg. Hver av disse ville ha med hele attributtnivåsettet for alle attributtene, dog med litt forskjeller i attributtnivåsett mellom strekningene og transportmidlene, som vist i tabellene over.

3.2.2 Metoder for verdsettingsanalyse basert på spørreundersøkellesdata

Med statistiske modeller kan vi estimere hvordan respondentene samlet sett har avveid de ulike attributtene i skredverdsettingsvalgekspérimentet. En standard modell er multinomial logitmodell (MNL-modell), som beregner sannsynligheter for at respondenter velger ett alternativ over andre diskrete valgalternativer, som en funksjon av alternativenes kvaliteter (attributter). Denne vil i vår sammenheng bygge på en såkalt tilfeldig nyttemodell, RUM *random utility model* (Train, 2009). Dette betyr at folks preferanser ikke er modellert som deterministiske i sitt forhold til alternativenes attributter, men også har en stokastisk (tilfeldig) komponent.

Tabell 3.3 viser resultatene fra MNL-modeller for ulike transportmidler, primært basert på Navrud et al. (2020). I tabellen har vi lagt til aggregerte estimater for skred som treffer veg, dvs. for en gjennomsnittlig reisende med både bil og buss. I den ene kolonnen er estimatene for skredfrekvens og skredstørrelse basert på 50-50-veking mellom buss og bil, slik som i Magnussen et al. (2022). Ettersom det er langt flere trafikanter som reiser med bil enn med buss på disse strekningene, har vi også tatt med 10-90-veking for hhv. buss- og bilreisende. Vi har inkludert verdsettinger av alle attributtene, gitt ved koeffisientforhold opp mot reisekostnadsattributtet.

Tabell 3.3: Estimert betalingsvillighet for ulike attributter i valgekspérimentet, multinomial logit (MNL), kr per reise (2019-kr)

	Tog	Buss	Veg (50-50)	Veg (10-90)	Bil	Alle
1 dag med skred	5,01	3,61	3,70	3,76	3,78	4,33
1 m skredbredde	0,10	0,12	0,13	0,14	0,14	0,13
1 dag med stenging av strekning	11,60	7,66	8,75	9,60	9,84	10,16
1 (statistisk) hard skade / dødsfall (per 10-år)	84,73	44,27	28,00	15,00	11,64	11,67
1 min reisetid	1,69	1,02	1,30	1,50	1,59	1,65

Merknad: Basert på Navrud et al. (2020, tabellene 4.3.a, 4.3.b) og Magnussen et al. (2022, kap. 4.2).

Vi anser verdsettingsestimatene for skredfrekvens og for skredbredde fra buss- og bilreisende til å være såpass like at vi velger å videreføre den samme 50-50-vektingen mellom buss- og bilreisende fra Magnussen et al. (2022). Dermed har vi en enkel lineær verdsettingsfunksjon som gjelder for «gjennomsnittstrafikanten» på vegen. Det innebærer 3,70 kroner per endring i forventede antall skredskred som treffer vegen og 0,13 kroner per meter skredbredde som treffer vegen.¹⁰

Navrud et al. (2020) oppgir 95 %-konfidensintervall for attributt-koeffisientestimatene. Vi har re-estimert modellen for å utlede standardfeilen til den estimerte betalingsvilligheten, hhv. for skredfrekvens-reduksjonen og skredstørrelse-reduksjonen.¹¹ Vi finner da at det for begge kan anslås et 95 %-konfidensintervall med nedre og øvre grense omtrent 25 % ned og opp fra gjennomsnittet. Det betyr omtrent [0,10 , 0,16] kroner per meter endring i forventet gjennomsnittlig skredbredde som når vegen, og omtrent [2,77 , 4,63] kroner per skredhendelse-endring i forventet gjennomsnittlig antall skred som vegen per år. Verdsettingene er som nevnt gitt som verdsettinger per reise.

Verdsettingene kan generelt variere med hva som er skredfare i utgangspunktet (referansesituasjonen) og hvor store endringer et skredtiltak forventes å medføre. Referanseverdiene for skredfrekvens og for skredbredde var de samme på alle strekninger. Det var heller ingen forskjeller mellom buss og bil som transportmiddel. Derfor har vi ikke data- eller analysegrunnlag til å foreslå variasjoner for skredfare. Videre gjelder generelt en forventning om avtakende grensenytte. Dette innebærer at et tiltak som for eksempel reduserer forventet gjennomsnittlig skredbredde med 50 meter, ikke nødvendigvis er 10 ganger mer verdifullt enn et tiltak som reduserer forventet gjennomsnittlig skredbredde med 5 meter. Og ditto for skredfrekvensen – reduksjonen fra forventet årlig antall (like store) skred lik 6 til 2 er ikke

¹⁰ Magnussen et al. (2022) presenterte eksempelberegninger med forenklede forutsetninger, for en skredutsatt vegstrekning, RV13 mellom Hardangerbrua og Skare. De benyttet en fast verdsetting for en reduksjon i forventet skredfrekvens og skredbredde som nådde vegen, 3,70 for reduksjonen i antall skredtilfeller og 1,30 for reduksjonen i skredbredden som nådde infrastrukturen (antatt å være i gjennomsnitt 10 m), dermed $3,70+1,30 = 5$ kr per reise (i 2019-kr). Magnussen et al. understreket behovet for videre metodeutvikling, at en fast (gjennomsnitt)verdi på 5 kr kunne testes ut for skredreducerende tiltak, på kort sikt, men at dette burde utvikles videre på lengre sikt (Magnussen et al., 2022, kap. 4.6).

¹¹ Betalingsvillighetsestimat med standardfeil basert på såkalt delta-metode (Hole, 2007), estimert i programmet R *Apollo* (Hess & Palma, 2019).

nødvendigvis dobbelt så verdifull som endringen fra 6 til 4. Samtidig er det gitt fra analysene at verdsettingen av reduksjon i skredstørrelser og antall skred, vil øke med størrelsen på disse reduksjonene, selv om ikke økningen nødvendigvis er lineær. Det vi har fra modelleringen, fra Navrud et al. (2020) og Magnussen et al. (2022), er kun faste enhetsverdier. **Det betyr at vi i praksis opererer med en enkel lineær betalingsvillighetsmodell.**¹²

Dersom man skal gjøre analyser av skredtiltak med NKA-verktøyet EFFEKT antas det per våren 2024 en fast betalingsvillighet per reisende på den skredutsatte strekningen på 5 kroner (3,70 kr + 1,30kr) (Kroksæter, 2022).¹³ Vi fortrekker den lineære betalingsvillighetsmodellen, og lar den beregnede nytteeffekten av et skredtiltak ved å ta hensyn til effektstørrelsen på skredfrekvens og skredstørrelsen. Det gir mer presisjon, samt åpner for muligheten til å differensiere nyttevurderingen av tiltak. Nytteestimatet for et skredtiltak, som inngår i NKA og EFFEKT-beregninger, vil dessuten være vektet med transportarbeidet på strekningen (ÅDT * belegg). Dermed vil trafikpopulasjonen som påvirkes av skredtiltaket påvirke størrelsen på nytteestimatet som inngår i NKA/EFFEKT.

Den lineære betalingsvillighetsmodellen er beheftet med usikkerhet. Usikkerheten knyttet til betalingsvilligheten øker jo større absolutt effekt et skredtiltak har. Det er likevel ikke opplagt at den estimerte nytten av tiltak som gir «stor» nedgang i forventet antall skred som rammer vegen eller «stor» reduksjon i forventet skredbredde som treffer vegen nødvendigvis vil gi betydelig overestimering av den reelle skredtiltak-nytt. Det er uansett god praksis i NKA å gjennomføre følsomhetsanalyser for å undersøke om resultatene er robuste for usikkerhetene i analysen. Ved følsomhetstesting for de usikre verdiene knyttet til betalingsvilligheten for redusert skredfrekvens og -bredde, kan det estimerte konfidensintervallet gi en god pekepinn på hvor mye usikkerhet som bør testes.

Bruken av verdsettingsestimatene i NKA av tiltak som reduserer den forventet frekvensen av skred eller reduserer den forventede gjennomsnittsbredden på skred er vist i kapittel 4.5.

3.2.3 Hva verdsettingen av redusert skredfrekvens/skredstørrelse kan representere

Vi har argumentert for at verdsetting av redusert skredfrekvens og skredbredde, når det er kontrollert for alvorlige personskader/dødsfall og infrastrukturstenginger, ikke bør betegnes som verdsetting av redusert skredfaretrygghet (eller skredubehag). **Utrygghet eller ubehag kan for så vidt være én av flere motiver for verdsetting, men sannsynligvis ikke et dominerende motiv.** Navrud et al. (2020) fant ingen statistisk signifikant sammenheng mellom betalingsvilligheten for redusert skredfrekvens eller -størrelse og oppgitt grad av skredfaretrygghet.¹⁴

En mulig driver av denne «rest-betalingsvilligheten» for redusert skredfrekvens og -bredde kan være knyttet til verdsetting av redusert usikkerhet i transportsystemet. En verdsetting av redusert *usikkerhet* omkring framtidig bruk er blitt betegnet som *opsjonsverdi* (Weisbrod, 1964)¹⁵. Bondemark et al. (2021)

¹² Det kan tenkes at tiltak som helt fjerner skredfaren, som bringer forventet frekvens av skred som når infrastrukturen til 0 (som implisitt også gir skredbredde lik 0), kan ha en ekstra verdi, men ikke i en lineær betalingsvillighetsmodell.

¹³ Det er basert på eksempelberegningene til Magnussen et al. (2022). De oppgitte beløpene er i 2019-kr.

¹⁴ Vi har testet dette på nytt, med litt ulike modeller, og finner samme resultat.

¹⁵ De som vet at de ikke vil ha behov for å bruke ressursen på et framtidig tidspunkt har ingen opsjonsverdi, og det har egentlig heller ikke de som vet helt sikkert at de vil ha behov for ressursen på ethvert framtidig tidspunkt. Det er usikkerheten om framtidig bruk (dvs. reduksjon av usikkerheten) som gir en opsjonsverdi, som kommer i tillegg til en bruksverdi (Weisbrod, 1964; Lindsay, 1969, Bondemark et al., 2021). Carson et al. (2001) klassifiserer opsjonsverdien som en «passiv bruksverdi».

presenterer litteratur som knytter opsjonsverdi til transporttilgjengelighet. Det betyr at individene har betalingsvillighet for en transporttilgjengelighet, selv om de ikke vet om de vil benytte seg av denne framtidige opsjonen. Transporttilgjengelighet kan her omfatte både transportmidler og (åpen) infrastruktur. Det kan altså være en forbedret opsjon om å kunne reise på et helt bestemt tidspunkt, for et gitt antall forventede årlige vegstenginger, som en verdsetting av redusert skredfrekvens eller -størrelse primært reflekterer.

Motivene bak en verdsetting av en opsjon om redusert usikkerhet rundt det å kunne reise på et gitt framtidig tidspunkt kan være mange. Et eksempel er at elementære behov må være tilgjengelige, som tilgang til mat og medisiner eller diverse samfunnsmessige tjenestefunksjoner (Jacobsen et al., 2016; Spegel & Ek, 2022). Noen kan føle et vedvarende ubehag gjennom enkelte sesonger, eller at ubehaget oppstår eller forsterkes etter at et skred har stengt et lokalsamfunn inne (Jacobsen et al., 2016). Det å verdsette redusert usikkerhet knyttet til muligheten for å kunne reise på et bestemt tidspunkt kan ha et bredere sett av motiver. For eksempel vil man kunne ønske å redusere utryggheten knyttet til å kunne delta i et spesifikt privat eller jobbtilknyttet arrangement, eller det å kunne komme seg til en flyplass et fergeleie på et gitt tidspunkt.

Forståelsen av verdsatt reduksjon i skredfrekvens eller -størrelse som opsjonsverdi av transporttilgjengelighet forutsetter at respondentene oppfattet skred som viktig årsak til infrastrukturstenging. I tillegg må respondenten oppfatte at noen valg-alternativkombinasjoner med «mange» vegstenginger og lave nivåer for skredhendelser kan skyldes andre realistiske årsaker (f.eks. trafikkulykke eller annen type naturfare som storm eller flom), men at redusert skredfrekvens eller -størrelse uansett vil redusere usikkerheten rundt det å kunne reise på et bestemt tidspunkt.

Vi kan ikke utelukke andre mulige forklaringer av verdsettingen, i tillegg til en opsjon om transporttilgjengelighet. Et alternativ er at respondenten tenker på ikke-spesifiserte konsekvenser, som for eksempel skader på bygninger, selv om valgene ble presentert i en klar transportkontekst. Noen av respondentene kunne både reise og bo i det samme skredutsatte området. Dessuten ble ikke materielle skader (kjøretøyskader) og lettere personskader spesifisert (Navrud et al., 2020). Likevel vil vi mene at det kan være mer hensiktsmessig å betegne verdsetting av redusert skredfrekvens eller -størrelse som opsjonsverdi av transporttilgjengelighet enn verdsetting av skredfareutrygghet/-ubehag.

Valgene i verdsettingsstudien var beskrevet som valg mellom alternative reiser, som kan forstås som rutevalg (Flügel et al., 2020). Men i spørreskjemaet for verdsettingen av skredfare og skred effekter, ble respondenten innledningsvis både informert om hva som kan påvirke framtidig skredfare (klimaendringer) og informert om ulike tiltakstyper (tunneler, voller, gjerder, osv.). Sannsynligvis har denne innledende informasjonen gjort det enklere å forstå valgoppgavene. Det har trolig også vært slik at respondentene har implisitt har valgt mellom underliggende tiltak (Navrud et al., 2020). Sannsynligvis har respondentene både foretatt valg mellom reisealternativer og valg mellom tiltak som kunne gi de attributtnivåene i reisealternativene de valgte. Hvis det er slik, så kan vi også tenke oss at respondentene har vurdert reisene som *typiske* reiser (eller reisesituasjoner man befinner seg i flere ganger). Respondentene har trolig ikke oppfattet hvert enkelt alternativ og hvert enkelt valg som fristilt fra alt annet. Da er det rimelig å anta at noen respondenter kan ha trukket inn transporttilgjengelighetsopsjoner og andre forhold i sin vurdering, selv om dette ikke var spesifisert i reisealternativene.

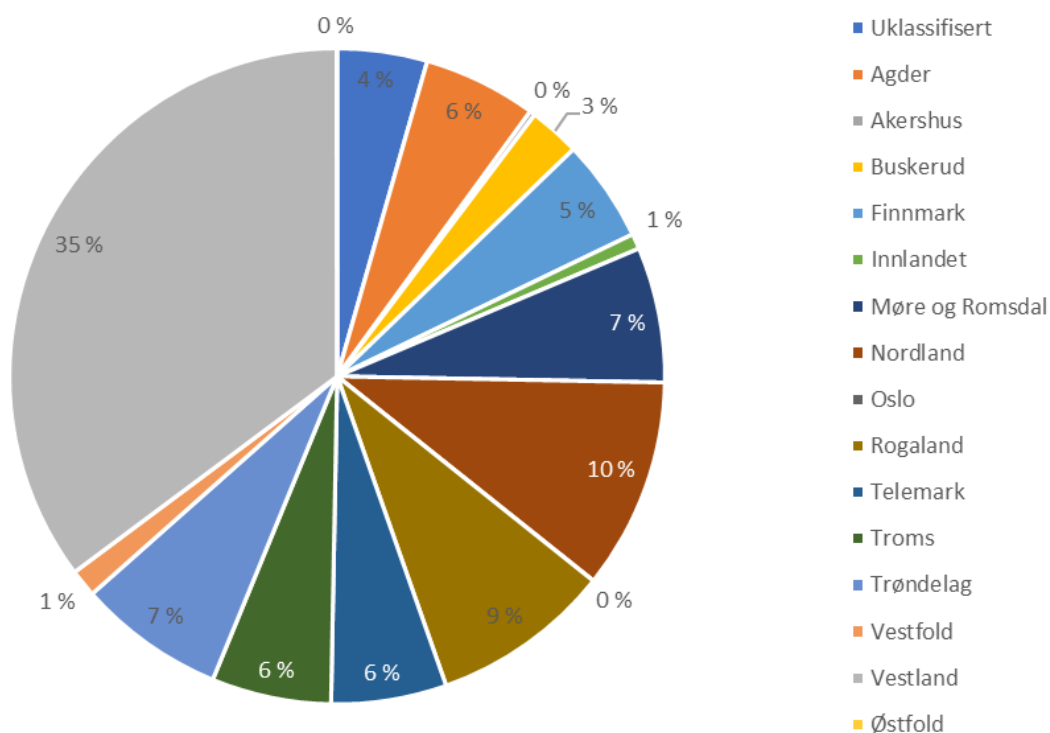
4 Analyseresultater

4.1 Deskriptiv analyse av skreddata

4.1.1 Skred på vei 2000-2023 – det overordnede bildet

Som påpekt i kapittel 3 har vi tatt utgangspunkt i *registrerte skredhendelser* for tidsperioden 2000-2023. Vi understreker at fokuset er på registrerte hendelser, ettersom vi forventer at antall faktiske skredhendelser er underrapportert. Derfor er det reelle antallet skred noe høyere, selv om de skredene som er utelatt fra vårt datamateriale trolig består av mindre, og lite skadelige, skred.

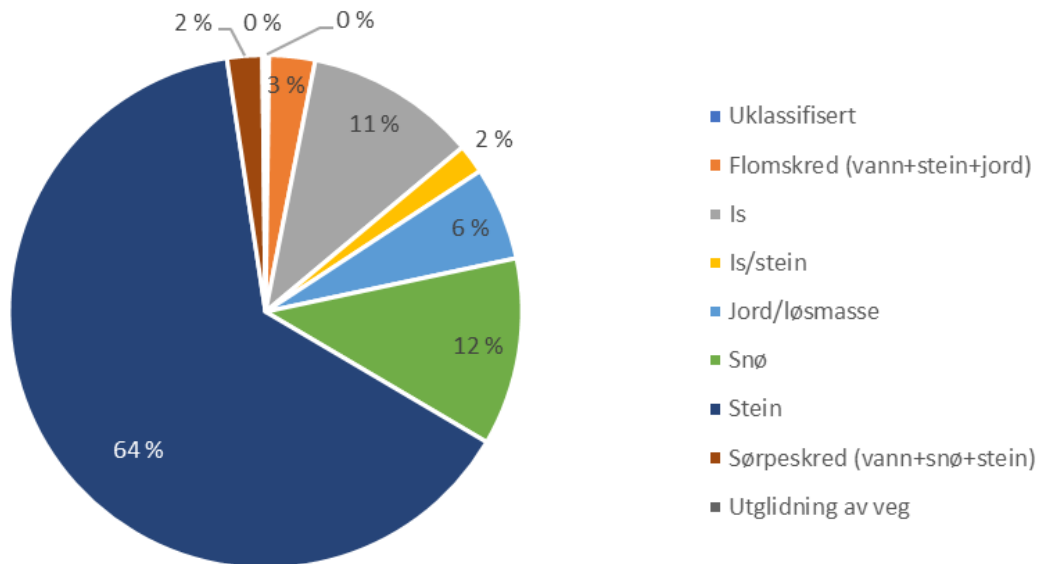
Til sammen er det registrert 54 231 skredhendelser for denne perioden.¹⁶ I figur 4.1 viser vi hvordan disse skredene fordeler seg på fylker. Det fremkommer tydelig at Vestland er fylket med klart flest skredobservasjoner, med 35 % av registreringene. På andre- og tredjeplass i antall skredobservasjoner er Nordland og Rogaland med henholdsvis 10 % og 9 % av registreringene. Til sammenligning var det under 170 registrerte skred til sammen (under 0,5 % av registreringene) i fylkene Oslo, Akershus og Østfold gjennom hele perioden.



Figur 4.1: Registrerte skred på vei for perioden 2000-2023 fordelt på fylker. Kilde: NVDB.

¹⁶ Per 17.01.2024. Det kan hende at flere hendelser i 2023 vil bli rapportert inn senere (med tanke på framtidige sammenligninger)

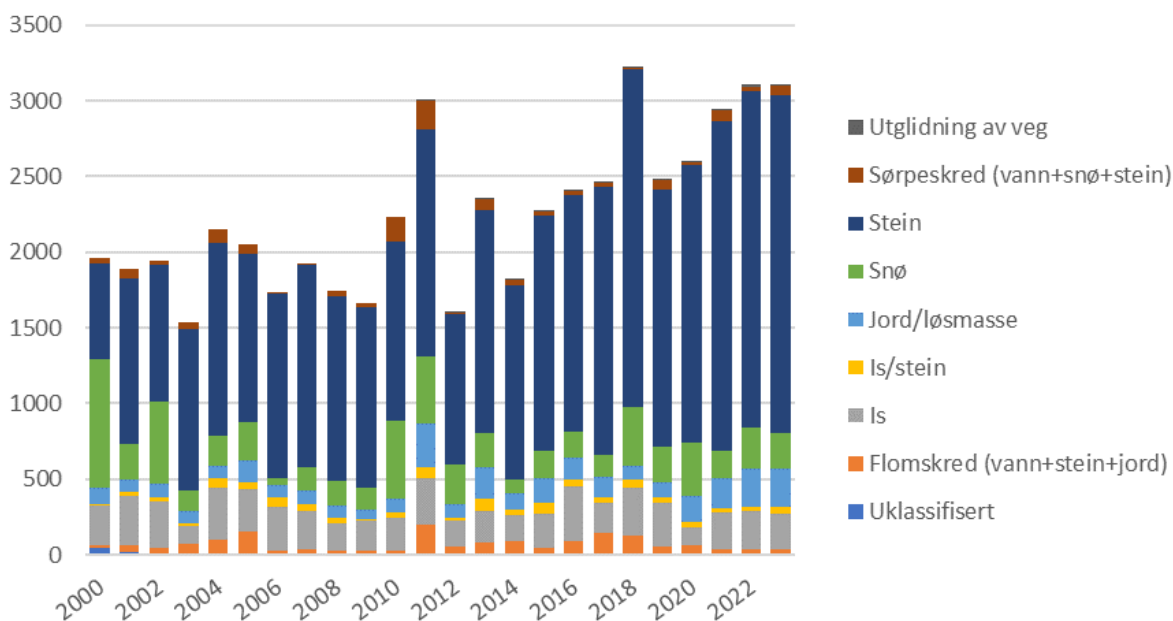
Skredene kan også deles opp i ulike typer skred. Mellom 2000 og 2023 ble det registrert nesten 35 000 steinskrud på vei i Norge. **Steinskrud utgjør dermed nesten to tredeler av alle registrerte skred på vei i perioden.** På andre- og tredje plass kommer snøskrud og is-skrud med henholdsvis 12 % og 11 % av de registrerte hendelsene.



Figur 4.2: Skred på vei for perioden 2000-2023 fordelt på type skred. Kilde: NVDB.

Over analyseperioden ser det ut til å være en generell økning i antall skred over tid, når man kun ser på rådataene (se figur 4.3). Årsgjennomsnittet for perioden 2000-2002 var på 1 930 registrerte skred på vei, mens tilsvarende for årene 2021-2023 var på 3 055. Det kan hende at noe av dette skyldes tiltakende effekter av klimaendringer, men det kan også hende at mye av dette skyldes forbedret rapportering (for eksempel på grunn av bedre digitale verktøy). En mulig indikasjon på at sistnevnte er at den sterkeste veksten over perioden er registrerte skred i den minste kategorien, altså under 1 kubikkmeter (kbn).

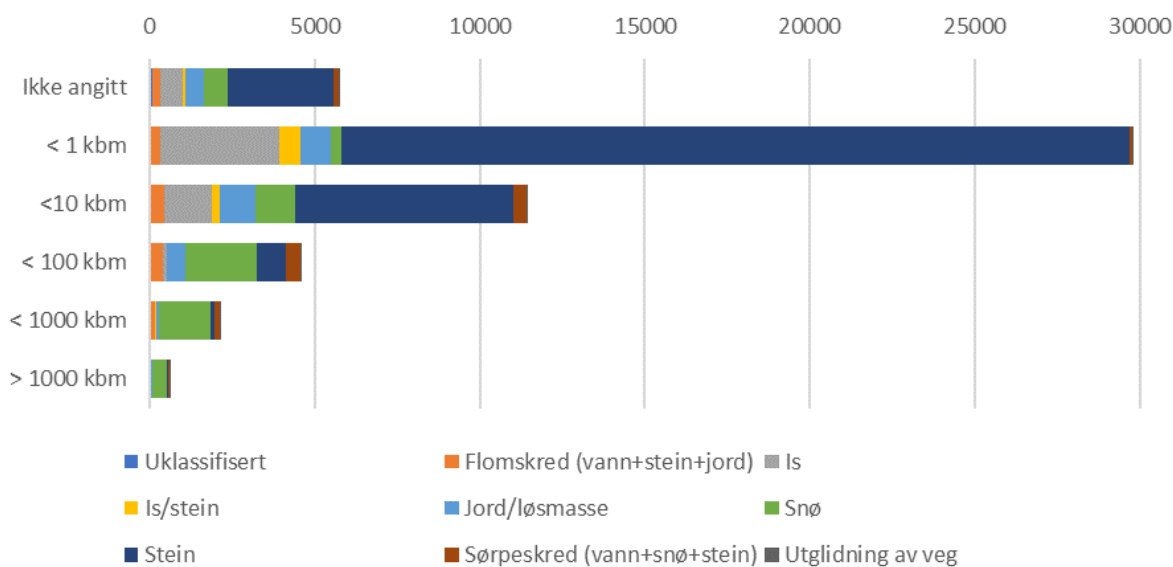
Vi vil derfor være varsomme med å legge for mye vekt på å antyde noen trender over tid. Imidlertid blir det påpekt i en rapport av Statens vegvesen (2019) at årene med flest skredobservasjoner stemmer godt overens med perioder med skredfremmende vær. De skriver: «Det kan sjå ut som om 2011 var eit spesielt år med stor skredaktivitet. Dette stemmer godt. Januar var mild og våt med mange snø- og sørpeskrud, og i desember hadde vi besøk av ekstremvêret Dagmar med mange flaumskrud. Dei store nedbørsmengdene førte også til høg steinsprangaktivitet. Vêret i 2018 var prega av store kontrastar og mange rekordar. Det var ein snørik vinter med kraftige stormar. Våren var sein og kald, før ein varm sommar førte til uvanleg tørke med skredhendingar som konsekvens. Deretter ramma ekstremnedbør i september, noko som førte til flaum og nedbørsrekordar.»



Figur 4.3: Registrerte skred på vei for perioden 2000-2023 per år, fordelt på type skred. Kilde: NVDB.

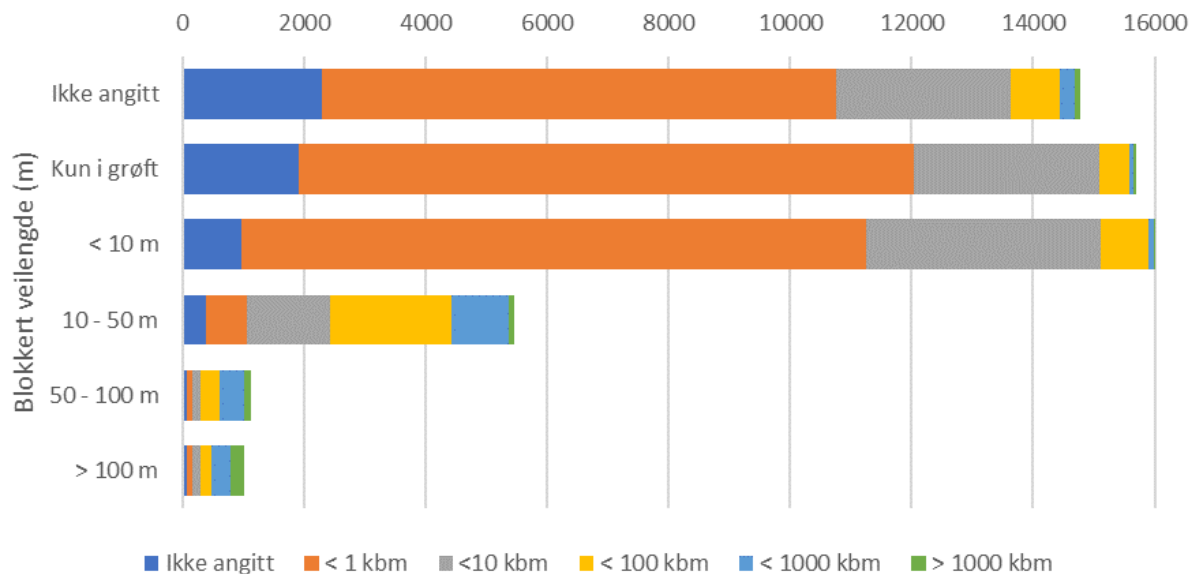
I hvilken grad et skred utgjør en samfunnskostnad vil avhenge av volumet og sammensetningen av skredmassene. Vi viser hvordan de registrerte skredene er fordelt på type skred og skredvolum i figur 4.4. Her ser vi at **ca. 55 % av alle registrerte skred er på under 1 kubikkmeter**.

En kan rimeligvis forvente større skade av et større skred, og forvente større skade av et skred med høyere massetetthet enn et med mindre. Det vil f.eks. være rimelig å forvente større skade av et steinskred på 20 kubikkmeter enn et snøskred av tilsvarende volum. På den andre siden har vi ikke data på hvilken kraft og konsentrasjon skredet treffer veien med. Et steinskred som treffer veien momentant med noen få store steinblokker forventes å gjøre mer skade enn et steinskred av tilsvarende volum som kommer i form av en strøm av grus som treffer veien over flere minutter.



Figur 4.4: Registrerte skred på vei for perioden 2000-2023, fordelt på type skred og skredvolum. Kilde: NVDB.

Det er en sterk korrelasjon mellom skredvolumet og hvorvidt og i hvilken grad veien blir blokkert. Det kan vi lese ut av figur 4.5. Dersom registrerte skred forårsaker blokkering av mindre enn 10 meter vei (eller at skredet kun havner i grøft), er det som regel gjort av skred med volumer på under 10 kubikkmeter. Videre, hvis mer enn 50 meter vei bli blokkert av skred, er det gjerne forårsaket av skred med volumer over 100 kubikkmeter. Det er verdt å påpeke at det er en relativt stor andel av registreringene hvor det ikke angis hvor mye av veien som blir blokkert av det registrerte skredet (eller om det bare havner i grøft). Disse registreringene er imidlertid dominert av skred med volumer på under 10 kubikkmeter, og representerer sannsynligvis i hovedsak skred som havner i grøft eller blokkerer mindre enn 10 meter med vei.



Figur 4.5: Registrerte skred på vei for perioden 2000-2023, fordelt på skredvolum og blokkert veilengde. Kilde: NVDB.

Som vi kan lese av figurene over, er de aller fleste registrerte skred på under en kubikkmeter og fører enten ikke til en blokkert veilengde, eller en blokkering på under 10 meter. Dermed er det rimelig å forvente at de aller fleste skred ikke forårsaker vesentlig skade.

4.1.2 Registrerte skader forårsaket av skred på vei

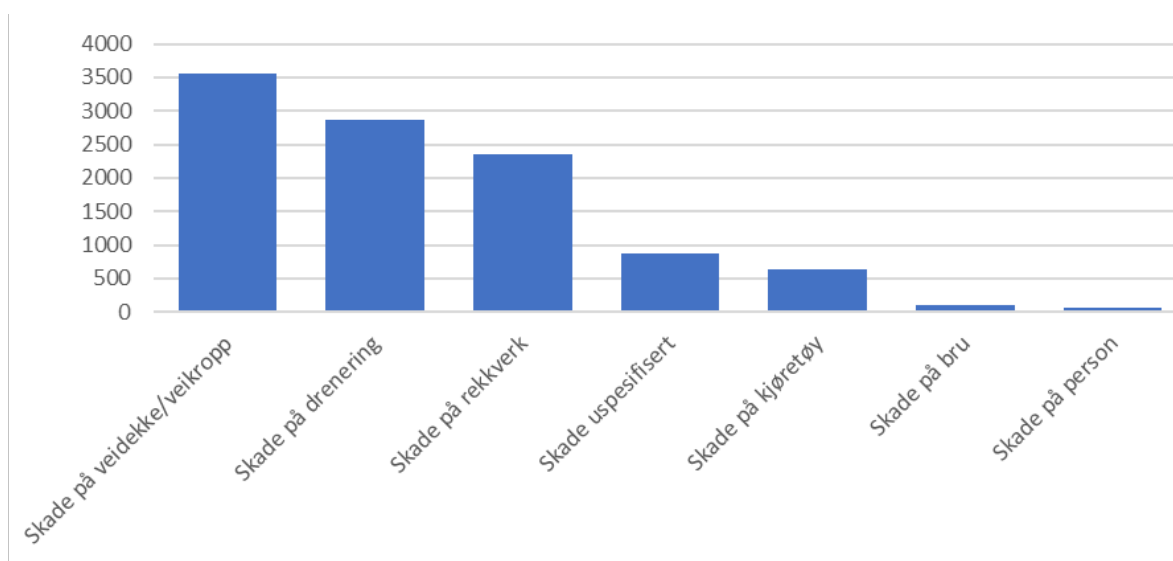
Ved registrering av skredhendelser har hen som legger inn registreringen anledning til å krysse av for hvorvidt skredet har voldt vesentlig skade, og evt. krysse av for infrastruktur, kjøretøy eller personer er blitt skadd. Eventuelle detaljer må legges inn som fritekst, så vi har ingen entydig definisjon av hva som er «vesentlig skade». I perioden 2000-2023 er det 8 372 av de registrerte skredene som er registrert med vesentlig skade.¹⁷ Det tilsvarer 15 % av alle registrerte skredhendelser. Og som vi har påpekt tidligere, er sannsynligvis den reelle andelen av skadevoldende skred lavere, ettersom det trolig er en underregistrering av skred som ikke forårsaker skade eller stengning.

¹⁷ I tillegg til disse kommer 3 observasjoner fra NVE som vi oppdaget ikke var korrekt registrert med noen form for skade i NVDB.

Skader som følge av registrerte skred kan registreres på følgende kategorier:

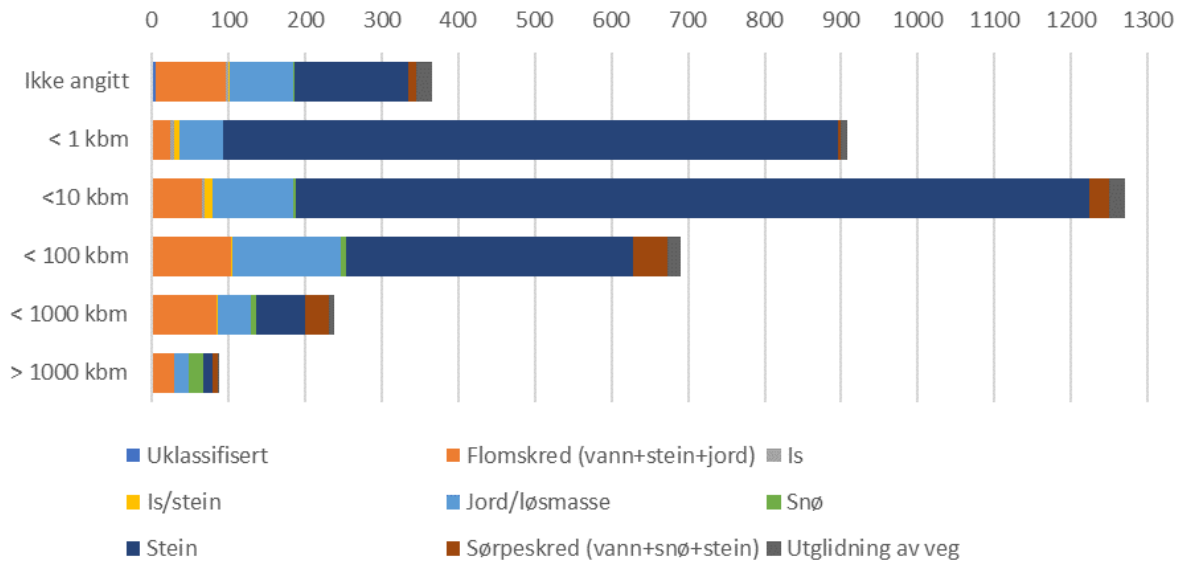
- Skade på veidekke/veikropp
- Skade på drenering
- Skade på rekkverk
- Skade på bru
- Skade på kjøretøy
- Skade på person

Registrerte skader per kategori er vist i figur 4.6. De mest skadelige skredene forårsaker gjerne skader på flere kategorier samtidig. Derfor er antallet registrerte skader større enn antallet registrerte skred.



Figur 4.6: Registrerte skader som følge av skred på vei for perioden 2000-2023. Kilde: NVDB.

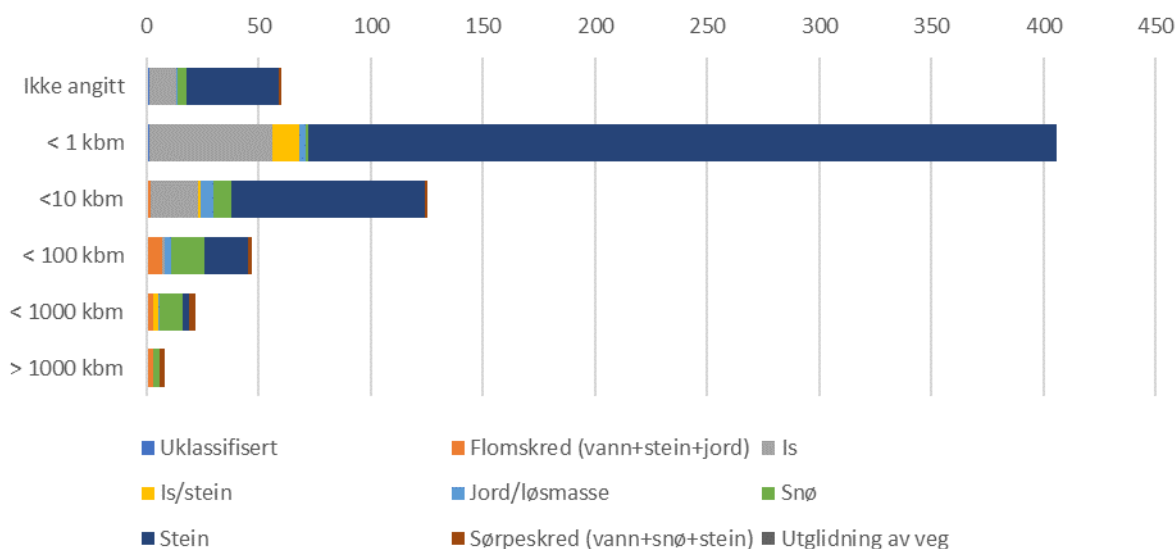
Vi undersøker videre hva som karakteriserer skredene som forårsaker skade. Skredvolum og type skred er viktige faktorer. Kun 3 % av de registrerte skredene på under 1 kubikkmeter har påført noe skade på veidekke/veikropp, mens tilsvarende er over 15 % for skredene på over 1000 kubikkmeter. Videre er det påfallende at over 25 % av de registrerte flomskredene har påført skade på veikroppen, mens tilsvarende for snøskred er bare 0,6 %.



Figur 4.7: Registrerte skred som har påført skade på veidekke/veikropp, fordelt på skredvolum og type skred. Kilde: NVDB

Det er registrert 674 tilfeller av skred som påfører skade på kjøretøy i løpet av analyseperioden.¹⁸ Fordeelingen vises i figur 4.8. Her ser vi at det aller meste av skade på kjøretøy er forårsaket av steinskred (ca. 72 %) og is-skred (ca. 13 %). Omtrent halvparten av alle skader på kjøretøy kommer som følge av steinskred på under 1 kubikkmeter, som er den vanligste formen for skred, jfr. Figur 4.4. **Sett over hele perioden ender 1,2 % av de registrerte skredene med å påføre skade på kjøretøy.** Registreringen går ikke mer i detalj, så vi kan ikke skille mellom steinsprutskade eller totalvraking av bilen. Den relative andelen er størst for skred på over 1 000 kubikkmeter og under 1 kubikkmeter, hvor 1,4 % av de registrerte skredene har påført skade på kjøretøy. Det er også en viss overrepresentasjon blant steinskred, is-skred og skred med både stein og is, hvor ca. 1,5 % av skredene påfører skade.

¹⁸ Dette inkluderer 31 observasjoner hvor det ikke er registrert skade på kjøretøy, men det er registrert skade på person.



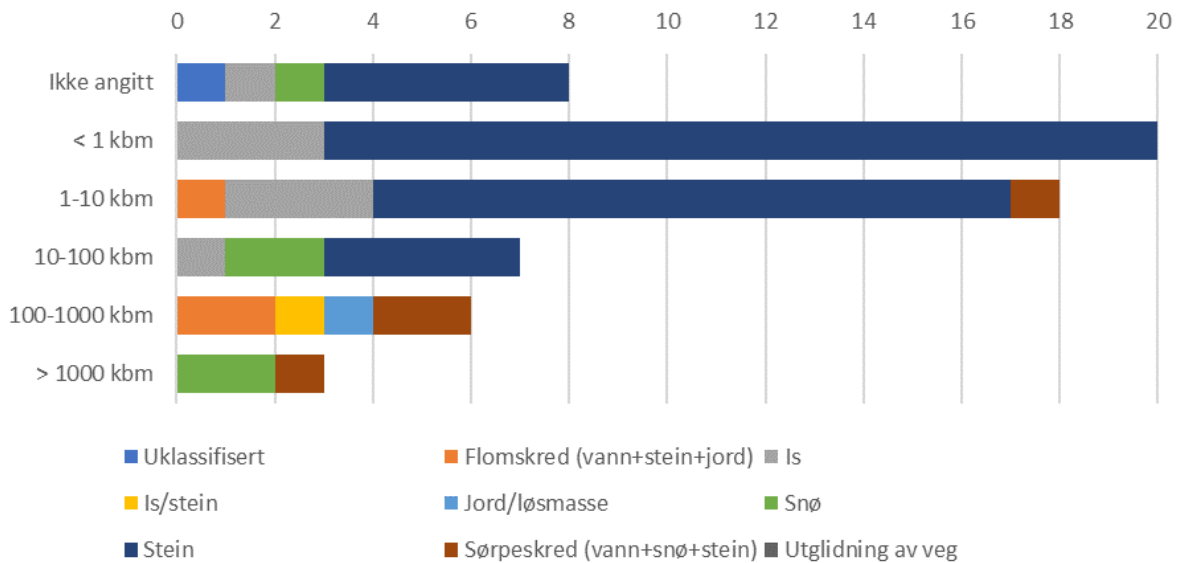
Figur 4.8: Registrerte skred som har påført skade på kjøretøy, fordelt på skredvolum og type skred. Kilde: NVDB

Av de 674 tilfellene registrert med skade på kjøretøy, er det registrert 62 tilfeller av skade på person.¹⁹ Det er også registrert syv tilfeller av skred hvor det er registrert skade på person, men det er eksplisitt notert «nei» for skade på kjøretøy. Disse er ikke inkludert blant de 674 tilfellene.

Sett over hele analyseperioden utgjør de 62 tilfellene av skade på person omtrent 0,11 % av alle de registrerte skredene på vei. Fordelingen av disse skredene er vist i figur 4.9. Her ser vi at det aller meste av skade på kjøretøy er forårsaket av steinskred (ca. 63 %) og is-skred (ca. 13 %). Omtrent halvparten av alle skader på kjøretøy kommer som følge av steinskred på under 10 kubikkmeter.

Skred på over 1 000 kubikkmeter har ikke overraskende den høyeste relative andelen, hvor henholdsvis 0,51 % av de registrerte skredene har påført skade på person. For volumklassen 100-1 000 kubikkmeter er andelen på 0,28 %. Det er også en viss overrepresentasjon blant flomskred og sørpeskred, hvor henholdsvis 0,12 % og 0,33 % av skredene påfører skade.

¹⁹ Dette inkluderer en registrering av et dødsfall som vi fant i datasettet fra NVE som vi ikke fikk sammenkoblet med datasettet fra NVDB, jfr. kapittel 3.1.2.



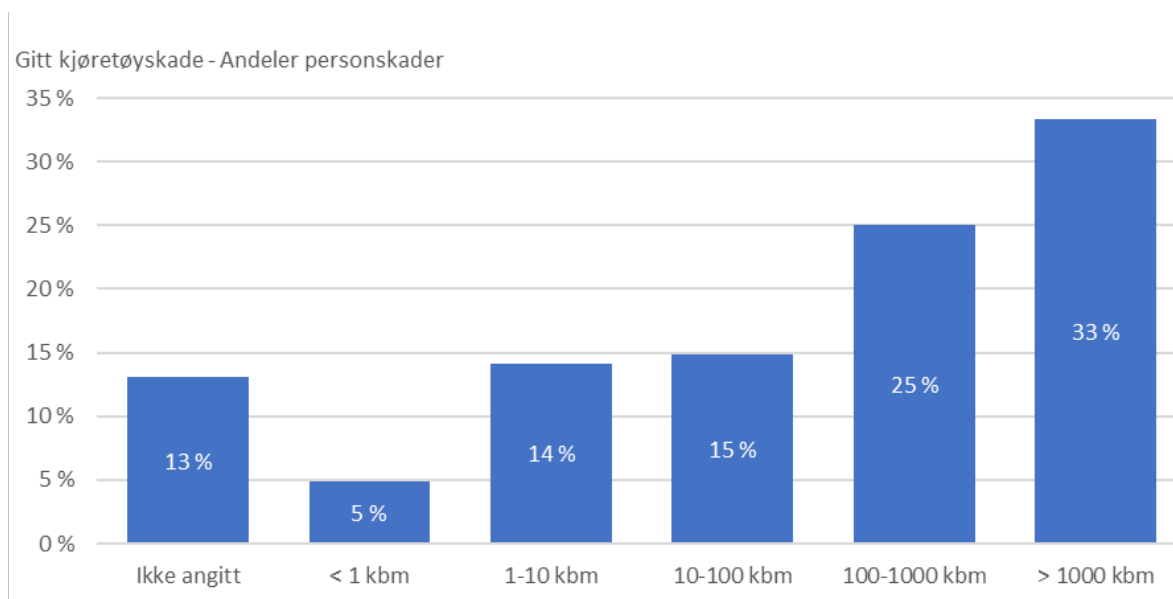
Figur 4.9: Registrerte skred som har påført skade på kjøretøy og person, fordelt på skredvolum og type skred. Kilde: NVDB

I arbeidet med samfunnsøkonomiske analyser av skredtiltak har skredmodulen i EFFEKT et logisk opplegg for å beregne forventet antall biler truffet av skred gjennom et prosjekts levetid. Dette er en funksjon av forutsatt gjennomsnittlig årlig skredfrekvens, skredbredde og ÅDT. Jo oftere skred inntreffer og jo bredere de er, jo flere meter med vei vil bli rammet i løpet av prosjektets levetid. Jo flere biler som kjører på de aktuelle lenkene, jo større er forventet antall biler som blir rammet av de skredutsatte meterne med vei. Denne metodikken har mange likheter med risikomodellene vi fant i litteraturgjennomgangen (jfr. kapittel 2.1). I praksis dekker denne delen av EFFEKT-metodikken følgende del av risikomodellen til Hazzard (1998); $f_h \times P(S|H) \times P(I|S)$. Dette tilsvarer: skredfrekvens \times sannsynligheten for at et kjøretøy befinner seg i det området skredet dekker, multiplisert med sannsynligheten for at et skred dekker begge kjørefelt på en veg slik at kjøretøy i begge retninger kan bli truffet av et skred.

Der hvor EFFEKT-metodikken mangler empirisk funderte anslag, er forventet skade gitt at kjøretøy treffes av skred, tilsvarende $P(L|I)$ i risikomodellen. Her er det satt en default-verdi på forventet skade som kan justeres basert på forholdene som er relevante for analysen. I dette prosjektet vil vår analyse av skreddata kunne gi bedre indikasjoner på hvordan denne default-verdien kan justeres basert på konkrete skredprofiler for en gitt strekning. Det skal vi se nærmere på i neste delkapittel.

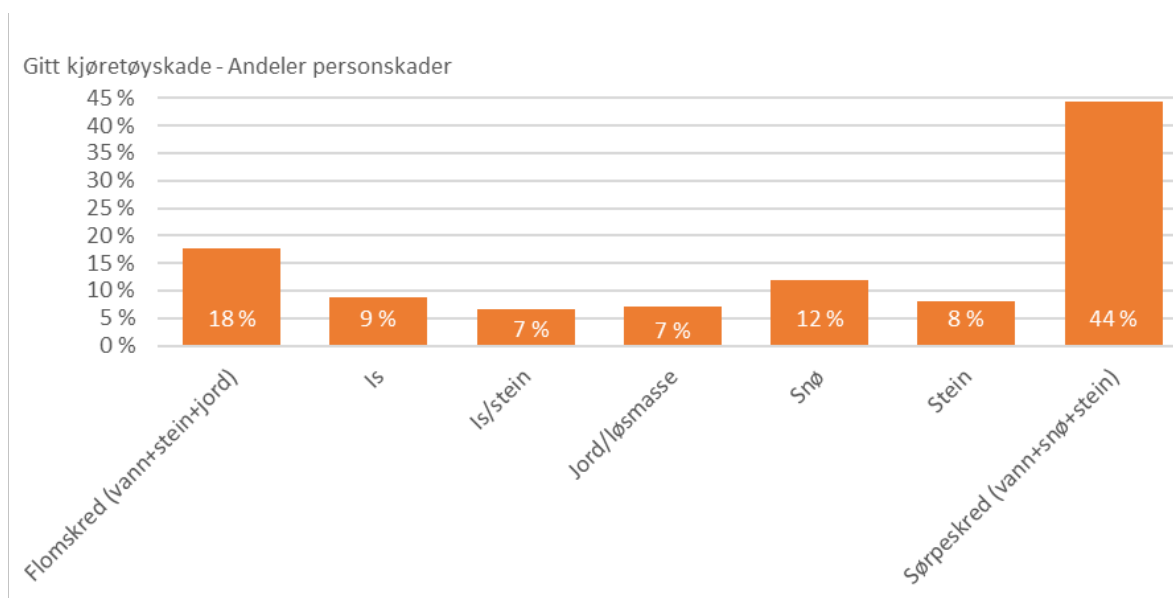
4.1.3 Registrerte skader på person gitt at skred treffer kjøretøy

Den totale andelen av registrerte skred som skader kjøretøy, som også skader personer, er 9 %. Som forventet er sannsynligheten for personskade gitt at skred treffer kjøretøy stigende i skredvolum. Blant kjøretøyrammende skred på under én kubikkmeter er andelen som skader person på ca. 5 %. Med volumer i intervallet 100-1 000 kubikkmeter øker andelen til 25 %, og på registrerte skred over 1 000 kubikkmeter er andelen på hele 33 %. Dette vises i figur 4.10.



Figur 4.10: Andel av registrerte skred som har påført skade på kjøretøy, som også har påført skade på person, fordelt etter skredvolum. Kilde: NVDB

Figur 4.11 viser hvordan andelen personskadehendelser blant skred som rammer kjøretøy varierer med skredtype. Det er snakk om såpass få hendelser, at man skal være varsom med å fordele frekvensene på altfor mange kategorier. Vi er derfor varsomme med å legge for mye vekt på forskjeller mellom ulike typer skred. Vi ser at andelen hendelser med skadde personer er høyest blant sørpeskred som har rammet kjøretøy, men dette basert på at det har skjedd i 4 av totalt 9 tilfeller over en 24-årsperiode. Tilsvarende virker også andelen for flomskred relativt høy, men andelen er basert på 3 personskadeulykker av totalt 17 tilfeller hvor skred har skadet kjøretøy.



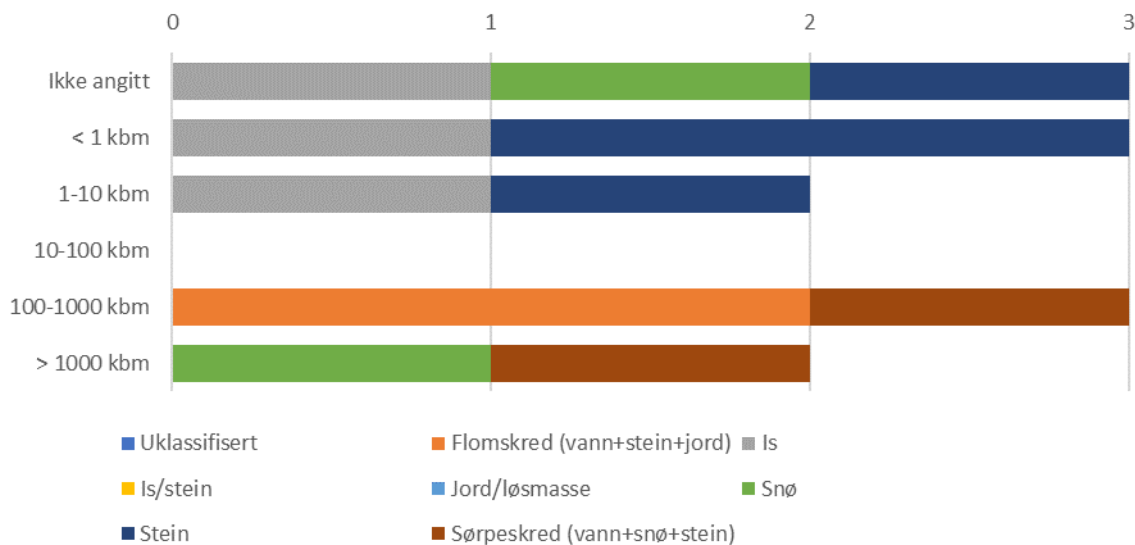
Figur 4.11: Andel av registrerte skred som har påført skade på kjøretøy, som også har påført skade på person, fordelt etter type skred. Kilde: NVDB

Det er ikke mulig å gjøre en komplett analyse av hvordan skadegrad fordeler seg mellom skredtilfellene, men med sammenkobling til data fra NVE kan vi i det minste gjennomgå tilfellene hvor det er registrert dødsfall. I den tekstlige beskrivelsen av dødsfall er det gitt tilleggsinformasjon om hardt skadde. For de

registreringene som ikke kan kobles med data fra NVE, har vi ingen detaljer om skader. Dermed kan vi heller ikke skille mellom en liten kuttskade eller svært alvorlige skader.

I datasettet fra NVE finner vi 13 tilfeller av skred som forårsaker omkomne på vei. I disse tilfellene er det registrert 18 dødsfall. I de tekstlige beskrivelsene av ulykkene kommer det også fram at det var 2 hardt skadde i tillegg til dødsfallene. Steinskred og is-skred utgjør til sammen over halvparten av tilfellene. Det er også verdt å merke seg at de to tilfellene med snøskred står for hele 7 av de 18 registrerte omkomne.

Disse tallene tilsier at 21 % av de registrerte tilfellene med personskader er en dødsulykke. Det kan påpekes at dødsulykker utgjør 50 % og 67 % av skredtilfellene med personskader for skred i henholdsvis volumklassene 100-1 000 kubikkmeter og over 1 000 kubikkmeter. Ellers er det snakk om såpass lite tallgrunnlag at det er vanskelig å påpeke noen generelle mønstre med særlig sikkerhet.



Figur 4.12: Antall tilfeller hvor skred har forårsaket dødsfall på vei, fordelt etter skredvolum og type skred. Kilde: NVE og NVDB

Disse funnene tas med videre i prosessen med å gjøre anslag på forventet alvorlighetsgrad på ulykker, gitt at skred treffer kjøretøy. Neste skritt i denne prosessen er å gjennomføre logit-estimering av sannsynligheter for personskade.

4.2 Logit-estimering av sannsynligheter for personskade

Ettersom vi skal estimere sannsynligheten for en personskade, gitt at det har vært kontakt mellom skred på kjøretøy, tar vi utgangspunkt i de 674 registreringene av skred med registrert skade på kjøretøy. Som påpekt i kapittel 3.1.3 er det hensiktsmessig å bruke logit-estimering ettersom den endogene variabelen vår er en binær variabel; enten «personskade» eller «ikke personskade».

Ettersom dette vil være sannsynligheter som skal kunne anvendes i samspill med skredmodulen i EFFEKT, vil *skredbredde/blokkert veilengde* være den viktigste forklaringsvariabelen. I de foregående delkapitlene har vi fokusert på skredvolum, ettersom det registreres oftere. Som forventet er det en sterk korrelasjon mellom skredvolum og skredbredde, som vi ser i Figur 4.5, så vi vil grovt sett observere de samme mønstrene. Vi får imidlertid noe færre observasjoner når vi estimerer sannsynligheter basert på skredbredde. Det kan gå utover presisjonen til estimatene.

Vi tester ut tre forskjellige modeller. I den første og enkleste estimerer vi sammenhengen mellom sannsynligheten for personskade og skredbredde fordelt på fire størrelseskategorier. I den andre

modellen legger vi til skredtype som variabel, med totalt åtte forskjellige skredtyper. Hvis dette gir statistisk signifikante og troverdige estimater, vil det være mulig å differensiere sannsynlighetene for personskaide etter både skredtype og skredbredde. I den tredje modellen legger vi også til variabelen *løsneområde*, med totalt 6 forskjellige kategorier av løsneområde (f.eks. fjell/dalside, tunnelmunning). Dette både for å undersøke hvorvidt dette er utslagsgivende, og for å kontrollere for mer av variasjonen.

Estimeringsresultatene er gitt i Tabell 4.1. I første kolonne viser vi resultatene fra den enkleste modellen, hvor vi kun estimerer sammenhengen mellom personskaide og skredbredde. Referansekategorien er skredbredde på under 10 meter. **Den estimerte effekten av økt skredbredde relativt til referansekategorien er positiv og statistisk signifikant på 1 %-nivå²⁰. Effekten blir sterkere og sterkere jo bredere skredet er, som forventet.**

I andre kolonne kontrollerer vi også for skredtype, med is-skred som referansekategori. Vi finner ingen statistisk signifikant effekt av de ulike skredtypene sammenlignet med referansekategorien. Sørpeskred har det største punkttestimatet, men det har en p-verdi på over 20 % og er dermed ikke statistisk signifikant. Vi ser ellers at estimatene på sammenhengen mellom skredbredde og personskaide er omtrent lik som i første kolonne. Standardfeilene er noe større, men effekten er fortsatt signifikant på 1 %-nivå. Alt i alt indikerer dette en temmelig robust sammenheng.

I tredje kolonne kontrollerer vi også for løsneområde, med «ikke angitt» som referansekategori. Vi finner kun en statistisk signifikant effekt på 5 % nivå av løsneområde-kategorien «fjell/dalside» og «vegskjæring» sammenlignet med referansekategorien, hvor disse typer løsneområder trekker mot lavere sannsynlighet for personskaide. Vi ser også i denne modellen at estimatene på sammenhengen mellom økt skredbredde (sammenlignet med referansekategorien) og personskaide er estimert til å være noe sterkere enn i første kolonne, dog med noe større standardfeil. Effekten er fortsatt signifikant på 1%-nivå, som indikerer at den estimerte sammenhengen er robust.

²⁰ Dette betyr at estimatet har en p-verdi på under 0,01 som følge av at standardfeilene er såpass små at et 99 % konfidensintervall for estimatet *ikke* overlapper med null.

Tabell 4.1: Multinomial logit regresjoner på sammenhengen mellom skredbredde, skredtype og løsneområde og sannsynligheten for personskafe gitt at skredet har skadet kjøretøy.

	(1) personskafe	(2) personskafe	(3) personskafe
10 - 50 m	1,336*** (0,397)	1,343*** (0,428)	1,501*** (0,453)
50 - 100 m	1,708*** (0,529)	1,600*** (0,578)	1,852*** (0,615)
> 100 m	1,808*** (0,534)	1,757*** (0,559)	1,959*** (0,598)
Flomskred (vann+stein+jord)		0,314 (0,863)	0,418 (0,883)
Is/stein		-0,172 (1,196)	-0,229 (1,237)
Jord/løsmasse		0,000 (,)	0,000 (,)
Snø		-0,028 (0,750)	-0,042 (0,778)
Stein		0,158 (0,569)	-0,050 (0,607)
Sørpeskred (vann+snø+stein)		1,191 (0,947)	1,345 (0,974)
Fjell/dalside			-2,135** (0,838)
Inne i tunnel			-1,169 (0,878)
Tunnelmunning (historisk)			-2,471* (1,290)
Ur			-1,867 (1,366)
Vegskjæring			-1,655** (0,831)
Konstant	-2,961*** (0,256)	-3,071*** (0,544)	-1,284 (0,925)
Observasjoner	456	445	445
r ² _p	0,077	0,087	0,116

Standardfeil i parentes, * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Vi var litt overrasket over å ikke finne noen statistisk signifikant sammenheng mellom personskaide og type skred, selv når vi kontrollerer for skredbredde. Intuitivt ville man forvente at for et skred av en gitt størrelse, så vil et steinskred øke sannsynligheten for personskaide sammenlignet med for eksempel et snøskred. Vi testet ut enda en modell hvor vi delte skredtyper kun i to grupper «Steinskred» og «Ikkesteinskred». Her fant vi statistisk signifikant høyere sannsynlighet for personskaide ved steinskred ved skred med bredde på 10-50 meter, men ikke for de øvrige breddekategoriene. Punkttestimatene for de større breddekategoriene peker til og med mot lavere sannsynlighet for personskaide ved steinskred enn for andre typer skred. Samtidig, og som påpekt i kapittel 4.1.2 og kapittel 4.1.3, er det relativt få observasjoner av skade på kjøretøy og personer fra de største skredkategoriene, og spesielt få observasjoner av steinskred. Da kan man få store utslag av noen få personskaider fra eksempelvis sørpeskred i de største breddekategoriene.

Ettersom vi ikke finner noen entydig sammenheng mellom skredtype og sannsynlighet for personskaide, og sammenhengen mellom skredbredde og personskaide viser seg å være svært robust, baserer vi de videre analysene på resultatene vi fant kolonne 1 i tabell 4.1. Vi bruker *margins* kommandoen i STATA til å predikere sannsynlighetene for personskaide gitt at skred har skadet kjøretøy. Resultatene vises i tabell 4.2.

Tabell 4.2: Predikerte sannsynligheter for personskaide gitt at skred har skadet kjøretøy, basert på logit regresjoner

	(1)
< 10 m	0,05*** (0,012)
10 - 50 m	0,16*** (0,042)
50 - 100 m	0,22*** (0,080)
> 100 m	0,24*** (0,085)
Observasjoner	456

Standardfeil i parentes. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Disse sannsynlighetene er ikke direkte sammenlignbare med sannsynligheter oppgitt i tabell 2.2 fra studien Li et al. (2019), da deres tabell kun omhandler dødsrisiko og har en finere oppdeling i størrelseskategorier. I tillegg fokuserer den studien kun på steinskred. Det kommer imidlertid tydelig fram at sannsynligheten for dødsfall, gitt at skred treffer kjøretøy på norske veier, er vesentlig lavere. Li et al. (2019) utledet sine sannsynligheter «heuristically» fra Hungr et al. (1999), og sistnevnte påpekte at dette var vanskelig å estimere basert på svakt datagrunnlag. Vi vurderer vår analyse slik sett som et bidrag til å bedre empirisk anslå størrelsesordener på skadesannsynligheter ved skred.

Til å beregningene som skal inngå i de samfunnsøkonomiske analysene, vil vi videre bruke våre estimerte sannsynligheter til å gjøre anslag av forventet alvorlighetsgrad av skredulykker som rammer kjøretøy eller personer.

4.3 Anslag på forventet alvorlighetsgrad

En viktig utfordring med å anslå forventet alvorlighetsgrad av skredulykker på vei er knyttet til at vi bare kjenner til antall registrerte personskaideulykker, antall personskaideulykker med dødsfall, antall dødsfall og antall hardt skadde i personskaideulykker. Vi kjenner ikke til hele fordelingen av personskaider, hvor fordelingen mellom hardt skadde og lettere skadde vil være svært utslagsgivende.

Da det vil være umulig å lage et presist anslag på en forventningsverdi, vil vi anslå rimelige ytterpunkter for hvor høy alvorlighetsgraden kan være. Vi lager derfor et høyt og et lavt estimat for alvorlighetsgrad ved å følge disse trinnene:

1. Det høye estimatet baserer seg på at alle personskadeulykker hvor vi ikke har informasjon om alvorlighetsgrad antas å være ulykker med hardt skadde. Det lave estimatet baserer seg på at alle personskadeulykker hvor vi ikke har informasjon om alvorlighetsgrad antas å være ulykker med kun lettere skadde.
2. Antall hardt og lettere skadd *per ulykke* anslås ved å bruke forholdstall basert på oversikten over antall ulykker og antall skader etter skadegrad i tabell 5.2 fra TØI-rapport 618/2002 (Ragnøy, Christensen og Elvik, 2002). Dette er mest for å gi en pekepinn på antall skadde personer per ulykke, som i gjennomsnitt vil være høyere enn én. Hvordan antall skadde per ulykke fordeler seg er uansett vesentlig mindre utslagsgivende enn fordelingen av *type ulykker* i trinn 1.

Fordelingen mellom type ulykker og skadegrad for høyt estimat er gitt i tabell 4.3, mens tilsvarende for lavt estimat er gitt i tabell 4.4.

Tabell 4.3: Høyt estimat på alvorlighetsgrad på fordelingen mellom skadegrader på skredulykker med personskader, med påfølgende fordeling av rammede personer. Tallene i blå ruter er anslått ved hjelp av forholdstall.

	Antall ulykker	Drepte personer	Hardt skadde personer	Lettere skadde personer
Drept	13	18	2	4
Hardt skadde	49		57	30
Lettere skadde	0			0
Totalt	62	18	59	34

Tabell 4.4: Lavt estimat på alvorlighetsgrad på fordelingen mellom skadegrader på skredulykker med personskader, med påfølgende fordeling av rammede personer. Tallene i blå ruter er anslått ved hjelp av forholdstall.

	Antall ulykker	Drepte personer	Hardt skadde personer	Lettere skadde personer
Drept	13	18	2	4
Hardt skadde	0		0	0
Lettere skadde	49			68
Totalt	62	18	2	73

Det fremkommer tydelig fra tabellene over at høyt og lavt estimat vil gi svært forskjellige anslag på forventet alvorlighetsgrad. Forskjellene vil bli enda tydeligere når vi anvender anbefalte verdsetninger av de ulike skadetilfellene for å lage anslag på den samfunnsøkonomiske verdien av skredulykkene. Vi anvender verdsettingene presentert i kapittel 5.6.2. i Håndbok V712 Konsekvensanalyser (Statens vegvesen, 2021) og gjengir dem i tabell 4.5.

Tabell 4.5: Samfunnets nytte ved å unngå skader i trafikken (2020-kr). Hentet fra Håndbok V712.

Skadegrad	Kostnad (kr per tilfelle)
Dødsfall	32 2000 000
Hardt skadde	11 700000
Lettere skadde	770 000
Materiellskade	42 000

I tabell 4.6 presenterer vi hvordan verdsettingen av forventet skadegrad varierer mellom høyt og lavt estimat. I første rad presenterer vi den gjennomsnittlige verdien per skadde person. I det høye estimatet er denne verdien tilnærmet lik verdsettingen av å unngå ett tilfelle med en hardt skadet, mens det lave estimatet er ca. 40 % lavere. Forventet samfunnsøkonomisk ulykkeskostnad per personskadeulykke er enda høyere, ettersom det i snitt rammes flere enn én person per ulykke. Dette vises i andre rad. I tredje rad beregner vi den forventede ulykkeskostnaden per tilfelle hvor et skred medfører skade på kjøretøy. Her er det viktig å huske at de fleste (ca. 90 %) registrerte skred som fører til skade på kjøretøy ikke medfører skade på person.

I fjerde til syvende rad presenterer vi forventede ulykkeskostnader per tilfelle hvor et skred medfører skade på kjøretøy, differensiert etter skredbredde. Her har vi benyttet oss av de predikerte sannsynlighetene for personskade presentert i Tabell 4.2. Det kommer tydelig fram hvordan forventet skadegrad øker med skredbredden. Tabellen illustrerer også at det er stor usikkerhet knyttet til å anslå forventet ulykkeskostnad per skred som skader kjøretøy, med et stort usikkerhetsspenn mellom høyt og lavt estimat.

Tabell 4.6: Høyt og lavt estimat på forventede ulykkeskostnader knyttet til skred som medfører skade på kjøretøy og personer.

	Laveste estimat	Høyeste estimat
Snittverdi per personskade	7 120 279	11 675 104
Snittverdi per personskadeulykke	10 627 235	20 964 915
Snittverdi per skred som skader kjøretøy	1 019 747	1 970 523
Skredbredde 0,1-10m	573 362	1 090 246
Skredbredde 10-50m	1 742 358	3 396 386
Skredbredde 50-100m	2 379 992	4 654 281
Skredbredde >100m	2 592 536	5 073 580

I neste delkapittel anvender vi anslagene i eksempelberegninger for en skredutsatt veistrekning ved bruk av nyttekostnadsanalyse-verktøyet EFFEKT.

4.4 Anvendelse i et eksempel i EFFEKT

Vi tar utgangspunkt i Nye Veiers prosjektet knyttet til rassikring på riksvei 13 langs Sandvinvatnet som eksempel.²¹ Her er det to snøskredløp, Aurskreda og Øvsteskreda, med et mellomliggende skredløp, Midtskreda. ÅDT på strekningen var ca. 2600 i 2021. Her er det bl.a. lagt inn forventet antall skred per år fra de ulike skredløpene, forventet stengningstid og responstid per skred, samt forventede opprydding- og istandsettingskostnader per skred.

²¹ Vi takker for utkast til EFFEKT-baser og dokumentasjon av forutsetninger fra Oskar Arnesen Dønnum, Marte Åsland Hansen og Terje V. Fordal fra Cowi.



Figur 4.13: Riksvei 13 – eksempel på et skredutsatt område. Bilde hentet fra Nye Veier AS.

Det som er noe usikkert, er hva man skal legge inn som «gjennomsnittlig berørt veglengde» for primærskred og naboskred. Basert på *Dokumentasjon av beregningsmoduler i EFFEKT 6.6* (Straume og Bertelsen, 2015) er gjennomsnittlig berørt veglengde det samme som skredets nedslagsfelt på vei, dvs. skredbredde. **Ordlyden kan tolkes som skredutsatt strekning, men det er kodet som bredden på skredet.** Skredbredde er, sammen med ÅDT, kjørehastighet og bilenes stopplengde, en av de viktigste variablene for å beregne sannsynligheten for at en bil blir truffet, gitt at det går et skred (jfr. kapittel 2.1 og kapittel 4.1.2). For disse eksempelberegningene vil vi basere oss på et øvre og nedre anslag på gjennomsnittlig skredbredde som treffer veien, ved bruk av data fra NVDB. Beregning av disse anslagene gis i tabell 4.7.

Tabell 4.7: Øvre og nedre anslag på gjennomsnittlig skredbredde som treffer veien. Datagrunnlag: NVDB.

Skredbredde	Antall	Andel	Korteste bredde estimat	Lengste bredde estimat
Kun i grøft	15 698	40 %	0	0
< 10 m	16 008	41 %	1	9
10 - 50 m	5 465	14 %	11	49
50 - 100 m	1 127	3 %	51	99
> 100 m	1 004	3 %	101	199
SUM/vektet SNITT	39 302	100 %	6	18

I tabell 4.7 er datagrunnlaget de 39 302 registrerte skredene i NVDB hvor skredbredde er oppgitt.²² Beregningen gir et øvre og nedre anslag gjennomsnittlig skredbredde på henholdsvis 18 meter og 6 meter. Gitt at vi forventer en underregistrering av skred med kortere bredde, vil sannsynligvis gjennomsnittlig skredbredde være nærmere det laveste anslaget.

²² Det betyr at omtrent 20 % av registreringene er ikke skredbredde oppgitt. Derfor er dette et mindre utvalg enn hovedutvalget vårt på 54 231 skred.

I samfunnsøkonomiske analyser av skredtiltak vil det være ønskelig at skredbredde anslås ved hjelp av historiske data for strekningen, gjerne av geologer eller veiingeniører med kunnskap om lokale forhold. Hvis man ikke har anledning til det, for eksempel ved innledende utredninger i tidlig fase av prosjektet, kan man basere seg på anslagene over på gjennomsnittlig skredbredde fra NVDB.

Basert på disse anslagene gjør vi to eksempelberegninger i EFFEKT. Det vil illustrere rimelige størrelsesordener på de samfunnsøkonomiske kostnadene knyttet til skader på personer og kjøretøy, og vise hvordan usikkerheten i datagrunnlaget gir usikkerhet i kostnadsestimatene.

- Første beregning tar utgangspunkt i nedre anslag på gjennomsnittlig skredbredde, dvs. 6 meter, og laveste estimat på forventet alvorlighetsgrad for denne breddekategorien, jfr. tabell 4.6.
- Andre beregning tar utgangspunkt i øvre anslag på gjennomsnittlig skredbredde, dvs. 18 meter, og høyeste estimat på forventet alvorlighetsgrad for denne breddekategorien, jfr. tabell 4.6.

Slik skredmodulen i EFFEKT er satt opp i dag, kan man bare justere på forventet alvorlighetsgrad gjennom en justeringsfaktor, hvor default-verdien 1 er satt til 3 millioner kroner i 2016-kr, som omtrent tilsvarer gjennomsnittlig verdi per personskadeulykke. Ved å realprisjustere dette til 2020-kr kan vi bruke tabell 4.6 til å beregne faktorverdier utfra høyeste og laveste estimat på samfunnsøkonomiske ulykkeskostnader. Disse vises i tabell 4.8.

Tabell 4.8: Høyt og lavt estimat på forventede samfunnsøkonomiske kostnader knyttet til skred som medfører skade på kjøretøy og personer.

	Laveste estimat	Høyeste estimat
Snittverdi per skred som skader kjøretøy	31 %	60 %
Skredbredde 0,1-10m	17 %	33 %
Skredbredde 10-50m	53 %	104 %
Skredbredde 50-100m	73 %	142 %
Skredbredde >100m	79 %	155 %

Med disse faktorverdiene på plass kan vi gjennomføre eksempelberegningene. Vi gjennomfører en EFFEKT-beregning av et skredtiltak som antas å bringe skredrisikoen på veistrekningen ned til null. Levetiden på tiltaket er for eksempelets skyld satt til 75 år.²³ Laveste anslag tar utgangspunkt i en skredbredde på 6 meter og en faktorverdi for alvorlighetsgrad på 0,17 for alle tre skredpunktene på strekningen. Dette vises i figur 4.14. Vi kjører EFFEKT med disse forutsetningene og finner at de sparte ulykkeskostnadene som følge av tiltaket summerer seg opp til en nåverdi på ca. 8 millioner NOK.

²³ En reell SØA vil trenge ingeniørfaglige vurderinger for hva som er rimelig teknisk levetid på skredtiltak. For mange vegprosjekter i NTP 2025-2036 er dette antatt levetid for tiltaket. Halse mfl. (2021) dokumenterer at det har vært økt praksis i å anta lengre levetider på vegprosjekter i SØAer over de siste 12 årene, uten at dette er spesielt godt faglig begrunnet.

Uforberedte vegstengninger		<----- Primærskred ----->			<--- Nabo-skred --->		
Årsak	Beskrivelse	Antall	Stengningstid	Gj.sn. berørt	Veglengde		Istandsetting
		pr år	Timer (gj. snitt)	veglengde (m)	Gruppe	i området (m)	
▶ Snøskred/sørpeskred	Øvstesked	0,4	8	6	1	6	13350
▶ Snøskred/sørpeskred	Midtskreda	0,1	4	6	1	6	13350
▶ Snøskred/sørpeskred	Aurskreda	1	8	6	1	6	13350
*							

Responstid <input type="text" value="0,5"/> timer	Alvorlighetsgrad ulykker (gj.sn. ulykkeskostnad 3 mill kr. prisivå 2016)	<input type="text" value="0,17"/>
	Primærskred: Ulykkeskostnad for ett kjøretøy (stopplengde 75 m)	<input type="text" value="0,12"/> kr/tur
	Naboskred: Ulykkeskostnad for ett kjøretøy	<input type="text" value="0,00"/> kr/tur

Preventive vegstengninger		Antall	Stengningstid	Istandsetting
Årsak	Beskrivelse	pr år	Timer (gj. snitt)	Kr/stengning
*				

Samlet årlig stengningstid	<input type="text" value="11,6"/> timer
Årlig kostnad til istandsetting	<input type="text" value="20025"/> kr

Figur 4.14: Beregningsoppsett i EFTEKT for skredkostnader. Gjennomsnittlig skredbredde og faktor for alvorlighetsgrad satt til laveste anslag.

Høyeste anslag tar utgangspunkt i en skredbredde på 18 meter og en faktorverdi på 1,04. Dette vises i figur 4.15. EFTEKT-beregningene med disse forutsetningene resulterer i sparte ulykkeskostnader som følge av tiltaket med en nåverdi på ca. 54 millioner NOK.

Uforberedte vegstengninger		<----- Primærskred ----->			<--- Nabo-skred --->		
Årsak	Beskrivelse	Antall	Stengningstid	Gj.sn. berørt	Veglengde		Istandsetting
		pr år	Timer (gj. snitt)	veglengde (m)	Gruppe	i området (m)	
▶ Snøskred/sørpeskred	Øvstesked	0,4	8	18	1	18	13350
▶ Snøskred/sørpeskred	Midtskreda	0,1	4	18	1	18	13350
▶ Snøskred/sørpeskred	Aurskreda	1	8	18	1	18	13350
*							

Responstid <input type="text" value="0,5"/> timer	Alvorlighetsgrad ulykker (gj.sn. ulykkeskostnad 3 mill kr. prisivå 2016)	<input type="text" value="1,04"/>
	Primærskred: Ulykkeskostnad for ett kjøretøy (stopplengde 75 m)	<input type="text" value="0,83"/> kr/tur
	Naboskred: Ulykkeskostnad for ett kjøretøy	<input type="text" value="0,00"/> kr/tur

Preventive vegstengninger		Antall	Stengningstid	Istandsetting
Årsak	Beskrivelse	pr år	Timer (gj. snitt)	Kr/stengning
*				

Samlet årlig stengningstid	<input type="text" value="11,6"/> timer
Årlig kostnad til istandsetting	<input type="text" value="20025"/> kr

Figur 4.15: Beregningsoppsett i EFTEKT for skredkostnader. Gjennomsnittlig skredbredde og faktor for alvorlighetsgrad satt til høyeste anslag.

Ut fra den mekaniske beregningen av ulykkeskostnader er det rimelig å forvente et såpass stort sprik mellom høyeste og lavest anslag. **Et tre ganger så bredt skred i høyeste anslag gir en vesentlig høyere sannsynlighet for at en gitt bil blir truffet, og som vi har beregnet i kapittel 4.3, vil det også øke forventet alvorlighetsgrad av et gitt treff mellom skred og kjøretøy.** Forskjellen i ulykkeskostnader mellom høyeste og lavest anslag gir en viktig påpekning på den store usikkerheten knyttet til det å anslå bredde på skred og alvorlighetsgrad på ulykker. Datagrunnlaget vi har muliggjør dessverre ikke høy presisjon.

4.5 Forslag til EFFEKT-tilpasset anvendelse av verdsettingen av skredfrekvens og skredstørrelse

Som nevnt i kapittel 3.2 så bygger vi videre på verdsettingsestimaterne for skredfrekvensreduksjon og for skredbreddereduksjon hentet fra Magnussen et al. (2022). Vi benytter vektete verdsettingsgjennomsnitt for endring i skred som rammer veginfrastruktur i Norge (se tabell 3.3 i kapittel 3.2). Disse er 3,70 kroner per reise for en endring i forventet skredfrekvens med ett tilfelle per år (95 %-konfidensintervall utledet fra gjennomsnittet $\pm 25\%$, dvs. ca. 2,77-4,63) og 0,13 kroner per reise for en endring i forventet skredbredde med 1 m for skred som når vegen (95 %-konfidensintervall utledet fra gjennomsnittet $\pm 25\%$, dvs. ca. 0,10-0,16).

Nytteberegningfunksjoner som vil kunne inngå i NKA av tiltak på skredutsatt strekning, i EFFEKT (foreliggende metodikk beskrevet i Straume & Bertelsen, 2015, kap. 10) kan defineres som følger:

- **Nytte (kr) av endring (x) i skredfrekvens:** $3,70 \text{ kr} * x \text{ skred/år} * \text{belegg} * \text{ÅDT} * 365$
- **Nytte (kr) av endring (y) i skredstørrelse:** $0,13 \text{ kr} * y \text{ meter bredde} * \text{belegg} * \text{ÅDT} * 365$

der x er endringen i det forventede antallet årlige skred (som når vegen), og y er endringen i den forventede gjennomsnittsbredden (i meter) på skredene som rammer vegen. En mulig tilknytning av y til modellapparatet beskrevet av Straume og Bertelsen (2015, kap. 10) er:

- $y \text{ meter} = \Delta(L_A + L_B)$

der L_A er primær-skredbredde og L_B er sekundær-skredbredde (naboskred). Dette tar ikke med bredden (veglengden) mellom primærskred og sekundærskred, som vi her kan betegne L_D . Dette området uten skred, men som er mellom skred, vil kunne påvirke vegbrukerne – de kan bli «fanget» i dette området. Imidlertid er verdsettingene av skredbredde-endring gitt slik at de kun omfatter selve skredbreddene, altså $y = \Delta(L_A + L_B)$, og ikke inkluderer vegbredden imellom (som ikke er truffet av skred).

Dersom analytikeren vet at de aktuelle skredtypene for strekningen kun er isskred eller snø-/sørpeskred, er det rimelig å begrense antall dager med betalingsvillighet til vintersesongen (istedenfor 365 dager). Dette er for øvrig implementert i versjon 6.86 av EFFEKT (Kroksæter, 2023).

Nedfor følger tre tabeller som fungerer som eksempelberegninger på hvordan man kan beregne betalingsvilligheten for redusert skredfrekvens og skredbredde som treffer norske veger. Ettersom dette er relativt enkle lineære funksjoner, lar det seg beregne i Excel på oversiktlig vis. Excel-arkene bak tabellene er delt med oppdragsgiver. Det er dermed fullt mulig å gjøre brukbare anslag på betalingsvilligheten for å redusere skredfrekvens og skredbredde uten å måtte benytte seg av NKA-verktøyet EFFEKT. Som vi kommer tilbake til i kapittel 5, vurderer vi det som hensiktsmessig at disse lineære funksjonene implementeres inn i EFFEKT, da det sikrer full konsistens mellom beregningene av endringer i personskader fra skred, omkjøringsulemper og betalingsvilligheten for å redusere skredfrekvens og skredbredde.

Vi gjentar at dette er en betalingsvillighet fra trafikantene som kommer i tillegg til verdsettingen av ulykkesrisiko og omkjøringsulemper (som også kan medføre undertrykte reiser hvis omkjøringsulemene blir for store). Som beskrevet i kapittel 3.2.3, er det mange mulige drivere bak denne verdsettingen, blant annet betalingsvillighet for redusert ubehag og redusert usikkerhet for stengninger (opsjonsverdi). Dette kan derfor oppfattes som en «rest-betalingsvillighet for redusert skredfare».

Tabell 4.9 til tabell 4.11 nedenfor skisserer størrelsesordenen for trafikantenes verdsetting av å redusere skredfrekvens eller skredbredde med en enhet på en strekning, eller redusere skredfaren på en strekning ned til null. Vi viser både årlige verdier og nåverdier gjennom en prosjektperiode.

I tabell 4.9 har vi også tatt med tilsvarende vektete verdsettinger (per reise) av én mindre årlig infrastrukturstenging, av én person mindre som blir hardt skadd eller drept, og av én time redusert reisetid. I tillegg til enhetsverdiene per reise (eller per time, for reisetid), har vi tatt med aggregeringer over et år

for ulike trafikpopulasjoner (2 000*1,2*365 eller 4000*1,2*365, der 2 000 og 4 000 er ulike ÅDT og 1,2 er antatt gjennomsnittlig antall personer, belegg, per kjøretøy); og vi viser også nåverdiestimer avrundet til nærmeste 100.000 (40 års prosjektperiode og 4 % kalkulasjonsrente).

Tabell 4.9: Estimer fra verdsettingen av skredfare, enhetspriser per reise, nytte per år for én enhets reduksjon, og nåverdi av én enhets reduksjon (2019-kr).

	Kr per reise	Kr per år		Kr, nåverdi for prosjektperioden	
		ÅDT=2000	ÅDT=4000	ÅDT=2000	ÅDT=4000
1 skredtilfelle	3,70	1 620 600	3 241 200	32 100 000	64 200 000
1 m skredbredde	0,13	56 940	113 880	1 100 000	2 300 000
1 dag med stenging av strekning	8,75	7 665 000	15 330 000	151 700 000	303 400 000
1 (statistisk) hard skade / dødsfall	28	20 440 000	40 880 000	404 600 000	809 100 000
1 <u>time</u> reisetid	78	187 200	374 400	3 700 000	7 400 000

Merknad: Her er det antatt 1,2 personer i kjøretøyet i gjennomsnitt; for reisetiden er det antatt et gjennomsnitt på 1 time reisetidsendring per reisende per år; og endringen i hardt skadde eller drepte er gitt for et 10-års-perspektiv; prosjektperioden er 40 år, med 4 % kalkulasjonsrente. (Estimatene er basert på Navrud et al., 2020 og Magnussen et al., 2022.)

Estimatene i tabell 4.9 antyder de relative forholdene mellom enhetsverdiene for skredstørrelse- og skredbredde-endring opp mot reisetidsendring, vegstenging, og hardt skadde/dødsfall. Dette muliggjør å sette verdsettingen av attributtene opp mot hverandre. For eksempel kan vi lese fra tabellen og med litt enkel beregning se at å spare 10 timers reisetid i året for 2000 biler har en nåverdi på 37 mill. kr over 40 år. Trafikantene i de samme 2000 bilene vil i snitt verdsette dette omtrent likt som å eliminere ett skredtilfelle med 4 meters bredde i året for over den samme 40-årsperioden.

I tabell 4.10 bruker vi samme oppsett, men vi inkluderer kun verdsetting av skredstørrelse- og skredbredde-endring, og vi viser endringer i den lineære verdsettingsfunksjonen, en halvering og en dobling i endringsstørrelsene.

Tabell 4.10: Eksempler på variasjon i verdsetting av redusert forventet årlig skredfrekvens og redusert forventet gjennomsnittlig skredbredde (2019-kr).

		Kr per reise per enhet	Kr per reise	Kr per år		Kr, nåverdi for prosjektperioden		
				ÅDT=2000	ÅDT=4000	ÅDT=2000	ÅDT=4000	
x=	0,5	skredfrekvens	3,70	1,85	810 300	1 620 600	16 000 000	32 100 000
x=	2			7,40	3 241 200	6 482 400	64 200 000	128 300 000
y=	0,5	skredbredde (m)	0,13	0,065	28 470	56 940	600 000	1 100 000
y=	2			0,26	113 880	227 760	2 300 000	4 500 000

Merknad: Her er det antatt 1,2 personer i kjøretøyet i gjennomsnitt.

Estimatene i tabell 4.10 viser betydningen av endringsstørrelsen som tiltaket er forventet å medføre, størrelsen på reduksjonen i forventet skredfrekvens og skredbredde som rammer vegen, samt betydningen av trafikantpopulasjonen (ÅDT). For eksempel ser vi at den årlige «rest-betalingsvilligheten for å

fjerne skredfare» på et punkt hvor det forventes et to meter bredt skred hvert andre år (0,5 skred i året) på en strekning med en ÅDT på 2000 er på 924 180 kr (810 300 kr + 113 880 kr). **Lineariteten er veldig tydelig** når man sammenligner tabell 4.9 og tabell 4.10 og f.eks. kan man se at to skred på en strekning med en ÅDT på 2000 er verdsatt likt som ett skred på en strekning med en ÅDT på 4000.

Som i kapittel 4.4, knytter vi verdsettingene av endret skredfrekvens og skredbredde til Nye Veier-prosjektet for skredsikring på riksveg 13 langs Sandvinvatnet (med snøskredløpene Aurskreda, Midtskreda, Øvsteskreda). Dette vises i Tabell 4.11. Vi bruker samme inputverdier som i kapittel 4.4 (figur 4.14 og figur 4.15), blant annet en forutsetning om at skredfare kun gjelder for vinterhalvåret (snøskred), og dermed gjelder betalingsvilligheten kun for 180 dager i året. Dette inkluderer en tolkning av «gjennomsnittlig berørt veglengde» som bredden til skredet. I regneeksempelet tar vi kun for oss primærskredene.

Tabell 4.11: Eksempelberegninger for verdsetting (i 2019-kr) av skredtiltak som eliminerer sannsynligheten for at skred treffer vegen, for en forventet årlig skredfrekvens og forventet gjennomsnittlig skredbredde i nullalternativet – eksempel tilknyttet RV13 langs Sandvinvatnet (Øvsteskreda, Midtskreda, Aurskreda).

Skredpkt.	Endring pga. skredtiltak		Verdsetting per reise		Nytte per år	Nåverdi	
	x (frekvens)	y (meter)	skredfrekvens	skredbredde		40 år	75 år
Midtskreda	0,1	6	kr 0,37	kr 0,78	kr 645 840	kr 12 800 000	kr 15 300 000
Øvsteskred	0,4	6	kr 1,48	kr 0,78	kr 1 269 216	kr 25 100 000	kr 30 100 000
Aurskreda	1	6	kr 3,70	kr 0,78	kr 2 515 968	kr 49 800 000	kr 59 600 000
Midtskreda	0,1	18	kr 0,37	kr 2,34	kr 1 521 936	kr 30 100 000	kr 36 000 000
Øvsteskred	0,4	18	kr 1,48	kr 2,34	kr 2 145 312	kr 42 500 000	kr 50 800 000
Aurskreda	1	18	kr 3,70	kr 2,34	kr 3 392 064	kr 67 100 000	kr 80 300 000

Merknad: Her er det antatt en ÅDT=2600, en vintersesong på 180 dager og 1,2 personer i kjøretøyet i gjennomsnitt.

Variasjonen i skredfrekvens-reduksjon (mellom 0,1 og 1 per år) og variasjonen i skredbredde-reduksjon (6 m eller 18 m) gir effekter på nytteestimatet av omtrent samme størrelsesorden (tabell 4.11). Videre er nytten av skredfrekvens-reduksjonen pluss skredbredd-reduksjonen («kontrollert for» verdsettingen av endret risiko for hardt skadde eller dødsfall av alle årsaker) noenlunde i samme størrelsesorden som nytten av å redusere risikoen for personskade/kjøretøyskade pga. skred (kapittel 4.4), og gjerne noe høyere. For 75-års prosjektperiode så vil nytteestimatet for redusert skredfrekvens pluss redusert skredbredde variere fra ca. 15 millioner opp til ca. 80 millioner kroner per skredpunkt.

Vi understreker at eksempelberegningene antar at tiltaket fører til at sannsynligheten for at et skred treffer veien blir redusert til null gjennom tiltakets levetid. I eksempelberegningene har vi også sett bort ifra sekundærskred. Verdsettingen av forventet frekvens og bredde til sekundærskred vil være fullstendig additiv til verdsettingen av primærskredene. For konsekvensanalyser av reelle skredtiltak vil det være ønskelig å bygge vurderingen av hvor mye skredrisiko tiltaket faktisk reduserer på empirisk analyse av tidligere anvendelse av lignende tiltak, samt grundige ingeniørfaglige og geologiske vurderinger. Ved usikkerhet vil det være hensiktsmessig med følsomhetsanalyse av hvor mye denne risikoen reduseres, for å teste hvor robust analyseresultatene er mot denne usikkerheten.

5 Diskusjon og konklusjon

5.1 Oppsummering og diskusjon av resultatene

I denne rapporten har vi gjort analyser for å lage et bedre kunnskapsgrunnlag for samfunnsøkonomiske analyser av skredtiltak på to konkrete områder:

1. Forventet alvorlighetsgrad av ulykker dersom en bil skulle bli truffet av skred
2. Betalingsvillighet for redusert skredfrekvens og redusert skredbredde (på toppen av ulykkesrisiko og ulemper ved veistengning)

5.1.1 Forventet alvorlighetsgrad

For å gjøre analyser av det første aspektet har vi benyttet oss av et relativt stort datasett av skredhendelser fra 2000 til 2023 hentet fra NVDB, og koblet på skreddata fra NVE med informasjon om dødsfall knyttet til skred på vei. Oss bekjent er det ikke gjort analyser på et slikt datasett i Norge med mål om å anslå forventede samfunnsøkonomiske ulykkeskostnader av skred som treffer kjøretøy på vei. I litteraturgjennomgangen i kapittel 2 finner vi heller ikke et stort omfang av studier som tar for seg forventet alvorlighetsgrad av ulykker knyttet til skred på vei. Analysene våre på dette temaet bidrar dermed til å belyse et felt som det ser ut til å være lite forskning på.

Det er registrert over 53 000 skred på vei gjennom analyseperioden 2000-2023. De fleste av disse er relativt små og det registreres ingen skade som følge av dem. Vi må regne med at det er vesentlige mørketall, men at disse mørketallene i hovedsak representerer små skred som verken fører til stengninger eller skade.

Omtrent 15 % av de registrerte skredene er registrert med noen form for skade. Den vanligste registrerte skaden er skade på veidekke og skade på drenering. Det er registrert 674 tilfeller av skade på kjøretøy som følge av skred, som utgjør ca. 1,2 % av de registrerte skredene. Av tilfellene med skade på kjøretøy er det identifisert 62 tilfeller med personskade. Dette utgjør ca. 0,11 % av alle de registrerte skredene på vei og 9 % av skredene med registrert skade på kjøretøy.

Sannsynligheten for personskadehendelser som følge av skred på vei er med andre ord relativt lav, med under tre tilfeller i året i snitt. Til sammenligning treffes ca. 35 personer per år av lynet i Norge (Kimø, 2019). Det som imidlertid er påfallende, er at forventet alvorlighetsgrad av en gitt personskade er relativt høy. Av de 62 tilfellene med personskader var det registrert 13 tilfeller med dødsfall, altså over 20 % av personskadeulykkene. Disse 13 tilfellene utgjorde til sammen 18 dødsfall og to alvorlig skadde. Til sammenligning ble totalt fire drept av lyn i Norge i perioden 2000-2017 (Kimø, 2019). Det kan også påpekes at antall omkomne som følge av skred på vei også er relativt lav sammenlignet med antallet som omkommer av å bli tatt av skred mens de ferdes på tur i naturen (både på fritid og på jobb). Ifølge Norges Geotekniske Institutt (2024) omkom 122 mennesker på ferdsel i naturen mellom 2000-2023 som følge av snøskred.

Gitt at vi ikke kjenner til skadegradene i personskadeulykkene som ikke ender opp i dødsfall er det vanskelig å anslå forventet alvorlighetsgrad. Vi kan imidlertid anslå rimelige ytterpunkter, med enten en høy andel ulykker med lettere skadde eller en høy andel med hardt skadde. Med anbefalt verdsetting av liv og helse til bruk i samfunnsøkonomiske analyser finner vi en forventet ulykkeskostnad på 11-21 millioner kroner (2020-kr) per personskadetilfelle. Selv med et såpass stort usikkerhetsspenn peker funnene mot relativt høye gjennomsnittlige kostnader per tilfelle.

Den relativt høye dødsraten per personskadetilfelle kan oversettes til at forventet ulykkeskostnad, gitt at kjøretøy skades av skred, også er relativt høy. Datamaterialet tilsier en forventet ulykkeskostnad per skred som skader kjøretøy på mellom 1 og 2 millioner kroner før man gjør eventuell differensiering på

skredstørrelse. Det nedre ulykkeskostnadsestimatet for et skred smalere enn 10 meter som treffer et kjøretøy på vei er på ca. 0,6 millioner kroner, mens det øvre estimatet for et skred bredere enn 100 meter er på ca. 5 millioner kroner. Dette understreker viktigheten av at en samfunnsøkonomisk analyse av skredtiltak har et velfundert grunnlag for hvor store skred som kan forventes på en gitt strekning. Det har mye å si for verdsettingen.

For å illustrere viktigheten av hvilke forutsetninger man legger for skredbredde, gjennomførte vi to eksempelberegninger med NKA-verktøyet EFFEKT på en skredutsatt strekning. Gitt de grove breddekategoriene i NVDB sine skreddata, anslår vi at et gjennomsnittlig registrert skred på vei har en bredde på mellom 6 og 18 meter. Vi legger disse anslagene til grunn i eksempelberegningene. Dersom gjennomsnittlig skredbredde er 6 meter, med laveste anslag på skadekostnad i bredde kategorien, beregner EFFEKT en nåverdi av ulykkeskostnadene på ca. 8 millioner kroner. Dersom bredden er 18 meter, med høyeste anslag på skadekostnad, beregner EFFEKT en nåverdi av ulykkeskostnadene på ca. 54 millioner kroner. Noe av spriket i anslag skyldes usikkerhet i estimatene, men beregningene tar også innover seg de viktige prinsippene om at bredere skred gir en vesentlig høyere sannsynlighet for trefning med bil, og det vil øke forventet alvorlighetsgrad av treffet.

5.1.2 Betalingsvillighet for redusert skredfrekvens og skredbredde

Vi har tatt utgangspunkt i verdsettingen av endret (forventet) frekvens av og (forventet gjennomsnittlig) bredde på skred som når infrastruktur fra Navrud et al. (2020). Vi har også bruke de vektete enhetsverdiene for veginfrastrukturen, i kroner per personreise, foreslått av Magnussen et al. (2022). Estimaten er basert på en verdsettingsundersøkelse med designede valgeksperimenter som synes å ha fungert godt, i den forstand at alle seks inkluderte attributter i reisevalg-alternativene endte opp med forventede fortegn (Navrud et al., 2020). I tillegg var verdsettingene av endret reisetid og endret risiko for hard skade og dødsfall i tråd med estimater fra andre norske studier (Flügel et al., 2015; 2020). Siden valgeksperimentet for verdsetting av skredfrekvens og skredbredde også inkluderte hard skade og dødsfall og infrastrukturstenging (av alle mulige årsaker, for begge attributter), så vil vi anta at betalingsvilligheten for redusert skredfrekvens og skredbredde primært omfatter andre effekter enn alvorlig ulykkesrisiko og vegstengningsrisiko. Valgeksperimentet rapportert av Navrud et al. (2020) var altså slik at vi ikke forventer dobbelttellingsproblematikk ved å ta med verdsetting av redusert skredfrekvens eller skredstørrelse i tillegg til ulykkesverdsetting og vegstengingsverdsetting, i NKA/EFFEKT.

Det som Navrud et al. (2020) estimerte er økonomiske verdsettinger av endret skredfrekvens og skredbredde som rammer infrastruktur, for gitte nivåer av infrastrukturstenging, reisetid og alvorlige personskader og dødsfall. De viste at verdsettingen av redusert skredfrekvens og skredstørrelse kun hadde svak eller ingen sammenheng med oppgitt utrygghet pga. skredfare (Navrud et al., 2020). Vi finner det samme basert på nye tester. Verdsettingen av redusert skredfrekvens og -størrelse kan omfatte flere mulige (ikke-spesifiserte) effekter av skredfare, i tillegg til vegstengningsrisiko, tidstap og risiko for hard skade / dødsfall (se f.eks. Spegel & Ek, 2022). Vi har nevnt at verdsetting av redusert skredfrekvens og -størrelse kan reflektere en opsjonsverdi, en verdsetting av redusert transporttilgjengelighetsusikkerhet (Bondemark et al., 2021), at respondentene har verdsatt det å få redusert usikkerheten omkring reisemuligheter på et gitt framtidig tidspunkt. Respondentene kan ha skilt denne transporttilgjengelighetsopsjonen fra antallet forventede årlige vegstenginger (av alle årsaker). Vi har ikke datagrunnlag for å utelukke andre mulige motiver eller årsaker.

Vi foreslår en utvidelse fra de faste verdiene, som Magnussen et al. (2022) viste i sine eksempelberegninger, til enkle lineære funksjoner (og Magnussen et al. foreslo selv at metodikken burde utvikles videre). Utvidelsen innebærer en kostnad lik 3,70 kroner per skredtilfelle som treffer infrastrukturen per år, og 0,13 kroner per meter skredbredde som gjennomsnittlig treffer infrastrukturen (beløp i 2019-kr). Begge parameterne er beregnet til å ha et 95 % konfidensintervall på +/- 25 % (relevant for følsomhetsanalyse). Vi foreslår dermed å ta inn betydningen av størrelsen på de endringene som skredsikringstiltaket forventes å medføre, slik at verdsettingene bidrar inn i rangeringen av skredsikringstiltak. De

tiltakene som gir «større» reduksjon har da høyere nytte for disse komponentene enn tiltak som gir «mindre» reduksjon.

Følgende funksjoner vil gi nytteestimer per år for skredtiltak som forventes å redusere det forventede antall årlige skredhendelser (som treffer vegen) med x og redusere den forventede gjennomsnittlige skredbredden (som treffer vegen) med y meter:

- Kr for endring (x) i skredfrekvens: $3,70 \text{ kr} * x \text{ skred/år} * \text{belegg} * \text{ÅDT} * 365$
- Kr for endring (y) i skredstørrelse: $0,13 \text{ kr} * y \text{ meter} * \text{belegg} * \text{ÅDT} * 365$

der y meter = $\Delta(L_A+L_B)$, der L_A er primær-skredbredde og L_B er sekundær-skredbredde (naboskred), slik dette er beskrevet av Straume og Bertelsen (2015, kap. 10).

Vi har vist i et konkret eksempel (NKA av skredsikringstiltak langs Sandvinvatnet på RV 13), hvilken betalingsvillighet dette ville gi for redusert skredfrekvens (mellom 0,1 og 1) pluss redusert skredbredde (6 eller 18 meter). Nytteestimatene varierer da mellom 15 og 80 millioner kroner per skredpunkt i et 75-års NKA-prosjektperspektiv. Dette er på nivå med eller noe i overkant av den estimerte nytten av skredtilknyttet ulykke-/personskaderisiko-reduksjon²⁴. Med andre ord, hvis en SØA kun verdsetter personskaderisikoen knyttet til skred, så vil analysen hensynta mindre enn halvparten av betalingsvilligheten samfunnet har for å redusere skredfare.

Når infrastrukturstenging, reisetid og alvorlige ulykker allerede er tatt inn i NKA/EFFEKT, så kan verdsetting av redusert skredfrekvens og -størrelse muligens betraktes som en «rest-betalingsvillighet for redusert skredfare», som kan inkludere opsjonsverdier og ikke-spesifiserte effekter av skredfare. Videre forskning kan avdekke om det er en transporttilgjengelighetsopsjon eller om det er andre ikke-spesifiserte konsekvenser som eventuelt er de sterkeste driverne bak verdsettingen av redusert skredfrekvens og -størrelse.

5.2 Konklusjon og anbefalinger

Vi mener at våre funn har **implikasjoner for hvordan samfunnsøkonomisk analyse av skredtiltak i transportsektoren bør gjøres**. Nåværende vanlig praksis for verdsetting av skredtiltak i EFFEKT ivaretar i prinsippet de viktigste nyttekomponentene av å redusere skredfare. Det beregnes:

- Ulykkessannsynlighet og ulykkeskostnader
- Ulempekostnader ved veistengninger - både som følge av skred og preventive veistengninger
- Istandsettelseskostnader
- De siste årene har man også, som en uttesting, hatt mulighet til å beregne rest-betalingsvillighet for å redusere skredfrekvens og skredbredde (litt upresist omtalt som «ubehag skredfare»).

Vi vurderer det som riktig å ha med alle disse komponentene med i beregningen, og at betalingsvillighet for å redusere skredfrekvens og skredbredde (utover ulykkesrisiko og stengningsulemper) bør være en standardkomponent i SØA av skredtiltak. Tidligere praksis hvor denne «rest-betalingsvilligheten» ikke har vært inkludert har isolert sett bidratt til noe underestimert nyttesiden for skredtiltak.

Den største svakheten knyttet til vanlig praksis med samfunnsøkonomiske analyser av skredsikringstiltak, er at det ikke i tilstrekkelig grad fanger opp forskjellene i samfunnsøkonomisk nytte av å sikre områder hvor det forventes relativt store og hyppige skred imot-setning til områder hvor det forventes sjeldne og små skred. Dette gjelder for både anslag av alvorlighetsgrad knyttet til ulykkeskostnader og betalingsvillighet for å redusere skredfrekvens og bredde.

²⁴ Samtidig er den skredtilknyttede personskaderisikoen relativt lav sammenliknet med personskaderisikoen i vegtransport tilknyttet andre årsaker.

Vi anbefaler å oppdatere praksis for SØA av skredtiltak ved å ta i bruk våre resultater (parameterverdier og funksjoner). Ved å implementere våre anbefalte parameterverdier i beregning av ulykkeskostnader og rest-betalingsvillighet for redusert skredfare, som en funksjon av skredfrekvens og skredbredde, mener vi at SØAene av skredtiltak vil gi mer realistiske beregninger av nyttesiden. Dette vil gi et bedre beslutningsgrunnlag både når en vurderer ulike prosjektoalternativer opp mot hverandre, og ulike prosjekter opp mot hverandre i en portefølje.

Tiltak som bidrar til størst (absolutt) reduksjon i skredfrekvens og -bredde for flest trafikanter vil få beregnet høyere samfunnsnytte enn tidligere, mens tiltak med lavere (absolutt) effekt på skredfrekvens og -bredde for et lavere antall trafikanter vil få beregnet lavere nytte enn tidligere. Dersom samfunnsøkonomisk lønnsomhet vektlegges i prioriteringen vil det isolert sett innebære at prosjekter med størst (absolutt) reduksjon i skredfrekvens og -bredde vil prioriteres, og porteføljen vil samlet sett få en større beregnet nytte. Vi har ikke sett på hvordan dette vil slå ut på netto nåverdi av dagens portefølje av veiprosjekter.

Vi må imidlertid understreke at målet med denne rapporten er å finne mer realistiske verdier og funksjoner for selve verdsettingen av ulike aspekter ved skred. Det er viktig at grundige klimafaglige, geologiske og ingeniørfaglige vurderinger legges til grunn for å gjøre realistiske anslag på forventet skredhøyhet og skredbredde på en gitt veistrekning. Mange av de samme beregningene og vurderingene som legges til grunn for å anslå prioriteringsfaktorer for skredtiltak (se f.eks. Statens vegvesen, 2019), må anvendes i SØAen.

5.3 Forbehold

Registrering av skred gjøres ikke automatisk, men må legges inn manuelt i rapporteringssystemet. Vi må derfor forvente at datasettet på skredhendelser fra NVDB representerer en underregistrering av det reelle antall skred, og at det kan være betydelige mørketall. Ettersom Statens vegvesen (2019) påpeker at det gjerne er de mindre skredene med lav eller ingen konsekvens for trafikk som ikke blir registrert, er vi mindre bekymret for underregistrering av hendelser med konsekvenser for infrastruktur, kjøretøy eller liv og helse. Likevel, vi har oppdaget at i 6 av de 13 tilfellene med dødsfall fra NVE-datasettet er det ikke notert «Skade på person» i NVDB-registreringene. Enda mer alvorlig er at ett av de 13 tilfellene med omkomne ikke er å oppdrive i NVDB-databasen i det hele tatt. Enten er det ikke registrert, eller så er det feilregistrert (f.eks. med feil dato). Dette viser at underregistreringene av skred i NVDB ikke bare angår de mindre alvorlige skredene som ikke forårsaker skade eller veistengning, men også noen av de mest alvorlige skredhendelsene. Det virker fortsatt rimelig at underregistreringene først og fremst gjelder de mindre alvorlige hendelsene, men dette understreker at det er generelt mye usikkerhet i datagrunnlaget og vi må tolke funnene med forsiktighet. Manglene i dataene kan føre til at noen av verdiene vi har estimert kan være overvurdert så vel som undervurdert.

5.4 Videre forskning

Litteraturgjennomgangen viser at det er gjort relativt lite forskning på forventet alvorlighetsgrad av ulykker knyttet til skred på vei. Vi har også et stort og spennende datagrunnlag som spenner seg over et stort geografisk område (hele landet) og over lang tid som, til tross for sine svakheter, kan gi mye innsikt i konsekvensene av skred. Dette åpner for mange interessante muligheter for videre forskning.

Med fokus på å videre heve kvaliteten på SØAer av skredtiltak, ser vi lovende muligheter for å validere EFFEKTs skredmodell for treffsannsynlighet med data fra NVDB. Vi ser også muligheten for å oversette inputen i prioriteringsfaktorene som ofte brukes i planleggingssammenheng til verdsettinger av skredtiltak. Dette vil kunne muliggjøre en landsdekkende oversikt over nytteberegninger av å redusere skredfaren på skredutsatte veistrekninger til null. Videre er det interessant å undersøke om man kan bruke NVDB-data til å analysere effekten tidligere skredtiltak har hatt på å redusere skredfare på vei. Ettersom

man kan følge alle skredutsatte strekninger over tid vil det kanskje være mulig å bruke kvasi-eksperimentelle metoder til å estimere effekten av tiltak.

Videre er det ønskelig å oppnå mer forståelse for driverne bak verdsettingen av redusert skredfrekvens og skredbredde utover ulykkesrisiko og stengingsulemper. Vår vurdering per nå er at denne «rest-betalingsvilligheten for redusert skredfare» sannsynligvis drives mest av trafikantenes verdsetting av en transporttilgjengelighetsopsjon, men her trengs mer forskning for å kunne si noe mer sikkert. Her kan det være aktuelt med en spørreundersøkelse supplert med noen kvalitative intervjuer for å hente inn mer innsikt på temaet.

Vår samlede vurdering er at dette er et svært lovende forskningsfelt som kan gi grunnlag for mye ny og interessant kunnskap til bruk både i Norge og internasjonalt. Det er gode muligheter for å bringe fronten framover på dette feltet av transportforskningen. Den nye kunnskapen kan også være av stor praktisk betydning, da det er klart at det er snakk om relativt store samfunnsøkonomiske verdier, både knyttet til kostnadene skred påfører samfunnet og tiltakskostnadene som må til for å sikre effektiv beskyttelse mot skred. Dette vil særlig være viktig i tiårene framover hvor klimaendringer forventes å gi mer ekstremvær og økt skredfare.

Referanser

- Bardal, K. G. & Mathisen, T. A. (2019). Modelling the costs of unexpected traffic flow disruptions. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 53(4), 299-322.
- Bondemark, A., Kopsch, F. & Johansson, E. (2021). Accessibility and uncertainty: An empirical analysis of option value in transport. *Journal of Transport and Land Use*, 14(1), 463-477.
- Bråthen, S., Husdal, J. & Rekdal, J. (2008). Samfunnsøkonomisk verdi av rassikring - Noen beregninger knyttet til verdi av å unngå stengte veier. *Rapport 0801, Møreforskning Molde AS*.
- Carson, R. T., Flores, N. E. & Mitchell, R. C. (2001). The Theory and Measurement of Passive-Use Value. I I. Bateman & K. G. Willis (Red.), *Valuing Environmental Preferences: Theory and Practice of the Contingent Valuation Method in the US, EU, and developing Countries* (s. 97-130). Oxford University Press.
- Flügel, S., Halse, A. H., Hulleberg, N., Jordbakke, G. N., Veisten, K., Sundfør, H. B. & Kouwenhoven, M. (2020). *Verdsetting av reisetid og tidsavhengige faktorer. Dokumentasjonsrapport til Verdsettingsstudien 2018-2019 [TØI-rapport 1762/2020]*. <https://www.toi.no/publikasjoner/verdsetting-av-reisetid-og-tidsavhengige-faktorer-dokumentasjonsrapport-til-verdsettingsstudien-2018-2019-article36266-8.html>
- Flügel, S., Rizzi, L. I., Veisten, K., Elvik, R. & de Dios Ortúzar, J. (2015). Car drivers' valuation of landslide risk reductions. *Safety Science*, 77, 1-9.
- Flügel, S., Veisten, K. & Ramjerdi, F. (2010). *Den norske verdsettingsstudien: utrygghet [TØI Rapport 1053g/2010]*. <https://www.toi.no/publikasjoner/den-norske-verdsettingsstudien-verdien-av-tid-sikkerhet-og-miljo-utrygghet-verdien-av-redusert-rasfare-og-bedre-tilrettelegging-for-syklende-og-gaende>
- Franceschinis, C., Thiene, M., Mattea, S. & Scarpa, R. (2020). Do information and citizens characteristics affect public acceptability of landslide protection measures? A latent class approach. *Handbook of Climate Services*, 503-513.
- Halse, A. H., Wangsness, P. B. & Minken, H. (2021). *Endringer i beregningsforutsetninger og betydning for samfunnsøkonomisk lønnsomhet i samferdselsprosjekter [Concept-rapport nr. 66]* (Concept-rapport, Issue. Forskningsprogrammet Concept. <https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1262010703/Concept-rapport+nr.+66.pdf/ae4c94be-a5de-f60e-7024-5be0d7b7b126?t=1639661795286>
- Hazzard, J. (1998). *Risk analysis of landslides affecting major transportation corridors in southwestern British Columbia* [University of British Columbia].
- Hess, S. & Palma, D. (2019). Apollo: A flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application. *Journal of choice modelling*, 32, 100170.
- Hole, A. R. (2007). A comparison of approaches to estimating confidence intervals for willingness to pay measures. *Health economics*, 16(8), 827-840.
- Hungr, O., Evans, S. & Hazzard, J. (1999). Magnitude and frequency of rock falls and rock slides along the main transportation corridors of southwestern British Columbia. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(2), 224-238.
- Jacobsen, J. K. S., Leiren, M. D. & Saarinen, J. (2016). Natural hazard experiences and adaptations: A study of winter climate-induced road closures in Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, 70(5), 292-305.
- Kimø, S. (2019, 07.10.2019). Hvorfor overlever så mange å bli truffet av lyn? *forskning.no*. <https://www.forskning.no/fysikk-meteorologi-spor-en-forsker/hvorfor-overlever-sa-mange-a-bli-truffet-av-lyn/1573061>
- Kroksæter, A. (2022). *Endringer mellom versjon 6.82 og 6.85 av EFFEKT*. SINTEF.
- Kroksæter, A. (2023). *Endringer mellom versjon 6.82 og 6.85 av EFFEKT*. SINTEF.

- Li, X.-n., Ling, S.-x., Sun, C.-w., Xu, J.-x. & Huang, T. (2019). Integrated rockfall hazard and risk assessment along highways: An example for Jiuzhaigou area after the 2017 Ms 7.0 Jiuzhaigou earthquake, China. *Journal of Mountain Science*, 16(6), 1318-1335.
- Lindsay, C. M. (1969). Option demand and consumer's surplus. *The quarterly journal of economics*, 83(2), 344-346.
- Magnussen, K., Navrud, S. & Lindhjem, H. (2022). *Velferdsgevinster ved utbedring av skredutsatte veistreknings – Metode, eksempelberegninger og forslag til videreutvikling*. Menon Economics.
- Mattea, S., Franceschinis, C., Scarpa, R. & Thiene, M. (2016). Valuing landslide risk reduction programs in the Italian Alps: The effect of visual information on preference stability. *Land Use Policy*, 59, 176-184.
- Mehmetoglu, M. & Jakobsen, T. G. (2016). *Applied statistics using Stata: a guide for the social sciences*. Sage.
- Navrud, S., Magnussen, K. & Veisten, K. (2020). Verdsetting av utrygghet ved skred. I. Menonpublikasjon.
- Norges Geotekniske Institutt. (2024). *Snøskredulykker med død*. Hentet 01.03. fra <https://www.ngi.no/forskning-og-radgivning/naturfare-container/skred-og-ras/snoskred-og-sorpeskred/snoskredulykker-med-dod/>
- Rheinberger, C. M. (2011). A mixed logit approach to study preferences for safety on alpine roads. *Environmental and Resource Economics*, 49, 121-146.
- Samstad, H., Ramjerdi, F., Veisten, K., Navrud, S., Magnussen, K., Flügel, S., Killi, M., Halse, A., Elvik, R. & Martin, O. (2010). Den norske verdsettingsstudien. *Sammendragsrapport. TOI rapport*, 1053, 2010.
- Spegel, E. & Ek, K. (2022). Valuing the impacts of landslides: a choice experiment approach. *Economics of Disasters and Climate Change*, 6(1), 163-181.
- Statens vegvesen. (2019a). *Skredsikringsbehov for riks og fylkesvegar i Region vest*. Statens vegvesen: Region vest: Veg- og transportavdelinga: Samfunns- og trafikksikkerhetsseksjon. <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/geofag/skred/skredsikring/>
- Statens vegvesen. (2019b). *Veg-og gateutforming: normal [Håndbok N100]*. I. Statens vegvesen. <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/n100-veg-og-gateutforming-041219.pdf>
- Statens vegvesen Vegdirektoratet. (2021). *Håndbok V172 Konsekvensanalyser*. S. v. Vegdirektoratet. Norwegian Public Roads Administration. <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v712-konsekvensanalyser-2021.pdf>
- Straume, A. & Bertelsen, D. (2015). *Dokumentasjon av beregningsmoduler i EFFEKT 6.6. [Rapport 358]* Statens vegvesen.
- Thiene, M., Shaw, W. D. & Scarpa, R. (2017). Perceived risks of mountain landslides in Italy: stated choices for subjective risk reductions. *Landslides*, 14, 1077-1089.
- Train, K. E. (2009). *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge university press.
- Wangsnæs, P. B. (2023). *Samfunnsøkonomisk analyse og prioritering av utbedringsstrekninger* (Arbeidsdokument 52030-2023). Transportøkonomisk institutt.
- Weisbrod, B. A. (1964). Collective-consumption services of individual-consumption goods. *The quarterly journal of economics*, 78(3), 471-477.
- Winter, M. (2019). Landslide hazards and risks to road users, road infrastructure and socio-economic activity. *Geotechnical Engineering, Foundation of the Future. Icelandic Geotechnical Society, Reykjavik*, 196-228.
- Winter, M. & Wong, J. (2020). The assessment of quantitative risk to road users from debris flow. *Geoenvironmental Disasters*, 7, 1-19.

TØI er et anvendt forskningsinstitutt som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 90 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet driver forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, bøker, seminarer, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, ITS, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transportbehov og generell transportøkonomi. Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forskningssamarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

Postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Postboks 8600 Majorstua
0349 Oslo
Norge

E-post: toi@toi.no

Kontoradresse:

Forskningsparken
Gautstadalléen 21

Hjemmeside: www.toi.no

