



Direktoratet for
samfunnssikkerhet
og beredskap

Risikoanalyse av «Jordskjelv i by»

– delrapport til Nasjonalt
risikobilde 2014



Utgitt av: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) 2017

ISBN: 978-82-7768-427-7 (PDF)

Grafisk produksjon: Erik Tanche Nilssen AS, Skien



Risikoanalyse av «Jordskjelv i by»

- delrapport til Nasjonalt risikobilde 2014

01	Bakgrunn	7
02	Scenarioet «Jordskjelv i by»	13
03	Vurdering av sannsynlighet	15
04	Vurdering av konsekvenser av hendelsen	19
	4.1 Liv og helse.....	20
	4.2 Natur og kultur.....	21
	4.3 Økonomi.....	22
	4.4 Samfunnsstabilitet.....	23
05	Vurdering av usikkerhet	25
	5.1 Vurdering av kunnskapsgrunnlaget.....	26
	5.2 Vurdering av sensitivitet.....	26
06	Konklusjoner	29
	6.1 Sannsynlighet.....	30
	6.2 Konsekvenser.....	30
	6.3 Sårbarhet.....	31
	Vedlegg	33
	Vedlegg 1: Deltakerliste arbeidsseminar.....	34

FORORD

Denne rapporten dokumenterer risikoanalysen som er gjennomført av scenarioet «Jordskjelv i by». Det er en scenarioanalyse som inngår i Nasjonalt risikobilde (NRB) 2014. For å samle all informasjon som er framkommet i løpet av analyseprosessen, har DSB valgt å lage en egen delrapport. Scenarioanalysen er gjennomført i nært samarbeid med Institutt for geovitenskap ved Universitetet i Bergen og NORSAR (Norwegian Seismic Array).

KAPITTEL

01

Bakgrunn



BAKGRUNN

Bakgrunn¹

Jordskorpen består av en rekke kontinentalplater som er i bevegelse. Det er områder som er geografisk plassert nær grenser og møtepunkter mellom kontinentalplatene som er mest utsatt for jordskjelv.

Platebevegelsene fører til spenninger i jordskorpen. Enten ved at platene kolliderer, glir forbi hverandre, eller ved at de trekkes bort fra hverandre. Jordskjelv oppstår når spenningene blir så sterke at det utløser et plutselig brudd i jordskorpen. Energien som utløses i jordskjelv blir spredt gjennom jorda i form av seismiske bølger. Bølgene forplanter seg utover og kan variere i størrelse fra ikke merkbare til svært kraftige rystelser som gjør stor skade på byggverk og infrastruktur.

Norge ligger langt fra plategrensen mellom amerikansk og eurasiske kontinentalplate der de store skjelvene inntreffer, men påtrykte spenninger fra plategrensen på den midtatlantiske rygg har likevel vist seg som en betydelig faktor for jordskjelv langt inne på platen. Den andre spenningsgenererende faktoren er oppløftet av Skandinavia etter isavsmeltingen (glacio-isostatisk relaterte spenninger). Derved er det pekt på de to viktigste faktorene som er årsak til jordskjelv i og utenfor Norge. Som en tredje faktor vil det i kyststrøk i særlig grad genereres spenninger som følge av samtidig oppløft på land og sedimentering og innsynkning til havs. Derved «bøyes» skorpen særlig i kystområder, noe som øker spenningene ytterligere i skorpen nettopp i kyststrøkene.

Måling av jordskjelv

Rundt om i verden registreres det hvert år flere millioner seismiske forstyrrelser, altså jordskjelv. Flesteparten av dem er imidlertid så svake at de bare kan registreres med seismografer. Jordskjelvetts absolutte styrke angis som magnitudo. *Magnitudo* (styrke) av jordskjelv er et tall som brukes for å sette mål på energien et jordskjelv har utløst. Den tradisjonelle måten å måle styrken av et jordskjelv på er å bruke *Richterskalaen*. Richtertallet er basert på amplituden til jordbevegelsen slik den blir registrert på seismografer, samt avstanden til jordskjelvet. Skalaen ble introdusert av Charles Richter i California i 1935. Han definerte et styrke 3 jordskjelv som

følgende: Et skjelv som på 100 kilometers avstand forårsaket 1 mm amplitude på jordbevegelsen.

Det finnes flere skalaer som har vært og er i bruk. Grunnen til de mange skalaer er at dynamikken i jordskjelvenergien er så gigantisk fra de minste til de største skjelvene, og tidligere var det mulig å bruke en og samme skala på alle skjelv. I dag brukes mer og mer utelukkende Moment Magnitude (M_w), som er en lineær logaritmisk skala som er proporsjonal med seismisk moment. For alle praktiske formål er Richter magnitudo og M_s magnitudo synonymt med Moment magnitudo. Tidligere dekket de to magnitudene forskjellige deler av skalaen.

Den tradisjonelle måten å tallfeste styrken på er ved bruk av Richters skala. Magnitudeskalaer som Richterskalaen er logaritmiske. Det innebærer at økning på en enhet på skalaen tilsvarer ti ganger større endring i jordbevegelsen, og omlag 32 ganger større økning i energien som frigis av jordskjelvet.

Gutenberg-Richters lov beskriver den kvantitative fordelingen mellom store og små jordskjelv og anvendes ofte for å estimere hyppigheten eller returperioden til store jordskjelv. Dette ble og blir fremdeles brukt i fareberegninger, også i Norge.

For at mennesker skal merke et jordskjelv må skjelvet har en styrke på Richterskalaen som minst overstiger 3,0. For at omfattende skader skal skje vil skjelvet måtte ha en styrke på minst 6,0. Kraftigere skjelv med styrke på minst 8,0 forekommer bare en eller et par ganger i året. Mega-thrust jordskjelv med styrke opp mot 9,0 eller høyere forekommer i gjennomsnitt bare en gang på 20 år. Tabellen under viser hvor ofte jordskjelv av forskjellig styrke inntreffer i verden:

BESKRIVELSE	MAGNITUDE	GJENNOMSNTLIG ANTALL PER ÅR
Katastrofalt	8 og høyere	1
Meget sterkt	7-7.9	18
Sterkt	6-6.9	120
Moderat	5-5.9	800
Svakt	4-4.9	6 200
Lite	3-3.9	49 000
Veldig lite	Mindre enn 3	Magnitudo 2-3: ca. 365 000 Magnitudo 1-2: ca. 3 000 000

¹ Presentasjon av risikoområde Jordskjelv er basert på sammenstilt informasjon fra hjemmesidene til og innspill fra Institutt for geovitenskap (UiB), NORSAR, NGU, NGI, Standard Norge, Fylkesmannen i Hordaland mfl. www.jordskjelv.no

Hendelser

Norge er ikke kjent for å være det stedet som er mest utsatt for jordskjelv, men er likevel det området i Nord-Europa som opplever flest jordskjelv i dag. Noen få jordskjelv i året er så kraftige at de merkes av mennesker. Det har også forekommet betydelig større jordskjelv i Norge i løpet av de siste par hundre årene, hvorav noen også har ført til skader på byggverk og infrastruktur, og det er ingenting som skulle tilsi at ikke dette kan skje igjen:

- 1819 på Helgeland: Dette jordskjelvet har i ettertid fått anslått en styrke like under M6, og er dermed det største kjente norske jordskjelvet fra historisk tid. Under dette jordskjelvet ble det meldt om at folk ikke klarte å holde seg på bena, samt flerfoldige tilfeller av stående bølger, steinsprang og ras i områdene rundt Ranafjorden, alt kjente effekter av jordskjelv. Jordskjelvet ble også merket på stor avstand, faktisk så langt sørøst som i Stockholm. Den nøyaktige posisjonen til dette jordskjelvet er ikke kjent, anslag har variert fra i nærheten av svenskegrensen i øst til Lurøy i vest (sistnevnte er grunnen til at dette jordskjelvet ofte omtales som "Lurøy-skjelvet").
- 1904 ved Hvaler, Oslofjorden: Jordskjelvet har fått anslått en styrke på M5,4 og rystet områdene på begge sider av Oslofjorden fra syd for Fredrikstad/Tønsberg til nord for Oslo (Christiania). Jordskjelvet ble merket i store deler av Sør-Skandinavia og Nord-Europa. Ingen omkom under skjelvet, men skapte flere steder tilløp til panikk og førte til en rekke skader på bygninger.
- 2008 i Storfjorden, vest for Longyearbyen, Svalbard: Dette skjelvet registrerte NORSAR med en styrke M6,2. Dette er det kraftigste jordskjelvet på norsk sokkel i moderne tid og det er aldri tidligere målt et så kraftig skjelv i Norge. Episenteret lå langt til havs og langt fra folk og førte derfor ikke til skader. Det interessante er at typen tektonikk i dette området ikke skiller seg vesentlig fra Vestlandet, og derved sannsynliggjør muligheten for tilsvarende skjelv på f.eks. Øygardforkastningen.

Disse tre jordskjelvene viser det faktum at også stabile kontinentale områder som Norge er en del av, har et potensial for fremtidige jordskjelv av betydelig styrke. Det er også eksempler på middels sterke jordskjelv som har hatt katastrofale konsekvenser, avhengig av sårbarheten i bygninger og infrastruktur.

Dette ble demonstrert tydelig i L'Aquila i Italia i 2009 da 309 mennesker mistet livet etter et jordskjelv med styrke 6,3.

Risiko

Vi har ikke kunnskap om jordskjelv i Norge med dødelig utgang. Selv om sannsynligheten er lav, kan likevel alvorlige skjelv inntreffe, først og fremst i områder med høy befolkningstetthet og bygningskonstruksjoner som ikke er tilstrekkelig robuste. Jordskjelvets størrelse er ofte mindre utslagsgivende enn hvor det er lokalisert i forhold til befolkningssentra. Tidspunkt på døgnet har også betydning for konsekvensene.

Det er ikke jordskjelvet i seg selv som forårsaker tap av menneskeliv, men de sekundære effektene av skjelvet, hvor kraftige rystelser kan føre til at bygninger raser sammen, broer og veier kolliderer, skred, demningsbrudd og branner. Et kraftig jordskjelv under havet, såkalt havskjelv, langt fra bebyggelse kan forårsake store katastrofer når veldige tsunamier dannes. Dette ble sist vist av jordskjelvet i Indiahavet i julen 2004. Nesten samtlige av de mellom 250 000 og 300 000 omkomne ble drept av tsunamien. Jordskjelv av denne styrken kan imidlertid ikke inntreffe i Norge.

Gjennom begrepet *seismisk risiko* forsøker forskere og ingeniører å sette tall på sjansen for at det skal oppstå skader som følge av jordskjelv. Alle seismiske risikoberegninger er basert på statistiske utregninger i og med at vi ikke kan forutsi jordskjelvaktivitet. Vi kan dele seismisk risiko i to: På den ene siden menes *sannsynligheten* for at et jordskjelv av en gitt styrke skal inntreffe over en gitt tidsperiode, mens man på den andre siden forsøker å angi *konsekvensene* ved å inkludere sårbarhetsfaktorer som bygningstype, befolkningstetthet o.l. for å måle risiko i forhold til skader og tap av menneskeliv.

For å beregne sannsynligheten for at et sted på jordoverflaten skal utsettes for et jordskjelv med en gitt styrke, er man avhengig av registreringer av jordskjelv over tid. Observasjoner over hundre år viser at det innenfor et område er en sammenheng mellom antallet små og store jordskjelv, slik at man ved å registrere små jordskjelv over en viss tid også kan si noe om hvor lenge (i snitt) det går mellom større jordskjelv. Gjennom å kombinere

BAKGRUNN

disse beregningene med informasjon om bl.a. grunnforhold, får man en komplisert statistisk utregning av seismisk risiko. Risikoen uttrykkes vanligvis som sannsynligheten per år for at rystelser over en gitt styrke skal inntreffe.

Det statistiske materialet vi besitter er ikke omfattende nok til å gjennomføre en detaljert sannsynlighetsberegning for et større jordskjelv i Norge. Anslag om returperiode for skjelv med styrke M6,5 eller større er derfor beheftet med meget stor usikkerhet.

Flere faktorer gjør at jordskjelv med styrke lavere enn M7,0 kan få store konsekvenser. Blant dem er først og fremst jordskjelvets dyp, avstand til befolkningssentra, bygningskonstruksjonenes utforming og lokale grunnforhold av avgjørende betydning.



Ødelagt vei og skadede bygninger etter jordskjelv
(Foto: Colourbox.com)

Løsmasser (sand o.l.) som er mettet med grunnvann kan være utsatt for såkalt flytning (eng. *liquefaction*) som innebærer at grunnen plutselig blir svært myk, nærmest flytende og gir etter. Flytning vil også medføre at nedgravde tanker, rørledninger o.l. flyter opp til overflaten, da de er lettere enn den flytende grunnen. Det sier seg selv at dette ikke er bra for bygninger og andre strukturer som er bygd på denne

grunnen. Bedre drenering reduserer sjansen for flytning, da flytning ikke kan oppstå i tørr masse.

Hvilke krefter bygninger utsettes for er avhengig av jordskjelvets dyp, avstand til jordskjelvet, lokale geologiske forhold m.m. Jo grunnere episentrum ligger, desto større er potensialet for ødeleggelse. Er bygningen/byen grunnlagt på f.eks. store leireforekomster, som forsterker svingningene ved et jordskjelv, vil også ødeleggelsene kunne bli større. Samtidig har det vist seg at det er *uvanlig* at underjordiske fasiliteter, som tunneler, gruver og tunnelbaner, tar skade av jordskjelv.

Mens trehusbebyggelse generelt har stor tåleevne mot rystelser, er bl.a. eldre murbygninger, særlig bygårder fra slutten av 1800-tallet, sårbare på grunn av svakheter i konstruksjonsmåten. Blokkbebyggelse fra 1960- og 70-tallet er konstruert med ferdig-produserte betongelementer som etasjeskiller. Disse er sårbare for sideveis bevegelser. Også nyere bygninger kan være utsatt for skader fra jordskjelv, dersom det ikke er tatt hensyn til jordskjelvlaster i prosjekteringen. Et byggverks form har også stor betydning, for eksempel er en L-formet bygning mer utsatt enn et punktthus.

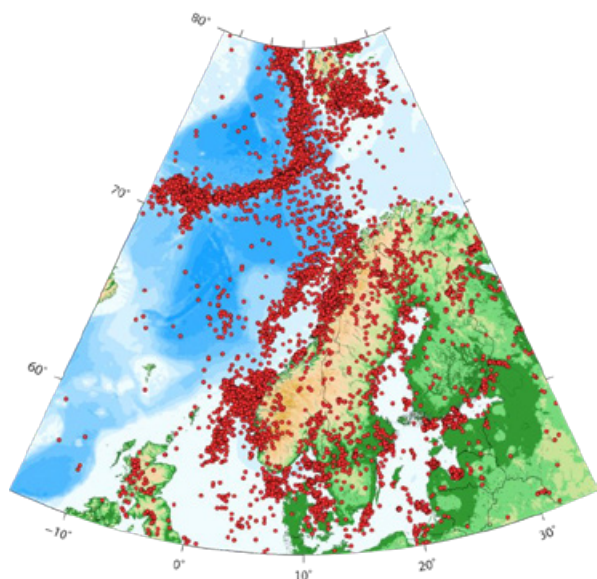
Utover selve rystelsene kan jordskjelv av en viss størrelse medføre en rekke andre synlige *jordskjelveffekter*. Det kan medføre *ras og skred* ved at skråninger og steinmasser som fra før var ganske ustabile kan "tippe over" og rase ut. Dette er selvfølgelig et større problem i områder som allerede er rasutsatte (bratte skrenter), enn i flatere områder.

Områdene med størst jordskjelvaktivitet på fastlandet i Norge er:

- Sør i Hordaland, rundt Sunnhordland og Hardanger
- Nord i Rogaland, rundt Ryfylke og Haugalandet
- Kysten langs Møre og Romsdal
- Rundt Oslofjorden
- Store deler av Nordland

Figuren på neste side viser en betydelig jordskjelvaktivitet både på fastlands Norge og i nærliggende havområder. Den markante aktiviteten i Nord-Atlanteren er knyttet til den såkalte *plategrensen* på den midtatlantiske rygg, en kjent geologisk struktur. I tillegg forekommer det

jordskjelv langs graben strukturer (normale forkastningssystemer) i Nordsjøen og langs den kontinentale marginen.



FIGUR 1. Jordskjelvaktivitet i Norge og nærliggende havområder for perioden 2001–2010, basert på data fra Norsk Nasjonalt Seismisk Nettverk (NNSN).

Forebygging og beredskap

Overvåking av jordskjelvaktivitet i Norge og tilgrensende områder er ivaretatt gjennom Norsk nasjonalt seismisk nettverk (NNSN)² som drives av Institutt for geovitenskap ved Universitetet i Bergen sammen med NORSAR (Norwegian Seismic Array)³, som bidrar med data fra sine målestasjoner. Seismografen som ble installert i Bergen Museum i 1905 var forløperen til NNSN. Siden den gang har flere enkeltstasjoner, mindre lokale nettverk og "arrays" (seismiske antenner) vært i drift. Fra 1992 ble alle stasjoner, unntatt NORSAR-arrayene, formelt samlet i det nasjonale nettverket. NNSN består av 33 seismiske stasjoner plassert i Norge, samt på Svalbard og Jan Mayen. De fleste av stasjonene sender data i reell tid og data blir behandlet sammen

² Hovedansvaret for drift av nettverket og data-analyse er ved Institutt for Geovitenskap, Universitetet i Bergen. NORSAR har en underkontrakt for å delta i data prosessering og for å bidra med data fra utvalgte stasjoner. NNSN finansieres i dag av Universitetet i Bergen og Oljeindustriens Landsforening. Institutt for Geovitenskap er ansvarlig for driften.

³ NORSAR er et uavhengig forskningsinstitutt med spesialfelt innen forskning, tjenester og programvareutvikling relatert til seismologi og anvendt geofysikk. NORSAR har ansvar for og opererer noen av verdens største jordskjelvestasjoner.

for å detektere og lokalisere jordskjelv i Norge og nærliggende områder.

I utgangspunktet kan man ikke forutsi jordskjelv. Ingen har utvetydig dokumentert forutsigelse av et større jordskjelv før det har skjedd. Skadebegrensende tiltak baserer seg på statistiske beregninger for rystelser over tid og bruken av disse for å beregne *dimensjonering* av strukturer eller utvikle forskrifter for hva bygninger av forskjellige typer skal tåle (et atomkraftverk eller en oljeterminal vil naturlig nok dimensjoneres for å tåle langt kraftigere rystelser enn et skur).

Konkrete forebyggende tiltak mot uønskede konsekvenser av jordskjelv er i første rekke knyttet til anvendelsen av fastsatte standarder for prosjektering av byggverk. De europeiske prosjekteringsstandardene – de såkalte *Eurokodene* – er en felles europeisk serie standarder for prosjektering av byggverk og dokumentasjon av produkters bæreevne/styrke til konstruksjonsformål. Eurokodene er de felleseuropeiske dimensjoneringsreglene for bærende konstruksjoner i byggverk, enten det er bygninger, broer eller hus. Byggverk defineres som alt som bygges eller er et resultat av byggearbeid, dvs. at både bygg- og anleggskonstruksjoner er inkludert.

I denne sammenheng er *Eurokode 8 – Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning* – gjort gjeldende for Norge fra mars 2010. De myndigheter som i hvert land har ansvar for denne lovgivningen, plikter å tilpasse sine regler slik at eurokodene skal kunne brukes. I tillegg til eurokodene publiserer hvert land et nasjonalt vedlegg med de spesifikke forskriftene som gjelder i landet. I Norge publiseres eurokodene av Standard Norge.

Det tekniske grunnlaget for en tilpasning av regelverket i Norge er basert på en jordskjelvsoneering som ble ferdigstilt i 1998. Et viktig tiltak i videre forebyggende arbeid er å gjennomføre en oppdatering av jordskjelvlastbeskrivelsen fra 1998. Med utgangspunkt i p.t. nesten 35 år med jordskjelvdata, vesentlig bedre innsikt i geologien og seismotektonikken, og betydelig utvikling av metoder og internasjonale data, så vil en oppdatering gi en vesentlig bedre basis for det nasjonale Eurokode 8-tillegget – og derigjennom det nasjonale grunnlaget for jordskjelvsikker konstruksjon.

BAKGRUNN



Utsikt over Bergen fra Ulriken. (Foto: Colourbox.com)

En nærmere analyse av hvordan ulike løsmasser blir påvirket av jordskjelvbølger kan deretter gjennomføres, og eventuelt inkludere en kartlegging av sårbarheten til bygninger og infrastruktur, særlig for eldre bebyggelse i større byer.

For norsk kontinentalsokkel gjelder spesielle forskrifter, og offshorekonstruksjoner skal siden midten av 1980-tallet være dimensjonert for å tåle jordskjelvlaster.

Prosess

Scenarioet som er analysert, er utviklet i samarbeid mellom Institutt for Geovitenskap ved Universitetet i Bergen, NORSAR (Norwegian Seismic Array) og DSB. Risikoanalysen ble gjennomført i en tredelt prosess:

- Forarbeid med scenarioutvikling og kunnskapsinnhenting om temaet.
- Analyseseminar avholdt 11. juni 2014 med eksperter på relevante fagfelt, ansvarlige myndigheter og involverte aktører i scenarioet. Det deltok ca. 20 deltakere fra Bergen kommune, Hordaland politidistrikt, Bergen brannvesen, Helsedirektoratet, Fylkesmannen i Hordaland, Byantikvaren i Bergen, KDS (Kraftselskapenes distriktssjef) Hordaland, Kystverket, Vegdirektoratet, DSB mfl.
- Etterarbeid hvor det er innhentet ytterligere informasjon, gjennomført utregninger og resonnementer og sammenstilt informasjonen i

en rapport, som er sendt seminardeltakerne for kommentarer og kvalitetssikring.

Utgangspunktet for å gjøre en risikoanalyse er at det finnes verdier man ønsker å beskytte mot konsekvenser av uønskede hendelser. I Nasjonalt risikobilde er det forhåndsdefinert fem samfunnsverdier med tilhørende konsekvenstyper: Liv og helse, Natur og kultur, Økonomi, Samfunnsstabilitet og Demokratiske verdier og styringsevne. Alle risikoanalyser blir gjennomført etter samme metode, beskrevet i "Framgangsmåte for utarbeidelse av Nasjonalt risikobilde (NRB)".⁴ Metoden som er brukt i analysen, er utviklet av DSB og brukes i alle scenarioanalyser i Nasjonalt risikobilde.

Risikoanalysene har 4 hovedelementer:

1. Sannsynlighet: Hvor trolig er det at scenarioet vil inntreffe?
2. Konsekvenser: Hvordan påvirker scenarioet samfunnsverdiene?
3. Sårbarhet: Hvilke viktige samfunnsfunksjoner påvirkes?
4. Usikkerhet: Hvor godt er kunnskapsgrunnlaget for analysen? Hvor robuste eller sensitive er resultatene?

⁴ Framgangsmåte for utarbeidelse av Nasjonalt risikobilde (NRB), Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2015).

KAPITTEL

02

Scenarioet
«Jordskjelv i by»



SCENARIOET «JORDSKJELV I BY»

En uønsket hendelse innenfor risikoområdet «Jordskjelv» kan være et større jordskjelv som rammer et større byområde på kysten av Vestlandet. Scenarioet som er analysert er utarbeidet av Institutt for geovitenskap, Universitetet i Bergen, i samarbeid med NORSAR.

Hendelsesforløp

Scenarioet omfatter et magnitudo 6,5 jordskjelv som inntreffer på Øygardenforkastningen som strekker seg parallelt med kysten utenfor Bergen. Det alvorlige scenarioet som er analysert er lagt til Bergen kommune som har ca. 270 000 innbyggere. Det er flere andre tettbygde kommuner i området som ligger i faresonen, herunder Øygarden, Sund, Fjell, Askøy, Radøy og Lindås.

Hele Bergen kommune rammes i en eller annen grad og sammenraste bygninger og et stort antall samtidige skadesteder vil være spredd rundt i kommunen. I byen er det ulike bygningsstrukturer, både historiske og moderne, som eksponeres for sterke rystelser. Antall sammenraste bygninger vil være størst i sentrum, men i et stort antall høyblokker med ti til tolv etasjer, som ble reist i flere bydeler på 1960- og 70-tallet, er sårbare for jordskjelvbevegelser.

Jordskjelvet inntreffer uten forvarsel midt på dagen en hverdag i januar og skaper store rystelser i Bergensområdet. Jordskjelvet varer i 45 sekunder, og de sterkeste rystelsene pågår i 25 sekunder. Faren for etterskjelv vil vare i flere måneder og i verste fall i flere år.

Følgehendelsene som skjer i kjølvannet av jordskjelvet – i tillegg til at et stort antall bygninger kollapser eller påføres varierende grad av skader – vil i første rekke omfatte skred og steinsprang, delvis svikt i kraftforsyningen, ustabile ekomtjenester og delvis forstyrrelser i drikkevannsforsyningen.

Det er begrenset empirisk kunnskap om store jordskjelv i Norge, men derimot flere sammenliknbare hendelser med jordskjelv i andre land som rammer bysamfunn. Følgende sammenliknbare jordskjelv kan trekkes frem:

- 1904 ved Hvaler, Oslofjorden, med en anslått styrke på M5,4 rystet områdene på begge sider av Oslofjorden fra syd for Fredrikstad/Tønsberg til nord for Oslo (Christiania). Jordskjelvet skjedde i kirketiden og førte til en rekke skader på bygninger, men uten kollaps. Flere steder skapte skjelvet tilløp til panikk.
- 2008 i Storfjorden, vest for Longyearbyen, på Svalbard, med en styrke på M6,1/6,2. Episenteret lå langt til havs og langt fra folk og førte derfor ikke til skader. Det interessante er at typen tektonikk i dette området ikke skiller seg vesentlig fra Vestlandet, og derved sannsynliggjør muligheten for tilsvarende skjelv på f.eks. Øygardenforkastningen.
- 2009 i L'Aquila i Italia med styrke M6,3. Jordskjelvet inntraff kl. 03:32 natt til mandag 6. april og rammet 26 byer i regionene Abruzzo, Lazio og Umbria. 15 000 bygninger kollapset, 309 personer omkom, mer enn 1500 personer ble såret og flere enn 100 000 personer ble hjemløse. Mange kulturskatter ble skadet eller ødelagt i skjelvet. Episenteret lå ca. 9,5 kilometer under bakken og nær byen L'Aquila.
- 2011 i Christchurch, New Zealand, med styrke M6,3. Jordskjelvet inntraff tirsdag 6. februar kl. 12:51 og rammet Canterbury-regionen på Sørøya. Episenteret lå kun 5 kilometer under bakken og 10 kilometer utenfor sentrum av Christchurch, som ble hardest rammet. 185 mennesker mistet livet og kostnadene etter jordskjelvet var ca. 130 milliarder NOK.



Ødelagt vei etter jordskjelv. (Foto: Colourbox.com)

03

Vurdering av sannsynlighet

VURDERING AV SANNSYNLIGHET

Øygarden-forkastningen er godt kartlagt på grunn av oljeleting i området. Den strekker seg langs kysten fra Møre til syd for Hardangerfjorden. Det er observert klare tegn til mikroseismisk aktivitet langs denne strukturen. Slike små jordskjelv viser at strukturen beveger seg og er levende.

Det finnes per i dag ingen god metode for å forutsi store jordskjelv. Returperioden for et stort jordskjelv i Øygarden-forkastningen kan estimeres meget grovt fra en Gutenberg-Richter-fordeling av observerte jordskjelv. Gutenberg-Richters lov beskriver den kvantitative fordelingen mellom store og små jordskjelv og anvendes ofte for å estimere hyppigheten eller returperioden til store jordskjelv. For hele Norge sør for Trondheim ble det i en studie i 1998⁵ beregnet en returperiode på 1 110 år for skjelv med magnitudo større eller lik 6,5. Dette inkluderte også Oslofjordområdet. Å gjøre en spesiell beregning for Øygarden/Bergen-området er mulig, men tallmaterialet er så svakt at alle tall vil beheftes med stor usikkerhet.

Jordskjelv med magnitudo større eller lik 4,5 er ikke uvanlig i Hordaland. Større jordskjelv i kyststrøk utenfor Vestlandet er kjent fra de siste 50 år, men de fleste større skjelv (M5,0+) har vært langt fra kysten. Returperiode for et styrke 6,5 eller større skjelv er beheftet med meget stor usikkerhet. Som nevnt over kom man frem til en returperiode på 1 110 år for et M6,5 skjelv i Sør-Norge generelt. For det spesifikke scenarioet vi analyserer anslås imidlertid en returperiode på mellom 5–10 000 år. I Nasjonalt risikobilde tilsvarende denne angivelsen «lav sannsynlighet». *Usikkerheten* knyttet til sannsynlighetsangivelsen vurderes som stor.

⁵ NORSAR and NGI (1998): Seismic zonation for Norway. Report prepared for the Norwegian Council of Building Standardization (Standard Norge).

SANNSYNLIGHETSVURDERING						FORKLARING	
	Svært lav	Lav	Middels	Høy	Svært høy		
Sannsynlighet for at hendelsen kan inntreffe i løpet av ett år: 0,02-0,01						En gang i løpet av 5–10 000 år basert på empirisk kunnskap og eksisterende datagrunnlag for å estimere returperioder til store jordskjelv.	
KONSEKVENSVURDERING							
Samfunnsverdi	Konsekvenstype	Svært små	Små	Middels	Store	Svært store	
Liv og helse	Dødsfall		●			●	I overkant av 300 døde som direkte følge av jordskjelvet og sammenraste bygninger, og som følge av skred/ steinsprang eller ulykker.
	Alvorlige skadde og syke				●		Ca. 500 alvorlig skadde som direkte følge av jordskjelvet (og som følge av utsatt medisinsk behandling).
Natur og kultur	Langtidsskader på naturmiljø	●					Skredskader, men restituering av naturen innen 10 år.
	Uopprettelige skader på kulturmiljø					●	Mange fredede kulturminner vil gå tapt.
Økonomi	Direkte økonomiske tap					●	Gjenoppbyggings-, reparasjons- og erstatningskostnader overstiger 35 milliarder kroner.
	Indirekte økonomiske tap			●			Tap av inntekter, forsinkelseskostnader, produksjonsnedgang, redusert handel, nytt husvære og evakueringskostnader til et samlet tap på 1–2 milliarder kroner.
Samfunnsstabilitet	Sosiale og psykologiske reaksjoner					●	Uventet, sjokkerende hendelse som oppleves av alle. Store ødeleggelser, mange døde og skadde skaper avmakt og frykt. Svært krevende krisehåndtering og stort informasjonsbehov.
	Påkjenninger i dagliglivet				●		Forsinkelser på vegnettet, store deler av byen strømløs en periode og rasjoneringsiltak, lokalt bortfall av vann, evakuering av et stort antall personer.
Demokratiske verdier og styringsevne	Tap av demokratiske verdier og nasjonal styringsevne						Ikke relevant
	Tap av kontroll over territorium						Ikke relevant
Samlet vurdering av konsekvenser						●	Totalt sett svært store (til store) konsekvenser



Liten usikkerhet



Moderat usikkerhet



Stor usikkerhet

TABELL 1. Skjematisk presentasjon av resultater fra risikoanalysen. Scenarioet vurderes å ha *lav* sannsynlighet og *svært store* samfunnsmessige konsekvenser. Usikkerheten knyttet til resultatene vurderes som *stor*.

KAPITTEL

04

Vurdering av
konsekvenser av
hendelsen



VURDERING AV KONSEKVENSER AV HENDELSEN

I Nasjonalt risikobilde vurderes konsekvenser for fem samfunnsverdier: Liv og helse, natur og kultur, økonomi, samfunnsstabilitet og demokratiske verdier og styringsevne. Disse samfunnsverdiene er operasjonalisert i ti mer konkrete konsekvenstyper.

Samlet sett vurderes konsekvensene av jordskjelvscenariotet som *svært store* på skalaen som brukes i Nasjonalt risikobilde. Scenariotet medfører svært store konsekvenser på samfunnsverdiene liv og helse, økonomi og samfunnsstabilitet. Konsekvensene for kulturmiljø vurderes også som svært store, mens konsekvensene for naturmiljø vurderes som svært små. Usikkerheten knyttet til konsekvensvurderingene varierer fra *moderat* til *stor*.

Det er bare konsekvensene av hovedskjelvet som er vurdert. Eventuelle konsekvenser i etterskjelvsperioden er ikke tatt med i vurderingene. Bergensområdet rammes i ulik grad. Sammenraste bygninger og mange skadesteder vil være spredt over hele området. Antall sammenraste bygninger vil være størst i sentrum.

4.1 LIV OG HELSE

Det bor i overkant av 270 000 mennesker i Bergen kommune. Mange pendler daglig til jobb i Bergen fra nabokommunene, et stort antall studenter oppholder seg i byen og i perioden januar til november er det rundt 260 anløp av turistskip med flere tusen mennesker i hvert skip. Opptil fem turistskip kan ligge ved kai samtidig i Bergen sentrum. Flesteparten av turistene er på land når skipene ligger ved kai. Antall dødsfall som følge av jordskjelvet antas å bli i overkant av 300. Flesteparten av dødsfallene vil inntreffe som følge av at bygninger kolliderer.

I Bergen sentrum er det ca. 880 murgårder bygd på slutten av 1800-tallet hvor alle innvendige bygningskonstruksjoner er av tre. Gårdene har tre til fem etasjer. Det antas at 1 av 30 av disse gårdene vil kollapse, det vil si rundt 30 bygninger av denne typen. Det legges til grunn at det i gjennomsnitt bor 16 personer i hvert hus. Det antas videre at

halvparten (240) av beboerne er hjemme når jordskjelvet inntreffer og at halvparten (120) av disse omkommer.

På 1960- og 70-tallet ble det i flere bydeler reist til sammen omkring 40 høyblokker med ti til tolv etasjer, der det ble benyttet ferdigproduserte betongelementer som etasjeskiller. Det antas at 10 prosent av disse vil kollapse, det vil si fire blokker med totalt 640 beboere. Basert på at det i snitt er sju leiligheter (2- og 4-roms) per etasje og ca. 80 leiligheter i hver blokk med et snitt på to personer per leilighet, vil det si totalt 640 personer i fire blokker. Det legges til grunn at halvparten (320) er hjemme når jordskjelvet inntreffer og at halvparten (160) av disse omkommer.

Noen personer vil omkomme i andre hus som raser sammen, bl.a. fredede bygninger av murstein, og i ulykker som oppstår når jordskjelvet inntreffer. Den siste gruppen vil omfatte fotgjengere, syklistene, bilister som oppholder seg i nærheten av bygninger som raser sammen, og personer som blir truffet av skred eller steinsprang eller rammet av andre ulykker mens jordskjelvet pågår.

Det antas at jordskjelvet vil medføre ca. 500 alvorlige skadde. Flertallet av de som overlever inne i sammenraste bygninger, vil ha alvorlige skader. Tilsvarende antas fotgjengere, syklistene og bilister som overlever etter å ha blitt rammet av sammenraste bygninger, skred/steinsprang og ulykker, å ha alvorlige skader.

Svært mange vil trenge akutt behandling, og det antas at kapasiteten ved Haukeland sykehus, som ikke er dimensjonert for å behandle så mange skadde, vil bli sterkt utfordret. Skadet/ødelagt medisinsk utstyr, redusert fremkommelighet for ambulanser og tidkrevende søk etter overlevende i sammenraste bygninger vil medføre forsinket medisinsk behandling, som for flere av pasientene innebærer forverret helsestilstand.

Mange overlevende i sammenraste bygninger antas å oppleve psykiske lidelser som angst og post-traumatisk stresslidelse, men kun et fåtall antas å få langvarige reaksjoner. Mange som har vært vitne til at bygninger har kollapset, og som selv bor i tilsvarende bygninger, antas også å bli rammet av psykiske lidelser. Alvorlig sykdom som følge av skjelvet vil først og fremst medføre redusert arbeidssevne og forringet livskvalitet for de direkte berørte.

Usikkerheten knyttet til angivelsene vurderes samlet sett å være *stor* siden det er vanskelig å forutsi hvor mange bygninger som kollapse. Erfaringer fra større jordskjelv i Norge er svært begrenset. Det siste går tilbake til Oslofjordkjelvet i 1904, men da var bygninger og befolkningstetthet, samt infrastruktur, svært annerledes enn i dagens samfunn. Mangelfull oversikt over grunnforhold/løsmassesoner bidrar til stor usikkerhet. Hvordan eldre murbygninger generelt tåler et middels kraftig jordskjelv er også beheftet med stor usikkerhet; derfor er alle gamle murbygninger – som f.eks. rommer kjøpesentre, gallerier, restauranter, kafeer og andre virksomheter – i utgangspunktet å betrakte som sårbare.

Konsekvensene for liv og helse er *svært sensitive* for antall bygninger som kollapse og tidspunktet på døgnet som jordskjelvet inntreffer på. En liten prosentvis endring i antall bygninger som kollapse og hvor mange som oppholder seg i disse, kan gi store utslag i antall døde og alvorlig skadde. Også hvilken funksjon bygninger som kollapse har vil kunne gi store utslag. Dersom et forretningsbygg eller en skolebygning kollapse vil antallet skadde og omkomne kunne bli vesentlig høyere. Personer som overlever inne i sammenraste bygninger vil i januar være avhengig av å bli hentet ut raskt, fordi underkjøling raskt vil utgjøre en livstruende fare. Dersom medisinsk teknisk utstyr skades kan akutt behandlingsskapasitet bli kraftig redusert og få livstruende konsekvenser.

4.2

NATUR OG KULTUR

Scenarioet som er analysert antas å medføre svært små langtidsskader på naturmiljøet. Jordskjelvet vil kunne utløse skred, men skred er naturlige prosesser, og naturtyper som berøres antas i hovedsak å restitueres i løpet av 10 år. Det antas å inntreffe noen mindre hendelser med akutt forurensning. Akutt forurensning som følge av brudd på undersjøiske rørledningssystemer knyttet til de store olje- og gassanleggene på Ågotnes, Sture, Kollsnes og Mongstad, er lite trolig. Dagens rørledningssystemer er designet for å kunne tåle bevegelser/rystelser og har flere ventilsystemer for avstenging i begge ender og langs rørledningene. Det vurderes heller ikke som sannsynlig at jordskjelvet vil medføre frigjøring av kvikksølv fra «ubåtvraket» U-864 på havbunnen utenfor Fedje med alvorlig etterfølgende miljøforurensning.

Flere fredede kulturminner antas å kollapse eller bli påført uopprettelige skader. Det gjelder i første rekke mursteinbygninger i og rundt Rådhuskvartalet, som Det gamle rådhus, Hagerupsgården/Stiftsgården, Gamle Bergen hovedbrannstasjon, Det gamle tinghus og Magistratbygningen.

Generelt forventes det at trehusbebyggelse vil tåle rystelsene, men mindre skader kan oppstå. Dette gjelder også det unike kulturmiljøet som den gamle hanseatiske trebebyggelsen Bryggen representerer. Det er ikke registrert løsmassesoner under Bryggen som kan gi grunnlag for utglidning, og det antas heller ikke at jordskjelvet vil føre til akselerert innsynking.

Usikkerheten knyttet til angivelsene vurderes samlet sett som *moderat*, basert på erfaringer og data fra utlandet. Det er usikkerhet knyttet til hvordan eldre murbygninger generelt vil tåle et middels kraftig jordskjelv. Mangelfull oversikt over løsmassesoner representerer også en usikkerhet.

4.3 ØKONOMI

Det direkte økonomiske tapet antas å bli svært stort som følge av et stort antall sammenraste bygninger og omfattende ødeleggelser på andre bygninger, infrastruktur og inventar, maskiner, utstyr, etc. Dette tapet antas å utgjøre minst 35 milliarder kroner.

Å gjenoppbygge de 30 bygningene som antas å kollapse, vil koste om lag 7,5 milliarder kroner. Gjenoppbyggingskostnadene knyttet til 4 høyblokker antas å bli rundt 10 milliarder kroner. I tillegg vil det være store reparasjons- og erstatningskostnader knyttet til materielle skader som er påført et stort antall bygninger. Dette vil omfatte all type bygningsmasse/bygninger som privatboliger, blokkbebyggelse, forretningsbygg, industribygg, m.m. Det antas at kostnader knyttet til bygninger alene vil være minst 25 milliarder kroner.

Skader på infrastruktur vil bli en stor kostnadsdriver, spesielt skader på vegnettet påført av eventuelle skred. Tunneler vil i seg selv ikke bli skadet, men skjelvet kan føre til skader på elektriske installasjoner. Brokonstruksjoner antas å være motstandsdyktige mot jordskjelvrystelsene, fordi de har lange periodiske egensvingninger og er designet for å tåle store vindlaster, som har en viss likhet med jordskjelvlaster. Men brofundamentene vil kunne skli ut og bli skadet. Innenfor kraftforsyningen antas de økonomiske konsekvensene i første rekke å omfatte reparasjonskostnader knyttet til skade på trafostasjoner. Kostnader knyttet til skader på infrastruktur angis til totalt 5 milliarder kroner.

Skader på inventar, utstyr (inkludert medisinsk teknisk utstyr), maskiner etc. antas å bli svært omfattende. De fleste bygg antas å bli påført en eller annen skade innvendig. Det antas at 10 prosent av alt inventar skades. Kostnadene på dette området angis alene til 5 milliarder kroner.

Det indirekte økonomiske tapet vil i første rekke være knyttet til tap av inntekter, produksjonsnedgang og forstyrrelser i forretningsdriften som følge av materielle skader på forretningsbygg, redusert fremkommelighet, stopp i skipsanløp, forsinkelseskostnader og nedgang i forbruk. Det antas at

forretningsdrift og produksjon knyttet til offshore-næringen og landbaserte oljeinstallasjoner ikke vil bli vesentlig påvirket. Utgiftene knyttet til evakuering av et stort antall bygninger og anskaffelse av nytt husvære for et stort antall husstander for en lengre periode, vil også utgjøre en del av det indirekte tapet. Det indirekte økonomiske tapet antas å bli 1-2 milliarder kroner.

Usikkerheten knyttet til økonomisk tap vurderes som *moderat*. Vi har ingen erfaringsdata fra et større jordskjelv i Norge, men det finnes kostnadsberegninger fra tidligere skjelv i utlandet⁶.



Torgallmenningen i Bergen sentrum (Foto: Colourbox.com)

De faktorene som har størst betydning for endringer i det økonomiske tapet, er antall bygninger som kollapse, lokale grunnforhold som gir uforutsette ødeleggelser og skred som utløses av skjelvet.

⁶ Kostnadsberegninger fra bl.a. Roermond skjelvet (M5,8) i 1992 og jordskjelvet (M6,3) i Christchurch, New Zealand, i 2011.

I analysen er det tatt utgangspunkt i at 30 av byens ca. 880 utsatte murgårder vil kollapse. Dette utgjør (bare) 3,4 prosent av det totale antall særskilt utsatte murgårder. Samtidig mener ekspertene at alle gamle/eldre mursteinsbygninger i utgangspunktet antas å være sårbare. Det er flere løsmassesoner i Bergen, og det er avgjørende hvordan disse forholdene påvirker omfanget a ødeleggelse og skader på bygninger og veier. Under jordskjelvet (M5,8-6,2) i Mo i Rana i 1819 gikk det mange og store skred. Forholdene var den gang spesielle med mye regn lang tid i forveien og jorden var derfor (over)mettet, slik at skred lettere ble utløst. En liten endring av disse faktorene vil i stor grad endre størrelsen på det økonomiske tapet.

4.4

SAMFUNNSSTABILITET

Samfunnsstabilitet vurderes ut fra to forhold: Sosiale og psykologiske reaksjoner i befolkningen og vesentlige påkjenninger i dagliglivet som følge av hendelsen.

Samlet sett antas hendelsens egenskaper å føre til *svært store sosiale og psykologiske reaksjoner* i befolkningen.

Jordskjelv er en kjent hendelse, men jordskjelv i Norge med dødelig utgang er ikke kjent og antas i stor grad å oppleves som en *ukjent og svært uventet hendelse*. Konsekvenser av jordskjelv er kjent, men det totale bildet med sammenraste bygninger og et stort antall døde og alvorlige skadde, mulige skred, ødeleggelse på infrastruktur, omfattende inventarskader og det at man bokstavelig talt mister fotfestet, er ikke erfart av dagens befolkning. Hendelsen vil oppleves sjokkerende og det vil oppstå uro og frykt for etterskjelv.

Jordskjelvet inntreffer uten varsel, pågår en kort periode og konsekvensene vil gjøre seg gjeldende i løpet av svært kort tid. Det er *manglende mulighet til å unnsnippe* hendelsen, og alle vil ha en sterk fysisk opplevelse av rystelsene der og da, uavhengig av hvor personer befinner seg. Jordskjelvet vil imidlertid ramme ulikt. Personer som oppholder seg ute, vil i utgangspunktet være i sikkerhet eller ha

større mulighet til å unnsnippe farer, mens personer som oppholder seg i høyhus/boligblokker vil ha store vanskeligheter med å komme seg i sikkerhet, sammenlignet med personer som oppholder seg i eneboliger. *Sårbare grupper* som barn, syke og eldre er spesielt utsatt siden de ikke har samme reaksjonsevne som andre når det gjelder å unnsnippe farer, og derfor har et større behov for assistanse i akutfasen.

Det vil være forventningsbrudd knyttet til bygningers tåleevne. Det antas at beboere i utsatte murgårder fra slutten av 1800-tallet i Bergen sentrum og i høyblokker fra 1960-70-tallet har forventninger til at bygningene har større tåleevne mot jordskjelv enn det de har. Det vil også være høye forventninger generelt til at myndighetene håndterer hendelsen på en god måte, både når det gjelder redning, krisehjelp og krisekommunikasjon til befolkningen. *Brudd på disse forventningene* antas å kunne skape mistillit til myndigheter og sinne i en tidlig fase. Evnen til raskt å etablere oversikt og et samlet situasjonsbilde, og tidlig gi befolkningen relevant informasjon, vil være avgjørende for at befolkningen skal få et realistisk bilde av katastrofen og håndteringsutfordringene. Dette vil samtidig danne grunnlaget for befolkningens forventninger og tillit til myndighetenes håndtering av katastrofen.

Krisehåndteringen vil bli svært komplisert. Mange samtidige og spredte skadesteder vil gi store utfordringer, og det vil ta tid å etablere oversikt og et samlet situasjonsbilde. Nødetatene vil stå overfor kaos, redusert fremkommelighet, store tekniske utfordringer med søk i helt eller delvis sammenraste bygninger. Situasjonen vil være svært krevende med hensyn til å få oversikt, iverksette redning, evakuere og informere befolkningen. Dette vil påvirke *muligheten til å håndtere hendelsen* i en tidlig fase, hvor mange antas å oppleve stor grad av avmakt og mangel på informasjon.

Scenarioet vil også samlet sett medføre *store påkjenninger i dagliglivet*. Dette skyldes i første rekke stort behov for evakuering, svikt i strømforsyning og forsinkelser i vare- og persontransport.

Det antas at kraftmastene vil tåle skjelvet. Ustabil *strømforsyning* til Bergen by vil likevel oppstå siden gamle transformatorbygninger og transformatorstasjoner med gassisolerte

VURDERING AV KONSEKVENSER AV HENDELSEN

koblingsanlegg, som ikke er konstruert for å motstå kraftige jordskjelv, kan kollapse. Scenarioet inntreffer vinterstid og skulle skjelvet berøre rundt halvparten av transformatorstasjonene som er involvert i forsyningen til byen, vil det i utgangspunktet gi et effektunderskudd som vil medføre rasjoneringstiltak. Situasjonen vil være verst de første timene etter skjelvet. Da kan store deler av byen være strømløs. I løpet av et døgn vil en imidlertid ha fullført omleggingen av driften og gjenopprettet en betydelig del av strømforsyningen og iverksatt sonevise roterende utkoblinger der dette måtte være nødvendig. I løpet av de neste ukene vil situasjonen være ytterligere forbedret. Rasjoneringstiltak kan, i større eller mindre grad, måtte vedvare i uker eller måneder.

Det antas at ca. 500 personer vil ha behov for *evakuering* i mer enn 1 måned fordi de har fått hus/leilighet ødelagt. Det vil i tillegg være nødvendig å evakuere beboere fra de bygninger som er påført større skader inntil skadeomfang og sikkerhet er vurdert. Dette antas omfatte inntil 20 000 personer i to-tre dager.

De som blir boende i egne hjem kan oppleve manglende *drikkevannsforsyning*, men det vil være begrenset og antas å ramme noen få tusen i inntil én uke. Dersom det inntreffer brudd i vannforsyningen til Haukeland sykehus vil dette være kritisk etter kun få timer. Jordskjelvet vil kunne føre til bortfall av *ekomtjenester*. Kablene skal imidlertid tåle strekk og rystelser, og det antas at kabelbrudd ikke vil oppstå. Ustabile ekomtjenester vil derfor primært skyldes overbelastning av nettet. Prioriterte abonnenter vil ha tilgang. Som følge av strømbrydd antas det å oppstå stedvis bortfall av tilgang til *betalingsmidler*. Omfang og konsekvenser av dette vil avhenge av varighet av strømbortfall og/eller eventuelt bortfall av elektronisk kommunikasjon.

Vare- og persontransporten vil bli rammet og det antas å være vesentlige forsinkelser på vegnettet i inntil én uke. Det antas at mange ikke vil komme seg på jobb i sentrumsområdene.

Usikkerheten knyttet til samfunnsstabilitet vurderes samlet sett å være *stor*. Usikkerheten knyttet til «påkjenninger i dagliglivet» vurderes som større enn usikkerheten rundt «sosiale og psykologiske reaksjoner». Usikkerheten er knyttet til omfanget av ødeleggelser/skader på kritisk infrastruktur som vegnett, strøm- og drikkevannsforsyning og ekomtjenester. Det mangler erfaringsdata fra et sammenliknbart jordskjelv i Norge fra moderne tid. Mangelfull oversikt over grunnforhold og mulighet for skred bidrar til usikkerheten. Grunnforholdene kan ha stor innvirkning på skadeomfanget på kritisk infrastruktur som vegnett, strøm- og vannforsyning og ekomtjenester, i tillegg til antall bygningskollapser og derigjennom behov for evakuering. Eventuelle sammenfallende hendelser som store ulykker og ekstremvær, antas å få langt større konsekvenser i en tidlig fase enn normalt, som følge av kapasitetsmangel og redusert beredskap. På den annen side vil konsekvenser av strømbrydd få vesentlig mindre alvorlige konsekvenser, dersom scenarioet inntreffer i sommerhalvåret.

KAPITTEL

05

Vurdering av
usikkerhet



VURDERING AV USIKKERHET

Usikkerheten knyttet til analyseresultatene er beskrevet gjennom en vurdering av kunnskapsgrunnlaget for analysen og resultatenes sensitivitet for endringer i scenarioets forutsetninger og sentrale antagelser i analysen. Kunnskapsgrunnlaget er vurdert ut fra tre indikatorer:

1. Tilgang til relevante data og erfaringer:
Hvor godt er datagrunnlaget?
2. Forståelse av hendelsen:
Hvor kjent er hendelsen som analyseres?
3. Enighet blant ekspertene:
Hvor enige er analysedeltakerne?

5.1 VURDERING AV KUNNSKAPSGRUNNLAGET

Vurderingene og anslagene for sannsynlighet og konsekvens er basert på et omfattende kunnskapsgrunnlag om jordskjelv generelt, men samtidig et begrenset empirisk materiale/grunnlag om større jordskjelv i Norge.

Seismologi og anvendt geofysikk er en veletablert vitenskap med steke forskningsmiljøer globalt og nasjonalt, som kontinuerlig innhenter og analyserer data fra jordskjelvestasjoner som måler jordskjelvaktivitet. Tilsvarende er det gjort mange erfaringer med store og katastrofale jordskjelv globalt. Men til tross for stor jordskjelvaktivitet i Norge, er det svært få erfaringer med store jordskjelv i Norge og vi har ingen erfaring fra hvordan et større jordskjelv vil ramme en moderne norsk by. Usikkerheten knyttet til datagrunnlaget – relevante data og erfaringer – for det spesifikke scenarioet vurderes derfor som stor.

I utgangspunktet finnes det ingen god metode for å forutsi store jordskjelv. I Norge inntreffer moderate til store jordskjelv sjelden og det statistiske datagrunnlaget for å estimere returperiode for store jordskjelv i Norge er mangelfullt og angivelse av sannsynlighet derfor preget av stor usikkerhet.

Forståelsen av hendelsen jordskjelv i by er god, da dette er et godt kjent fenomen som et stort geovitenskaplig miljø internasjonalt har forsket/ forsker på med utgangspunkt i store jordskjelv som har rammet bysamfunn i andre land. Det er likevel usikkert hvordan byggverk og infrastruktur i dagens norske samfunn vil tåle et stort (M6,5) jordskjelv. Det er per i dag ikke gjort større systematiske kartlegginger av sårbarheten til bygninger og infrastruktur for jordskjelv, særlig gjelder dette eldre bebyggelse i større byer.

Det var stor grad av enighet blant deltakerne på analyseseminaret om konsekvensene av hendelsen, men enkelte mente at antall bygninger som kolliderer ville være større og at enkelte brokonstruksjoner kunne kollapse.

Samlet sett vurderes usikkerheten knyttet til kunnskapsgrunnlaget som *stor*.

5.2 VURDERING AV SENSITIVITET

Sensitivitet er også en form for usikkerhet, da sensitive resultater innebærer at små endringer i forutsetningene og antagelsene gir store utslag for anslagene som gjøres.

Det statistiske datagrunnlaget for å estimere returperiode for store jordskjelv (M6,5) i Norge er mangelfullt, og angivelse av sannsynlighet er beheftet med stor usikkerhet. Tallmaterialet gir ikke et grunnlag for å vurdere sensitivitet.

Flere faktorer vil være bestemmende for konsekvensene av jordskjelvet i det gitte scenarioet. Små endringer når det gjelder episenterets dybde under jordoverflaten og episenterets avstand til by vil gi store utslag på samtlige av de konsekvenstypene som er vurdert. Konsekvensene for liv og helse er svært sensitive for antall bygninger som kolliderer og hvilken dag og tidspunkt på døgnet som jordskjelvet inntreffer på. Inntreffer jordskjelvet kveld/natt/tidlig morgen eller på en helgedag/høytidsdag vil flere personer

oppholde seg hjemme. I analysen er det tatt utgangspunkt i at 30 av byens ca. 880 utsatte murgårder vil kollapse. Dette utgjør en relativt liten andel av eldre mursteinbygninger, samtidig som ekspertene mener at alle gamle/eldre mursteinbygninger i utgangspunktet må antas å være sårbare. Også funksjon til bygninger som kollapse vil være avgjørende for liv og helse; en skolebygning eller et forretningsbygg som kollapse på dagtid vil gi en signifikant økning i antall døde og alvorlig skadde. Det er flere kartlagte – og sannsynligvis også ikke kartlagte – løsmassesoner i kommunen, og det er avgjørende hvordan disse grunnforholdene påvirkes av jordskjelvet og eventuelt medfører ødeleggelse og skader på bygninger, veier og annen infrastruktur. Små endringer i fremkommelighet på veinett og broforbindelser vil være

avgjørende for redningsarbeidet, og derigjennom liv og helse. Årstid vil kunne være avgjørende for at personer skal kunne overleve inne i sammenraste bygninger, fordi underkjøling raskt vil utgjøre en livstruende fare vinterstid, og overlevende er avhengig av å bli hentet ut raskt. Dersom medisinsk teknisk utstyr skades kan akutt behandlingsskapitet bli kraftig redusert med livstruende konsekvenser.

Samlet sett vurderes sensitiviteten knyttet til anslagene som *stor*.

Tabellen nedenfor gir en oppsummering av vurderingene av usikkerhet knyttet til angivelsene for sannsynlighet og konsekvenser:

Usikkerhetsvurdering	
Indikatorer på kunnskapsgrunnlaget	Forklaring
Tilgang på relevante data og erfaringer	Seismologi og anvendt geofysikk er en veletablert vitenskap med sterke forskningsmiljøer globalt og nasjonalt som kontinuerlig innhenter og analyserer data fra jordskjelvstasjoner som måler jordskjelvaktivitet. Stor jordskjelvaktivitet i Norge, flere blir merket av mennesker, men forårsaker sjelden materielle skader. Empirisk kunnskap om noen store skjelv i Norge, men ikke erfaring med hvordan slike store skjelv vil ramme et norsk bysamfunn. Bred erfaring globalt fra store jordskjelv. Svakt tallmateriale for å kunne estimere returperiode for et stort jordskjelv i Norge, noe som derfor vil være beheftet med meget stor usikkerhet.
Forståelse av hendelsen som analyseres (hvor kjent og utforsket er fenomenet)	Jordskjelv er et godt kjent fenomen og det eksisterer et bredt internasjonalt geovitenskapelig forskningsmiljø. Selv om det er utført forskning og evalueringer av store jordskjelv som har rammet bysamfunn i andre land, er det usikkert hvordan et stort jordskjelv vil påvirke bygningsmasse og infrastruktur i dagens norske samfunn.
Enighet blant ekspertene (som har deltatt i risikoanalysen)	Ingen store uenigheter blant ekspertene som har bidratt i analysen.
Resultatenes sensitivitet	
I hvilken grad påvirker endringer i forutsetningene anslagene for sannsynlighet og konsekvenser?	Tallmaterialet/det statistiske datagrunnlaget for å estimere returperiode for store jordskjelv (M6,5) i Norge er mangelfullt og angivelse av sannsynlighet er beheftet med stor usikkerhet. Små endringer når det gjelder avstand til jordskjelvets episenter, eksisterende bygningsmasse sin tåleevne mot rystelser, lokale grunnforhold, følgehendelser som skred, tidspunkt (dagtid vs. natt) eller årstid vil kunne gi store utslag på konsekvensene. Eventuelle samtidige hendelser som storm, flom, strømbrydd eller store ulykker vil gjøre krisehåndteringen vesentlig mer komplisert pga. begrensede beredskapsressurser og overraskelsesmomentet som et jordskjelv representerer.
Samlet vurdering av usikkerhet	Usikkerheten knyttet til sannsynlighets- og konsekvensangivelser vurderes samlet sett som stor.

TABELL 2. Vurdering av usikkerhet knyttet til angivelsene for sannsynlighet og konsekvenser.

KAPITTEL

06

Konklusjoner



6.1 SANNSYNLIGHET

I Nasjonalt risikobilde (NRB) vurderes sannsynligheten for at scenarioene skal inntreffe på en skala fra *svært lav* til *svært høy* sannsynlighet, hvor svært lav sannsynlighet tilsvarer sjeldnere enn en gang i løpet av 10 000 år og *svært høy* sannsynlighet er en gang eller oftere i løpet av 10 år. Av de 20 analyserte scenarioene er det 3 scenarioer som vurderes å ha svært lav sannsynlighet. Ingen av de analyserte scenarioene vurderes å ha *svært høy* sannsynlighet.

Det finnes per i dag ingen god metode for å forutsi store jordskjelv. For hele Norge sør for Trondheim ble det i en studie i 1998⁷ beregnet en returperiode på 1 110 år for skjelv med magnitudo større eller lik 6,5. Dette inkluderte også Oslofjordområdet. For det spesifikke scenarioet vi analyserer anslås imidlertid en returperiode på mellom 5–10 000 år. I Nasjonalt risikobilde tilsvarer denne angivelsen *lav sannsynlighet*. *Usikkerheten* knyttet til sannsynlighetsangivelsen vurderes som *stor*.

6.2 KONSEKVENSER

I Nasjonalt risikobilde er det et stort spenn mellom scenarioene som vurderes å medføre de største og de minste samfunnsmessige konsekvensene, selv om samtlige scenarioer relativt sett vurderes å medføre store konsekvenser for samfunnet.

Innenfor de enkelte scenarioene bidrar de ulike konsekvenstypene i svært ulik grad til samlet konsekvens. Scenarioet «Jordskjelv i by» vurderes å ha svært store konsekvenser for samtlige fire samfunnsverdier som er relevant for dette scenarioet: Liv og helse, natur og kultur, økonomi og samfunnsstabilitet. Dette forklarer også hvorfor «Jordskjelv i by» kommer ut som det scenarioet som samlet sett har de største samfunnsmessige konsekvensene

av samtlige scenarioer i NRB. Samfunnsverdien demokratiske verdier og styringsevne er vurdert å ikke ha relevans for dette scenarioet. «Jordskjelv i by» er vurdert å ha *svært store* samfunnsmessige konsekvenser.

«Jordskjelv i by» gir store utslag/store konsekvenser for samtlige av de fire samfunnsverdiene som har relevans for dette scenarioet, men det er kun på én konsekvenstype under hver av disse samfunnsverdiene at konsekvensene vurderes til svært store. Under de fire relevante samfunnsverdiene er det henholdsvis under konsekvenstypene «Dødsfall», «Uopprettelige skader på kulturmiljø», «Direkte økonomiske konsekvenser» og «Sosiale og psykologiske reaksjoner» vi får svært store utslag i NRB-sammenheng. For konsekvenstypene «Alvorlige skadde og syke» og «Påkjenninger i dagliglivet» vurderes konsekvensene som store, mens de for «Indirekte økonomiske tap» vurderes som middels. For konsekvenstypen «Langtidsskader på naturmiljø» vurderes konsekvensene som svært små.

Antall *dødsfall* i scenarioet antas å være i overkant av 300, som er svært mange i forhold til andre verstefallsscenarioer i NRB. De fleste dødsfall vil inntreffe som følge av at bygninger kolliderer, i første rekke gamle murgårder og særlig utsatte høyblokker. Noen vil også omkomme i andre bygninger som raser sammen, og i ulykker som følge av at personer oppholder seg i nærheten av bygninger som raser sammen, skred og steinsprang og i andre ulykker som oppstår mens jordskjelvet pågår. Antall alvorlig skadde og syke antas være ca. 500. De fleste av disse vil være personer som overlever inne i sammenraste bygninger. Lang ventetid på å bli reddet ut av sammenraste bygninger antas å føre til at mange vil bli rammet av psykiske lidelser som angst og posttraumatisk stresslidelse. Forsinket medisinsk behandling vil for mange overlevende innebære forverret helsetilstand.

Jordskjelvet vil medføre uopprettelige skader på mange *kulturminner*. Dette antas i første rekke å omfatte gamle mursteinbygninger i og rundt Rådhuskvartalet i sentrum. Det forventes at gammel trehusbebyggelse, herunder Bryggen, vil tåle rystelsene.

Gjenoppbyggingskostnader for sammenraste bygninger og reparasjons- og erstatningskostnader

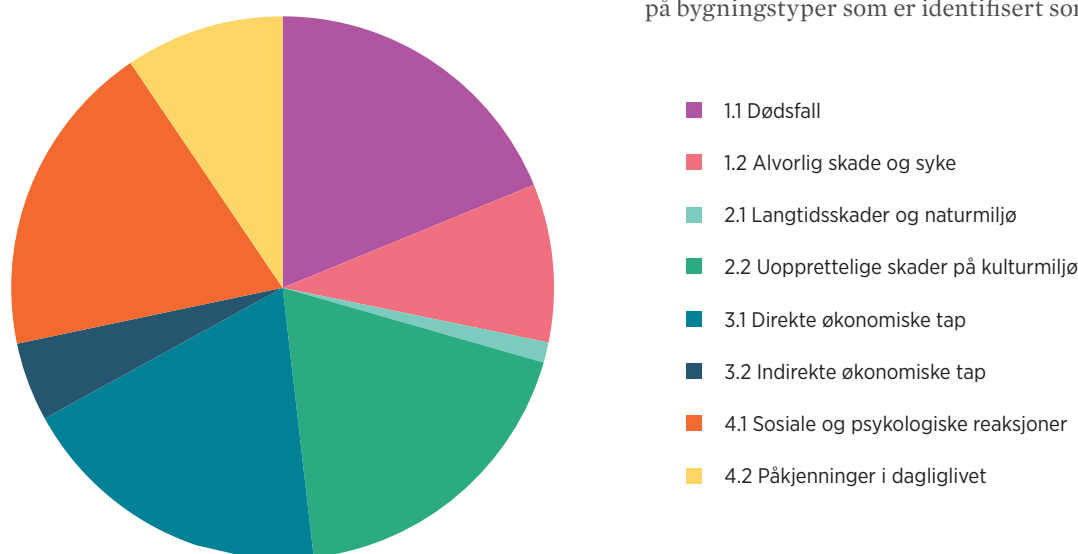
⁷ NORSAR and NGI (1998): Seismic zonation for Norway. Report prepared for the Norwegian Council of Building Standardization (Standard Norge).

for materielle skader på et stort antall bygninger vil utgjøre hoveddelene av det direkte økonomiske tapet, som antas bli svært stort og overstige 35 milliarder kroner. Skader på infrastruktur og skader på inventar antas også bli en stor kostnadsdriver.

Hendelsen antas føre til svært store *sosiale og psykologiske reaksjoner* i befolkningen. Dette er knyttet til egenskaper ved hendelsen, som at jordskjelv oppleves som en ukjent og svært uventet hendelse, manglende muligheter til å unnsnippe opplevelsen av hendelsen, jordskjelvet vil ramme sårbare grupper som barn, syke og eldre, det vil være forventningsbrudd knyttet til bygningers tåleevne og store utfordringer/begrensninger knyttet til muligheten til å håndtere hendelsen i en tidlig fase. Disse egenskapene antas dels å skape uro og frykt i befolkningen og et stort behov for krisehjelp- og kommunikasjon, dels å føre til mistillit til myndigheter, stor grad av avmakt og stort informasjonsbehov.

Scenarioet vil samlet sett medføre *store påkjenninger i dagliglivet*. Dette er i første rekke knyttet til et stort evakueringsbehov, svikt i strømforsyning og forsinkelser i vare- og persontransport.

Figuren nedenfor viser de samfunnsmessige konsekvensene av jordskjelvet fordelt på konsekvenstyper.



FIGUR 2. Oversikt over hvordan de ulike konsekvenstypene bidrar til samlet konsekvens. «5.1 Tap av demokratiske verdier og nasjonal styringsevne» og «5.2 Tap av kontroll over territorium» er angitt til å ikke være relevante i dette scenarioet.

6.3 SÅRBARHET

Konsekvensen av en hendelse skyldes egenskaper både ved hendelsen og systemet den inntreffer i. Sårbarheten ved et system er evnen det har til å motstå en uønsket hendelse og til å tåle hendelsen uten at den fører til alvorlige konsekvenser. Sårbarheten påvirkes i stor grad av hvilke barrierer som finnes for å avbryte og/eller endre (moderere) et hendelsesforløp.

I scenarioet «Jordskjelv i by» ble det identifisert følgehendelser som kollaps av bygninger, ødeleggelser på infrastruktur og svikt i strømforsyningen. Konsekvensen av jordskjelv i by blir svært stor, men samtidig er hendelseskjedene relativt korte og oversiktlige sammenlignet med følgehendelser i mange av de andre scenarioene i NRB.

Analyseresultatene viser at i et større byområde er sårbarheten særlig knyttet byggverks evne til å tåle kraftige rystelser. Egenskaper ved de ulike bygningstypene – hvordan de tåler kraftige rystelser – har avgjørende betydning for utfallet av hendelsen. Murgårder bygd på slutten av 1800-tallet og høyblokker reist på 1960–70 tallet er begge eksempler på bygningstyper som er identifisert som sårbare for

KONKLUSJONER

kraftige jordskjelvsrystelser. I dette scenarioet var dette utsatte bygningstyper som var godt kartlagt, og derfor ga et godt grunnlag for konsekvensvurderingen – og for å vurdere særlig utsatte eller sårbare områder i kommunen. Samtidig påpeker ekspertene at alle gamle/eldre mursteinbygninger i utgangspunktet må antas å være sårbare.

En by vil ha et stort omfang av kritiske infrastruktur – som vegnett, strøm- og vannforsyning og ekomtjenester – med ulike egenskaper, hvorav noen vil tåle påkjenningen fra et jordskjelv og andre ikke. Robustheten/sårbarheten i kritisk infrastruktur vil påvirke håndteringen av hendelsen, og følgelig konsekvensene for i første rekke liv og helse. Brudd i nevnte infrastruktur vil kunne medføre redusert fremkommelighet, lenger og/eller utsatt uttryknings/innsattid for redningsmannskaper, manglende og utsatt medisinsk behandling m.m.

Sårbarheten som allerede eksisterer – både når det gjelder kritisk infrastruktur og når det gjelder ulike bygningstyper – vil kunne forsterkes av lokale geologiske forhold. Leireforekomster forsterker bølgene som forplanter seg som følge av jordskjelv og løsmasser (grus, sand, silt o.l.) som er mettet med grunnvann kan bli utsatt for såkalt flytning. Slike grunnforhold kan ha stor innvirkning på skadeomfanget. Dette er forhold som er mer eller mindre kartlagt i ulike områder av kommunen, og ukjente/ikke kartlagte grunnforhold vil kunne å øke sårbarheten vesentlig.

Eventuelle sammenfallende hendelser som store ulykker og ekstremvær antas å få langt større konsekvenser i en tidlig fase, både som følge av kapasitetsmangel og redusert beredskap, og som følge av redusert fremkommelighet og svikt i kritisk infrastruktur som jordskjelvet medfører.

Sårbarhet er også knyttet til hvilken årstid jordskjelvet inntreffer. Faren for underkjøling og behov for rask redning vil være vesentlig faktor for liv og helse vinterstid. Tilsvarende gjelder strømbortfall, som vil kunne få vesentlig mindre alvorlige konsekvenser i sommerhalvåret.

Vedlegg



VEDLEGG 1: DELTAKERLISTE ARBEIDSSEMINAR

Navn	Virksomhet
Bjørn Næs	Bergen brannvesen
Kari Maisol Knudsen	Bergen kommune
Morten Meibom	Bergen kommune
Johanne E. Gillow	Byantikvaren i Bergen
Trygve Hillestad	Fylkesmannen i Hordaland
Inngard Lereim	Helsedirektoratet
Gisle Antun	Hordaland politidistrikt
Kjell-Tore Aarnæs	DSB, Hordaland sivilforsvarsdistrikt
Steinar Torsvik	Kraftforsyningens distriktssjef (KDS) Hordaland
Terje Alling	Kystverket
Synnøve Lunde	Kystverket
Amir M. Kaynia	NGI
Conrad Lindholm	NORSAR
Atle Dyregrov	Senter for krisepsykologi
Roald Stenstad	Standard Norge
Eldar Høysæter	Vegdirektoratet
Kuvvet Atakan	Universitetet i Bergen
Freddy J. Hansen	DSB
Tone D. Bergan	DSB
Janniche Cramer	DSB
Thea Kruuse-Meyer	DSB
Ann Karin Midtgaard	DSB

**Direktoratet for
samfunnssikkerhet
og beredskap**

Rambergveien 9
3115 Tønsberg

Telefon 33 41 25 00
Faks 33 31 06 60

postmottak@dsb.no
www.dsb.no

ISBN 978-82-7768-427-7 (PDF)
HR 2362
Mars 2017

 /DSBNorge

 @dsb_no

 dsb_norge

 dsbnorge