

DP5 Verktøy for risikovurdering

Risiko - litteraturstudie

Bjørn Kalsnes, Unni Eidsvig, Liu Zhongqiang

BegrensSkade Delrapport nr. 5.1

Begrensning av skader som følge av grunnarbeider

Delprosjekt 5: Verktøy for risikovurdering

Risiko - litteraturstudie

Dato: 2015-01-05

Revisjonsdato: 2015-01-05

Revisjonsnr.: 00

Delprosjektleder: Bjørn Kalsnes, NGI

Utarbeidet av: Bjørn Kalsnes, Unni Eidsvig, Liu Zhongqiang (alle NGI)

Kontrollert av: Bjørn Vidar Vangelsten (NGI)

Sammendrag

Denne rapporten danner et teoretisk og begrepsmessig grunnlag for å foreta risikovurderinger. Det gis en kort presentasjon av ulike metoder for å foreta risikovurderinger, og søkelys settes på spesielle problemstillinger en bør være oppmerksom på i forbindelse med risikobetraktninger for utgravinger. Rapporten presenterer noe statistikk knyttet til skader, og konsekvens av skader for utgravinger.

ISO 31000s definisjon av risiko er som følger: "Risiko er effekt av usikkerhet på målsetninger". Ofte knyttes risikobetraktninger til en kombinasjon av fare og konsekvens, noe som også kan uttrykkes i kvantitative mål. Ved risikohåndtering kan man stille seg noen enkle fundamentale spørsmål:

- Risikoidentifikasjon: Hva kan gå galt?
- Risikoanalyse:
 - Hva er sannsynligheten for at det går galt?
 - Hva er konsekvensen av at det går galt?
- Risikoevaluering: Er risikoen akseptabel?
- Risikoreduserende tiltak: Hva kan gjøres for å begrense skadene?

Metodene som beskrives kan være både rent kvalitative, kombinasjon av kvalitativ og kvantitativ eller rent kvantitative. Enkelte metoder kan benyttes av personell uten spesiell ekspertise innen risikovurderinger, mens det for andre metoder trengs en slik spesialisering. De ulike metodene kan være effektive verktøy i ulike stadier i et prosjekt. For eksempel kan grovanalyse være en god metode i en innledende fase av prosjektet, mens mer sofistikerte metoder kan tas i bruk senere i prosjektfasen. Ved metodevalg bør man også vurdere datatilgang, tilgjengelig ekspertise, kompleksitet av problemstilling samt formålet med analysen og hvem som skal bruke resultatene.

Innhold

1	Innledning.....	5
2	Generelt om risiko.....	5
2.1	Hva menes med risiko	5
2.2	Hvilke elementer inngår i en risikohåndteringsprosess	6
2.3	Strategier for å håndtere usikkerheter og risiko	7
2.4	Spesifikke utfordringer innen bygningsgeoteknikken.....	7
3	Risikovurdering.....	7
3.1	Valg av metodikk	7
3.2	Kvalitative/beskrivende metoder.....	12
3.3	Metoder som kan være kvalitative og kvantitative.....	13
4	Risikovurderinger for utgravinger	17
4.1	Problemstillinger	17
4.1.1	Større potensielt uønskede hendelser knyttet til utgravingsprosesser	17
4.1.2	Potensielt uønskede hendelser av mindre omfang.....	19
4.2	Risikoteori for utgravinger.....	20
4.2.1	Probabilistiske analyser for utgravinger.....	20
4.2.2	Konsekvensanalyser i forbindelse med utgravinger.....	21
4.3	Analyse av skaderapporter fra BegrensSkade Delprosjekter 1 og 2	25
5	Referanser	28

1 INNLEDNING

Bakgrunnen for forskningsprosjektet BegrensSkade er at det ofte oppstår uventede og uønskede skader på naboeiendommer og nærliggende infrastruktur, som følge av grunn- og fundamenteringsarbeider. Det ligger derfor et betydelig potensiale i å utvikle nye metoder og forbedre prosedyrer for å unngå eller begrense slike skader innenfor bygge-, anleggs- og eiendomsbransjen. Forbedret utførelse gir besparelse ved redusert antall skader, raskere gjennomføring, mindre forsinkelser og færre tvistesaker.

BegrensSkade har som mål å utvikle nye utførelsesmetoder og forbedre samhandlingsprosesser, for å begrense skader som kan tilbakeføres til grunn- og fundamenteringsarbeider innenfor bygg-, anleggs- og eiendomsbransjen. Prosjektet har en bred tilslutning fra den norske BA-bransjen med 23 partnere, med representanter fra alle aktører (byggheier, entreprenører, underentreprenører, konsulenter, eiendoms- og forsikringselskaper samt forskningsinstitutt og universitet).

Prosjektet ser på hele kjeden av årsaker og forbedringsmuligheter fra prosjektering av grunn- og fundamenteringsarbeider til utførelse og oppfølging. BegrensSkade er delt opp i fem delprosjekter:

DP1+2 Kartlegging av årsaker til skader

DP3 Videreutvikling av metoder for å begrense skader

DP4 Dokumentasjon av nye metoder

DP5 Verktøy for risikovurdering

DP6 Forbedret samhandling i BA-prosessen

BegrensSkade-prosjektets overordnede mål er å videreutvikle metoder og prosesser som vil bidra til å redusere risiko for skader og uønskede setninger som følge av grunn- og fundamenteringsarbeider. Et delprosjekt i prosjektet er knyttet til håndtering av risiko. Delprosjektets mål er å utvikle metode(r) for å vurdere og redusere risiko, samt å utarbeide en veiledning for valg av optimal løsning for konkrete problemstillinger.

Denne rapporten er ment å danne et begrepsmessig og teoretisk grunnlag for håndtering av risiko. Innledningsvis blir selve termen *risiko* diskutert; hva menes med risiko, hvilke elementer inngår i en risikovurdering, hvilke strategier finnes for å redusere risiko. Dette er generelle elementer som inngår i enhver risikovurdering. Videre presenteres en mengde ulike metoder som er i bruk i risikoanalyser. Avslutningsvis presenteres utfordringer for risikovurderinger innen byggenæringen, med spesiell fokus på boring og ramming av stag og peler; både med hensyn på mulig anvendt metodikk og på data og eksisterende statistikk vedrørende disse problemstillingene.

2 GENERELT OM RISIKO

2.1 Hva menes med risiko

I det moderne samfunn spiller forståelse av risiko en viktig rolle innen nesten alle samfunnsområder. Et viktig nøkkelaspekt ved risiko er derfor tverrfagligheten. Risiko kan studeres i et naturvitenskaplig, medisinsk, statistisk, sosialt, kulturelt, økonomisk eller juridisk perspektiv og ofte vil det være nødvendig å kombinere ekspertise fra ulike vitenskapelige disipliner for å forstå, vurdere og iverksette tiltak mot identifiserte risiki i et gitt prosjekt.

Tverrfagligheten forbundet med risikobegrepet er sannsynligvis en viktig årsak til det store antallet ulike definisjoner innen risikoterminologi. Aven og Renn (2010) deler definisjonene av risiko inn i to hovedkategorier:

1. Risiko er et mål på sannsynlighet og alvorlighet av uønskede effekter på helse, eiendom eller miljøet. Risiko beregnes ofte som et produkt av sannsynlighet og konsekvens. Imidlertid vil en mer generell tolkning av risiko innebære en sammenlikning av sannsynligheter og konsekvens på andre måter enn i produkt form.
2. Risiko er effekt av usikkerhet på målsetninger (ISO 31000)

2.2 Hvilke elementer inngår i en risikohåndteringsprosess

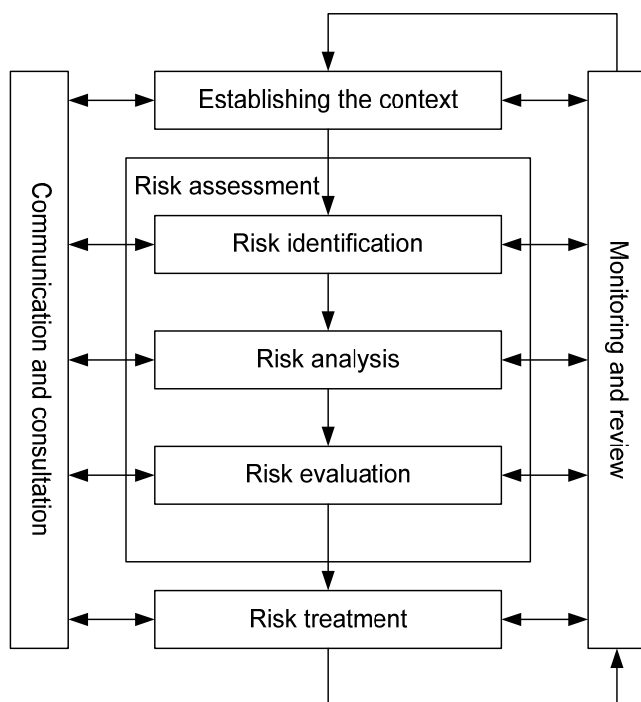
Risikohåndtering er en betegnelse for koordinerte aktiviteter for å vurdere, kontrollere og takle risikoen forårsaket av farer som samfunnet er omgitt av. Formålet med risikohåndteringen er å vurdere og eventuelt redusere risikoen hvis nødvendig. Når konteksten for risikohåndteringer er etablert, er følgende trinn viktige i risikohåndteringsprosessen (ISO 31000):

Trinn 1: Risikoidentifikasjon: Potensielle trusler og farer identifiseres. Hva kan skje?

Trinn 2: Risikoanalyse: Sannsynligheter, potensielle konsekvenser og usikkerheter kombineres. Hvor sannsynlig er det og hvis det skjer, hva er konsekvensene?

Trinn 3: Risikoevaluering: Risikoen vurderes i forhold til kriterier for akseptabel eller tolerabel risiko. Er risikoen akseptabel?

Trinn 4: Risikoreduserende tiltak: Hva kan gjøres for å få risikoen ned på et akseptabelt nivå?



Figur 1 Rammeverk for risikohåndteringsprosess (Kilde: ISO-31000: 2009).

Begrepet risikovurdering brukes som samlebegrep for Trinn 1 til Trinn 3, det vil si risikoidentifikasjon, risikoanalyse og risikoevaluering. Risikohåndteringsprosessen er en integrert prosess der risikovurdering og implementering av risikoreducerende tiltak foregår i kontinuerlig dialog og konsultasjon og under kontinuerlig inspeksjon og kontroll.

2.3 Strategier for å håndtere usikkerheter og risiko

Geotekniske ingeniører (og entreprenører) kan håndtere risiko ved å ignorere den, ved å være konservativ, ved å bruke observasjonsmetoden eller ved å kvantifisere usikkerhetene, (Christian 2004). Å ignorere usikkerheten kan føre til ubehagelige overraskelser, men likevel er det dessverre overraskende utbredt. Å være konservativ, for eksempel ved å bruke sikkerhetsfaktor, er en opplagt og mye brukt tilnærming, men kan føre til ressurskrevende overdimensjonering (både når det gjelder økonomi og tid). Man må også spørre seg hva som er konservativt nok. Observasjonsmetoden er mest relevant for konstruksjonsprosesser hvor det gjøres feltmålinger i driftsfasen og der det kan gjøres valg underveis i prosessen. Kvantifisering av usikkerhetene vil gi nyttig informasjon og kan bl.a. brukes i kost-nytte analyser. Kvantifisering av usikkerhetene vil være mest aktuelt i designfasen av et prosjekt. Kvantifisering av usikkerhetene kan bl.a. belyse om det kan være lønnsomt å inkludere usikkerhetene i utførelse inn i design.

2.4 Spesifikke utfordringer innen bygningsgeoteknikken

Eurokode 7 er den gjeldende dimensjoneringsstandard siden våren 2010. Standarden gir fire ulike muligheter å utføre en dimensjonering, slik at de ulike grensetilstanden ikke overskrides. De ulike metodene er:

- Beregninger
- Konstruktive tiltak (når beregningsmodeller ikke er tilgjengelige eller nødvendige)
- Prøvebelastning og modellforsøk (gjørne i tillegg til et av de andre alternativene)
- Observasjonsmetoden (når det er vanskelig å forutsi geoteknisk oppførsel)

Dersom den første metoden velges, så forutsetter dette at analytiske beregninger utføres. Som inndata velges først karakteristiske parametre eller laster som deretter reduseres eller økes ved hjelp av partialfaktorer. Dette gir da dimensjonerende parametre. Innenfor bergmekanikk er det mange ganger vanskelig, eller til og med umulig å bestemme noen av parameterne, spesielt de som gjelder for en bergmasse. Innen geoteknisk prosjektering er det i dag beregningsmetoden som vanligvis benyttes.

3 RISIKOVURDERING

3.1 Valg av metodikk

Det finnes en mengde verktøy som kan benyttes i risikohåndteringsprosessen. Risikovurderingen kan utføres på ulike detaljeringsnivåer ved å bruke fremgangsmåter som strekker seg fra det enkle til det komplekse. Formen på, og resultatet av, risikoanalysen må være konsistent med risikokriteriene som defineres som en del av konteksten for analysen.

Valget av metodikk bør begrunnes i forhold til relevans og egnethet. Når resultater fra ulike studier skal integreres bør anvendt metodikk og tilhørende resultater være mulige å sammenlikne. Når det er besluttet å utføre en risikovurdering og målsetting og omfang er definert, bør følgende vurderes ved valg av metodikk:

- (1) Formålet med studiet. Formålet med risikovurderingen vil ha en direkte innvirkning på metodikken som benyttes. Hvis for eksempel hensikten med studiet er en sammenlikning mellom ulike alternativer kan det være hensiktsmessig å bruke mindre detaljerte konsekvensmodeller for de deler av systemet der det er små forskjeller mellom alternativene.
- (2) Informasjonsbehovet til beslutningstakerene. I noen tilfeller er et høyt detaljeringsnivå nødvendig for å fatte gode beslutninger, mens i andre tilfeller vil en mer generell forståelse være tilstrekkelig.
- (3) Typen og spekteret av risiki som skal analyseres.
- (4) Det potensielle omfanget av konsekvensene. Hvor dyptgående analyser det skal satses på, bør reflektere den initiale oppfatningen av konsekvensene (selv om modifikasjon av denne kan bli nødvendig utover i evalueringprosessen).
- (5) Tilgjengelighet på ressurser, både tilgang på ekspertise, menneskelige og andre nødvendige ressurser. En enkel metode som er anvendt på en god måte kan gi bedre resultater enn en mer sofistikert metode som er mangelfullt utført, så lenge førstnevnte tilfredsstillende hensikten med og omfanget av vurderingen.
- (6) Tilgjengelighet på data: I en tidlig fase av prosjektet kan grovere metoder benyttes, som for eksempel preliminary hazard analysis (foreløpig fareanalyse). Utover i prosjektet, når større datamengder er tilgjengelig, bør mer sofistikerte metoder benyttes.
- (7) Risikoakseptkriterier og prosedyrer for risikohåndtering definert i prosjektet.

ISO-31010 illustrerer det konseptuelle forholdet mellom de brede kategoriene av risikovurderingsteknikker. Tabell 1 viser risikovurderingsteknikker med referanse til hvilke steg i risikovurderingsprosessen de har anvendelse innen.

Tabell 1 Risikovurderingsteknikker (ISO-31010: 2009)

Tools and techniques	Risk assessment process				
	Risk Identification	Risk analysis			Risk evaluation
		Consequence	Probability	Level of risk	
Brainstorming	SA ¹⁾	NA ²⁾	NA	NA	NA
Structured or semi-structured interviews	SA	NA	NA	NA	NA
Delphi	SA	NA	NA	NA	NA
Check-lists	SA	NA	NA	NA	NA
Primary hazard analysis	SA	NA	NA	NA	NA
Hazard and operability studies (HAZOP)	SA	SA	A ³⁾	A	A
Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)	SA	SA	NA	NA	SA
Environmental risk assessment	SA	SA	SA	SA	SA
Structure « What if? » (SWIFT)	SA	SA	SA	SA	SA
Scenario analysis	SA	SA	A	A	A
Business impact analysis	A	SA	A	A	A
Root cause analysis	NA	SA	SA	SA	SA
Failure mode effect analysis	SA	SA	SA	SA	SA
Fault tree analysis	A	NA	SA	A	A
Event tree analysis	A	SA	A	A	NA
Cause and consequence analysis	A	SA	SA	A	A
Cause-and-effect analysis	SA	SA	NA	NA	NA
Layer protection analysis (LOPA)	A	SA	A	A	NA
Decision tree	NA	SA	SA	A	A
Human reliability analysis	SA	SA	SA	SA	A
Bow tie analysis	NA	A	SA	SA	A
Reliability centred maintenance	SA	SA	SA	SA	SA
Sneak circuit analysis	A	NA	NA	NA	NA
Markov analysis	A	SA	NA	NA	NA
Monte Carlo simulation	NA	NA	NA	NA	SA
Bayesian statistics and Bayes Nets	NA	SA	NA	NA	SA
FN curves	A	SA	SA	A	SA
Risk indices	A	SA	SA	A	SA
Consequence/probability matrix	SA	SA	SA	SA	A
Cost/benefit analysis	A	SA	A	A	A
Multi-criteria decision analysis (MCDA)	A	SA	A	SA	A

1) Strongly applicable.

2) Not applicable.

3) Applicable.

Tabell 1 indikerer også hvilke komponenter i risikovurderingsprosessen metodene er anvendelige for, som fareanalyse og konsekvensanalyse. Metoder som er anvendelige både for fareanalyser og konsekvensanalyser er: HAZOP, SWIFT, Scenarie analyser, FMEA, hendelsestreakanalyser, beslutningstreakanalyser, FN kurver, risikoindekser, risikomatrise, kost-nytte analyser og multikriterie beslutningsanalyse.

Feiltre-analyser egner seg som metode for farevurdering, men ikke for konsekvensvurdering. Metoder som er anvendbare for konsekvensvurdering, men ikke for farevurdering inkluderer årsak og effekt analyser og Bayesisk statistikk og Bayesisk analyse.

Metoder for risikoanalyser kan i grove trekk deles inn i kvalitative og kvantitative metoder, avhengig av presisjonsnivået. De kvalitative metodene er beskrivende av natur og benyttes ofte med den hensikt å identifisere hvilke uønskede hendelser som bør studeres videre ved hjelp av kvantitative metoder. Kvantitative metoder sikter mot å estimere både sannsynlighet og konsekvens av uønskede hendelser. Eksempler på kvalitative metoder i anleggsprosjekter er idedugnad blant eksperter, sjekklister, grovanalyser, fare- og opererbarhetsanalyser (HAZOP) og "Hva hender hvis" analyser (swift). Vanlige kvantitative metoder er feiltre- og hendelsestre-analyser, FMEA (Failure Modes and Effect Analysis), MORT (Management Oversight and Risk Tree), SMORT (Safety Management and Organisation Review Technique), THERP (Technique for Human Error Rate Prediction), SLIM (Success Likelihood Index Method), Multirisik and Markov analyser. En oversikt over metoder og anvendelse er gitt i tabellen nedenfor og en nærmere beskrivelse av den enkelte metode er gitt i de videre delkapitler.

Tabell 2 Oversikt over metoder for risikoidentifikasjon og risikoanalyse

Metode	Type resultater	Anvendelse	Hensikt	Relevante typer prosjekter
Sjekklister	Beskrivende	Konsept-fase	Fare identifikasjon	Alle
Grovanalyse	Beskrivende/se mi-kvantitative	Konsept-fase	Foreløpig fare identifikasjon og risikoestimat	Alle
Hazard and operability study (HAZOP)	Beskrivende, men med kvantitativt potensiale	Designfase	Fare og risiko identifikasjon	Industri/ tekniske systemer
What-if analysis (Swift)	Beskrivende	Hele prosjektet	Fare identifikasjon og tiltak	Industri/ tekniske systemer
Observasjons metode	Beskrivende /overvåkning	Design og driftsfasen	Foreta korrigeringer basert på overvåknings-data	Tekniske prosjekter der det gjøres overvåkinger gjennom driftsfasen
Scenarie analyser	Beskrivende	Designfase	Fare og risiko identifikasjon	Alle

Metode	Type resultater	Anvendelse	Hensikt	Relevante typer prosjekter
Feilmode- og feileffektanalyse (FMEA)	Beskrivende	Designfase	Identifisere kilder til og effekter av svikt i utstyr	Tekniske systemer
Feiltrær	Kvantitativ /kvalitativ	Designfase	Fare- og hendelsesidentifikasjon	Tekniske systemer, miljø
Bayesisk analyse	Kvantitativ /kvalitativ	Designfase	Risikoevaluering	Alle
Hendelsestrær	Kvantitativ /kvalitativ	Design- og driftsfase	Beskrivelse av hendelser og konsekvenser	Tekniske systemer, uønskede hendelser
Beslutningstrær	Kvantitativ /kvalitativ	Designfase	Rangering av beslutningsalternativer	Risikohåndtering av alle typer prosjekter
MORT	Kvalitativ	Designfase	Barriereanalyse	Tekniske systemer, miljø
FN kurver	Kvantitativ	Designfase	Risikoevaluering	Alle
Risikoindekser	Semi-kvantitativ	Hele prosjektet	Risikoanalyser	Alle
Risikomatrise	Kvantitativ /semi-kvantitativ	Hele prosjektet	Risikoevaluering	Alle
Kost-nytte analyser	Kvantitativ	Design-/prosjekterings fase	Risikoevaluering	Risikohåndtering av alle typer prosjekter
Multikriterie beslutningsanalyse	Kvalitativ	Design-/prosjekteringsfase	Risikoevaluering	Risikohåndtering av alle typer prosjekter

3.2 Kvalitative/beskrivende metoder

Sjekklister

Sjekklister er lister over farer, uønskede hendelser og usikkerhetsmomenter som må tas i betraktning. Listene er som regel utviklet av erfaring; enten fra tidligere risikovurderinger eller som et resultat av tidligere uønskede hendelser. Listen kan basere seg på tidligere utviklede sjekklister, koder og standarder.

HAZOP (Hazard and Operability Analysis)

HAZOP er en anerkjent metode for å identifisere sikkerhetsmessige farer og utfordringer med henblikk på utførelse, vedlikehold og drift av et prosessanlegg. En gruppe personer, hver med sine roller, vurderer systemet, gjerne i form av et flytdiagram. Definerte søkeord benyttes, slike som "ingen, ikke, mindre, høy, del av, motsatt", osv. Dessuten brukes i kombinasjon med ledeordene parametre som beskriver fysiske egenskaper til et material eller en prosess, fysiske forhold (for eksempel temperatur og hastighet), hensikten med en komponent i et system eller en design, samt operasjonelle forhold. Alle elementene i prosessanlegget gjennomgås under prosjekteringen, hver med sin normale tilstand spesifisert. Metoden kan identifisere mulige sikkerhetsmessige problemer som kan oppstå, når f. eks. kombinasjonen ikke-trykk eller høy-temperatur foreligger i et prosesselement der normal tilstand er trykk eller normal temperatur.

"Hva hender hvis" – analyser (swift)

"Hva hender hvis" – analyser ble utviklet på 1960-tallet innen olje- og kjemiindustrien. Det vanligste anvendelsesområdet er risikovurdering i sammenheng med forandringer i prosesser eller aktiviteter.

Hensikten med en "Hva hender hvis"- analyse er å identifisere potensielle uønskede hendelser i et system, samt undersøke bakenforliggende årsaker og mulige konsekvenser. Analysen av mulig svikt i planlagte funksjoner leder til forbedringsforslag og danner grunnlag for avgjørelser.

Innledningsvis foretas en strukturert idedugnad om hvilke uønskede hendelser som kan tenkes å inntreffe i systemet. Deltagerne starter med spørsmålet: "Hva hender hvis". Spørsmålene pleier å utformes med bakgrunn i tidligere erfaring.

Metoden er relativt enkel, men krever god fantasi og kunnskap om systemet for at de rette spørsmålene skal bli stilt. Når de uønskede hendelsene er identifiserte analyseres årsakene til at de kan inntreffe. I tillegg gjøres en konsekvensvurdering. Tilslutt foreslås tiltak for å minke sannsynligheten for at uønskede hendelser oppstår, eller for å minske deres konsekvenser.

Scenarieanalyser

I scenarieanalyser analyseres mulige fremtidige hendelser ved å betrakte alternative resultater av en initierende hendelse. Scenarieanalysene sikter ikke mot å gi et eksakt bilde av fremtiden, men presenterer flere alternativer for fremtidig utvikling. På den måten blir omfanget av fremtidsscenariene synliggjort og også utviklingen som kan lede til resultatet av det enkelte scenarie. I kontrast til prognoser bruker ikke scenarieanalyser ekstrapoleringer av fortiden, dvs. det benyttes ikke trender bygget på historiske data og observasjoner. Scenarieanalyser kan også benyttes for å belyse hendelser med lav sannsynlighet, men med store konsekvenser, som for eksempel meteoritnedslag.

Feil Mode og Feil Effekt Analyser (FMEA)

Feilmodus og effekt analyser (FMEA) er en systematisk, proaktiv metode for å evaluere en prosess eller et system for å identifisere hvor og hvordan uønskede hendelser kan oppstå. Det vurderer den relative innvirkningen av ulike typer svikt for å identifisere komponenter med størst behov for forbedring. FMEA består av gjennomgang av:

- Alle potensielle feilmoduser av ulike deler av systemet/prosessen (Hva kan gå galt?)
- Årsakene til svikten i systemet/prosessen (Hvorfor skjer svikten?)
- Feilmekanismen (Hvordan oppstår svikten?)
- Effekter (Hva er konsekvensene for systemet/prosessen ved svikt i de ulike komponentene?)
- Tiltak (Hvordan kan svikt unngås eller negative effekter av svikt bekjempes?)

FMECA utvider FMEA slik at hver identifisert feilmodus rangeres i forhold til viktighet og kritikalitet. Kritikalitetsanalysen er vanligvis kvalitativ eller semi-kvantitativ, men kan kvantifiseres ved å bruke observerte sviktfrekvenser.

FMEA blir brukt for å evaluere uønskede hendelser i prosesser og å forhindre dem ved å korrigere prosessene proaktivt heller enn å reagere på uønskede hendelser etter de har inntruffet. Fokuset på forebygging reduserer risikoen både for brukere og operatører av systemet. FMEA er spesielt nyttig for å evaluere en ny prosess før implementering og for å vurdere av effekten av en foreslått endring av en eksisterende prosess.

3.3 Metoder som kan være kvalitative og kvantitative

Grovanalyse

Grovanalyse (også kalt foreløpig risikoanalyse) er en kvalitativ metode for å kartlegge potensielle uønskede hendelser i et system og å identifisere risikoscenarier. Metoden er et typisk første steg i de fleste analyse metoder. Hensikten er å skaffe seg en oversikt over alle tenkelige risiki innen aktørens virksomhet, som grunnlag for prioriteringer for det videre analysearbeidet.

En grovanalyse utføres av en arbeidsgruppe som har kunnskap om både metoden og virksomheten som skal analyseres. De uønskede hendelsenes årsaker og konsekvenser identifiseres ut fra arbeidsgruppens erfaring, kreative tenking og eventuelle sjekklister, samt informasjon, statistikk og erfaring fra virksomheten eller fra liknende virksomheter.

Sannsynlighet og konsekvens av de uønskede hendelsene rangeres på en skala, som også kan være kvantitativ. Resultatet kan med fordel presenteres og rangeres i en risikomatrise.

Det siste steget i analysen er å foreslå tiltak. I oppsummeringen av analysen presenteres for hvert scenario mulige årsaker, konsekvenser, rangering av risikoen samt anbefalte tiltak.

Analyser der problemet dekomponeres visuelt vha. trær

Hendelsestrær, feiltrær og beslutningstrær er en måte å dele opp et problem på en visuell måte. Analysene har mye til felles. For kvantitative analyser er en viktig forutsetning for at denne oppdelingen skal være hensiktsmessig, at det er lettere å estimere sannsynligheter for enkelthendelser enn for mer sammensatte hendelser.

Hendelsestreanalyse

Et hendelsestre er et logisk diagram med forgreninger som sprer seg utover som et tre. Hendelsestreet viser mulige ikke-overlappende hendelseskjeder og utfall som kan føre til skade etter en uønsket hendelse. Analysen kan anvendes både kvalitativt og kvantitativt. Hendelsestreanalysen kan vurdere avdempende og forverrende hendelser, ved å ta hensyn til tilleggssystemer, funksjoner og barrierer i vurdering av responsen på den initierende uønskede hendelsen.

Hendelsestreanalyser kan benyttes for modellering, beregning og risikorangering av ulike scenarier utløst av en initierende uønsket hendelse. Hendelsestreanalyse kan benyttes i enhver fase av et produkt eller prosjekt. Det kan benyttes kvalitativt i idedugnad av potensielle scenarier og hendelseskjeder, og i vurdering av hvordan utfallet påvirkes av ulik behandling, barrierer eller kontroller som har til hensikt å forebygge uønskede utfall.

Når hendelsestreet er definert, er neste steg å fastsette sannsynligheten for de enkelte hendelsene i treet ut fra statistikk, probabilistiske modeller eller ekspertvurderinger for en kvantitativ vurdering. Sannsynligheten for en hendelseskjede (dvs. en spesifikk forgrening i hendelsestreet) fås ved å multiplisere alle sannsynlighetene langs forgreningen.

Beslutningstreanalyse

Et beslutningstre representerer beslutningsalternativer og mulige utfall på en sekvensiell måte. I likhet med et hendelsestre starter det også med en initierende hendelse eller en initierende beslutning og modellerer ulike hendelseskjeder basert på mulige hendelser og beslutninger.

Et beslutningstre benyttes i håndtering av prosjektrisiko og for å velge rett strategi for handling. Den grafiske visualiseringen kan også benyttes i kommunikasjon for å synliggjøre beslutningsgrunnlaget

Feiltreanalyse

Feiltreanalyser anvendes først og fremst i tekniske system og for utredning av årsaker. Den har et relativt bredt anvendelsesområde og er en av de mest anvendte metodene for risikoanalyser. Den har som formål å identifisere årsakene til at uønskede hendelser inntreffer.

Utgangspunktet er en uønsket hendelse, en såkalt topphendelse. Hendelsen dekomponeres suksessivt ned til ønsket detaljnivå for at feilene som har forårsaket topphendelsen skal oppdages. Metoden er både kvalitativ og kvantitativ i karakter.

En feiltreanalyse består av tre steg: konstruksjon av feiltreet, identifisering av hvilke kombinasjoner av hendelser som har forårsaket topphendelsen, samt en vurdering av sannsynligheter. I konstruksjonen av feiltreet beskrives topphendelsen og de feilhandlinger og feilfunksjoner som kan være de bakenforliggende årsakene til topphendelsen. Det skjer gjennom ulike logiske operatører: disse viser for eksempel om topphendelsen er forårsaket av en enkelthendelse eller flere hendelser i kombinasjon.

De identifiserte feilhandlinger og feilfunksjoner dekomponeres videre ned i mindre hendelser. I neste steg identifiseres de hendelsene som påbegynte kjeden, også kalt basishendelsene. Deretter gjøres en kartlegging av spesifikke kombinasjoner av hendelser. Sannsynligheten kan vurderes kvalitativt eller kvantitativt. For kvantitativ vurdering beregnes sannsynligheten for topphendelsen ved hjelp av regneregler for de logiske operatørene.

The Management Oversight and Risk Tree (MORT)

MORT er et diagram som fremstiller sikkerhetslementer på en systematisk og logisk måte. Analysen utføres ved hjelp av et feiltre, der topphendelsen er "Ødeleggelse, skader, andre kostnader, tappt produksjon eller tap av anseelse fra samfunnet for virksomheten". Treet gir en oversikt over årsaker til topphendelsen ut fra utilstrekkeligheter i ledelse og drift og/eller fra iboende risiki i systemet.

Bayesisk analyse

Bayesisk statistikk har som premiss at allerede kjent informasjon (prior) kan kombineres med senere observasjoner (posterior) for å etablere en samlet sannsynlighet. Bayes teorem kan i generalisert form uttrykkes:

$$P(A|B) = \{P(A)P(B|A)\} / \sum_i P(B|E_i)P(E_i)$$

Der sannsynligheten for en generell hendelse X uttrykkes som $P(X)$; Sannsynligheten for at en hendelse X inntreffer under betingelse av at hendelsen Y har inntruffet skrives $P(X|Y)$; E_i er hendelse nummer i . På enkleste form reduseres teoremet til $P(A/B) = \{P(A)P(B|A)\} / P(B)$.

Bayesisk statistikk skiller seg fra klassisk statistikk ved at den ikke antar at alle fordelingsparameterne er faste, men stokastiske variable. En Bayesisk sannsynlighet kan lettere forstås om den betraktes som en persons grad av tro på at en bestemt hendelse skal inntreffe, i motsetning til den klassiske som er basert på fysisk bevis. Siden den Bayesiske tilnærmingen er basert på den subjektive tolkningen av sannsynlighet, danner den en ferdig basis for beslutningsvirksomhet og for utvikling av Bayesiske nettverk.

Bayesiske nettverk bruker en grafisk modell til å representere et sett variable og deres probabilistiske forhold. Nettverket består av noder som representerer en stokastisk variabel og piler som linker en foreldrenode til en barnenode. En foreldrenode er en variabel som direkte påvirker en annen node, dvs. barnenoden.

F-N kurver

F-N kurver er en grafisk representasjon av frekvens (F) og konsekvens av hendelser. Som oftest referer de til frekvensen av hendelser med et gitt antall skadde personer (N). F-N kurver viser den kumulative frekvensen (F) av N eller flere skadde. Høye verdier av N med en høy frekvens F er spesielt interessante, fordi de vil være sosialt og politisk uakseptable.

F-N kurver er en måte å representere resultatet av en risikoanalyse. Kurvene kan være konstruert fra historiske data for å illustrere og sammenlikne risikoverdier som følge av ulike ulykkeshendelser som for eksempel dambrudd, flyulykker og skred.

Mange hendelser har en høy sannsynlighet for små konsekvenser eller lav sannsynlighet for store konsekvenser. F-N kurvene beskriver risikonivået som en linje istedenfor et enkelt punkt som representerer et konsekvens/sannsynlighetspar. F-N kurver kan også representere akseptkriterier og benyttes for å vurdere om den beregnede risikoen er akseptabel eller om det er påkrevet med risikoreduserende tiltak.

Risikoindekser

En risikoindeks er et semi-kvantitativt estimat på risiko, dvs. der risikoen angis på en rangert skala, for eksempel på en skala 1-5. Ved å anvende liknende kriterier, kan risikoindekser benyttes for å rangere og sammenlikne en rekke risiki.

Indekser kan benyttes for å integrere en rekke faktorer som vil ha en innvirkning på risikonivået til en enkel tallverdi for beskrivelse av risikoen. Hver risikofaktor tildeles en score verdi og risikoindeksen vil beregnes fra disse, for eksempel som et vektet gjennomsnitt. Indekser kan benyttes for mange ulike typer risiki som et verktøy for oversiktskartlegging av risikoen. Dette kan videre benyttes for å bestemme hvilke risiki som trenger grundigere vurderinger, for eksempel kvantitative vurderinger.

Risikomatrise

Risikomatrise er en måte å kombinere semi-kvantitative og kvantitative rangeringer av konsekvenser og sannsynligheter. Matrisen kan benyttes for å illustrere et risikonivå eller en risikorangering. Formatet til matrisen og skalaen den anvender avhenger av konteksten den skal brukes i.

En risikomatrise brukes for å rangere risikoen forbundet med uønskede hendelser, identifisere kilder til uønskede hendelser eller til å prioritere tiltak basert på risikonivået. Den brukes vanligvis som et verktøy for oversiktskartlegging når mange uønskede hendelser er identifisert, for eksempel for å identifisere hvilke uønskede hendelser som trenger videre eller mer detaljerte analyser, hvilke som har størst behov for tiltak eller hvilke som må behandles på et høyere risikohåndteringsnivå. Det kan også benyttes for å velge hvilke uønskede hendelser som ikke behøver videre vurdering. Risikomatriser kan også benyttes for å bestemme om en gitt risiko er akseptabel eller ikke avhengig av hvor den uønskede hendelsen bli plassert i matrisen og av predefinerte risikoakseptkriterier.

Ekesen et al. (2004) foreslår retningslinjer for risikohåndtering av tunneldriftsvirksomhet, og viser anvendelse av risikomatrise for risikohåndtering av tunnel- og undergrunnsprosjekter. Retningslinjene beskriver stegene for risikohåndtering gjennom hele prosjektet, fra konseptfasen til starten på driftsfasen og gir praktisk veiledning til eiere og konsulenter innen identifisering og håndtering av risiko.

Kost-nytte analyse

Kost-nytte analyse kan benyttes for å velge den beste eller mest lønnsomme løsningen ved å veie de totale forventede kostnadene mot den totale forventede nytten. Analysen er en implisitt del av mange risikoevalueringssystemer. Analysen kan være kvalitativ eller kvantitativ eller involvere en kombinasjon av kvantitative og kvalitative elementer. Kvantitativ kost-nytte analyse forener pengeverdien av alle kostnader og alle nytter for alle interessenter som er omfattet av analysen. Kostnader og nytte kan inntreffe i ulike tidsrom og omregnes derfor til netto nåverdi. Netto nåverdi blir en input til risikobeslutninger. En positiv netto nåverdi forbundet med en handling, vil normalt medføre at handlingen gjennomføres. Imidlertid, hvis risikoen innebærer menneskelige eller miljømessige konsekvenser må også kriterier for risikoaksept benyttes; ikke bare en ren kost-nytte analyse.

Kost-nytte analyser kan benyttes for å velge mellom ulike alternativer som involverer risiko, for eksempel:

- Som grunnlag for en avgjørelse om et tiltak bør implementeres
- For å differensiere mellom tiltak og avgjøre hvilket tiltak som bør implementeres
- For å velge mellom ulike handlinger/fremgangsmåter

Multikriterie beslutningsanalyse

Formålet med multikriterie beslutningsanalyse er å benytte en rekke kriterier for en objektiv og åpen vurdering av alternativer. Det overordnede målet er å lage en rangering av de ulike alternativene. I analysen utvikles en matrise av alternativer og kriterier som rangeres og forenes for å gi en samlet scoreverdi for hvert alternativ.

Multikriterie beslutningsanalyse kan brukes til å

- Sammenlikne alternativer og identifisere hensiktsmessige og uhensiktsmessige alternativer i en initiell analyse
- Sammenlikne alternativer der det er flere og noen ganger motstridende kriterier
- Oppnå konsensus i en beslutning hvor de ulike interessenter har motstridende målsetting eller verdier

4 RISIKOVURDERINGER FOR UTGRAVINGER

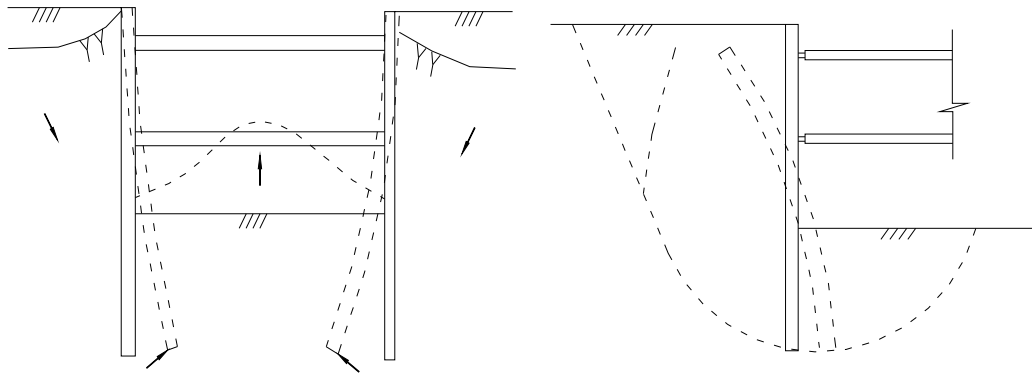
Dette kapitlet beskriver problemstillinger knyttet til utgravinger som bør vurderes ved risikobetraktninger, for eksempel i form av sannsynligheter for at de aktuelle situasjonene kan oppstå, og eventuelle konsekvenser av dette.

4.1 Problemstillinger

4.1.1 Større potensielt uønskede hendelser knyttet til utgravingsprosesser

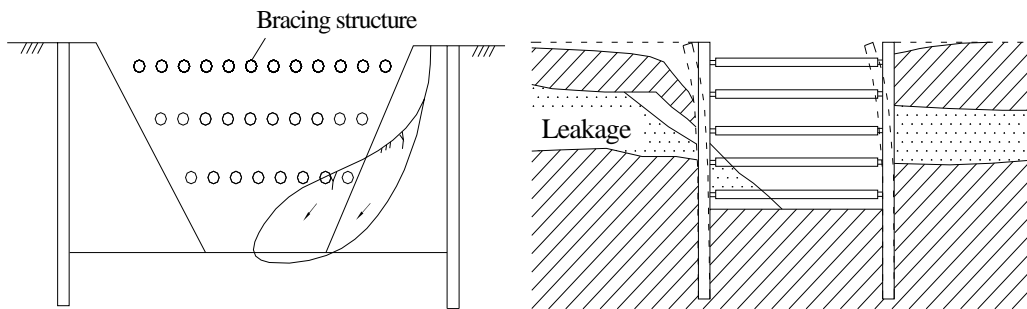
Sentrale farlige hendelser ved utgravinger er:

- 1) Deformasjoner av byggegrop: det oppstår når veggene i en utgravning kollapser, og er anerkjent som den største risiko-hendelsen ved utgravinger. Årsakene til deformatjonene kan være: grunnbrudd (fig 2 (a)), svikt av stag (bracing structure) (fig 2 (b)), internt ustabile graveskråninger (figur 2 (c)), lekkasje inn i byggegropa (figur 2 (d)), hydraulisk grunnbrudd (figur 2 (e)) og oversvømmelse i byggegropen (Fig 2(f)).



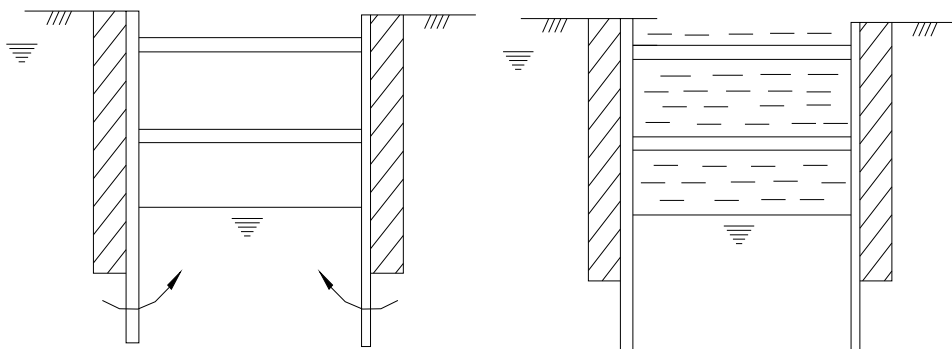
(a) Grunnbrudd

(b) Svikt av stag



(c) Internt ustabile graveskråninger

(d) Lekkasje inn i byggegroppa

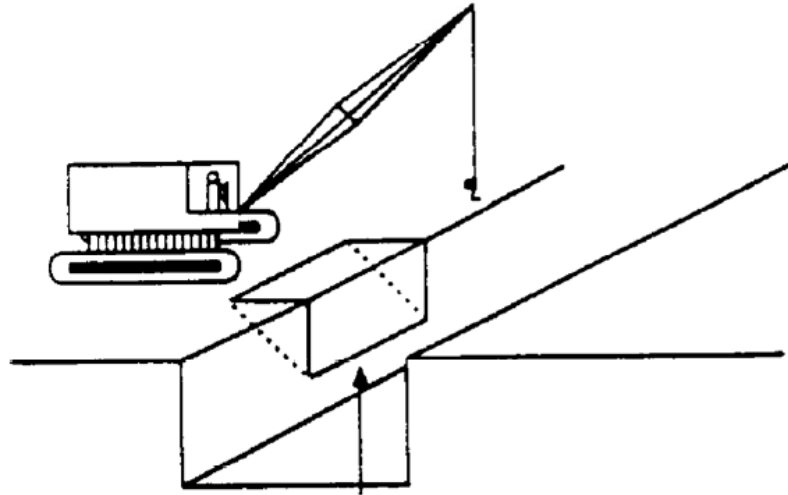


(e) Hydraulisk grunnbrudd

(f) oversvømmelse i byggegroppen

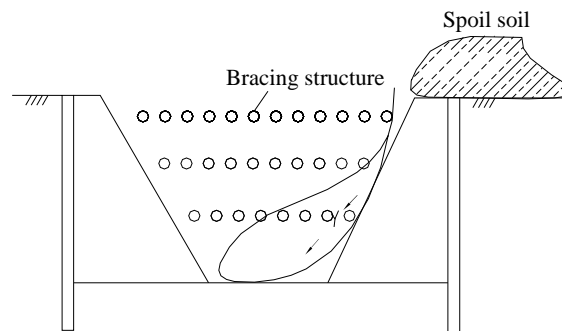
Figur 2 Årsaker til kollaps av byggegroper

- (1) Trafikkering med tunge maskiner nær kanten av utgravningen kan føre til deformasjoner eller kollaps



Figur 3 Deformasjoner eller jordkollaps forårsaket ved å flytte kran

- (2) Kollaps av nærliggende jord (spoil soil)



Figur 4 Kollaps av nærliggende jord (spoil soil)

4.1.2 Potensielt uønskede hendelser av mindre omfang

I tillegg til forhold som går på stabilitet av byggegrop, beskrevet over, kan også følgende uønskede hendelser være aktuelle å analysere:

Mindre uønskede hendelser (Håndbok 016; Statens vegvesen):

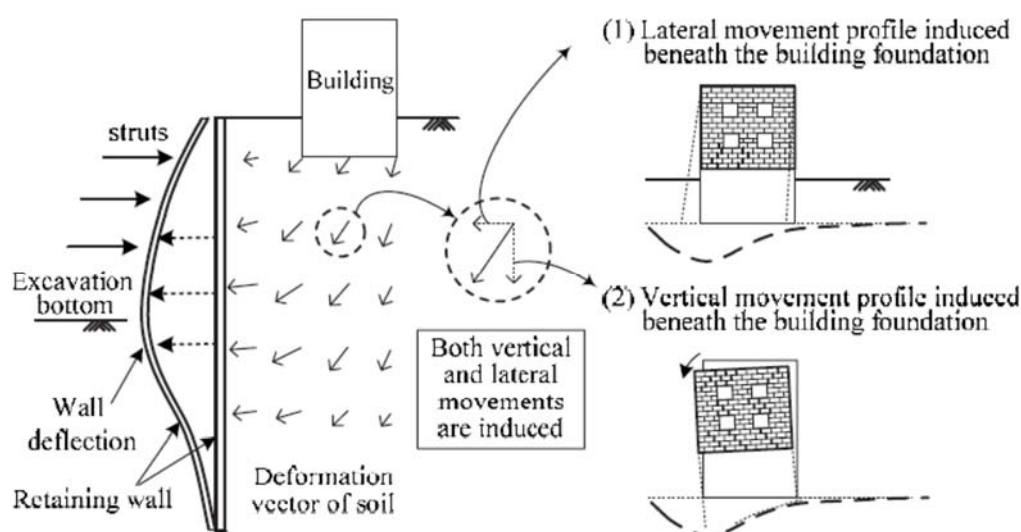
- Bortfall av stag (puter skal dimensjoneres for stagbortfall)
- Forankringer kommer i konflikt med tilstøtende bygninger, ledninger, grøfter eller liknende

3. partskonsekvenser: Forhold som kan føre til ødeleggelse eller skader av selve byggegropa eller bygninger rundt byggegrop (Schuster et al. 2009):

- Vertikale forskyvninger - Setninger
- Horisontale forskyvninger
- Endrede drenasjebetingelser

Det er ikke minst dette punktet som er hovedfokus for BegrensSkade prosjektet.

Figur 5 illustrerer effekter av utgraving på omkringliggende bygninger.



Figur 5 Skjematisk fremstilling av utgravingseffekter (Schuster et al. 2009)

Uønskede hendelser som skal analyseres innebærer at det oppstår større deformasjoner enn det som er forventet, og som er i en slik størrelsesorden at det vil få konsekvenser for selve utgravingen eller for byggverk i nærheten av utgravingen. De videre delkapitlene beskriver hvilke deformasjoner som kan forventes og sannsynligheten for at det oppstår uventet store deformasjoner.

4.2 Risikoteori for utgravinger

4.2.1 Probabilistiske analyser for utgravinger

Tidligere studier for å vurdere stabiliteten til utgraving er blitt foretatt ved bruk av ulike metoder. Terzaghi (1943) brukte grenselikevekt-metoden for å utføre stabilitetsberegning for utgravinger. En videre diskusjon av problemet med å beregne bæreevnen av dype fundamenter ble gitt av Skempton (1951). Bjerrum og Eide (1956) innførte en fremgangsmåte for å anslå sannsynligheten for at en feil i en utgraving i leire skulle skje via beregning av sikkerhetsfaktor. Denne ble testet ved fjorten utgravninger i Norge. Imidlertid kan spredningen av de beregnede sikkerhetsfaktorer for noen av utgravningene i disse studiene tyde på svært varierende grad av usikkerhet, inkludert usikkerhet i jordegenskaper, målefeil og metodeusikkerhet. En rekke forskere (f.eks Lacasse 1999) har vist at sikkerhetsfaktoren gir bare en delvis fremstilling av den virkelige sikkerhetsmargin, da usikkerheten i

analyseparametere påvirker sannsynligheten for svikt. En alternativ og populær metode som har blitt brukt for å vurdere risikoen for svikt er pålitelighetsteorien. Duncan (2000) viser til at bruk av sikkerhetsfaktor og pålitelighetsteori kan brukes sammen, som komplementære tiltak. Eksempler på anvendelser av pålitelighetsbasert teori for å vurdere stabiliteten av utgravninger er gitt i Phoon et al. (2000), Goh et al. (2008), Wang og Kulhawy (2008), Luo et al. (2011) og Wu et al. (2012).

4.2.2 Konsekvensanalyser i forbindelse med utgravninger

EU-kommisjonen i sin Staff Working Paper på risikovurdering og kartlegging - Retningslinjer for Disaster Management (EC, 2010) presenterte tre typer konsekvenser:

(1) Menneskelig skade: inkludert antall dødsfall, antall alvorlig skadde eller syke mennesker, og antallet permanent fordrevne mennesker;

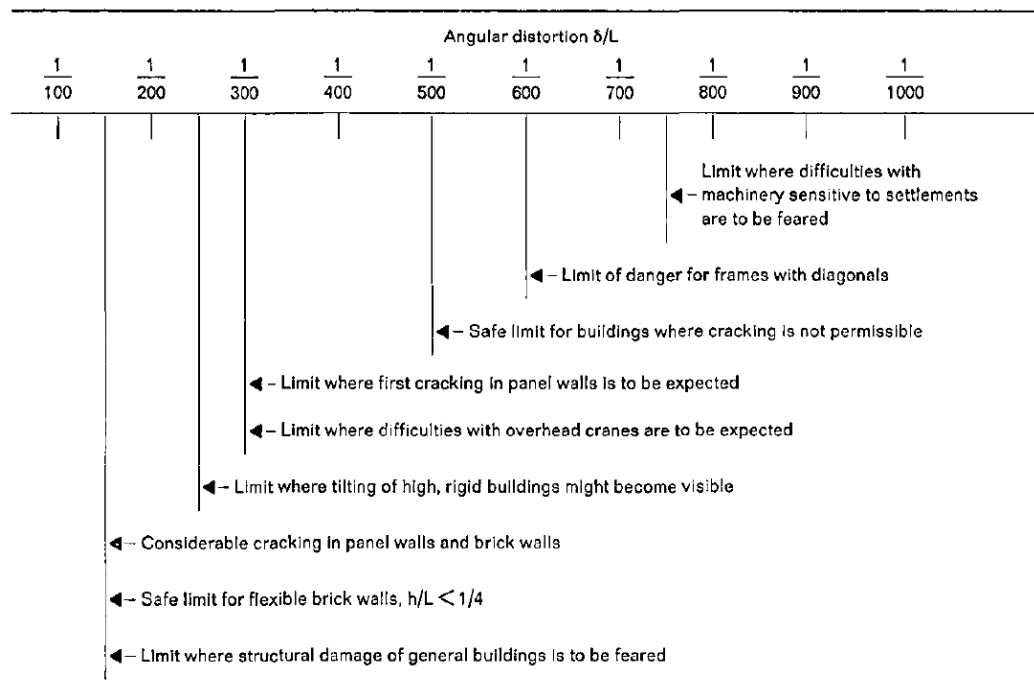
(2) Økonomisk og miljø tap: summen av kostnadene ved kur eller helsetjenester, kostnaden for umiddelbar eller langsiktige nødtiltak, utgifter til restaurering av bygninger, offentlige transportsystemer og infrastruktur, eiendom, kulturarv, etc., kostnader ved miljø restaurering og andre miljøkostnader (eller miljøskader), kostnader ved avbrudd av økonomisk aktivitet, verdien av forsikringsutbetalingene, indirekte kostnader på økonomien, indirekte sosiale kostnader, og andre direkte og indirekte kostnader, som er relevant;

(3) Politiske / sosiale konsekvenser: deriblant kategorier som offentlig raseri og angst, inngrep av territoriet, krenkelse av den internasjonale posisjon, brudd på det demokratiske systemet, og sosial psykologisk effekt, innvirkning på offentlig orden og sikkerhet, politiske implikasjoner, psykologisk implikasjoner, og skader på kulturverdier, og andre faktorer som anses viktig som ikke kan måles i enkle enheter, for eksempel enkelte miljøskader.

Skade på bygninger

Bygninger som grenser til en utgravning kan bli skadet når differensialsetninger forårsaket av utgravningen er større enn den tillatte differensialsetningen av bygningene. Estimering av setningene rundt en utgravning blir dermed en viktig oppgave.

I praksis blir totale setninger forårsaket av utgravningen, og vinkelendring (setningsforskjellen mellom punkter fordelt over deres horisontal avstand fra hverandre), ofte brukt som indikatorer for estimering av skadepotensialet av bygninger i nærheten av en utgravning. Empiriske og semi-empiriske metoder kan benyttes for å estimere setninger i nærheten av en utgravning. Bjerrum (1963) definerte typer av skade som kan forventes for forskjellige verdier av vinkelendring etter Skempton og MacDonald (1956), som vist i fig. 6. Etter det har mange studier (Peck 1969; Bowles 1988;. Ou et al 1993) bidratt til utviklingen av empirisk og semi-empirisk analyse. Det vises for øvrig til separat rapport i BegrensSkade prosjektet som inneholder vurderinger av skadegrenser (DP2 – Vurdering av skader og deformasjoner knyttet til utførelse av stagforankring og borede peler i byggegrøper).



Figur 6 Skadekriterier

Videre er elementmetoden ofte brukt til å modellere komplekse jord-struktur interaksjonsproblemer som for eksempel ved avstivete utgravninger. Selve utbøyningen av den avstivete veggen kan generelt forutsies godt ved hjelp av en rutinemessig FEM-analyse. Beregningene av overflatesetninger er derimot normalt vanligvis ikke så nøyaktig (Whittle og Hashash 1994; Hsieh, og Ou 1998). Kung et al. (2007) presenterte en semi-empirisk modell, kalt KJHH modellen, basert på en database av 33 cases og resultatene av et stort antall godt kalibrert FEM-analyser. KJHH modellen viste gode resultater. Videre har mange studier (Hsiao et al 2008; Schuster et al 2008; Juang et al 2011) jobbet med utvikling av sannsynlighetsanalyse for å vurdere skadepotensialet av bygninger.

Finno og Bryson (2002) oppsummerer resultater av empiriske studier som relaterer skade på bygninger til bevegelser i grunnen fra egenvekt setninger. Disse er vist i Tabell 3. Vinkelendring β (angular distortion) er definert som forskjellen i setning mellom to punkt dividert med avstanden mellom dem minus fast legeme helling av strukturen. Relativ nedbøyning (Δ/L) er forholdet mellom nedbøyning og lengden av den nedbøyde delen.

Tabell 3 Kriterier for skade forårsaket av egen-vekt setninger

Bygningstype eller element	Skadebeskrivelse	Kriterie
Panelvegger i rammeverkskonstruksjon	Strukturell skade (a)	$\beta = 1/150$
	Grense for sprekke dannelse (b)	$\beta = 1/300$
Ingen sprekker i bygningen	Ingen skader (a)	$\beta = 1/500$
Ikke-forsterkede bærende vegger	Grense for sprekke dannelse (c)	$\beta = 1/500$
Bærende mursteins eller betongblokk vegger	Grense for sprekke dannelse (d)	$\beta = 1/500$

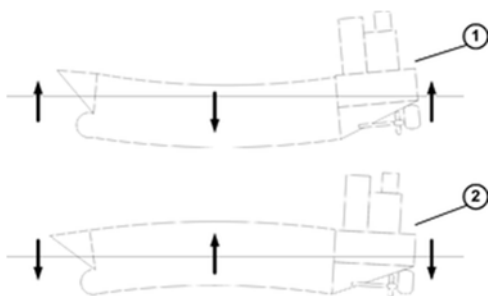
(a) Bjerrum (1963)

(b) Skempton and McDonald(1956)

(c) Meyerhoff(1956)

(d) Tolshin and Polkar (1957)

Burland og Wroth (1974) utviklet grenser for relativ nedbøyning av mur og mursteinsvegger for ulike lengde-høyde forhold og bygningsstivheter. De skilte mellom utbøyningsprofilene hogging og sagging. Hogging beskriver for eksempel en bjelke som buer oppover i midten, og sagging er når den buer nedover på midten.

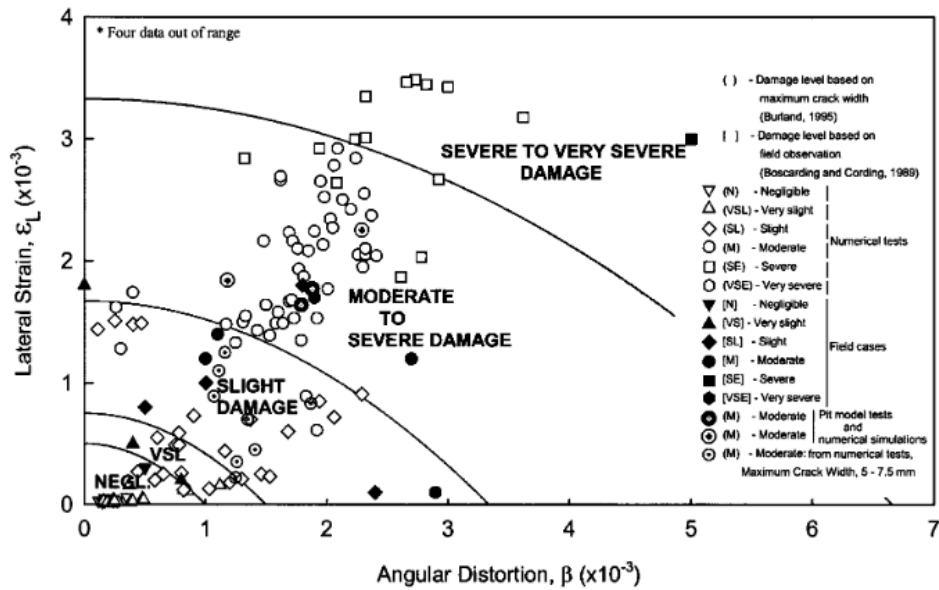


Figur 7 Illustrasjon av sagging (1) og hogging (2)

Kravene til maksimal deformasjon kan være strengere for hogging-profiler (for eksempel i Canadian Foundation Engineering Manual (1992), da disse hovedsakelig fremkommer ved bevegelser induisert av utgravingsprosesser. Burland et al. (1977) utviklet et sprekkestørrelsekriterie for vurdering av bygningsskade.

Boscardin og Cordin (1989) utvidet dette konseptet ved å utvikle deformasjonskriterier for bygninger nær utgravninger ved hjelp av de horisontale tøyningene. De definerte kategorier av skader, basert på kombinasjon av vinkelendring (angular distortion) og horisontale tøyninger og sammenliknet med rapporterte tilfeller av skader beregnet etter deres klassifikasjonssystem. Effekten av horisontale tøyninger avhenger av den laterale stivheten av strukturen. Boone (1996) foreslo å vurdere skader ved å vurdere stivhet i bygningsseksjoner, type bevegesprofil i grunnen, lokalisering av bygningen i forhold til dette profilet, grad av glatthet "slip" mellom grunnen og fundamenteringen og bygningskonfigurasjoner. De brukte sprekkestørrelse som indikator på alvorlighetsgrad av skaden og definerte alvorligheten i form av strekktøyninger fra bøyning, forlengelse av grunnen og direkte laterale utvidelser.

Son og Cording (2005) vurderte bygningsskadenivået ved hjelp av sprekkestørrelsekriteriet utviklet av Burland et al. (1977). Skadenivåene gikk fra neglisjerbar (lavest) til veldig alvorlig (høyest). Definisjonen av skadenivåene er vist i Figur .



Figur 8 Karakterisering av utgravingsindusert bygningskade (Son og Cording, 2005)

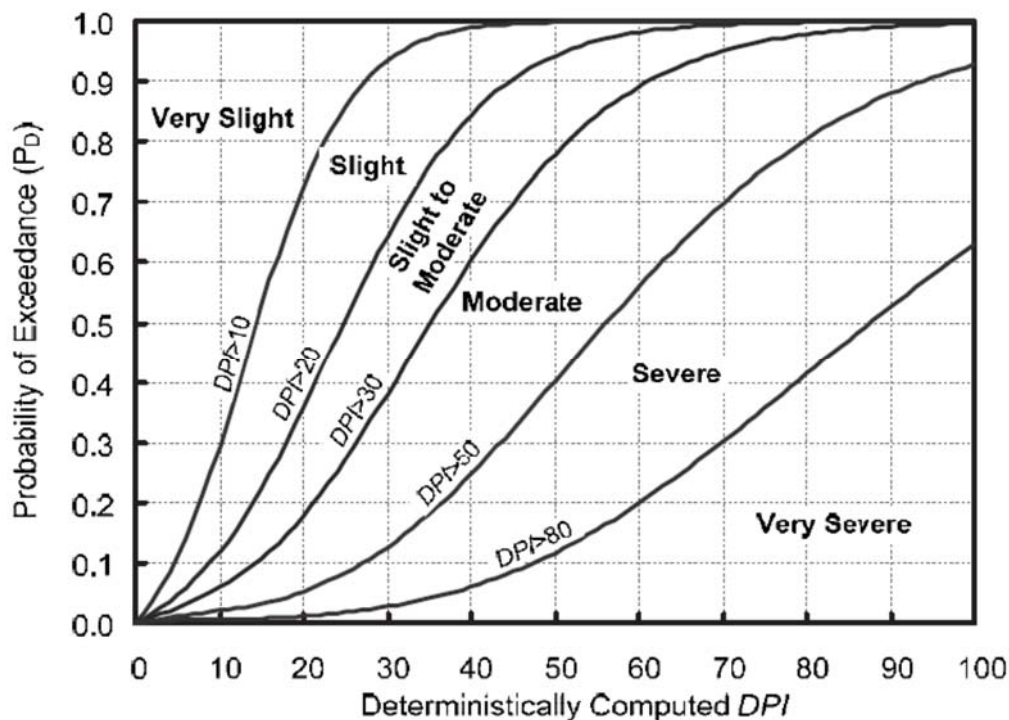
Schuster et al. (2008) utviklet en forenklet metode for å beregne skadepotensialindeks, kalt DPI (Damage Potential Index). DPI kan utregnes ved hjelp av formlene:

$$DPI = \frac{100\epsilon_p}{1/200}$$

$$\epsilon_p = \epsilon_l(\cos\theta_{max})^2 + \beta(\sin\theta_{max})(\cos\theta_{max})$$

Der β er vinkelendring ϵ_l er lateral tøyning og $\theta_{max} = (1/2)\tan^{-1}(\beta/\epsilon_l)$

Hvis det skal gjøres en detaljert risikoanalyse, må usikkerheter i konsekvensklassifiseringen også inkluderes. Schuster (2009) utviklet en metode for probabilistisk vurdering av bygningskadepotensial for utgravingsprosesser, der usikkerheter i DPI er inkludert. Denne er vist i Figur 9.



Figur 9 Forenklet diagram for bygnings skade sannsynlighet forårsaket ved utgravings prosesser. (Schuster et al. 2009)

Politiske/samfunnsmessige konsekvenser

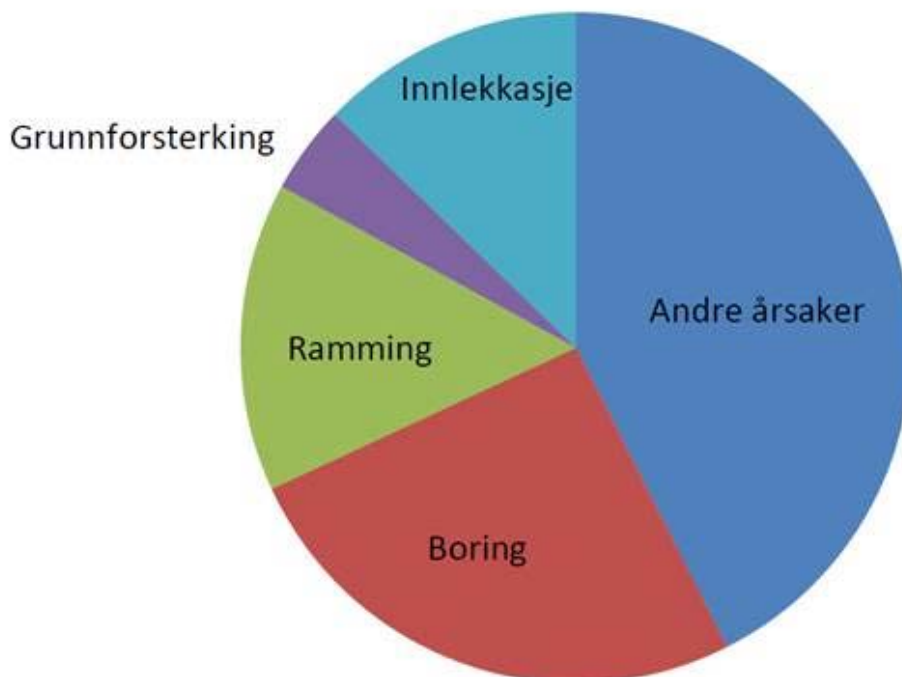
Politiske / samfunnsmessige konsekvenser er vanskelige å vurdere, og ofte også en svært kostbart øvelse. Videre kan betydelig usikkerhet i resultatene forventes. I tillegg er vurderingen av de politiske / sosiale skadene fortsatt en ny øvelse. Men dette betyr ikke at de ikke kan estimeres. Noen studier på politiske / samfunnsmessige konsekvenser omfatter (Hochrainer og Mechler, 2011).

- En analyse av McDaniels og Trousdale (2005) så på mulighetene for å inkludere ikke-markeds verditap som negative virkninger på arealressursene.

- Zhai og Ikeda (2006) estimerte den økonomiske verdien av evakuering.
- Wegner og Pascual (2011) utført en kost-nytte analyse for menneskers velvære.
- Choi et al. (2010) evaluerte den økonomiske verdien av kulturminnene.

4.3 Analyse av skaderapporter fra BegrensSkade Delprosjekter 1 og 2

Av de innkomne sakene som kom inn i tide til å bli behandlet i denne omgang (per november 2014), er det totalt 27 skadetilfeller hvor skadeårsaken er fordelt som vist i figur 10. Flere skadesaker vil bli inkludert i senere revisjoner av rapporten og det er mulig å melde inn saker så lenge prosjektet BegrensSkade løper.



Figur 3 Oversikt over hvordan skadetilfellene fordeler seg på årsak

I kategorien "ramming" inkluderes både ramming og vibrering av spunt og peler. Det er også selve installasjonsprosessen som er årsaken, ikke at en spunt for eksempel beveger seg ved belastning og mobiliserer jorda.

Ut fra det materialet vi har fått tilgang til, tyder det på at bransjen mener at det er spesielt innenfor ramming og boring at det skjer "uforklarlige" skader. Skadeomfanget kan tyde på at bransjen mangler noe på å forstå og håndtere installasjonseffekter av ramming og boring. Ramming og boring er typiske eksempler på operasjoner som har konsekvenser for grunnen som man ikke regner på. I geoteknisk analyse tas som utgangspunkt uforstyrrede grunnforhold før grunnarbeid startes. Videre etableres en regnemodell hvor konstruksjonselementer som stag, peler og spunt antas installert uten å påvirke grunnen. Med disse antagelsene regnes det på hvordan det forventes at jord og konstruksjon vil oppføre seg gjennom byggeprosessen. Når grunnarbeidene kommer i gang viser det seg i enkelte tilfeller at deformasjoner fra installasjonseffekter av ramming av spunt og peler eller boring av peler og stag blir store, og at det er denne tilleggsdeformasjonen som gjør at de totale deformasjonene fører til at nabobygg får skader. Per i dag er det vanskelig å forutse installasjonseffekten nøyaktig, da den avhenger av både grunnforhold, utstyr/metode og praktisk utførelse/håndlag/erfaring fra utførende.

Det er viktig å bemerke at de 27 sakene analysert her muligens ikke representerer fordelingen av alle skadesaker. Ved innhenting av data var det uttrykt ønske om saker som ble ansett som interessante for prosjektet BegrensSkade, og da spesielt knyttet opp mot installasjonseffekter eller effekter av metodene som benyttes. Det finnes en rekke andre årsaker til skader som dermed ikke nevnes, som for eksempel feilprosjektering, manglende prosjektering, utførelsesfeil, slurv og uvitenhet. Vi har allikevel fått inn noen slike tilfeller som er samlet under kategorien "andre årsaker". Det er grunn til å tro at dersom skader med alle typer årsaker ble rapportert ville denne kategorien være mye større og være verdt en studie i seg selv.

I tillegg til disse 27 skadetilfellene er det 11 innrapporterte tilfeller som karakteriseres som vellykkede takket være "Spesielle tiltak". Antallet er for lite til at det kan gi statistisk grunnlag for å vurdere viktighet at ulike former for spesielle tiltak, men et fellestrekk for disse vellykkede prosjektene, tross krevende fundamenteringsforhold, er en felles forståelse av prosjektets utfordringer og god kommunikasjon og samhandling mellom aktørene: byggherre, rådgiver og entreprenør.

5 REFERANSER

Arboleda, C. A., Abraham, D. M., Wirahadikusumah, R. et al. (2002) Analysis of trench-related fatalities in construction and development of intervention strategies. Proceeding of first international conference on construction in the 21st century. Miami, Florida, USA.

Aven, T. and O. Renn (2010) Risk management and governance. Concepts, guidelines and applications. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010

Bian, Y. H. (2006) Selection of supporting system of deep excavations in soft soil area based on risk analysis. PhD dissertation submitted to Tongji University. September 2006. 198 p (in Chinese)

Bjerrum, L. (1963) Allowable settlements of structures. Proceedings of 3rd European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Wiesbaden, V3, pp. 135-137.

Bjerrum, L. and Eide, O. (1956) Stability of strutted excavations in clay. *Geotechnique*. V6, 1, pp. 32-47.

Boscardin, M. D., and Cording, E. J. (1989). "Building response to excavation-induced settlement." *J. Geotech. Eng.*, 115(1), 1–21.

Boone, S. J. (1996). "Ground-movement-related building damage." *J. Geotech. Eng.*, 122(11), 886–896.

Bowles, J. E. (1988) Foundation analysis and design, 4th Ed., McGraw-Hill, New York.

Burland, J. B., Broms, B. B. & De Mello, V. F. B. (1977). Behaviour of foundations and structures: state-of-the-art report. Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engng, Tokyo, 495–546.

Burland, J. B., and Wroth, C. P. (1974). "Settlement of buildings and associated damage," *Proc., Conf. on Settlement of Structures*, Cambridge, 611– 654.

Choi, A. S., Ritchie, B. W., Papandrea, F. et al. (2010) Economic valuation of cultural heritage sites: a choice modelling approach. *Tourism Management*, V31, 2, pp. 213-220.

Christian, JT (2004): Geotechnical engineering reliability: How well do we know what we are doing? , *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 130 (10): 985-1003, DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:10(985).

Duncan, J. M. (2000) Factors of safety and reliability in geotechnical engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE. V126, 4, pp. 307-316.

EC (2010) Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management. Commission Staff Working Paper, SEC, 1626 final.

Eskesen, S. D., Tengbord, P., Kampmann, J., et al. (2002) Guidelines for Tunnelling Risk Management. 40 p.

Finno, R. J. and Bryson, L. S. (2002) Response of Building Adjacent to Stiff Excavation Support, System in Soft Clay, *J. Perform. Constr. Facil.* 16:10-20.

Goh, A. T. C., Kulhawy, F. H. and Wong, K. S. (2008) Reliability assessment of basal-heave stability for braced excavations in clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE. V134, 2, pp. 145-153.

Hinze, J. and Bren, K. (1997). The causes of trenching related fatalities and injuries." Proceedings of Construction Congress V: Managing Engineered Construction in Expanding Global Markets, Editor: Stuart D. Anderson, ASCE, pp. 389-398.

Hochrainer, S. and Mechler, R. (2011) Development and testing of models for assessment of tangible and intangible losses, Deliverable D5.3. New methodologies for multi-hazard and multi-risk assessment methods for Europe (MATRIX), contract No. 265138.

Hsiao, E. C. L., Schuster, M., Juang, C. H. et al. (2008) Reliability analysis and updating of excavation-induced ground settlement for building serviceability assessment. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE. V134, 10, pp. 1448-1458.

Hsieh, P. G., and Ou, C. Y. (1998) Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation. Can. Geotech. J., V35, 6, pp. 1004-1017.

Håndbok 016, Geoteknikk i vegbygging, Juni 2010, tilgjengelig på:
www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker

ISO 31000 (2009) Risk management - Principles and guidelines. International Standard, 2009-11-15.

ISO 31010 (2009) Risk management - Risk assessment techniques. International Standard, 2009-12-01.

Juang, C. H., Schuster, M., Ou, C. Y., et al. (2011) Fully probabilistic framework for evaluating excavation-induced damage potential of adjacent buildings. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE. V137, 2, pp. 130-139.

Kung G. T. C., Juang, C.H., Hsiao, E. C. L. et al. (2007) Simplified model for wall deflection and ground-surface settlement caused by braced excavation in clays. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE. V133, 6, pp. 731-747.

Lacasse, S. (1999) The importance of dealing with uncertainties in foundation analysis. Proceedings of European Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Amsterdam, Netherlands, pp. 385-392.

Luo, Z., Atamturktur, S., Juang, C. H. et al. (2011) Probability of serviceability failure in a braced excavation in a spatially random field: fuzzy finite element approach. Computers and Geotechnics, V38, pp. 1031-1040.

McDaniels, T. and Trousdale, W. (2005) Evaluating Losses of Traditional Native Values With Multi-attribute Value Assessment. Ecological Economics, V55, 2, pp. 173-186.

Meyerhoff, G. G. (1956). "Discussion of 'The allowable settlements of buildings', by A. W. Skempton and D. H. MacDonald," *Proc., Institute of Civil Engineers*, Part II, Vol 5, 774.

OSHA (2007)

https://www.osha.gov/dea/lookback/excavation_lookback.html

Ou, C. Y., Hsieh, P. G., and Chiou, D. C. (1993) Characteristics of ground surface settlement during excavation. Can. Geotech. J., V30, 5, pp. 758-767.

Peck, R. B. (1969) Deep excavation and tunneling in soft ground. Proc., 7th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, Mexico, pp. 225-290.

Phoon, K. K., Kulhawy, F. H., Grigoriu, M. D. (2000): Reliability-based design for transmission line structure foundations, *Computers and Geotechnics* 26, 169-185.

Polshin, D. E., and Tokar, R. A. (1957). "Maximum allowable non-uniform settlement of structures," *Proc., 4th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, London, Vol. 1, 402– 405.

Rausand, M. and I.B. Utne (2009). *Risikoanalyse – teori og metoder*. Tapir akademisk forlag, 2009

Schuster M. J., Juang, C. H., Roth, M. J. S. et al. (2008) Reliability analysis of building serviceability problems caused by excavation. *Geotechnique*, V58, 9, pp. 743-749.

Schuster M. J., Kung G T-C; Juang C. H. and Hashash Y. M. A. (2009) Simplified Model for Evaluating Damage Potential of Buildings Adjacent to a Braced Excavation

Skempton, A. W. (1951) The bearing capacity of clays. *Bldg Res. Cong.*, London, 1951. Papers presented in Div. I, 180-189.

Skempton, A. W. and Macdonald, D. H. (1956) The allowable settlements of buildings. *ICE Proceedings: Engineering Divisions*, V5, 6, pp. 727-768.

Son, M., and Cording, E. J. (2005). "Estimation of building damage due to excavation-induced ground movements." *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 131(2), 162–177.

Terzaghi. K. (1943) *Theoretical soil mechanics*. Wiley, New York.

Wang, Y. and Kulhawy, F. H. (2008) Reliability index for serviceability limit state of building foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE. V134, 11, pp. 1587-1594.

Wegner, G. and Pascual, U. (2011) Cost-benefit analysis in the context of ecosystem services for human well-being: A multidisciplinary critique. *Global Environmental Change*. Elsevier Ltd. Retrieved from .

Whittle, A. J., Hashash, Y. M. A., and Whitman, R. V. (1993) Analysis of deep excavation in Boston. *J. Geotech. Engrg.*, V119, 1, pp. 69-90.

Wu, S. H., Ou, C. Y., Ching, J. Y. et al. (2012) Reliability-based design for basal heave stability of deep excavations in spatially varying soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE. V138, 5, pp. 594-603.

Zhai, G. and Ikeda, S. (2006) Flood Risk Acceptability and Economic Value of Evacuation. *Risk Analysis*, V26, pp. 683-694.

Zhou, H. B. and Zhang, H. (2011) Risk assessment methodology for a deep foundation pit construction project in Shanghai, China. *Journal of Construction Engineering and Management*. ASCE. V 137, 12, pp.1185-1194