



Etablering av dekningsrom rundt definerte nøkkelobjekter

En byggteknisk tilnærming

Mats Myrholt og Steinar Oma

Kull 1619, Garben

Militær bygg- og anleggsteknikk

Bacheloroppgave

Krigsskolen

2019

UGRADERT

TITTEL: <i>ETABLERING AV DEKNINGSROM RUNDT DEFINERTE NØKKELOBJEKTER</i>	
UTFØRT VED: <i>KRIGSSKOLEN</i>	RAPPORTNR:
OPPDRAKSGIVER:	
PROSJEKTDELTAKERE: <i>STEINAR OMA</i> <i>MATS LIEN MYRHOLT</i>	PROSJEKTPERIODE: <i>FRA: 2019-02-13</i> <i>Til: 2019-04-26</i>
VEILEDERE: INTERN VEILEDER: <i>PETER BRANDSÆTER</i> EKSTERN VEILEDER: <i>KJERSTI BRATTEKÅS</i>	ANTALL SIDER: <i>HOVEDDOKUMENT: 91</i> <i>VEDLEGG: 66</i>
EKSTRAKT: <p>Studien gjennomfører en overordnet sikringsrisikovurdering for å avdekke relevante trusler mot dekningsrom i nytt sonekonsept. Deretter dimensjoneres bærekonstruksjonen i et dekningsrom mot et utvalg av våpenvirkningene. Dekningsrommet sikres mot indirekte treff med konvensjonelle presisjonsvåpen ved dimensjonering mot eksplosivlast, brann og progressiv kollaps av bygget.</p> <p>Stikkord: Dekningsrom, sonekonsept, beskyttelse av sivile, eksplosivlast, progressiv kollaps</p> <p>Keywords: Shelter, zones, protection of civilians, explosive load, progressive collapse</p>	
GRADERING: <i>UGRADERT</i>	
OMSLAGSBILDE: <i>FORSVARETS HØGSKOLE - KRIGSSKOLEN</i>	
GODKJENT:	
<i>LINDERUD:</i> _____	_____
<i>DATO</i>	<i>VEILEDER</i>

Forord

Studien er gjennomført som hovedoppgave for bachelor i ingeniørfag med fordypning i militær bygg- og anleggsteknikk ved Krigsskolen.

Problemstillingen ble introdusert av Forsvarsbygg og valgt fordi den belyser et interessant tema som har samfunnsmessig verdi for beskyttelse av sivile. Dagens samfunn er sårbart og tanken om at krise og krig kun er noe som påvirker andre mener vi står sterkt i Norge. Vi håper derfor denne studien kan gi beslutningsgrunnlag og rette fokuset mot å innføre nye beskyttelsestiltak.

Arbeidet er en god læringsarena for å videreutvikle kunnskapene innenfor fagfeltet militær bygg- og anleggsteknikk. Emneplanen for faget definerer kunnskapskrav for dimensjonering av konstruksjoner, men den definerer også de to kunnskapskravene: «analyse av et trusselbilde for å finne risiko og sårbarheter» og «planlegge og beskrive sikring og beskyttelse av militær infrastruktur og personell» (Krigsskolen, 2016). For militære ingeniører er det derfor særlig relevant å vurdere en byggt teknisk tilnærming basert på en analyse av et trusselbilde.

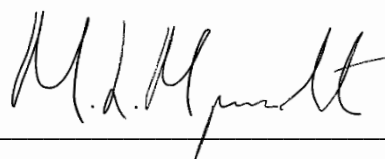
Vi har hatt særlig utfordring med dimensjonering mot våpenvirkningene. Gode kilder fra både norsk og svensk forsvarsforskning har derfor vært avgjørende i dette arbeidet.

Vi ønsker å takke alle som har støttet oss i arbeidet med studien. En ekstra stor takk rettes til Peter Brandsæter som har vært vår hovedveileder. Tusen takk til Kjersti Brattekkås, fra FFI, som ekstern veileder og til Eirik Svinsås, FFI, som har støttet oss med sin forståelse for våpenvirkningene. Avslutningsvis vil vi takke Bård Karlsen, fra Forsvarsbygg, som introduserte temaet for oss og har vært til særdeles god hjelp underveis i arbeidet.

Oslo, 26. april 2019



Steinar Oma



Mats Lien Myrholt

Sammendrag

Sivile har etter Genèvekonvensjonene krav på beskyttelse mot virkninger av en væpnet konflikt. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) gjennomførte i 2017 en konseptutredning hvor behovet for sivilbeskyttelse ble drøftet. Utredningen konkluderte med at dagens beskyttelseskonsept bestående av tilfluktsrom, varsling og evakuering fortsatt er relevant, men har behov for utvikling og modernisering. Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) har i prosjektprogrammet *Beskyttelse av samfunnet* konkludert med at tilfluktsrom, varsling og evakuering utgjør den eneste troverdige beskyttelsen som sivile har krav på under en væpnet konflikt. Dagens tilstand på eksisterende tilfluktsrom er svært dårlig grunnet manglende vedlikehold. På bakgrunn av dette samt dagens sikkerhetspolitiske situasjon, anbefaler DSB å se på utviklingen av mindre og lettere dekningsrom med kort vei til sikkerhet.

DSB anbefaler at nye beskyttelsestiltak etableres i henhold til et sonekonsept. Sonekonseptet spesifiserer soner rundt definerte nøkkelobjekter som er selve målet for en trusselaktør. Hvilke virkninger som er relevante for etableringen vil derfor drøftes innledningsvis i studien. På bakgrunn av dette besvares problemstillingen:

Med utgangspunkt i utvalgte trusselscenarier, hvordan kan et dekningsrom rundt et definert nøkkelobjekt i Oslo utformes?

Studien drøfter mulige trusler i flere scenarier og presenterer fremgangsmåter for prosjektering av generiske dekningsrom basert på disse scenariene. Deretter gjør studien et utvalg, basert på en sikringsrisikovurdering, som dekningsrommet dimensjoneres for. Dette innebærer dimensjonering mot en trykkbølge fra 450 kg TNT på 20m, brann og progressiv kollaps av bygget. Lastene baseres på konsekvensen av angrep med en teoretisk våpenlast tilsvarende et langtrekkende presisjonsmissil.

I scenarioklassen «begrenset angrep» mot nøkkelobjekter i Oslo, vil et dekningsrom redusere risikoen for sivile betraktelig. Nødvendig konstruksjon for å oppnå redusert risiko er beskrevet med tegninger og beskrivelsestekst med prisoverslag.

Summary

According to the Geneva Convention civilians should be protected from the effects of armed conflicts. The Norwegian Directorate for Civil Protection (DSB) conducted a concept study in 2017 where the need for civilian protection was discussed. The study concluded that the concept of protection containing shelters, warning systems and evacuation are still relevant, but in need of development and modernization. The Norwegian Defence Research Establishment (FFI) has in their program *Protection of the society* concluded with that shelter, warning and evacuation compose the only credible protection civilians entitles during an armed conflict. Today's state of existing shelters is bad due to poor maintenance. Based on this and today's security policy, the Directorate recommended looking at developing new smaller and lighter shelters with rapid access to safety.

The smaller shelters will not be built to resist direct impact and will not be available for the entire population, but for those within a zone concept. The zone concept specifies zones around key objects that could be targets for a potential threat actor. What effects should be considered relevant for the shelters will be discussed in the study. With this background the study answers the following question:

Based on selected threat scenarios; how could a shelter in the vicinity of a key object in Oslo be designed?

The thesis discusses potential threats in multiple scenarios and based on those present an approach for establishing a generic shelter. Then the study selects threats, which the shelter is designed to withstand, based on a security assessment. This includes protection against shock waves, progressive collapse and fire. The loads are based on the consequence of an assault using a theoretical weapon load equivalent to a long-range precision missile.

The shelters reduce the risk for civilians in the scenario "limited assault" against key objects in Oslo. The necessary construction to withstand this is described with drawings and a description text with cost estimates for establishing the shelter.

Forkortelser

BAS	Beskyttelse av samfunnet
CBRN	Chemical, Biological, Radiological and Nuclear
CSIS	Center for Strategic and International Studies
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
EMP	Elektromagnetisk puls
FAE	Fuel Air Explosives
FFI	Forsvarets forskningsinstitutt
HPM	High Power Microwave
IKT	Informasjons- og kommunikasjonsteknologi
INF	Intermediate-Range Nuclear Forces
IS	Den islamske stat
NEI	Netto eksplosivinnhold
NOU	Norges offentlige utredninger
NS	Norsk Standard
NSM	Nasjonal sikkerhetsmyndighet
Pa	Pascal (SI-enhet for måling av trykk)
PST	Politiets sikkerhetstjeneste
TNT	Trinitrotoluen (høyeksplosiv)

Figurliste

Figur 1 Prinsipp nytt sonekonsept.....	11
Figur 2 Trykk/tidsforløp for trykkbølge i luft.....	16
Figur 3 Trykk/tidsforløp av grunnsjokkbølge.....	18
Figur 4 Progressiv kollaps	20
Figur 5 Rekkevidde på Russiske mellomdistansemissiler fra Kola-halvøya.....	28
Figur 6 Prinsippdiagram over konsekvensen opp mot avstanden mellom dekningsrommet og nøkkelobjektet.....	30
Figur 7 Fremgangsmåte for prosjektering av dekningsrom i sone II.....	32
Figur 8 Generisk bygg	34
Figur 9 Plantegning dekningsrom.....	35
Figur 10 Spenningsforløpet i et stadium 1 tverrsnitt	36
Figur 11 Spenningsforløpet i et stadium 2 tverrsnitt	36
Figur 12 Spenningsforløpet i et stadium 3 tverrsnitt	36
Figur 13 Eksplosivbelastning mot generisk bygg med dekningsrom i underetasjen.....	40
Figur 14 Konservativ betraktning av eksplosivbelastning.....	40
Figur 15 Konservativ betraktning av eksplosivbelastning mot taket.....	42
Figur 16 Lasttilfelle for raslasten.....	43
Figur 17 Lasttilfellet for ytterveggen.....	44
Figur 18 Enfrihetsgradssystem for vurdering av trykkbølgens lastpåvirkning.....	45
Figur 19 Last og deformasjon for betongstadiene, arbeidet er arealet under grafen	47
Figur 20 Lasttilfelle for taket	52
Figur 21 Lasttilfelle for beregning av krefter i et vilkårlig snitt	54
Figur 22 Spenningsforløp for beregning av rammehjørnet.....	56
Figur 23 Lasttilfellet for rammehjørnet	56
Figur 24 Lasttilfellet ved stripefundamentering og gulv på grunn	57
Figur 25 Nødvendig veggtykkelse og armering for gitte avstander til nøkkelobjektet	64
Figur 26 Prinsippdiagram over restrisikoen opp mot avstanden mellom dekningsrommet og nøkkelobjektet.....	69

Tabelliste

Tabell 1 Russiske konvensjonelle kort- og mellomdistansemissiler (CSIS, 2018)	27
Tabell 2 Oppsummering scenarioklasser og mulige trusler, med valgt trusseltype	33
Tabell 3 Valgte materialer og tilhørende materialfaktorer	38
Tabell 4 Lastfaktorer i ulykkestilstand	38
Tabell 5 Permanente laster	39
Tabell 6 Variable laster	39
Tabell 7 Sammendrag våpenlaster	42
Tabell 8 Inndata beregning av yttervegg	44
Tabell 9 Inndata beregning av innervegg	50
Tabell 10 Inndata for beregning av tak	51
Tabell 11 Inndata beregning av gulv	55
Tabell 12 Dimensjonerende laster fundament	57
Tabell 13 Resultater fra dimensjonering	58
Tabell 14 Sammenligning raslaster	60
Tabell 15 Sammenligning våpenlaster mot vegg	62
Tabell 16 Sammenligning av krav for utforming av tak	65
Tabell 17 Kostnadsoverslag generisk bygg med dekningsrom	67
Tabell 18 Våpenvirkninger med redusert risiko	70

Innholdsfortegnelse

Forord	II
Sammendrag.....	III
Summary.....	IV
Forkortelser	V
Figurliste	VI
Tabelliste.....	VII
Innholdsfortegnelse.....	VIII
1 Innledning.....	1
1.1 Problemstilling	3
1.2 Avgrensninger og forutsetninger	3
1.3 Disposisjon.....	5
2 Metode.....	6
2.1 Dokumentstudie	6
2.2 Valg av trusler.....	6
2.3 Dimensjonering.....	8
2.4 Kilde- og metodekritikk.....	8
3 Beskyttelseskonsept.....	10
4 Våpensystemer og våpenvirkninger	12
4.1 Kjemiske og biologiske stridsmidler	12
4.1.1 Mottiltak.....	13
4.2 Radiologiske våpen.....	13
4.2.1 Mottiltak.....	14
4.3 Kjernevåpen	14
4.3.1 Mottiltak.....	14
4.4 Elektromagnetiske våpen	15
4.4.1 Mottiltak.....	15
4.5 Konvensjonelle våpen.....	16
4.5.1 Trykkbølger i luft.....	16
4.5.2 Anslag og splintvirkninger.....	17
4.5.3 Grunnsjokk.....	17
4.5.4 FAE-våpen	18

4.5.5	Mottiltak.....	19
4.6	Sekundæreffekter	19
4.6.1	Progressiv kollaps	19
4.6.2	Brann.....	20
4.6.3	Mottiltak.....	21
5	Mulige trusler	22
5.1	Scenarioklasser	22
5.2	Dimensjonerende våpenvirkninger	24
5.2.1	Kjemiske, biologiske og radiologiske våpen	24
5.2.2	Kjernevåpen	25
5.2.3	Elektromagnetiske våpen	26
5.2.4	Konvensjonelle våpen.....	26
5.2.5	Sekundæreffekter	29
5.3	Vurdering av ren risiko	30
5.4	Fremgangsmåte for prosjektering	32
5.5	Valg av trusler.....	32
6	Dimensjonering av mulig løsning	34
6.1	Grunnlag	34
6.1.1	Generisk bygg	34
6.1.2	Oppholdstid.....	35
6.1.3	Materialer.....	35
6.2	Laster.....	38
6.2.1	Permanent last.....	38
6.2.2	Variabel last	39
6.2.3	Våpenlast.....	40
6.2.4	Raslast.....	42
6.3	Bærekonstruksjonen.....	44
6.3.1	Yttervegg.....	44
6.3.2	Innervegg	50
6.3.3	Tak	51
6.3.4	Gulv.....	55
6.3.5	Detaljer.....	55
6.3.6	Fundament.....	57
6.4	Resultater	58
7	Diskusjon av løsning	59
7.1	Fremgangsmåte	59
7.2	Tid.....	59
7.2.1	Oppholdstid.....	59
7.2.2	Klargjøringstid	60

- 7.3 Laster.....60
 - 7.3.1 Raslast.....60
 - 7.3.2 Våpenlast.....61
- 7.4 Bærekonstruksjon63
 - 7.4.1 Innervegg63
 - 7.4.2 Yttervegg.....63
 - 7.4.3 Tak65
 - 7.4.4 Gulv.....66
 - 7.4.5 Detaljer.....66
- 7.5 Pris66
- 7.6 Merverdi i fred67
- 7.7 Øvrige parametere.....68
- 7.8 Restrisiko69

- 8 Konklusjon.....71**
- 9 Videre arbeid.....73**
- 10 Referanser..... I**

- Vedleggsliste VI**

1 Innledning

Genèvekonvensjonene fra 1949 med tilleggsprotokollen fra 1977 beskriver siviles krav på beskyttelse under en væpnet konflikt. Artikkel 51 og 58 i tilleggsprotokollen sier at sivile skal ha generell beskyttelse mot farene som oppstår ved en væpnet konflikt og farene som resultat av militære operasjoner (International Committee of the Red Cross, 1977, s. 265 & 268). Sivil beskyttelse inkluderer blant annet oppgaven med å etablere tilfluktsrom (s. 272).

I dag har Norge om lag 600 offentlige tilfluktsrom og 19 500 private. Tilfluktsrommene har en samlet dekningsgrad for 50 prosent av befolkningen (DSB, 2017, s. 22). Kravet til tilfluktsrommene er at de skal kunne klargjøres i løpet av 72 timer og deretter ha en oppholdstid på inntil seks timer (Forskrift om tilfluktsrom, 1995, §36). Forskriften stiller krav til etablering av tilfluktsrom ved nybygg over 1000m², men utbygger kan etter søknad til kommunen fritas ved å betale en sum til kommunen for opprusting av offentlige anlegg (§13). I 1998 innførte Stortinget en midlertidig fritaksordning fra byggeplikten i påvente av utredning om nytt beskyttelseskonsept (DSB, 2017, s. 22). Som et resultat av dette har svært få tilfluktsrom blitt bygget siden fritaket ble innført.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) gjennomførte i 2016 en konseptutredning med mandat fra Justis- og beredskapsdepartementet. Utredningen skulle kartlegge samfunnets sårbarhets- og beredskapsutfordringer, herunder de sivile beskyttelsestiltakene tilfluktsrom, varsling og evakuering (DSB, 2016, s. 9). Det knytter seg stor usikkerhet til de sivile beskyttelsestiltakene og behovet for leveranser til tilfluktsrom var i konseptutredningen ikke entydig (s. 13). Flere respondenter, blant annet kommuner, ønsket en avklaring med hensyn til tilfluktsrom og vedlikehold av disse. Parallelt med konseptutredningen fikk Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) i oppdrag fra DSB å vurdere de sivile beskyttelsestiltakene. FFIs rapportserie *Beskyttelse av samfunnet* (BAS) presenterer mye av instituttets samfunnssikkerhetsforskning. Som en del av prosjektprogrammet BAS 8 ble det utarbeidet en studie som konkluderer med at de sivile beskyttelsestiltakene har en relevans som del av det moderne samfunnets beskyttelseskonsept (Grunnan, 2016). Dette fordi de utgjør den eneste troverdige beskyttelsen som sivilbefolkningen har krav på under en væpnet konflikt (s. 6).

Asplan Analyse (1999) har på vegne av DSB utredet et nytt sonekonsept for beskyttelse av sivilbefolkningen (Asplan Analyse, 1999). Dette er også beskrevet i Norsk offentlig utredning

(NOU 2000:24, 2000). Med bakgrunn i Norges sikkerhetspolitiske situasjon og drøftingene som ble gjort, ble det trukket frem at det ikke vil være kostnadseffektivt å videreføre dagens beskyttelseskonsept. Sonekonseptet tar derfor utgangspunkt i at den aktive beskyttelsen i Sør-Norge konsentreres rundt definerte nøkkelmål. I Nord-Norge bør det i tillegg til dette vurderes om det skal etableres egne soner som har høyere risiko ved invasjon. Dette sonekonseptet vil være en balansert avveining mellom kostnad og risiko da nye dekningsrom vil konsentreres til områder som er antatt utsatt for angrep.

Hvilke angrep mot Norge som er relevant er under stadig vurdering og analyse fra flere offentlige instanser; som Politiets sikkerhetstjeneste, Etterretningstjenesten, DSB og Nasjonal sikkerhetsmyndighet (NSM). Potensielle trusler dekningsrom skal beskytte mot, spenner fra krise og krig til kriminalitet og ulykker (DSB, 2014, s. 9). Avgjørende for trusselvurderingen er at den gjøres basert på en vurdering av fremtidens sikkerhetspolitiske bilde. Relevante trusselscenarier vil i denne studien sette grunnlaget for hvilke virkninger dekningsrom bør dimensjoneres mot.

DSB trekker derfor frem i en av sine anbefalinger at for fremtidig bygging bør fokuset skiftes fra tradisjonelle tilfluktsrom til mindre og lettere dekningsrom tilknyttet bo- eller arbeidssted (DSB, 2017, s. 8). I konseptutredningen ble dekningsrom, også omtalt som «shelter-in-place», anbefalt som et fremtidig beskyttelsestiltak for sivilbefolkningen. Disse rommene kan man hurtig evakuere til for økt beskyttelse mot farlige stoffer, fallende gjenstander eller trykk (s. 14). De vil ikke dimensjoneres for direkte treff, men i verste tilfellet treff i nabobygg som er definert som nøkkelobjekt etter sonekonseptet. Denne typen dekningsrom er utgangspunktet for studien.

Sonekonseptet er forskjellig fra eksisterende beskyttelseskonsept ettersom det i tettbebygde strøk kun vil gi beskyttelse for sivile i nær tilknytning til nøkkelobjekter. Konseptet vil ikke erstatte tilfluktsromordningen og evakuering, men forsøke å dekke deler av gapet som eksisterende tiltak ikke dekker. Dekningsrom i studien skiller seg fra tilfluktsrom ved å ha kortere beredskapstid, samt være mindre og lettere.

1.1 Problemstilling

Dagens våpensystemer har kortere varslingstid enn tidligere, noe som belyser viktigheten av et nytt konsept. På bakgrunn av nevnte forhold vil studien ta for seg følgende problemstilling:

Med utgangspunkt i utvalgte trusselscenarier, hvordan kan et dekningsrom rundt et definert nøkkelobjekt i Oslo utformes?

Studien vil belyse hvilke typer trusler som kan være relevante for sivile i bygg lokalisert innenfor sonene i tilknytning nøkkelobjekter. Det gjøres analyser og forskning på truslene mot sivilbefolkningen, men det er enda ikke operasjonalisert for de enkelte bygg og hvilke tiltak som kreves. Studien vil presentere en fremgangsmåte som vil vise omfanget av tiltak som kreves for de ulike truslene. En fremgangsmåte for prosjektering og dimensjonering av mulig løsning kan gi beslutningstakere grunnlag for å innføre beskyttelsestiltaket.

1.2 Avgrensninger og forutsetninger

På grunn av omfanget av studien har det ikke vært mulig å ta hensyn til alle faktorer som har innvirkning på hvordan et komplett dekningsrom utformes. Det er derfor gjort følgende avgrensninger:

- I ny sikkerhetslov som trådte i kraft 1. januar 2019 innføres begrepet grunnleggende nasjonale funksjoner (GNF) som defineres som: tjenester, produksjon og andre former for virksomhet som er av en slik betydning at et helt eller delvis bortfall av funksjonen vil få konsekvenser for statens evne til å ivareta nasjonale sikkerhetsinteresser (Sikkerhetsloven, 2018, §1-5). Studien vil ikke se på hvilke bygg som defineres som GNFer. Arbeidet med å definere disse er enda ikke gjort. Dette gjøres av andre virksomheter og vil kunne ha direkte overføringsverdi til sonekonseptet som omtales videre i kapittel 3.
- Asplan Analyse (1999, s. 22) gjorde en utredning av nytt beskyttelseskonsept på vegne av DSB hvor sonekonseptet blir omtalt for første gang. Sonekonseptet innehar flere soner med ulike tenkte beskyttelsesnivåer, og på bakgrunn av det avgrenser denne studien seg til å se på beskyttelsestiltak i form av dekningsrom innenfor sone II, antatt 100 m fra nøkkelobjektet, som beskrives nærmere i kapittel 3.
- Studien vil kun dimensjonere bæresystemet til dekningsrommet.
- Studien avgrenser seg til å dimensjonere for et utvalg trusler, som drøftes og velges i kapittel 5.

- Studien vil kun se på konstruksjonen og ikke tilhørende systemer for beskyttelse av sivile, slik som nødvendig utstyr til førstehjelp, strømforsyning, ventilasjon, rensing og proviant.
- Studien benytter kun betongkonstruksjoner til beskyttelse mot eksplosivlaster.
- Grunnforholdene vil ha innvirkning på dekningsrommet, da ulike grunnforhold kan gi ulike lastvirkninger. Studien ser i dimensjoneringen derfor bort fra grunnforholdene og med det også virkningen fra et eventuelt grunnsjokk fra våpenlaster. Følgelig vil ei fundamentene beregnes i detalj.
- Studien vil ikke omtale hvilke tiltak som må gjøres i utførelse, da dette vil være svært omfattende. Tegninger og prosjektering er forsøkt utført med detaljnivå for å kunne bestemme pris ved et anbud.

Som grunnlag for dimensjoneringen er følgende forutsetninger valgt:

- Studien benytter et generisk kontorbygg hvor dekningsrommet etableres. Det forutsettes et bæresystem dimensjonert etter gjeldende standarder.
- Forståelsen for dimensjoneringskapitlet forutsetter en viss kunnskap for byggtekniske ingeniørfag.

1.3 Disposisjon

Kapittel 2, Metode: Beskriver metoden benyttet for å besvare oppgaven og for sentral forskning for oppgaven. Avslutningsvis presenterer metode- og kildekritikk.

Kapittel 3, Beskyttelseskonsept: Beskriver videre bakgrunnen for problemstilling og dagens status på beskyttelseskonseptet i Norge.

Kapittel 4, Våpensystemer og våpenvirksomheter: Redegjør for våpensystemer og våpenvirksomheter som er relevante for dekningsrom.

Kapittel 5, Mulige trusler: Drøfter relevante trusselscenarier og dimensjonerende våpenvirksomheter før det gjøres et utvalg som dekningsrommet dimensjoneres mot.

Kapittel 6, Dimensjonering av mulig løsning: Dimensjonerer mot de valgte scenarioene og våpenvirksomheter som velges i kapittel 5.

Kapittel 7, Diskusjon av løsning: Drøfter i hvilken grad dekningsrommet gir beskyttelse mot eksisterende trusler og hvordan konseptet kan fungere opp mot nåværende beskyttelseskonsept.

Kapittel 8, Konklusjon: Presenterer hovedfunnene fra diskusjonen og konkluderer med hvorvidt dekningsrommet utgjør et relevant beskyttelsestiltak.

Kapittel 9, Videre arbeid: Beskriver videre arbeid som resulterer av studien.

2 Metode

I denne studien er kvalitativ metode brukt for å besvare problemstillingen. En slik metode er valgt på bakgrunn av at det sier noe om kvaliteten eller egenskapene til det som studeres (Johannessen, Tufte, & Christoffersen, 2010, s. 32). Videre skriver Johannessen et. al (2010) at kvalitativ metode egner seg dersom det som undersøkes ikke er godt kjent. Hovedformålet med bruk av metoden er å svare på problemstillingen som innebærer en dimensjonering av en mulig løsning. Riktig dimensjonering er avhengig av riktig beslutningsgrunnlag og omfattende arbeid legges i å finne de riktige lastene, som i et beskyttelseskonsept innebærer trusler i form av våpen og våpenvirkninger.

2.1 Dokumentstudie

Studien er gjennomført som en dokumentstudie som innebærer å innhente informasjon i form av sekundærdata som blant annet bøker, artikler og rapporter (Johannessen, Tufte, & Christoffersen, 2010, s. 395). Innledningsvis vil dokumentstudiet søke å innhente relevant forskning og annen litteratur på området for deretter å organisere dataene etter tema. Avslutningsvis vil dataene analyseres for deretter å tolkes (s. 165). Temaene denne studien tar for seg er våpensystemer og virkninger som utgjør en trussel mot nøkkelobjekter og i forlengelsen dekningsrom, samt hvilke beskyttelsestiltak for sivile som kan motvirke disse virkningene. Resultatene sammenlignes med den norske *Forskrift m.v om tilfluktsrom* og den svenske håndboka *Skyddsrum SR15*.

2.2 Valg av trusler

Hvilke trusler dekningsrommet skal dimensjoneres for er sentralt for studien. En av metodene for å bestemme relevante trusler er scenariomodellering. Scenariomodellering tar for seg fremtidige scenarier slik at dekningsrommene dimensjoneres for trusler relevant for fremtiden, i tillegg til nåsituasjonen.

NATO har lagt til grunn at scenariomodellering er den beste måten å vurdere hvilke trusler som er relevant for fremtiden (NATO, 2003). Det er ifølge FFI en av de mer benyttede teknikkene for å forutse fremtidige scenarier (Agerup, Nystuen, Bruvoll, Brattekkås, & Endregard, 2016, s. 46). Hvilke trusselscenario som er relevant for etablering av dekningsrom er en omfattende prosess å analysere, da det er veldig mange variabler som det må tas hensyn til. En av flere metoder som benyttes for scenariomodellering er morfologisk analyse.

Morfologisk analyse er en ikke-kvantitativ metode for å strukturere og analysere komplekse problemer innen en rekke ulike fagområder (Johansen I. , 2018, s. 118). Metodikken kan ta for seg ufattelig mange utvalg blant annet ved hjelp av egen programvare som generer mulige utfall (Ritchey, 2013, s. 5). Eksempelvis gjorde Totalforsvarets forskningsinstitutt (FOI) en morfologisk analyse av hvilke kriterier som skulle legges til grunn for egne tilfluktsrom og fant ved hjelp av sin ti-dimensjonale matrise over 500 000 ulike konfigurasjoner av tilfluktsrom (s. 5). Scenariomodellene i denne studien er derfor basert på morfologisk analyse.

Basert på disse modellene gjøres en analyse for å identifisere mulige trusler. Analysemetoden er basert på Norsk Standard (NS) 5832, Beskyttelse mot tilsiktede uønskede handlinger, ved bruk av en sikringsrisikovurdering (Standard Norge, 2014). Metoden omtales også som trefaktormodellen ettersom den beskriver forholdet mellom verdi, trussel og sårbarhet (Forsvarsbygg, 2016, s. 53). Sikringsrisikovurdering etter NS5832 deles inn i kapitlene:

- Verdivurdering
- Fastsettelse av sikringsmål
- Trusselvurdering
- Vurdering og valg av scenarier
- Sårbarhetsvurdering
- Vurdering av ren risiko og
- Presentasjon av sikringsrisikobildet

(Standard Norge, 2014, s. 6).

Verdivurdering innebærer å identifisere, vurdere og rangere de verdier en entitet eier (s. 6). Sikringsmålet måles etter hva som er ønsket eller akseptabel tilstand for verdier under eller etter en uønsket hendelse (s. 6). Målet skal forankres hos eier og må derfor basere seg på rapporter fra DSB eller andre statlige organer. Verdivurderingen og sikringsmålet i studien baseres på sonekonseptet, som presenteres ytterligere under kapittel 3.

Trusselvurdering skal identifisere og beskrive eventuelle trusselaktører og deres vilje og evne (s. 6). Trusselaktørene og deres vilje og evne presenteres i kapittel 5.1. Disse baseres på en forskningsrapport av Iver Johansen (2006).

Vurdering og valg av scenarier gjøres basert på vurdering av verdier og trusselaktører for å identifisere hvilke som er relevante for videre analyse. Dette gjøres i drøftingen av mulige trusler og avslutningsvis i valg av trusler.

Sårbarhetsvurderingen skal så vurdere hvorvidt en verdi er sårbar i de forskjellige scenariene. Dersom det allerede eksisterer barrierer skal det vurderes hvorvidt disse motstår angrepet. Det vil være en gjennomgående betraktning i drøftingen i kapittel 5 hvorvidt dagens beskyttelseskonsept er i stand til å motstå et angrep.

Standard Norge (2014) beskriver videre at etter faktorene verdi, trussel og sårbarhet er vurdert skal denne informasjonen sammenstilles i en egen selvstendig vurdering av ren risiko for hvert scenario. Kapitlet ren risiko gir en delkonklusjon som grunnlag for valg av trusler.

Avslutningsvis presenterer sikringsrisikovurderingen risikobildet etter dimensjoneringen (s. 6). Med andre ord hvilken restrisiko gjenstår etter dimensjonering av dekningsrommet. Dette gjøres i kapittel 7.

2.3 Dimensjonering

Dimensjonering av dekningsrommene gjøres etter partialfaktormetoden ved at karakteristiske laster multipliseres med en lastfaktor og materialfastheter divideres med en materialfaktor (Eurokode 0, 2008). Dette gjøres i ulykkestilstand for våpenvirkningene. Hensikten med dette er å sørge for at det er sikkerhet i beregningene som tar høyde for variasjoner på både kvaliteter og beregningsgrunnlag. Dimensjonering av betongkonstruksjoner gjøres primært etter Eurokode 2 (2008), som Norge er pliktig å følge.

2.4 Kilde- og metodekritikk

Metoden for sikringsrisikovurdering er en av flere metoder som benyttes for å vurdere risiko. En annen metode er den beskrevet i NS5814 som i hovedsak vurderer faktorene sannsynlighet og konsekvens (Forsvarsbygg, 2016, s. 53). Konsekvensen av relevante våpenvirkninger vil ofte være veldig alvorlige og det er derfor vanskelig å differensiere disse. Ved å innføre sårbarhet som en faktor er det lettere å gjøre et utvalg enn om kun sannsynlighet og konsekvens vurderes. Ren risiko omtales også i NS5832 som produktet av sannsynlighet og konsekvens. Dermed er det aspektet av risikohåndtering inkludert i metoden.

Dimensjoneringen vil kun være en tilnærming til virkeligheten. Særlig usikkerhet knytter seg til våpenbelastninger ettersom dataene ikke har samme statistiske grunnlaget som eksempelvis snø- og vindlast i Norge. Partialfaktormetoden og konservative betraktninger gjøres derfor for å forsøke å være på sikker side, men det vil aldri kunne garanteres.

FFI-rapporten til Iver Johansen (2006) benyttes som primærkilde og er retningsstyrende for studien. Det er derfor nødvendig å vurdere validiteten til primærkilden. Morfologisk analyse gjør at faren for å ignorere viktige aspekter reduseres, men ulempen er at det er umulig å si hvilken sikkerhetspolitisk situasjon som vil gjelde om noen tiår og at en slik analyse er svært omfattende.

Scenariomodellene baserer seg på forskningsrapporten til Iver Johansen fra 2006 og er derfor ikke oppdatert med de siste endringene i det sikkerhetspolitiske bildet. Derimot er det benyttet en morfologisk analyse som er en av de bedre metodene for å sikre et fullstendig utvalg av mulige scenarier. Hovedfunnene fra rapporten er publisert i tidsskriftet *Technological Forecasting and Social Change* i 2018, noe som styrker relevansen. Rapporten sammenfatter scenariomodellene til seks ulike klasser. Scenarioklassene er generelle for samfunnssikkerheten, hvilket gir et godt utgangspunkt for videre vurderinger. Dermed omfattes også endringer i det sikkerhetspolitiske bildet. Ved at scenarioklassene er så generelle holdes studien ugradert, som er en fordel ettersom sivilbeskyttelse er av offentlig interesse.

Store deler av kildegrunnet kommer fra forskermiljø innen forsvarsforskning. Til tross for at forskningen gjøres så objektivt som mulig vil kildene i enkelte emner være basert på én enkelt faggruppe.

3 Beskyttelseskonsept

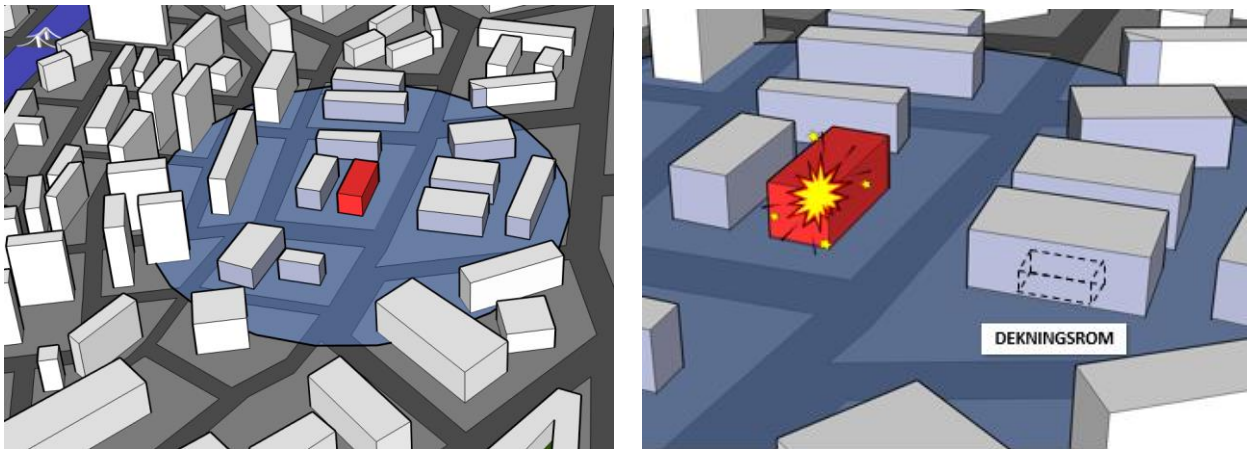
Sivilforsvaret viser til at dagens tilfluktsromordning har store mangler. Spesielt på rommenes mekaniske eller fysiske tilstand, planverk, drift og vedlikehold. Det eksisterer heller ingen beredskapsstyrke som kan ivareta oppgaven med å klargjøre, bemanne og drifte de offentlige tilfluktsrommene (DSB, 2017, s. 22). Sivilforsvaret er gitt ansvaret for tilfluktsromtjenesten for offentlige tilfluktsrom.

For å bidra til gjennomføringen av Sivilforsvarets oppgaver er kommunen gitt som plikt å bygge, utstyre, innrede og vedlikeholde offentlige tilfluktsrom. Offentlig eller privat tiltakshaver skal bygge, utstyre og innrede private tilfluktsrom til bruk for dem som normalt oppholder seg på den enkelte eiendom (Sivilbeskyttelsesloven, 2010). Fra Forsvarets side forventes det at det sivile samfunn selv ivaretar samfunnssikkerheten, i hele spennet fra fred til krise/væpnet konflikt (DSB, 2016, s. 62).

Det svenske Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) har gjennomført en analyse av tilfluktsrom. Undersøkelsen sier hvilken konfigurering tilfluktsrommene burde ha, slik som størrelse, vedlikeholds nivå, funksjonalitet og geografisk lokasjon (Ritchey, 2013, s. 5). Flere av disse parameterne er derimot studert isolert gjennom andre studier. Slik som at for vedlikehold av rommene bør det planlegges med fredsdrift, som svarer på konfigureringen. Tiltakshaver har således et spesielt ansvar for at rommene benyttes. DSB (2017, s. 27) anbefaler at en eventuell nybygging bør endres til etablering av mindre dekningsrom der folk bor og jobber, som svarer på funksjonalitet. Videre er sonekonseptet konklusjonen på geografisk lokasjon.

Sonekonseptet beskriver en inndeling rundt definerte nøkkelmål. Disse kan være et bygg eller et avgrenset område som er attraktivt å ta ut for en fiendtlig aktør. Utredningen foreslår flere soner. Sone I for selve nøkkelobjektet og ut til sone IV hvor beskyttelsestiltak ikke vil være nødvendig (s. 22). Dette innebærer en nedskalering av beskyttelsen for å oppnå et kostnadseffektivt beskyttelseskonsept. Figur 1 illustrerer det som er beskrevet som sone II av Asplan Analyse (s. 23), antatt å være 100 m i radius fra nøkkelobjektet. I denne sonen vil sivile være i fare dersom nøkkelobjektet blir utsatt for et angrep, og dekningsrom er vurdert som et godt beskyttelsestiltak. Sone III er foreløpig satt til en radius 500 m fra nøkkelobjektet, og sone IV er utenfor disse. I denne sonen er det vurdert at varsling og evakuering vil gi god nok sikkerhet, noe som er en balansert avveining mellom risiko og kostnad. Verdien vil fortsatt

være sivile liv og helse. Sikringsmålet vil derimot endres til å gi beskyttelse for sivile innenfor sonene rundt nøkkelobjektet.



Figur 1 Prinsipp nytt sonekonsept

En utfordring med et slikt sonekonsept, er at det potensielt kan avsløre plassering av nøkkelobjekter som ikke allerede er offentlig kjent. Dersom dette konseptet innføres i fremtidig beskyttelsestiltak bør det gjøres en vurdering om hvilke nøkkelobjekter dette skal etableres rundt.

4 Våpensystemer og våpenvirksomheter

Følgende faktorer, publisert i et ungarsk militærtidsskrift, er fremmet som trusler mot beskyttende konstruksjoner (Szabó, 2018, s. 126). Faktorene beskrives og i en svensk forskningsrapport (Larsson & Denward, 2017, ss. 100-111). Rapporten beskriver i tillegg krigens innvirkning på menneskers basale behov, men denne studien vil fokusere på våpenvirksomheter, herunder:

- Kjemiske, Biologiske og Radiologiske våpen (CBR)
- Kjernevåpen
- Elektromagnetisk puls (EMP)
- Konvensjonelle våpen
 - o Anslag og splintvirksomheter
 - o Trykkbølger i luft
 - o Grunnsjokk
 - o Fuel Air Explosives (FAE)
- Sekundæreffekter
 - o Progressiv kollaps
 - o Brann

4.1 Kjemiske og biologiske stridsmidler

Kjemiske våpen er ammunisjon og innretninger som er tiltenkt å forårsake skade eller død gjennom giftige kjemikalier (FFI, 2013). Giftige kjemikalier som er utviklet for å skape skade eller død hos mennesker eller dyr omtales ofte som kjemiske stridsmidler.

Kjemiske stridsmidler deles inn i kategorier ut fra deres egenskaper (FFI, 2013):

- Nervestridsmidler (eksempelvis sarin)
- Hudstridsmidler (eksempelvis sennepsgass)
- Kvelestridsmidler (eksempelvis klogass)
- Blodstridsmidler (eksempelvis blåsyregass)
- Inkapsiterende stridsmidler (eksempelvis CS-gass)

Biologiske stridsmidler er en biologisk agens og omfatter mikroorganismer som bakterier, virus og sopp som kan forårsake sykdom eller død hos mennesker, dyr og planter (FFI, 2004). Et biologisk våpen består av et biologisk agens og et leveringsmiddel som f.eks. bombe, fly

eller missil (FFI, 2004). Slike våpen kan også brukes til å ødelegge materielle ressurser som drivstoff og elektronikk.

Norge har forpliktet seg til alle internasjonale avtaler med forbud mot kjemiske eller biologiske våpen. Gjeldende avtaler er Genève-traktaten av 1925, som forbyr bruk av kjemiske og biologiske våpen i krig (League of Nations, 1925). B-våpenavtalen av 1972 gav forbud mot utvikling og destruksjon av biologiske våpen (United Nations Office for Disarmament Affairs, 1972). I tillegg til C-våpenavtalen av 1993, som gav forbud mot utvikling og destruksjon av kjemiske våpen (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 1993). Alle stormaktene og de fleste stater har signert avtalene. Det finnes tilfeller med bruk av kjemiske stridsmidler i nyere tid, slik som Syria i 2013 og 2017 (Human Rights Watch, 2017) eller angrepet mot den russiske dobbeltagenten Sergei Skripal og datteren i 2018 (Daily Mirror, 2018). Skripal ble forgiftet av en serie nervegift kalt Novichok som ble utviklet av Sovjetunionen.

4.1.1 Mottiltak

De viktigste tiltakene for kjemiske og biologiske stridsmidler er tidlig deteksjon og varsling (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 9.34). Det vil være nødvendig med tidlig varsling for at kollektiv beskyttelse skal ha noen funksjon.

Kollektiv beskyttelse kan være stasjonære eller mobile anlegg med filtrert lufttilførsel med et CBR-filter som forhindrer at kjemiske eller biologiske stridsmidler trenger inn i anlegget. I tillegg skal anlegget ha ventilasjon med overtrykk på minst 100 Pa for å hindre at nevnte stoffer ikke trenger inn gjennom utettheter (DSB, 1995, s. 80). Luftinntaket til et slikt ventilasjonssystem bør plasseres på steder som har mindre sannsynlighet for høye gasskonsentrasjoner og er utilgjengelig for personer.

Dersom området utenfor anlegget er forurenset er det fortsatt mulig å få personer inn i et sikret anlegg. Dette gjøres ved rensing av personell og materiell i en sluse tilknyttet anlegget (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 9.36).

4.2 Radiologiske våpen

Radiologiske våpen har til hensikt å spre radioaktivt materiale og stråling. Radioaktiv stråling deles inn etter type stråling og dens egenskaper (Glasstone & Dola, 1977, s. 19). Alfa-stråling består av relativt store partikler (heliumkjerner) og har derfor svært kort rekkevidde og er kun farlig ved innånding og inntak da slik stråling stopper i luft (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005,

s. 6.5). Beta-stråling består av elektroner som er betydelig mindre enn heliumkjerner men har lengre rekkevidde. Betastråling kan derfor trenge igjennom klær og hud som er farlig også når den befinner seg utenfor kroppen (ss. 6-6). Gammastråling består av høyenergiske fotoner som har langt bedre rekkevidde og trenger derfor tunge materialer for å stoppes. Slik stråling kan derfor trenge inn i kroppen ved eksponering og skade indre organer.

Radiologiske våpen kan bestå av sprengladning og radioaktivt materiale, også kalt skitne bomber. De vil mest sannsynlig ikke inneholde nok radioaktivitet til å skape akutte stråleskader, men vil kunne forurense et område (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 6.13). Kjernevåpen har samme effekt, men da som en sideeffekt. En strålingskilde kan også plasseres ut uten eksplosiver i et område der den kan gjøre skade. Skitne bomber har ikke blitt brukt i militære settinger tradisjonelt, og det har heller aldri forekommet en slik detonasjon (FFI, 2008).

4.2.1 Mottiltak

Radioaktiv stråling svekkes ved å plassere et materiale mellom kilden og objektet. Svekkelsen avhenger av type stråling og materiale som absorberer strålingen (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 6.21).

4.3 Kjernevåpen

Kjernevåpen er basert på en kjernefysisk fisjon eller en kombinasjon av fisjon og fusjon (Glasstone & Dola, 1977, s. 5). En fisjon er spalting av en atomkjerne i vanligvis to mindre kjerner, i motsetning til fusjon som er sammensmelting av kjerner. Til sammenligning med konvensjonelle eksplosjoner kan 0,45 kg uran frigjøre like mye energi som ca 900 kg TNT (s. 5). Energien fra sola kommer fra fusjon, og dette utnyttes også i de kraftigste kjernevåpnene, omtalt som hydrogenbomber (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 6.10). Nuklidene som blir produsert av fusjon har fordelen med at de ikke er radioaktive i motsetning til fisjonsprodukter. De første kjernevåpnene som ble produsert var fisjonsvåpen (s. 6.11). Et slikt våpen setter i gang en ukontrollerbar kjedereaksjon. «Little boy», som ble sluppet over Hiroshima i Japan i 1945 var et slikt våpen (Glasstone & Dola, 1977, s. 158).

4.3.1 Mottiltak

Beskyttelse mot kjernevåpen krever de samme tiltakene som vil beskrives for konvensjonelle våpen, men i mye større skala. Beskyttelse mot stråling, beskrevet i 3.2.1, vil også være nødvendig.

4.4 Elektromagnetiske våpen

Elektromagnetisk stråling omgir oss overalt i hverdagen, i form av lys, varme eller radiobølger. Blir strålingen derimot sterk nok kan en slik stråling ha skadelig effekt mot elektronisk utstyr (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 7.5).

Elektromagnetisk puls (EMP) er en kortvarig og intens radiobølge som kan oppstå fra kjernefysiske våpen, spesialvåpen, lyn, eller andre elektriske utladninger (Forsvarsbygg, 2016, s. 251). Det skilles på EMP fra kjernevåpen, omtalt som nukleær EMP (NEMP), og konvensjonelle EMP-våpen som for eksempel High Power Microwave (HPM) (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 7.17). HPM er mikrobølgerør som gir radarstråling med kort varighet og høy intensitet. Videre omtales HPM-våpen med samlebetegnelsen EMP-våpen.

EMP-våpen er ikke skadelig for mennesker, men kan ødelegge elektroniske installasjoner. Objektsikkerhetsforskriften setter krav til at beskyttelse mot slike våpen skal vurderes (Nasjonal sikkerhetsmyndighet, 2012). For tele- og kraftinstallasjoner er det stilt krav i Forskrift om klassifisering og sikring av anlegg i elektroniske kommunikasjonsnett, §9 (2012) og Forskrift om sikkerhet og beredskap i kraftforsyningen, §7-13 (2013) om at anlegg av en viss viktighet skal beskyttes.

4.4.1 Mottiltak

Beskyttelsen mot EMP-våpen består av fire forskjellige metoder: skjerming, jording, begrensnig og isolasjon (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 7.29).

Skjerming av rom eller bygg vil være nødvendig for å beskytte viktig utstyr. En slik skjerm lages av et Faradaybur som er et elektrisk skall som omslutter det skjermede volumet (Forsvarsbygg, 2016, s. 259). Skjermen vil derimot ikke gi beskyttelse for innførte kabler (s. 7.29).

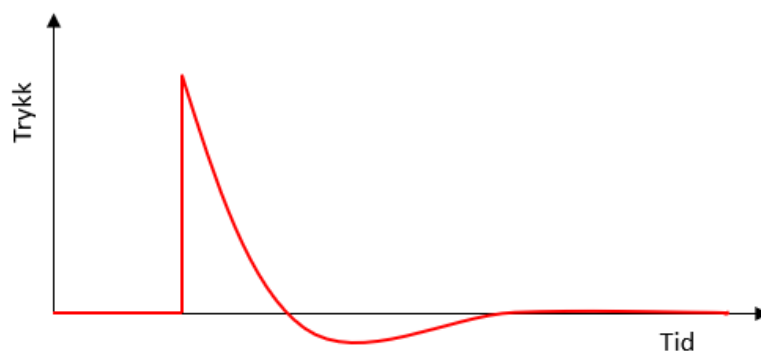
For beskyttelse mot EMP-våpen må skjermen på innførte kabler kobles sammen med armeringen i betongkonstruksjonen, bygningsskjermen eller til jordingsanlegget (s. 7.30). I tillegg må innførte kabler samles til en metallplate, et såkalt «single entry», ettersom kabler og rør vil fungere som antenner som fanger opp energien i EMP. All jording inne i et anlegg skal føres til denne «single entry»-platen. Skadelige overspenning kan ledes til jord via installasjoner i rommet som har liten motstand (s. 7.31). Dermed kan bruk av filter og overspenningsbegrensere være nødvendig.

4.5 Konvensjonelle våpen

Konvensjonelle våpen innebærer alle våpensystemer som ikke er masse-ødeleggelsesvåpen, ikke inneholder CBRN-komponenter og er lovlige etter konvensjoner og avtaler.

4.5.1 Trykkbølger i luft

En eksplosjon er en rask frigjøring av energi. Ved en eksplosjon varmes luften rundt opp og det bygges opp et trykk. Energien fra dette sprer seg som en trykkbølge (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 3.5). Til slutt går overtrykket over til undertrykk som utsetter konstruksjonen for et sug mot kilden.



Figur 2 Trykk/tidsforløp for trykkbølge i luft

Figur 2 viser hvordan trykkbølgen virker som funksjon av tiden. Det initiale overtrykket oppstår fort, for deretter å gå over i en undertrykksfase. Størrelsen på trykkbølgen eller eksplosjonen måles etter hvor mye energi som frigjøres og gjengis i TNT-ekvivalenter (Headquarters, US Army Material Command, 1972, s. 3.5).

Når en ladning detonerer ved overflaten, vil trykkbølgen forsterkes på grunn av refleksjon fra overflaten. Et slik tilfelle kalles speiling (s. 3.39). Ideelt sett vil all energien som reflekteres forsterke trykkbølgen, men reelt sett vil grunnen absorbere deler av denne energien. Hvor mye som absorberes avhenger av materialet grunnen består av (s. 4.5). Dersom en konvensjonell ladning detonerer i et lukket rom, vil trykkbølgen som dannes reflekteres gjentatte ganger og skape et veldig stort overtrykk (s. 3.42).

For å måle belastningen fra trykkbølgen brukes det maksimaltrykket og varigheten til overtrykket, omtalt som impulsen. Impuls er definert som integralet av trykket med hensyn til tiden (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 3.10). Den beregnes dermed som arealet mellom tidsaksen og overtrykksforløpet i figur 2.

Belastningene fra trykkbølger på konstruksjoner skilles i to kategorier. Den kvasistatistiske belastningen og den impulsive belastningen (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 3.63). Kvasistatistiske belastninger er der belastningens varighet er mye lengre enn konstruksjonens egenperiode (s. 3.63). Belastningen er impulsiv dersom varigheten er mindre enn egenperioden til konstruksjonen (s. 3.63). En impulsivlast vil altså være så kortvarig at selv om lasten kan skade og knuse betongkonstruksjonen så vil ikke en betongvegg settes i sving. En kvasistatistisk belastning har så lang varighet at konstruksjonen, med sin treghet, settes i sving. En trykkbølge vil kunne virke som en mellomting mellom de to kategoriene, som kan føre til lokale skader.

Utstøting og gjennomslag kan oppstå ved trykkbølger mot betongkonstruksjoner (s. 3.62). Betong har høyere trykkfasthet enn strekkfasthet og ved en trykkbølgebelastning vil strekkreftene oppstå bak en trykkbelastet vegg. I et dekningsrom vil dette kunne føre til utstøting av betong på innsiden av dekningsrommet som kan skade personell. Dersom utstøtingen er så omfattende at det dannes hull i veggen kalles dette gjennomslag (s. 3.62).

4.5.2 Anslag og splintvirkninger

Inntrengning i vegger eller konstruksjoner kan oppnås ved at fragmenter, enten primær- eller sekundærfragmenter treffer konstruksjonen. Primærfragmenter er tilhørende ladningen, slik som bøsningen til en granat. Sekundærfragmenter er tilstøtende deler som akselereres av detonasjonen, slik som vindusruter (Forsvarsbygg, 2016, s. 218). Et fellestrekk ved all penetrasjon er at det dannes et krater (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 2.5). Dersom penetrasjonen er dyp nok, kan det dannes krater på baksiden av veggen i form av utstøtning, eller i verste fall gjennomslag. Dybden på penetrasjonen avhenger av blant annet hardheten på veggen og hastigheten til fragmentet (s. 2.5).

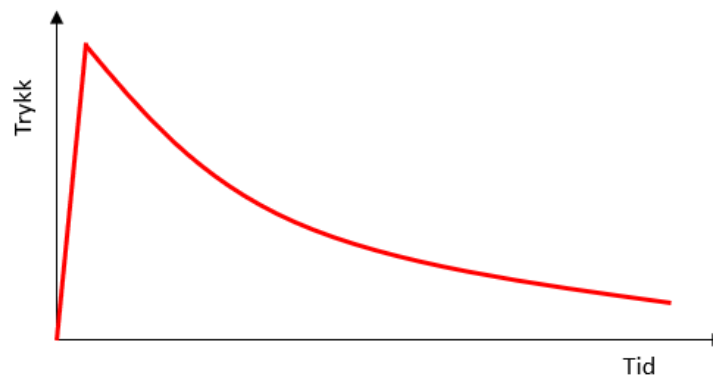
Splinter skilles ved sprengammunisjon og kald ammunisjon. Kald ammunisjon må treffe målet for å utgjøre noen form for skade, i motsetning til sprengammunisjonen som kan detonere i nærheten og likevel forårsaker skade. Ved bruk av slik ammunisjon er det fragmentene fra detonasjonen som gjør mest skade (s. 2.5).

4.5.3 Grunnsjokk

Dersom en ladning går av under overflaten vil materialet som omgir ladningen bidra til økt trykk. Dette fordi gassene som omdannes av detonasjon har mindre volum å spre seg på. (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 4.5). En slik trykkbølge vil være både kraftigere og ha lengre varighet enn en trykkbølge (s. 4.5). Massene som befinner seg nærmest detonasjon er i knusningssonen og vil bli utsatt for en plastisk deformasjon som demper trykkbølgen, omtalt

som materialdemping. I løsmasser vil partiklene ha større avstand til hverandre. Massene har derfor større område å bevege seg på, i motsetning til fjell hvor partiklene sitter tett. Styrken på grunnsjokket avhenger av penetrasjonsdybden til detonasjonen (s. 4.10). I fjell vil grunnsjokket oppnå full styrke i mindre dybde enn ved penetrasjon i løsmasser hvor detonasjon må skje dypere for å oppnå samme styrke.

Grunnsjokkbølger oppfører seg noe annerledes enn trykkbølger i luft, da de har et tilnærmet lineært forløp til det oppnås maksimalt trykk, se figur 3. Dersom strekkbølger forplantet i for eksempel fjell vil trykket også her oppnå en negativ fase (s. 4.6).



Figur 3 Trykk/tidsforløp av grunnsjokkbølge

4.5.4 FAE-våpen

FAE-våpen ofte omtalt vakuumbomber eller aerosolbomber er en sprengladning fylt med et brensel som sprer seg som aerosoler og antennes i en reaksjon med luften (Larsson & Denward, 2017, s. 103). Det medfører at slike våpen har høyere energiinnhold per kilo brensel. Virkningen av våpnene er svært høy varmeutvikling og et enormt undertrykk. Dødsfall kan oppstå på flere hundre meter som et resultat av enorm varmekraft og at luften suges ut av lungene (s. 103). Da virkningen av slike våpen gir høyere trykk enn konvensjonelle eksplosiver, øker også sannsynligheten for å gjøre skade på fortifikatoriske anlegg.

Det påstås at det ble brukt FAE-våpen under 2. verdenskrig av tyskerne ved Sevastopol (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 3.32). Først ble det skutt inn raketter med bensin, parafin og nafta inn over byen. Deretter ble det skutt raketter med høyeksplosiver som detonerte brenselet.

4.5.5 Mottiltak

Det er to ting som trekkes frem som viktig ved redusering av skade fra trykkbølger i luft, avstand og masse (Forsvarsbygg, 2016). En trykkbarriere bidrar til dette dersom den er robust nok til å motstå trykkvirkningen. Dersom trykkbarrieren ikke er sterk nok til å motstå detonasjonstrykket vil den knuses og føre til sekundærfragmenter. I tillegg til en trykkbarriere vil veggtykkelsen inn til selve verdien ha stor betydning, da økt tykkelse vil redusere faren for utstøting eller gjennomslag. Avstand vil bidra til økt beskyttelse siden det initielle overtrykket som oppstår reduseres eksponentielt med avstand fra kilden og lineært med tiden (Headquarters, US Army Material Command, 1972, s. 3.5)

For en konstruksjon bør det benyttes robuste bæresystemer med kraftige forbindelser og materialer som oppfører seg duktilt ved overbelastning (Forsvarsbygg, 2016, s. 227). Dette gjør at bygget har evnen til å spre energien gjennom store plastiske deformasjoner før brudd.

Beskyttelse mot grunnsjokk avhenger av avstanden som kan skapes til detonasjonsstedet, og materialene i grunnen. Løse masser vil dempe mer av trykkbølgen enn faste masser som har liten evne til å deformere plastisk. Dersom det er nærhet til fjell, kan konstruksjonen eller komponenter i konstruksjonen etableres på sjokkdempende tiltak (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 4.17). Slike tiltak kan sammenlignes med beskyttelse mot seismiske laster, hvor bygget skal ha god energiabsorpsjonsevne og duktil oppførsel fordelt over hele bygget. Bygget bør etableres på en «pute» av masser som har god absorpsjonsevne slik at mye av grunnsjokket tas opp i massene og ikke når selve konstruksjonen, eventuelt på massive fjærer. Dette gjør at konstruksjonen ikke har direkte kontakt med grunnen som vil gi en fjæringseffekt.

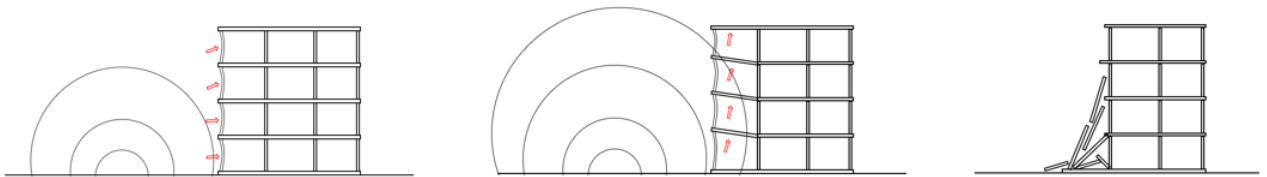
Tilleggsbeskyttelse mot FAE-våpen kan etableres med antennessystemer i ventilasjonskanalene for å antenne gassene før de trekker inn i dekningsrommet (Szabó, 2018, s. 133). Disse vil kontinuerlig gniste eller ved deteksjon og antennen vil forhindre en innvendig detonasjon (s.133).

4.6 Sekundæreffekter

4.6.1 Progressiv kollaps

Ved bygninger på mer enn tre etasjer anses progressiv kollaps som en stor risiko (Department of Defense, 2009). Dette vil medføre en vertikal belastning mot et eventuelt dekningsrom. En progressiv kollaps oppstår som følge av en lokal skade som forårsaker en kjedereaksjon i bæresystemet til konstruksjonen. Slik kollaps kan oppstå dersom enkelte bærende elementer i bygget blir skadet så de mister sin bærende evne og resterende elementer ikke er dimensjonert

for å motstå raslasten fra overliggende bygg (Forsvarsbygg, 2016, s. 220). En slik kollaps kan oppstå dersom det går av en eksplosjon på bakkenivå som skader byggets bæresystem. Trykkbølgen vil først treffe veggen og trykket som trenger inn i bygget vil virke oppover på dekkene. Dersom forbindelsene mellom dekket og søylene er dårlige, vil bygget ha liten evne til å overføre kreftene (s. 220). Figur 4 viser en eksplosjon som går av på bakkenivå ved et bygg hvor trykkbølgen først treffer fasaden, for deretter å virke oppover på dekkene. Rasmassene vil danne en hvelving over taket på et eventuelt dekningsrom (MSB, 2015, s. 65). Dette gir en kuppeeffekt som reduserer belastningen.



Figur 4 Progressiv kollaps

Et eksempel på en slik hendelse er terrorangrepet i Oklahoma City i 1995, hvor en hjemmelaget bilbombe detonerte på bakkenivå. Dette resulterte i progressiv kollaps av deler av Alfred P Murrah Federal Building (Encyclopedia Britannica, 2019).

4.6.2 Brann

Brann kan oppstå som følge av nevnte våpenvirkninger eller ved ulykker. Brann kan være en trussel for bygninger ved at bærekonstruksjonen ikke tåler varmen som oppstår over tid, noe som kan medføre svikt i konstruksjonen. Byggteknisk forskrift (2017) §11-1 setter følgende krav til sikkerhet ved brann: «Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet ved brann og for personer som oppholder seg i eller på byggverket».

En konstruksjon motstandsevne mot brann deles inn i integritet, isolasjonsevne og lastbærende funksjon (Eurokode 1-2, 2008). Integritet er evnen en skillende bygningsdel, eksponert for brann på den ene siden, har til å motstå at flammer og varme gasser trenger gjennom (s. 10). Isolasjonsevne er evnen en skillende bygningsdel, eksponert for brann på den ene siden, har til å sikre at temperaturøkningen på motsatt side ikke overskrider angitte nivåer (s. 11). Lastbærende funksjon er konstruksjonens evne til å motstå fastsatte laster i brannsituasjonen (s. 11). Brann kan også føre til giftige gasser og røyk som kan skade uavhengig av varmepåvirkningen.

4.6.3 Mottiltak

Stål- og betongbygg har normalt god evne til å motstå progressiv kollaps. Armert betong og stål er duktile materialer som tåler relativt store deformasjoner (Forsvarsbygg, 2016, s. 220). Mange nyere bygg består av prefabrikkerte betongdekker på stål- eller betongsøyler som ikke nødvendigvis har denne motstandsevnen (Sintef Byggforsk, 1997). Dersom forbindelsene mellom dekket og søyler ikke sikres god nok, klarer ikke bygget å overføre kreftene. For å oppnå global stabilitet er det derfor nødvendig med duktile materialer og gode forbindelser. Metoder kan hentes fra bacheloroppgave om eksplosjonslaster på betongelementbygg (Johansen & Tveter, 2018). Alternativt må dekningsrommet tåle at overliggende bygg raser.

Når det gjelder bærende vegger av betong, vil motstandsevne mot brann øke med økende veggtykkelse. For å tilfredsstille de ulike motstandsevne, fra kapittel 4.6.2, over tid stilles det krav til minimum veggtykkelse og armeringsoverdekning (Betongelementforeningen, 2007).

5 Mulige trusler

Kapitlet drøfter, basert på scenarioklasser, hvilke våpenvirkninger som er aktuelle for etablering av dekningsrom. Dette inngår i sikringsrisikovurderingen som valg av scenarier, trusselvurdering, sårbarhetsvurdering og vurdering av ren risiko. Avslutningsvis gjøres et utvalg av trusler.

5.1 Scenarioklasser

Scenarioklassene inkluderer hvorvidt sannsynligheten for et angrep er relevant for fremtiden. Analysen gjort av Iver Johansen (2018) konkluderer med følgende klasser:

1. **Strategisk overfall** med bruk av store militære styrker i omfattende fellesoperasjoner for å ta kontroll over deler av norsk territorium og hvor styrken dimensjoneres for å kunne vedlikeholde innsatsen over en ubestemt tid. Hensikten er å fremtvinge politisk endring.
2. **Begrenset angrep** med bruk av en begrenset militær innsats i den hensikt å fremtvinge politisk endring. Metoden som benyttes er å ta militær kontroll over deler av norsk territorium, nekte og forstyrre militære operasjoner og angrep mot norsk infrastruktur og/eller borgere.
3. **Tvangsdiplomati** med bruk av symbolsk makt og økonomiske sanksjoner for å fremtvinge politisk endring.
4. **Terrorangrep** med nettverk eller individ som benytter omfattende eller begrenset ikke-militær innsats for å fremtvinge politisk endring.
5. **Kriminalitet** hvor private aktører begår lovbrudd med sikte på økonomisk vinning.
6. **Militære fredstidsoperasjoner** som innebærer andre nasjoner sin trening på norsk sokkel og etterretningsinnhenting.

Disse gjelder generelt for samfunnssikkerheten og det er verdt å gjøre noen betraktninger hva gjelder sannsynligheten for hvorvidt disse scenarioklassene påvirker dekningsrom. Rapporten definerer klasse 1 og 2 som de minst sannsynlige utfallene ettersom de forutsetter en eskalering av det sikkerhetspolitiske forholdet til andre stater (Johansen I. , 2006, s. 38). «Strategisk overfall» er den eneste scenarioklassen som inneholder omfattende militær innsats. «Begrenset angrep» omfatter begrenset militær innsats (Johansen I. , 2006, s. 32). Rapporten peker på at det kun er ett potensielt scenario for «strategisk overfall», der Russland er den eneste tenkelige aktør (s. 38). Fullskala invasjon vurderes å være umulig, men utfallene «strategisk overfall» og

«begrenset angrep» mot deler av norsk territorium vil være relevant for etablering av dekningsrom (s. 29).

I etterkant av FFI-rapporten var det i 2014 en endring i det sikkerhetspolitiske nivået, der Russland viste både vilje og evne til å bryte staters suverenitet med annekteringen av Krim (Woolf, 2019, s. 44). Videre erklærte USA at Russland hadde brutt *Intermediate-Range Nuclear Forces* (INF)-avtalen i juli 2014 (s. 18). INF-avtalen er en avtale som ble signert i desember 1987 av USA og Sovjetunionen. Avtalen forbød bruken av mellomdistanseraketter med både atom- og konvensjonelle stridshoder (s. 2). 1. februar 2019 trakk også USA seg fra avtalen (NRK, 2019). Som en konsekvens av bruddet på INF-avtalen har Russland flere forskjellige langtrekkende presisjonsvåpen med rekkevidde over hele Norge (Center for Strategic and International Studies, 2018). I rapporten til Johansen (2006) ble scenarioklasse 1 og 2 vurdert som aktuell. Dette var før hendelsene i 2014 og sannsynligheten vil derfor være minst like stor i dag.

En konsekvens av den sikkerhetspolitiske situasjonen er symbolsk maktbruk, gjerne forbundet med fremsettelse av visse krav (Johansen I., 2006, s. 34). «Tvangsdiplomati» har som ambisjon å ramme en nasjon økonomisk eller symbolsk, eksempelvis gjennom trusler om bruk av enkelte våpensystemer. Ved å etablere dekningsrom vil statsapparatet være forsikret om at deler av sivilbefolkningen er beskyttet. Scenariet ansees derimot ikke som en direkte trussel mot sivile i dekningsrom og vil ikke omtales videre i trusselutvalget.

Et ønske om å fremtvinge politisk endring fra ikke-statlige aktører omtales ofte som terror. Etterretningstjenesten definerer terror som «ulovlig bruk av, eller trussel om bruk av, makt eller vold mot personer og eiendom, i et forsøk på å legge press på landets myndigheter eller befolkning eller samfunnet for øvrig for å oppnå politiske, religiøse eller ideologiske mål» (DSB, 2014, s. 165). De siste årene har det vært økende bekymring for terror hvor flere dysfunksjonelle stater med fraværende myndighetskontroll skaper muligheter for terrorgrupper. Eksempel på en av de mer alvorlige terrorangrepene i moderne tid er angrepet i Mumbai i 2008. Angrepet varte i tre døgn og 170 mennesker mistet livet (s. 168). Angrepet var en serie med anslag med bomber og skytevåpen. Angrepet 22. juli 2011 mot regjeringskvartalet og Utøya belyste faktumet at terror også kan ramme Norge. Ved etablering av dekningsrom kan derimot en terroraktør bruke rommene som et verktøy. Dette ved å utnytte effekten av at folk ved en hendelse trekker samlet mot dekningsrommene hvor en terroraktør kan angripe.

Dekningsrom vil fortsatt kunne gi nødvendig beskyttelse mot en terroraktørs bruk av CBR-stridsmidler.

Scenarioklasse 5 «kriminalitet» kan også anses relevant for etablering av dekningsrom. Nylige hendelser som Hagen-forsvinningen kan indikere at flere vil ha et ønske om beskyttelsestiltak i eget hjem og arbeidsplass. I saken er Anne-Elisabeth Hagen antatt kidnappet i eget hjem på Fjellhamar i Lørenskog hvor gisseltakerne skal ha fremsatt krav om løsepenger mot milliardærektemannen Tom Hagen (Bjerknes & Solem, 2019). Beskyttelse mot «kriminalitet» gir liten grad av beskyttelse mot krigens virkninger, men merverdien i fred vil kunne øke motivasjonen for å etablere dekningsrom.

Siste scenario består av fredsmessig, militær virksomhet knyttet til øvelser, innsamling av etterretning og lignende (Johansen I. , 2006, s. 37). Dette vil i liten grad påvirke dekningsrom som beskyttelsestiltak for sivile. Enkelte virksomheter kan derimot ha sårbare IKT-systemer slik som graderte servere, som de ønsker å beskytte mot etterretningsinnhenting. Dette kan plasseres i dekningsrom for å sikre operativ drift og gi en merverdi i fred, men scenarioklassen vil ikke omtales videre i denne studien.

5.2 Dimensjonerende våpenvirkninger

5.2.1 Kjemiske, biologiske og radiologiske våpen

CBR-trusler er i utgangspunktet forbudt etter flere internasjonale lover, men er fortsatt relevante trusler for scenarioklasse 1, 2 og 4. Kjemiske våpen er aktuelle etter angrepene i blant annet Storbritannia og Syria. I følge etterretningstjenesten har ulike terrororganisasjoner lenge hatt intensjon om å gjennomføre angrep med kjemiske våpen (Etterretningstjenesten, 2019, s. 65).

Et angrep med et biologisk stridsmiddel ble avverget i Köln, Tyskland, i 2018 (Etterretningstjenesten, 2019, s. 65). Biologiske trusler vil kunne dekkes av beskyttelsestiltakene til kjemiske våpen. Derimot vil biologiske våpen være vanskelig å detektere og smitte kunne spres før dekningsrom tas i bruk.

Hva gjelder radiologiske våpen er tilgangen på radioaktivt materiale stor (FFI, 2008). Tyveri, ulovlig handel og smugling øker faren for at en terroraktør benytter «skitne bomber» (FFI, 2008). I Syria og Irak har den islamske staten (IS) hatt tilgang på radiologiske kilder, men ikke benyttet disse til våpen (Etterretningstjenesten, 2019, s. 65).

Et vellykket terrorangrep med kjemiske og biologiske stridsmidler vil kunne motiverte andre til å gjennomføre tilsvarende angrep (s. 65). Vi beveger oss inn i et mer uoversiktlig trusselbilde og hendelsene viser at truslene raskt kan bli aktuelle. Trusselen kan ikke avskrives for fremtiden og dekningsrom bør derfor legge til rette for nødvendige beskyttelsestiltak.

5.2.2 Kjernevåpen

Flere konvensjonelle missiler leveres med kjernefysiske stridshoder. I tillegg til dette eksisterer også flere interkontinentale missiler (Center for Strategic and International Studies, 2018). I praksis kan store deler av verden påvirkes med atomvåpen. Virkningene regnes som de mest destruktive våpenvirkningene som eksisterer.

Historisk sett har det kun vært to tilfeller hvor det har blitt brukt atomvåpen i krig, Hiroshima og Nagasaki under 2. verdenskrig (Glasstone & Dola, 1977, s. 158), men det har blitt gjennomført flere prøvesprengninger i ettertid (s. 27). Trusselen for atomkrig var tidligere stor, særlig under den kalde krigen og Cuba-krisen. Siden den kalde krigen har det blitt opprettet internasjonale avtaler for å forhindre spredning av kjernevåpen og nedrustning av eksisterende arsenaler (Larsson & Denward, 2017, s. 105). Trenden for fremtiden er derfor færre, men mer moderne kjernevåpen.

Disen og Beadle (2015, s. 110) trekker frem at Russland trolig forblir den dominerende aktøren i Arktis. Russland rustet opp sine kjernefysiske ressurser, men rapporten til Diesen og Beadle (2015) regner det som lite sannsynlig at Russland vil benytte kjernefysiske våpen, særlig i land hvor de har mye å tape (s. 110). Sannsynligheten for et kjernefysisk angrep på Norge er liten, særlig så lenge Norge er NATO-medlem. Hvorvidt NATO alliansen vil holde om 50 år er ikke sikkert og et sivilbeskyttelseskonsept kan ikke utelukkende basere seg på den forutsetningen.

Risikoen for kjernefysisk angrep vil alltid være til stede så lenge våpnene finnes, men spørsmålet er om dekningsrom skal dimensjoneres for kjernefysiske våpen eller om den risikoen skal aksepteres til fordel for lettere dekningsrom. Studien ønsker ikke å erstatte tilfluktsromkonseptet, men supplere med alternative løsninger. *Forskrift om tilfluktsrom* (1995) stiller ikke krav til dimensjonering mot kjernevåpen, det er det type A-tilfluktsrom fra *Forskrift m.v om tilfluktsrom 1976* som gjør (DSB, 1982, s. 36). I tillegg kan det være utfordrende å få sivilbefolkningen til å se kjernefysisk angrep mot Norge som en aktuell trussel.

Nytt fokus på etablering av beskyttelsestiltak vil kreve en holdningsendring, da det er bygd svært få tilfluktsrom siden 90-tallet. Det vil være en terskel å krysse for at tiltakshaver skal akseptere en investering i beskyttelsestiltak. Dersom beskyttelsestiltakene er dimensjonert for

kjernevåpen vil det kunne fremstå overdimensjonert. Terskelen er svært høy for å benytte kjernefysiske våpen da konsekvensene blir store. Så lenge NATO-alliansen holder vil et eventuelt atomangrep svares med tilsvarende angrep fra alliansen. Risikoen vil fortsatt være tilstede, men dekningsrom bør ikke dimensjoneres for kjernevåpen.

5.2.3 Elektromagnetiske våpen

Elektromagnetisk puls vil være en relevant trussel ved at det indirekte kan påvirke elektroniske systemer i dekningsrommet. I scenarioklasse 1 og 2 vil EMP kunne benyttes for å slå ut kritiske systemer og dekningsrom kan bli påvirket indirekte. EMP har også potensialet til å operere i skillet mellom krig og fred, både fordi det er utfordrende å bevise at en statlig aktør har gjennomført EMP-angrep og fordi det ikke er et direkte angrep mot personer.

Ventilasjonsanlegg og nødstrøm vil være sårbart for et slik våpen, noe personellet er avhengig av i moderne bygg. Det stilles krav til mekanisk balansert ventilasjonssystem i nyere bygg (Byggteknisk forskrift, 2017, §13-1). For å hindre fukt og minimere varmetap bygges relativt lufttette bygg. Dersom ventilasjonsanlegget blir slått ut, vil luftinnholdet i rommet til slutt gå tomt. Dekningsrom med sårbare elektroniske anlegg bør bygges EMP-sikret.

5.2.4 Konvensjonelle våpen

Scenarioklasse 1 og 2 er de mest relevante for disse våpenvirkningene, da statlige aktører har større tilgang på og kapasitet til å levere konvensjonelle våpen. De vil i studien sammenlignes med eksisterende laster fra *Forskrift m.v om tilfluktsrom* og den svenske *Skyddsrum SR 15*.

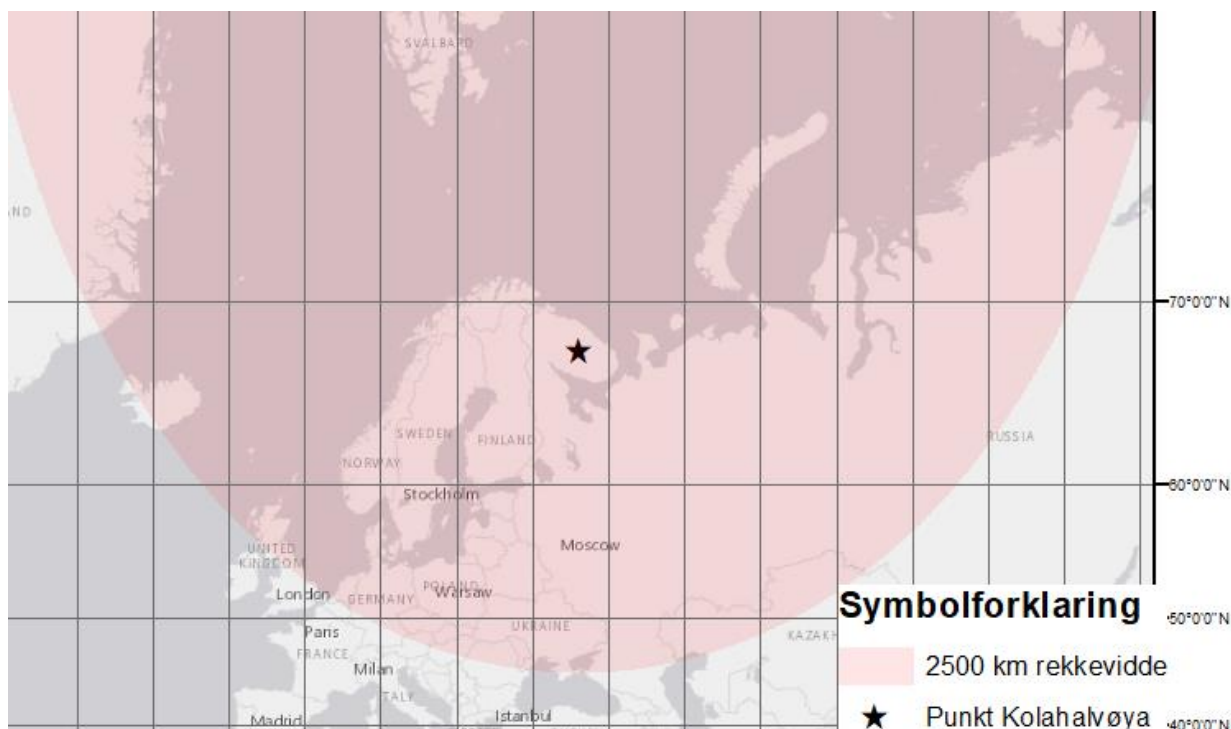
Norske og svenske dimensjoneringsgrunnlag baserer seg på teoretiske laster. Det svenske dimensjoneringsgrunnlaget er 250 kg TNT detonert på 5 m avstand, kombinert med et langvarig overtrykk på 50 kPa og et langvarig undertrykk på 8 kPa (MSB, 2015). Norske tilfluktsrom dimensjoneres for et sidetrykk på 100 kPa, altså sjokkfronten, med mindre tilfluktsrommet er bygget i fjell, da gjelder et sidetrykk på 300 kPa (Forskrift om tilfluktsrom, 1995, §24). Moderne konvensjonelle våpensystemer gir ikke nødvendigvis de samme virkningene.

En av de største truslene mot norske installasjoner er missilsystemer. Russland har det mest omfattende arsenalet av ballistiske- og kryssermissiler i verden (Center for Strategic and International Studies, 2018). Skillet mellom de to missiltypene er at ballistiske missiler følger en gitt bane og ikke er avhengig av aerodynamikk, mens kryssermissiler avhenger av aerodynamisk løft for å skape fremdrift (Joint Force Development, 2017, s. I-2).

Rekkevidden på mellomdistansemissilene er ifølge CSIS (2018) stor nok til å kunne påvirke hele Norge. Mellomdistansevåpen er missiler med konvensjonelle og kjernefysiske stridshoder med rekkevidde mellom 500 og 5500 km (Woolf, 2019, s. 2). Tabell 1 viser rekkevidden til de bakkeleverte systemene som er illustrert på figur 5. Illustrasjonen viser rekkevidde over hele Norge og for store deler av havområdet rundt, slik som passasjen mellom Grønland og Storbritannia som er en viktig handelsvei. Rekkevidden er vist på et kart med Mercator-projeksjon som strekker avstanden mellom lengdegradene for å tilpasses kartet, men viser en fast avstand. Avstanden er målt fra et vilkårlig punkt på Kolahalvøya, som er russisk hjemmehavn for den sjøbaserte delen av missil-arsenalet (Beadle & Diesen, 2015, s. 113). Norge vil kunne påvirkes over hele territoriet med mellomdistansevåpen.

Tabell 1 Russiske konvensjonelle kort- og mellomdistansemissiler (CSIS, 2018)

Navn	Våpensystem	Rekkevidde	Lastkapasitet
Kinzhal	Air-Launched Ballistic Missile	1500-2000 km	480 kg
Kalibr	Sea-Launched Land Attack Cruise Missile	1500-2500 km	450 kg
SSC-8	Ground-launched Cruise Missile	500-5500 km	450 km
Kh-101	Air-launched Cruise Missile	2500-2800 km	450 kg
Iskander M	Short-Range Ballistic Missile	400 km	700 kg
Tochka	Short-Range Ballistic Missile	120 km	482 kg



Figur 5 Rekkevidde på Russiske mellomdistansemissiler fra Kola-halvøya

Mellomdistansevåpen er potensielt en stor fare for norske verdier ettersom de kan levere store mengder eksplosiver hurtig og med stor presisjon (Joint Force Development, 2017, s. I.2). Oversikt over russiske missilsystemer i tabell 1 viser missiler med konvensjonelle stridshoder. Basert på store eksplosivmasser, kort varslings tid for våpensystemene og lang rekkevidde, vil missilsystemene kunne utgjøre den dimensjonerende trusselen for konvensjonelle våpen ved et angrep mot norske installasjoner.

Historisk sett er det flybomber som har vært den dimensjonerende konvensjonelle våpenvirkningen for tilfluktsrom (Asplan Analyse, 1999, s. 6). Til sammenligning har en flybombe, eksempelvis en 1000-punds bombe, tilsvarende virkning som missilene i tabell 1. Angrepet er primært realistisk for scenarioklasse 1 ettersom flybomber krever omfattende militær innsats. Trusselen gir også lengre varslings tid enn missiler da flyangrep krever en konflikteskalering før bombefly tas i bruk. Eskaleringen gir myndighetene mulighet til å ta i bruk eksisterende tilfluktsrom eller evakuere sivile.

«Terrorangrep» med eksplosiver en relevant trussel mot dekningsrom. Det vil kunne inntreffe i nærhet av eget dekningsrom delvis uavhengig av avstanden til nøkkelobjektet. Målet for «terrorangrep» er ikke nødvendigvis nøkkelobjektet, men det kan også være befolkning på en

åpen plass i nærheten av dekningsrommet. Terrorangrepet i Mumbai i 2008 varte i over tre døgn og var rettet mot ti ulike steder (DSB, 2014, s. 168). Ved varig angrep kan sivile være nødt til å benytte dekningsrom. I tilfeller hvor evakuering er umulig vil dekningsrom kunne gi bedre mulighet for beskyttelse, men bør unngås ved «terrorangrep» med konvensjonelle våpen.

Trykkbølger i luft

Trykkbølger i luft vil oppstå uavhengig av hvilken leveringsplattform våpensystemene har, dersom de går av over bakken. Derfor velger studien i kapittel 5.5 en hypotetisk ladningsstørrelse basert på relevante våpensystemer som er beskrevet.

Grunnsjokk

Konvensjonelle våpen utstyrt med forsinkelse vil kunne skape denne effekten. Grunnsjokk er en relevant trussel mot dekningsrom, men avhenger av grunnforholdene. Dekningsrommet bør derfor dimensjoneres mot grunnsjokk.

F AE-våpen

Våpensystemene er en relevant trussel ved scenarioklasse 1 og 2. En konsekvens av våpensystemene er at gasser kan trekke inn i ventilasjonssystemet og skape en innvendig eksplosjon i tillegg til de store trykkvirkningene. Dekningsrom bør derfor dimensjoneres spesifikt for FAE-våpen.

5.2.5 Sekundæreffekter

Brann

Ulykker vil alltid kunne oppstå, kombinert med andre våpenvirkninger vil dette kunne gi alvorlige skadevirkninger på personell i dekningsrom. Brann kan oppstå ved uhell samtidig med angrep mot ett eller flere nøkkelobjekter. Brann kan også oppstå som en konsekvens av bruk av konvensjonelle våpen. Dekningsrom bør derfor gis nødvendig brannmotstand for integritet, isolasjonsevne og lastbærende funksjon i henhold til oppholdstiden.

Progressiv kollaps

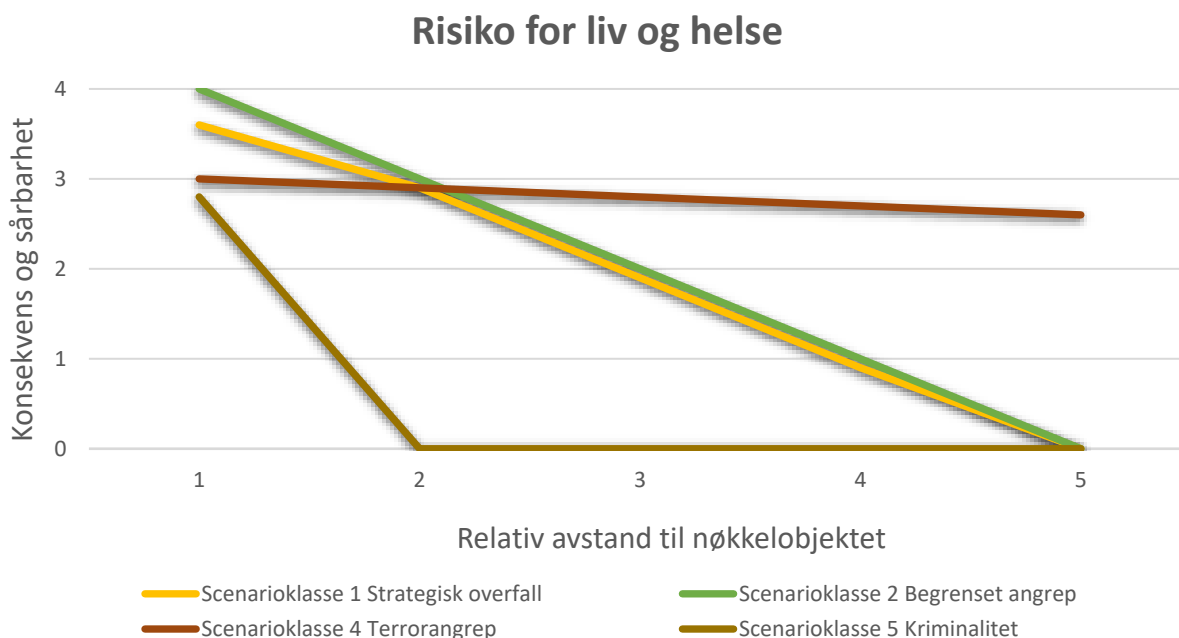
Byggverk deles inn i 4 pålitelighetsklasser etter hvilken konsekvens brudd i konstruksjonen vil ha for mennesker og samfunnet. Bygg i pålitelighetsklasse 3 og 4 skal ha et bæresystem som gir sikkerhet mot lokal skade som kan føre til progressiv kollaps, men det gis ikke nærmere retningslinjer for hvordan (Standard Norge, 2009, s. 22). Det kan ikke forutsettes at alle bygg er av slik kvalitet da etableringskostnadene er større og etablering er mer tidkrevende. Den

enkelte prosjekterende må vurdere i hvilken grad dekningsrommet skal dimensjoneres for at hele bygget raser eller om bygget skal motstå progressiv kollaps.

5.3 Vurdering av ren risiko

Risiko vurderes som sammenhengen mellom konsekvensen ved skade eller tap av verdien og sannsynlighet. Dette kan representeres ved bruk av parameterne trusler og sårbarheter (Forsvarsbygg, 2016, s. 52). Sannsynlighet vil ikke sees på isolert sett, da studien ser på dimensjonerende virkninger, altså virkninger hvor risikoen for liv og helse er størst for de aktuelle scenarioklassene.

Verdivurderingen baserer seg på sonekonseptet og vurderer derfor konsekvensen opp mot avstanden fra dekningsrommet til et nøkkelobjekt, som illustrert på figur 6. Konsekvensen rangeres etter skadenivået for liv og helse fra 0 til 4. 0 er ingen personskader, 1 er mindre personskader, 2 er flere personskader, 3 er inntil tre døde og 4 er flere enn tre døde (Forsvarsbygg, 2016, s. 308). Avstanden er en hypotetisk skalerbar størrelse for å illustrere forholdet mellom konsekvens, sårbarhet og avstand. Risikoen må vurderes selvstendig for hvert scenario.



Figur 6 Prinsippdiagram over konsekvensen opp mot avstanden mellom dekningsrommet og nøkkelobjektet

Den største risikoen mot sivile i tilknytning nøkkelobjekter i Oslo er ved et «begrenset angrep». Dette er fordi varslingstiden er så kort at de eksisterende beskyttelsestiltakene som tilfluktsrom og evakuering ikke kan benyttes dersom en trusselaktør eksempelvis benytter

presisjonsmissiler. Sårbarheten er større nærmere nøkkelobjektet, ettersom presisjonen på systemene er veldig stor. Risikoen for sivile vil derfor avta med avstanden til nøkkelobjektet, som illustrert på figur 6.

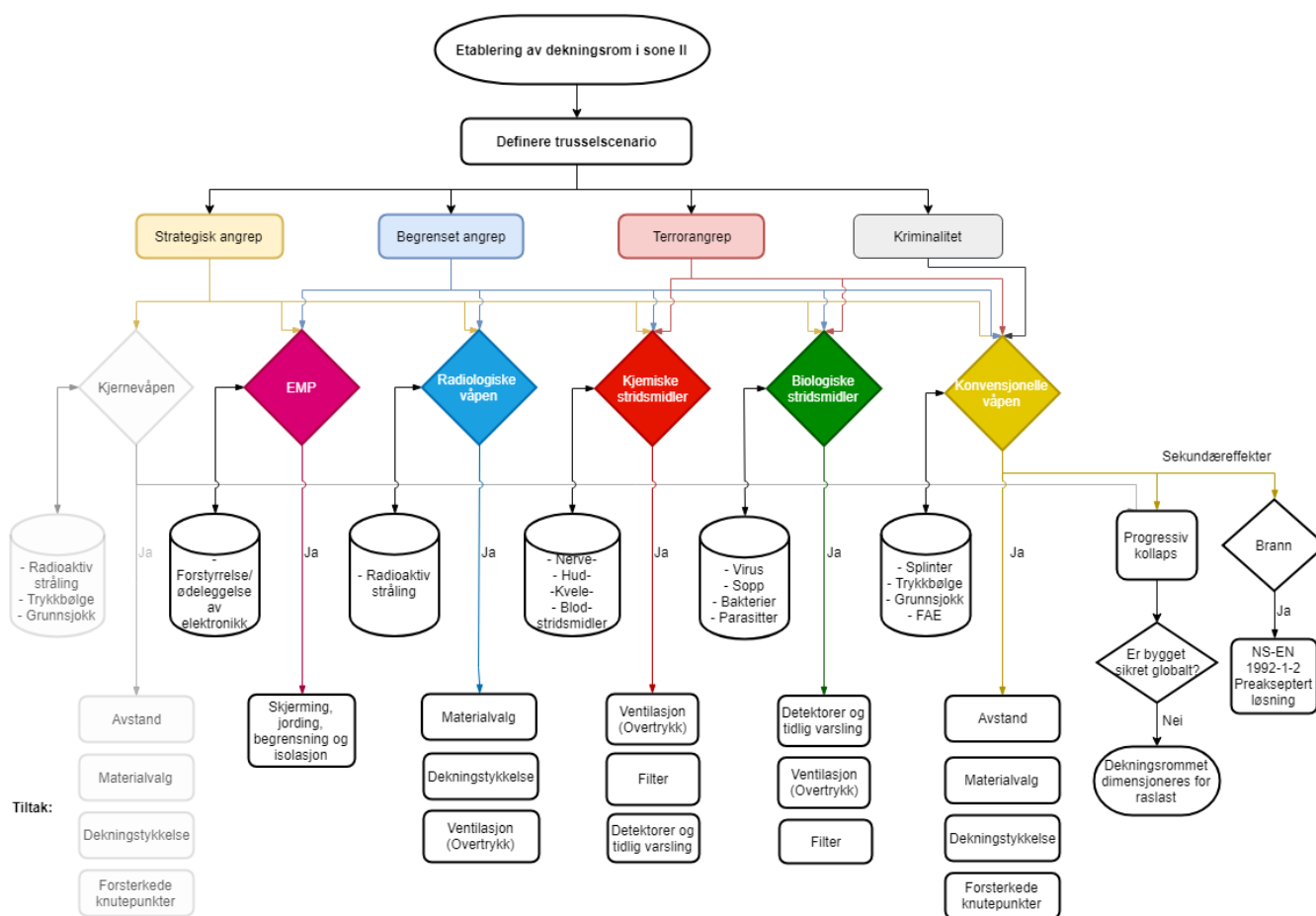
Risikoen i scenarioklasse 1 er litt mindre, ettersom scenariet gir mulighet for klargjøring og benyttelse av eksisterende beskyttelsestiltak som varsling, evakuering og tilfluktsrom. Sårbarheten er derfor ikke like stor. Våpensystemene i scenariet har mindre presisjon og potensielt større effekt. Eksempelvis har flybomber større spredning enn langtreckende presisjonsmissiler, men totalt sett vurderes risikoen å være mindre.

Scenarioklasse 4 har lavere konsekvenser for sivile enn klasse 1 og 2, men er ikke nødvendigvis rettet mot nøkkelobjektet. Ved et «terrorangrep» med konvensjonelle våpen bør det spesifiseres at spredning er ønskelig fremfor å ta i bruk dekningsrom. Konsekvensen er avtagende med avstanden til nøkkelobjektet ettersom terrortrusselen historisk sett er rettet mot tettbebygde strøk.

Scenarioklasse 5 illustreres som en sårbarhet på kort avstand. En kriminell aktør må gjøre et rettet angrep mot dekningsrommet ved å eksempelvis ramme sivile samlet i dekningsrommet for å oppnå økonomisk vinning.

5.4 Fremgangsmåte for prosjektering

For å etablere et dekningsrom er det en rekke elementer som påvirker utformingen. Dette innebærer å identifisere hvilken sone det skal etableres i henhold til sonekonseptet, samt en vurdering av trusler. På bakgrunn av kapittel 4 og 5.1-5.3 er det satt opp et flytskjema, visualisert i figur 7 med relevante trusler og tiltak mot disse. Skjemaet skisserer omfanget av dekningsrommet innenfor sone II avhengig av hvilke scenarioklasser det velges å beskyttes mot.



Figur 7 Fremgangsmåte for prosjektering av dekningsrom i sone II

5.5 Valg av trusler

Studien vil ikke se på alle scenarioklasser og samtlige våpenvirkninger som bør dimensjoneres for, som oppsummert i tabell 2. For dimensjonering av mulig løsning velges scenarioklasse 2 «begrenset angrep». Valgte våpenvirkninger vil være konvensjonelle våpen relevant for scenarioklasse 2, som missilsystemene vist i tabell 1. Scenarioklassen velges ettersom

våpenvirkningene har høy presisjon og kort varslingstid som eksisterende beskyttelseskonsepter er sårbare mot.

Flere trusler vil utelates på grunn av omfanget i denne studien. Virkninger av EMP vil kun ha en indirekte påvirkning mot sivilbefolkningen. EMP er relevant for scenarioklasse 2, men i liten grad og vil derfor ikke dimensjoneres for direkte, men legges til rette for. Kjemiske, biologiske og radiologiske trusler er relevant for scenarioklassen og det er utfordrende å beskytte sivilbefolkningen med andre tiltak. Det vil derfor legges til rette for disse beskyttelsestiltakene, men vil ikke behandles i detalj. Studien avgrensers seg vekk fra FAE-våpen, ettersom våpenvirkningen krever en selvstendig analyse av eksisterende våpen.

Tabell 2 Oppsummering scenarioklasser og mulige trusler, med valgt trusseltype

Scenarioklasse	Kjernevåpen	EMP	Konvensjonelle våpen	CBR
Strategisk overfall	-	X	X	X
Begrenset angrep		X	X	X
Terrorangrep			-	X
Kriminalitet			X	

Konvensjonelle våpen dekker flere virkninger, men for å gjennomføre beregninger velges en hypotetisk ladning med 450 kg TNT-ekvivalenter som går av på bakken. Ladningsstørrelsen tilsvarer massen til flere av missilene beskrevet i 5.2.4. Lastekapasiteten vil tilsvare netto eksplosivinnhold (NEI) for missilene oppgitt i TNT-ekvivalenter. Hele lasten vil ikke bestå av eksplosiver, men grunnet virkningsgraden vil det være konservativt å omtale lasten som TNT-ekvivalenter. Dette er en konservativ betraktning for å kunne utelukke effektene av bøsingen rundt ladningen samt virkningsgraden til eksplosivet. Virkningene som vurderes er trykkbølge og splintvirkning. Sekundæreffekter av de konvensjonelle våpenvirkningene vil også vurderes. I tillegg legges det til rette for beskyttelse mot CBR-trusler.

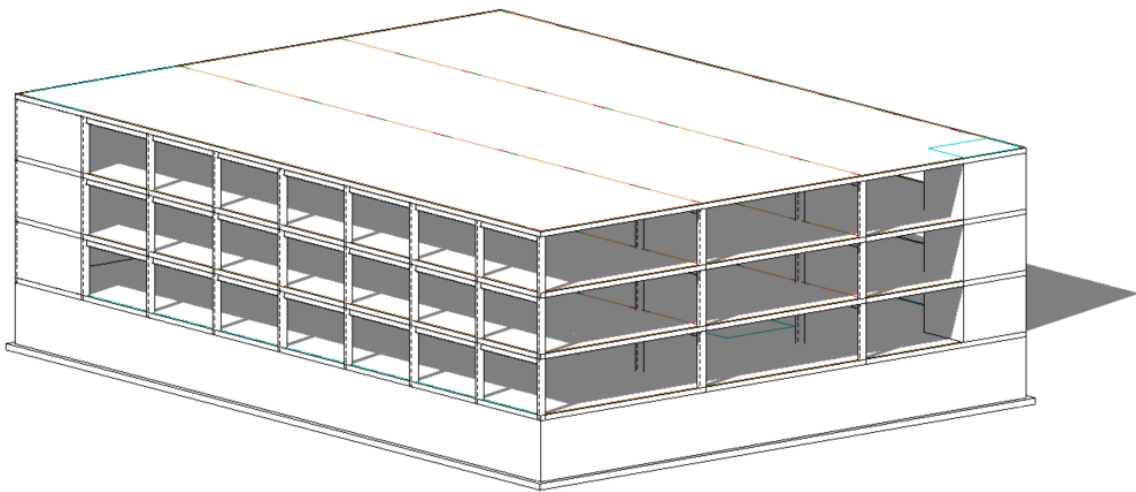
6 Dimensjonering av mulig løsning

Kapitlet viser et eksempel på bruk av fremgangsmåten for prosjektering av dekningsrom innenfor sone II. Eksemplet baserer seg på utvalg konvensjonelle våpen ved et «begrenset angrep». Bæresystemet i dekningsrommet dimensjoneres i detalj mot den valgte trusselen.

6.1 Grunnlag

6.1.1 Generisk bygg

Denne studien har valgt et generisk kontorbygg på 30x40 m hvor det skal etableres et dekningsrom. Bygget følger normal byggeskikk i landet hvor bærekonstruksjonen består av stålsøyler med hulldekker i fire etasjer inkludert kjeller, se figur 8. Dette bygget vil gi et bruttoareal (BTA) på 3600 m². Ettersom kjeller ikke er et arbeidsrelatert lokale, vil bygget kunne romme 157 arbeidsplasser. Arealnorm på 23 m² per person er lagt til grunn (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2015).



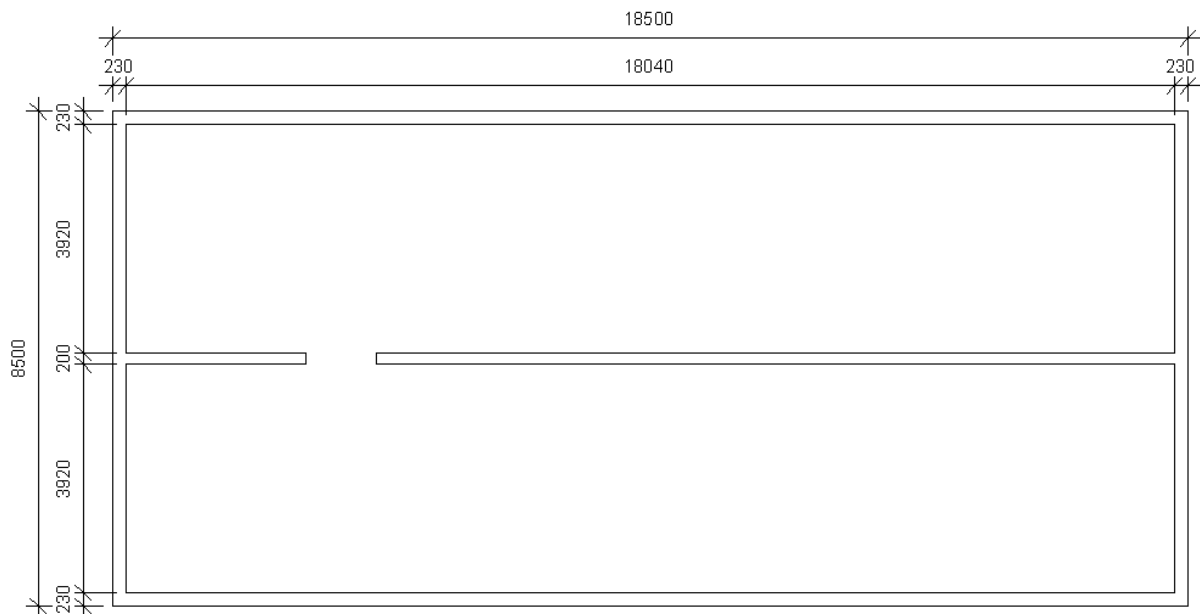
Figur 8 Generisk bygg

Dekningsrom

Dekningsrommet i denne studien dimensjoneres for 157 personer. I oppholdsrommet i dekningsrommet har gjeldende forskrift for tilfluktsrom et krav om 0,6 m² fri gulvflate per person, eller 0,9 m² inkludert plass til nødvendig utstyr (DSB, 1995, s. 22). Med 0,9 m² per person lagt til grunn vil minste innvendige areal på dekningsrommet være 141 m².

På bakgrunn av dette er det beregnet optimal geometri på dekningsrommet for å skape avstand til ladningen, se vedlegg B01. For å utnytte avstanden best mulig, etableres dekningsrommet

sentralt i kjelleren. Geometrien på dekningsrommet vises i figur 9. Det gir tilstrekkelig areal og en intern avstand fra fasaden til ytterveggen på dekningsrommet på 10 m.



Figur 9 Plantegning dekningsrom

Avstand til ladning

For en mulig løsning er det nødvendig å velge en avstand til detonasjonsstedet for å beregne lasten som påvirker dekningsrommet. Avstanden defineres ved å summere den interne avstanden fra fasaden til dekningsrommet med en avstand som tilsvarer en veibredde. Bredden på en vei med toveistrafikk er 6 m (Statens vegvesen, 2014, s. 25), med en fortausbredde på minimum 2 m (s. 23) gir det total veibredde på 10 m. Summen av intern avstand og total veibredde velges derfor til 20 m, som skal tilsvare en detonasjon i nabobygget. Hensikten med å definere dette er å ha grunnlag for å drøfte avstandens innvirkning på trykkbølgen.

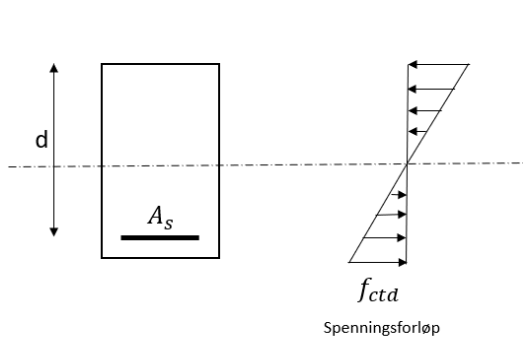
6.1.2 Oppholdstid

Dimensjonerende oppholdstid settes lik gjeldende forskrift på seks timer (Forskrift om tilfluktsrom, 1995, §28). For brannsikring velges en brannmotstand på fire timer ettersom det behøves egen branndimensjonering for å sikre konstruksjonen ytterligere, hvilket ikke prioriteres i denne studien.

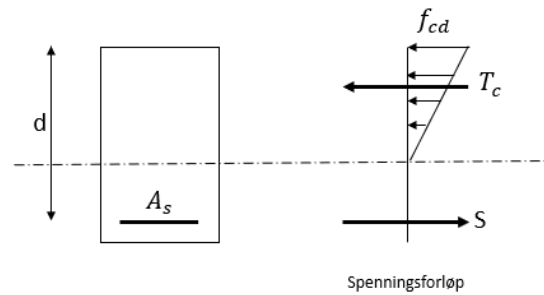
6.1.3 Materialer

Betong benyttes til bæresystemet. Betong gir høy fasthet, bestandighet, brannsikkerhet og har en høy egenvekt for å motstå eksplosivlast.

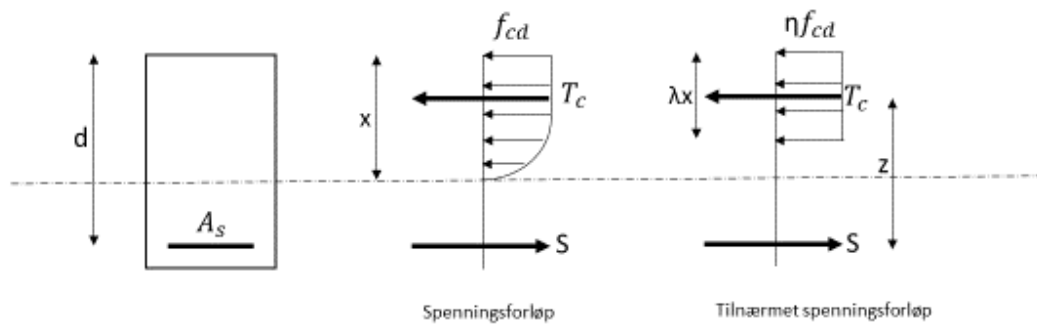
Tverrsnittet vil, avhengig av de ytre kreftene, betraktes etter forskjellige spenningsfordelinger som omtales som stadier. I stadium 1 er det lineære spenninger i både trykksonen og strekksonen (Sørensen, 2009, s. 122), som på figur 10. I stadium 2 er det fortsatt lineære



Figur 10 Spenningsforløpet i et stadium 1 tverrsnitt



Figur 11 Spenningsforløpet i et stadium 2 tverrsnitt



Figur 12 Spenningsforløpet i et stadium 3 tverrsnitt

spenninger i trykksonen, men strekksonen er opprisset og strekkraften tas i sin helhet av armeringen (s. 124) som på figur 11. I stadium 3 vil tverrsnittet ha plastisk utnyttelse i trykksonen og fullstendig opprisset strekksone (s. 28), med en indre momentarm (z), som vist på figur 12.

Stadium 1 innebærer at for veldig lave spenninger, lavere enn strekkfastheten til betong (f_{ctd}), vil lineære spenninger oppstå i hele tverrsnittet (Sørensen, 2009, s. 122). Til sammenligning er dette samme spenningsfordelingen som oppstår i materialer der trykk- og strekkfastheten er like store, slik som stål. Dette er ugunstig bruk av betongtverrsnittet og gir lav kapasitet sammenlignet med å ta strekkraftene med armeringsstål.

I stadium 2 utnyttes betongens trykksone helt til den dimensjonerende trykkfastheten (f_{cd}), men kun i øverste del av trykksonen. Armeringen kan belastes til flytegrensen (f_y) til stålet (s. 126).

Oppførselen er elastisk og tverrsnittet kan belastes til stadium 2 og således stadium 1 gjentatte ganger.

I stadium 3 er det full plastisk utnyttelse av trykksonen og kan sees på som det punktet hvor trykksonen knuses. Belastningen vil gi en varig deformasjon på konstruksjonen, men uten kollaps. Dette er beregningsmodellen som benyttes i bruddgrensetilstand og i ulykkestilstand for å bestemme maksimal belastning på en betongbjelke (s. 28).

Det er viktig å trekke frem at dersom kapasiteten i stadium 3 benyttes ved dimensjonering, vil deler av trykksonen knuses og strekksonen bli opprisset. Tverrsnittet vil da ikke nødvendigvis vil tåle flere slike belastninger. Ved dimensjonering mot ulykke etter Eurokodene gjøres beregninger i bruddgrensetilstand (Eurokode 0, 2008, s. 33). Studien vil derfor ikke dimensjonere mot flere lasttilfeller. Raslasten vil ikke gjentas, men lasten fra trykkbølgen vil kunne oppstå gjentatte ganger. Prinsippet for bruddgrenseberegningen er at så lenge kapasiteten er større enn belastningen vil konstruksjonen unngå kollaps. Videre vil det med gjentatte detonasjoner statistisk sett kun være et fåtall som gir den dimensjonerende belastningen. Kombinert med konservative betraktninger i beregningene vurderes bruddgrenseberegninger å ivareta konstruksjonens beskyttelsesevne også for gjentatte belastninger. Kapasiteten i de forskjellige stadiene avhenger av materialkvalitetene til stålet og betongen.

Det er valgt å benytte materialkvalitetene B45 betong og stål B500C for å sikre kvalitet og tilstrekkelig trykk- og strekkfasthet. Det vil fortsatt være mulig å benytte lavere kvalitet for å redusere kostnaden, så lenge tverrsnittene kontrolleres på nytt. Eksponeringsklasse bestemmes etter tabell 4.1 i Eurokode 2 (2008, s. 46). Tabellen gir klasse XC1 for betongkonstruksjoner inne i bygninger med lav luftfuktighet. Videre bestemmes bestandighetsklasse etter tabell NA.4.4N (2008, NA s.5), hvor minstekrav M60 er valgt. For nødvendig brannmotstand i bærende vegger, med branneksponeering på en side, stilles det krav til minimum 230 mm tykkelse og 60 mm armeringsoverdekning. Overdekning er avstanden fra ytterkant av tverrsnittet til armeringen (Betongelementforeningen, 2007, s. 34). Overdekningen kan reduseres med 20 mm dersom overflaten behandles med 4mm Vermikulitt- eller mineralfiberpuss (s. 43). Materialet vil isolere veggen og redusere brannpåvirkningen som svekker stålet ved oppvarming. Vegger og tak etableres derfor med 40mm overdekning og påføres mineralpuss eller tilsvarende. Valg av materialer er oppsummert i tabell 3 sammen med materialfaktorer fra tabell NA.2.1N (Eurokode 2, 2008, NA s.2).

Tabell 3 Valgte materialer og tilhørende materialfaktorer

Materialer	
B45 trykkfasthet, f_{ck}	45 N/mm ²
B500C flytespenning armering, f_{yk}	500 N/mm ²
Betongens aksialtrekkfasthet, f_{ctm}	3.8 N/mm ²
Eksponeeringsklasse	XC1
Bestandighetsklasse	M60
Overdekning, C_{nom}	40 mm
Egenvekt betong γ_{betong}	25 kN/m ³
Materialfaktorer i ulykkestilstand	
Betong	1,2
Stål	1,0

6.2 Laster

Denne lastanalysen er gjort på bakgrunn av lastfaktorer gitt i Eurokode 0 (2008) og er gjengitt i tabell 4.

Tabell 4 Lastfaktorer i ulykkestilstand

Lastfaktorer	
Egenlast (Gunstig og ugunstig)	1,0
Ulykkeslast	1,0
Øvrig variabel last	0,5

Lastkombinasjonen for dimensjonerende ulykkeslaster (Q_{Ed}) med ugunstig egenlast (Eurokode 0, 2008, Ligning 6.11a) beregnes ved summen av ugunstige permanent last ($G_{kj.sup}$), ulykkeslasten (A_d) og øvrig variabel last multiplisert med en reduksjonsfaktor ($\psi_1 \cdot Q_{k1}$):

$$Q_{Ed} = G_{kj.sup} + A_d + \psi_1 \cdot Q_{k1} \quad (6.1)$$

6.2.1 Permanent last

Permanent last i dette tilfellet er tyngden av etasjene over dekningsrommet, i tillegg til egentyngden av selve dekningsrommet. Her er det forutsatt et armert betongdekke på 220 mm og stålsøyler av Hulprofil (HUP)300, se vedlegg B02 for ytterligere beregninger. Dette følger

tradisjonell byggeskikk for å ha et beregningsgrunnlag. Alle egenlast er eksempler på løsninger hentet fra Sintef Byggforsk (2013). Permanente laster er gjengitt i tabell 5.

Tabell 5 Permanente laster

Permanente laster	Lastfaktor	Last
Tak av 150 mm massivt betongdekke eller 265 mm hulldekkeelementer og taktekning av asfaltbelegg, inkludert 350 mm polystyren	1,0	4,0 kN/m ²
Dekke av 220 mm massivt betongdekke eller 320 mm hulldekkeelementer med 20 mm avretting og lett, flytende gulv	1,0	6,0 kN/m ²
Innervegger av 98 mm heltre, c/c 600 mm, 13 mm gips på hver side og 100 mm mineralull	1,0	0,4 kN/m ²
Stålsøyler, HUP300, 36 stk	1,0	0,08 kN/m ²
SUM tre etasjer		23,4 kN/m²

6.2.2 Variabel last

Variabel last som inkluderes er nyttelast på gulv for kontorbygg, 3,0 kN/m² (Eurokode 1-1-1, 2008, NA s.3). Siden sannsynligheten for at denne lastvirkningen opptrer samtidig i hele bygget er liten reduseres denne med en faktor 0,7 (Eurokode 0, 2008, NA s.2).

Snølast på mark i Oslo er 3,5 kN/m² med normal topografi (Eurokode 1-1-3, 2008, NA s.2). Snølasten reduseres med en ψ -faktor på 0,5 på grunn av samtidighet (Eurokode 0, 2008, NA s. 2).

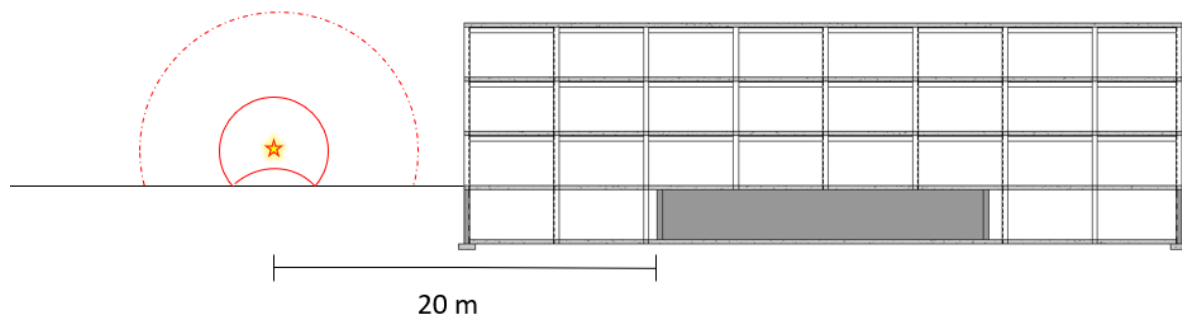
Vindlast neglisjeres ettersom den utgjør et veldig lite bidrag i lasttilfellet. Variable laster er gjengitt i tabell 6.

Tabell 6 Variable laster

Hva	Lastfaktor	Last
Redusert nyttelast på gulv pr etasje	1,0	2,1 kN/m ²
Redusert snølast på mark	0,5	1,8 kN/m ²
SUM tre etasjer		8,1 kN/m²

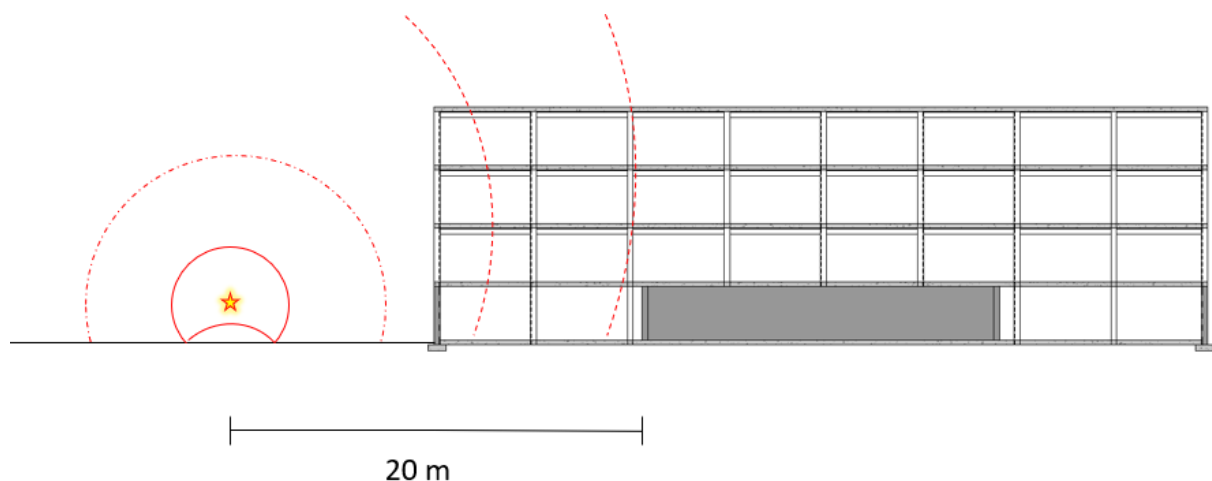
6.2.3 Våpenlast

Prinsippet for detonasjon av 450 kg på 20 m avstand er vist på figur 13.



Figur 13 Eksplosivbelastning mot generisk bygg med dekningsrom i underetasjen

For å beregne trykkbølgen gjøres en forenkling hvor lasttilfellet omgjøres til en teoretisk detonasjon i friluft. Ved detonasjon vil trykkbølgen øke i størrelse som en konsekvens av speilingen fra bakken. Idet ladningen treffer fasaden vil noe av trykket reflekteres. I det ladningen treffer dekket over kjelleren vil også noe reflekteres. Mellom dekningsrommet og kjellerveggen vil derimot trykkbølgen kunne reflekteres og forsterkes noe. Den resulterende belastningen er svært utfordrende å beregne uten numeriske simuleringer. Som en konservativ betraktning flyttes derfor bakkenivå til kjelleretasjen og ladningen beregnes som en detonasjon på bakken som propagerer fritt gjennom bygget, som vist på figur 14. Ettersom detonasjonen skjer på bakken kan ladningsvekten multipliseres med 2 på grunn av speilingseffekten (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 3.25). Det tilsvarer en detonasjon av 900 kg i friluft.



Figur 14 Konservativ betraktning av eksplosivbelastning mot dekningsrom i underetasjen

Detonasjonene vil gi et trykk og en impuls. En metode for å finne parameterne er ved å benytte skalert avstand. Skalert avstand (Z) er en faktor som beskriver forholdet mellom

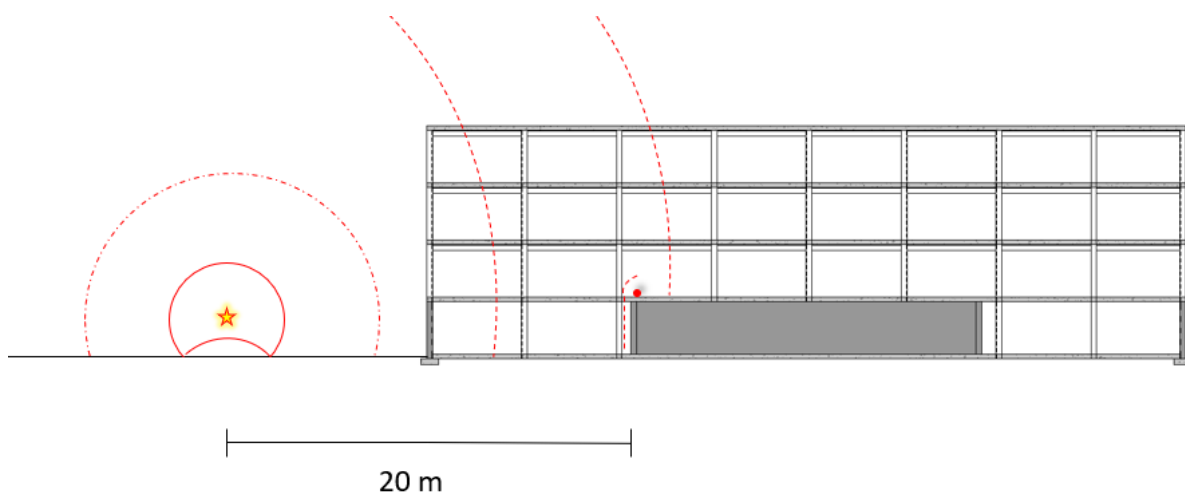
ladningsstørrelse og avstand. Avstanden til ladningen (R) divideres med ladningsstørrelsen (W) opphøyd i en tredjedel (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 3.12).

$$Z = \frac{R}{W^{\frac{1}{3}}} = \frac{20.0m}{900kg^{\frac{1}{3}}} = 2.07 \frac{m}{kg^{\frac{1}{3}}} \quad (6.2)$$

Ettersom trykkbølgen treffer betongytterveggen til dekningsrommet vil det betraktes som reflektert. Trykkbølgen forsterkes idet den treffer veggen. Refleksjonstrykket leses av figur i *Håndbok i våpenvirkninger* som 590 kPa (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 3.26). Refleksjonsimpuls leses av som 2.2 kPa·s (s.3.27).

Undertrykket som oppstår fra detonasjonen vil skape et sug mot ytterveggen og mot taket. Den negative impulsen vil derfor kunne være dimensjonerende for armeringen på utsiden av ytterveggen. Den negative refleksjonsimpulsen leses av som 1.73 kPa·s (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 3.29)

For taket til dekningsrommet vil trykkbølgen virke annerledes enn mot veggen, fordi det ikke oppstår et refleksjonstrykk. Tilsvarende simuleringer er beskrevet i *Håndbok i våpenvirkninger* og viser trykkbelastningen på taket (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 3.23), illustrert på figur 16. Simuleringen viser at trykkvirkningen midt på taket er tilnærmet lik sjokkfronten. I overgangen tak/vegg vil det oppstå en gassbevegelse, som vist på figur 15, som gir et lavere trykk (s. 3.22). Trykkbølgens virkning mot taket er ikke lik som mot veggen. Virkningen vil påvirkes av innervegger og objekter mellom ladningen og taket. Basert på dette vurderes impulslasten, ureflektert, å være en konservativ betraktning av detonasjonens belastning på taket. Impulsen leses av som 0.86 kPa·s (s. 3.27). Den negative impulsen fra undertrykket leses av som 0.97 kPa·s (s. 3.29). Sammendrag av lastene er gjengitt i tabell 7.



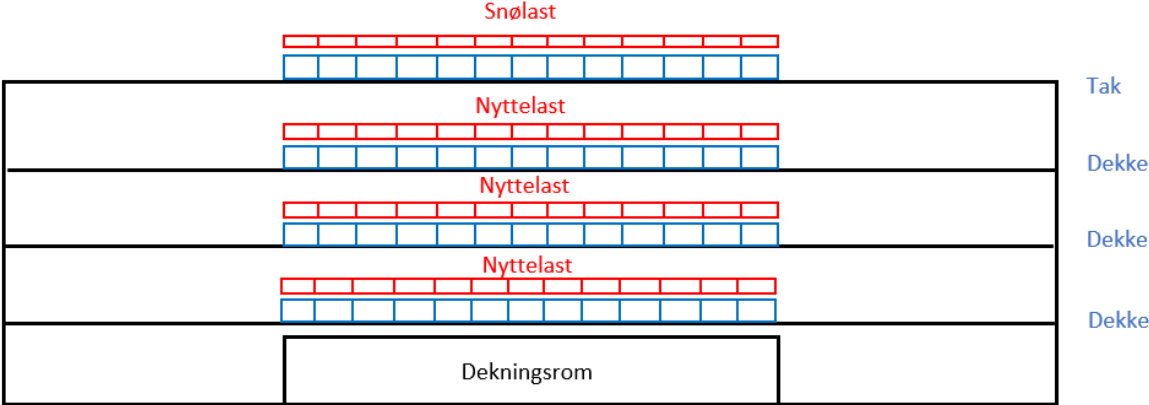
Figur 15 Konservativ betraktning av eksplosivbelastning mot taket

Tabell 7 Sammendrag våpenlaster

Våpenlast	
Refleksjonsimpuls mot vegg	2.2 kPa·s
Negativ refleksjonsimpuls mot vegg	-1.73 kPa·s
Impuls mot tak	0.86 kPa·s
Negativ impuls mot tak	-0.97 kPa·s

6.2.4 Raslast

Raslasten kommer som følge av en progressiv kollaps av bygget. Den betraktes som en jevnt fordelt statisk last på taket til dekningsrommet. Lasten utgjør egenlast og nyttelast av den overliggende bygningen i horisontalprojeksjon på dekningsrommets bruttoareal, hvor dekningsrommet egenlast kommer i tillegg. Figur 16 illustrerer dette. Beregningsmetode for lasten er hentet fra *Forskrift m.v om tilfluktsrom* (1995, s. 67). Samme metoden er brukt i tidligere forskrift om tilfluktsrom fra 1966 og 1976.



Figur 16 Lasttilfelle for raslasten

Raslasten vil være avhengig av overliggende bygnings høyde ettersom det er en dynamisk last som faller ned på dekningsrommet. For å gjøre om den dynamiske lasten til en statisk last er det medregnet tyngdepunktet til lasten. Det tilsvarer halve høyde på bygningen ettersom egenlasten anses jevnt fordelt på etasjene. Summen av permanente (g), variable laster (q) og snølast (s) er gitt ved:

$$\begin{aligned}
 Q &= 3 \cdot (g_{kdekke} + g_{ksøyle} + g_{kvegger}) + g_{ktak} + 3 \cdot q_k + \psi_0 \cdot s_k \quad (6.3) \\
 &= \left(6.0 \frac{kN}{m^2} + 0.08 \frac{kN}{m^2} + 0.4 \frac{kN}{m^2} \right) + 4.0 \frac{kN}{m^2} + 3 \cdot 2.1 \frac{kN}{m^2} + 0.5 \cdot 3.5 \frac{kN}{m^2} = 31.5 \frac{kN}{m^2}
 \end{aligned}$$

Raslasten (A_d) beregnes videre som produktet av lastene fra ligning 6.3 multiplisert med en reduksjonsfaktor som tar høyde for dempningseffekt i etasjene og kvadratroten av høyden til tyngdepunktet (h_t). Dette er en forenkling i *Forskrift m.v om tilfluktsrom* (1995, s. 68) som tar høyde for den dynamiske effekten.

$$A_d = 0.8 \cdot Q \cdot \sqrt{h_t} = 0.8 \cdot 31.5 \frac{kN}{m^2} \cdot \sqrt{4.25m} = 53.4 \frac{kN}{m^2} \quad (6.4)$$

Nærliggende bygg vil også kunne bidra med en betydelig raslast, som er avhengig av høyden til nærliggende bygg. *Forskrift m.v om tilfluktsrom* (1995, s. 68) gjør en forenkling da massen av et nærliggende bygg ikke nødvendigvis er kjent. Dekningsrommet er kontrollert for raslast fra nærliggende bygg med tilsvarende høyde som det generiske bygget. Lasten er ikke dimensjonerende dersom høyden er lik høyden på overliggende bygning. Se vedlegg B02 for detaljer.

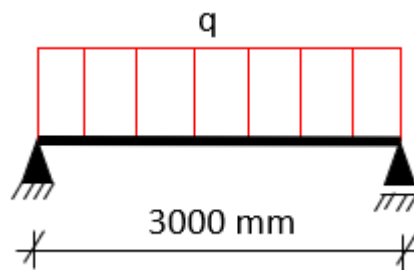
6.3 Bærekonstruksjonen

6.3.1 Yttervegg

Tabell 8 gir nødvendig parametere for dimensjonering av yttervegg.

Tabell 8 Inndata beregning av yttervegg

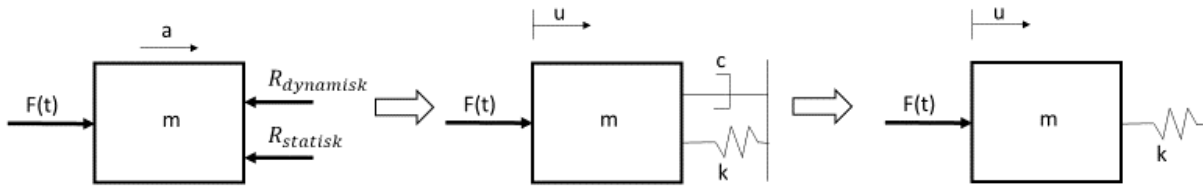
Geometri	
Bredde, b (betraktet)	1000 mm
Høyde, h	230 mm
Spennvidde, L	3000 mm
Last yttervegg	
Våpenlast bruddgrensetilstand	2.2 kPa·s og -1.73 kPa·s
Raslast bruddgrensetilstand	53 kN/m ² (trykk)
Fredslast bruksgrensetilstand	13 kN (trykk) neglisjeres



Figur 17 Lasttilfellet for ytterveggen

Ytterveggen betraktes som en fritt opplagt bjelke, illustrert på figur 17. For å vurdere lastpåvirkningen fra trykkbølgen betraktes ytterveggen også som et annet forenklet system, i dette tilfellet et enfrihetsgradssystem, som vist på figur 18. Konstruksjonen snittes et vilkårlig punkt og betraktes som et legeme med en gitt masse koblet på en fjær med en gitt stivhet. Det betraktede snittet er midt på bjelken, der deformasjonen vil være størst. Kraften som påvirker konstruksjonen ($F(t)$) kan uttrykkes som differensialligningen under, der \ddot{u} er akselerasjonen til konstruksjonen og u' er hastigheten, k er fjærstivheten og c er dempningen (Johansson & Laine, 2012, s. 16). I dette lasttilfelle vil dempningsleddet fjernes da belastningen er veldig kortvarig.

$$F(t) = m \cdot \ddot{u} + c \cdot u' + k \cdot u \quad (6.5)$$



Figur 18 Enfrihetsgradssystem for vurdering av trykkbølgenes lastpåvirkning

For et enfrihetsgradssystem finnes først utbøyningen som følge av eksplosivlasten. Deretter kontrolleres utbøyningen opp mot betongtverrsnittets maksimale deformasjonsevne. I vedlegg B05 er fullstendig kontroll gjennomført i henhold til en svensk forskningsrapport av Johansson og Laine (2012). Metoden som beskrives her er for utbøyning av et fullt opprisset stadium 3 tverrsnitt. Deformasjonen vil i praksis være en kombinasjon av stadium 2 og 3, men vil kun beregnes i stadium 3 som er konservativt.

Innledningsvis finnes den ekvivalente massen til det betraktete segmentet som utgjør massen i enfrihetsgradssystemet. Randbetingelsene til veggen avgjør konstanten k_{mF} i ligningen under. Veggen betraktes som fritt opplagt. Til tross for at konstruksjonen er noe momentstiv i hjørnene vil hjørnene kunne rotere. Betrakningen er derfor konservativ. For å beregne den ekvivalente massen i stadium 3 (m_3) multipliseres konstanten for en fritt opplagt bjelke med jevnt fordelt last (0.787) med volumet av betraktet snitt ($b \cdot h \cdot l$) og tettheten til betongen (γ) (Johansson & Laine, 2012, s. 65).

$$\begin{aligned} m_3 &= k_{m,f} \cdot b \cdot h \cdot l \cdot \gamma_{betong} \\ &= 0.787 \cdot 1m \cdot 0.23m \cdot 3m \cdot 2500 \frac{kg}{m^3} = 1759kg \end{aligned} \quad (6.6)$$

Det valgte tverrsnittet er i vedlegg B05 kontrollert for armeringsmengden Ø16 med senteravstand 100 mm på innsiden av veggen. Dette gir en indre momentkapasitet (M_{sd}) for trykk- og strekkreftene med armen z , som vist på figur 12. Fastheten til stålet (f_{yd}) multipliseres med det totale armeringsarealet (A_s) og den indre momentarmen (z) (Johansson & Laine, 2012, s. D.9). Samme beregningsmetoden er utledet fra Eurokode 2 (Sørensen, 2009, s. 39).

$$\begin{aligned} M_{sd} &= f_{yd} \cdot A_s \cdot z \\ &= 500 \frac{N}{mm^2} \cdot \left(\pi \cdot (8mm)^2 \cdot \frac{1m}{0.1m} \right) \cdot 160mm = 170 kNm \end{aligned} \quad (6.7)$$

Momentkapasiteten til segmentet benyttes til å beregne den indre motstandskraften (R). Motstandskraften til segmentet finnes ved å sette opptredende moment lik indre moment (s. D.10). For stadium 1 og 2 finnes derimot stivheten til veggen (k) som påvirker den elastiske forskyvningen (s. D.11), se vedlegg B05. Ettersom deformasjonen i stadium 3 er varig og plastisk vil ikke stivheten, som kan sammenlignes med fjærstivheten i enfrihetsgradssystemet, påvirke forskyvningen i stadium 3. Det betyr at for et betongtverrsnitt belastet med en eksplosivlast så er det kun tverrsnittet som definerer hvor stor kraft som mobiliseres dersom veggen settes i bevegelse. Kraften (R) finnes ved å sette opptredende moment ($M_{Ed} = q \cdot \frac{l^2}{8}$) (Sintef byggforsk, 2013) lik momentkapasiteten fra ligning 6.7.

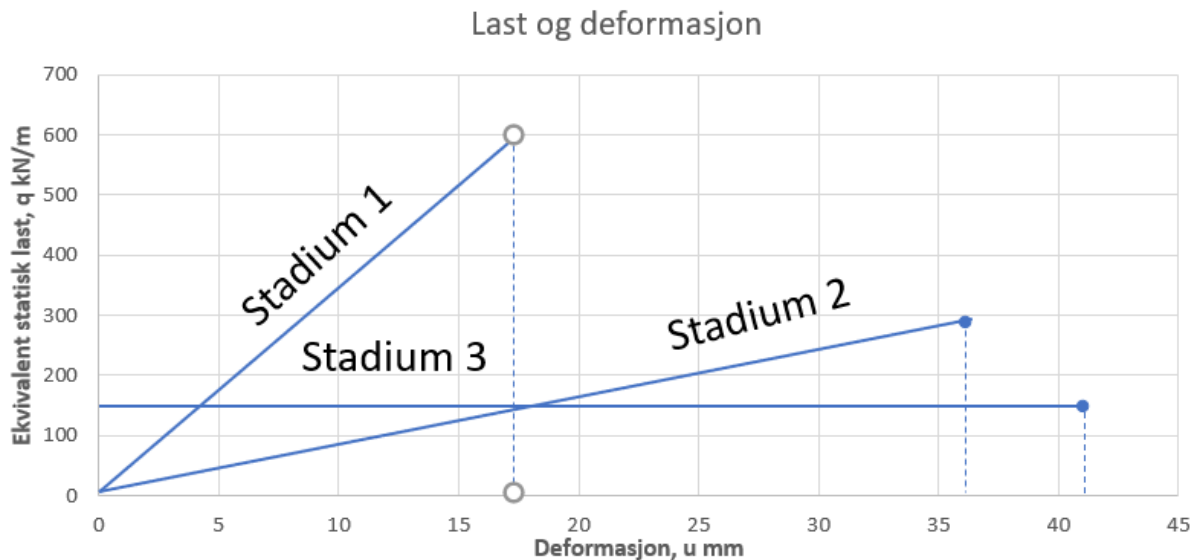
$$\begin{aligned} M_{Sd} &= M_{Ed} = q \cdot \frac{l^2}{8} \\ &\Rightarrow \\ R &= q \cdot l = M_{Sd} \cdot \frac{8}{l} \\ &= 170 \text{ kNm} \cdot \frac{8}{3\text{m}} = 453 \text{ kN} \end{aligned} \quad (6.8)$$

Hvorvidt veggen i enfrihetsgradssystemet settes i bevegelse avgjøres av forskyvningen (Johansson & Laine, 2012, s. D.11). Den opptredende forskyvningen (u) defineres av den totale impulsen (i_t) som virker på betraktet segment. Totalimpulsen i andre potens divideres med to ganger motstandskraften fra ligning 6.8 multiplisert med den ekvivalente massen fra ligning 6.6.

$$\begin{aligned} u_3 &= \frac{i_t^2}{2 \cdot R \cdot m_3} \\ &= \frac{(2.2 \text{ kPas} \cdot 1\text{m} \cdot 3\text{m})^2}{2 \cdot 453 \text{ kN} \cdot 1759 \text{ kg}} = 39 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6.9)$$

Deformasjonen kontrolleres opp mot tillatt deformasjon for segmentet og kontroll av likevekt mellom indre og ytre arbeid (ss. D.14-D.16). Det indre og ytre arbeidet er kontrollert i vedlegg B05 og sammenstilt i figur 19. Den ekvivalente kraften er beregnet og det er kontrollert likevekt

mellom indre og ytre arbeid. De to størrelsene er identiske og den opptredende forskyvningen kan avslutningsvis kontrolleres opp mot tillatt forskyvning.



Figur 19 Last og deformasjon for betongstadiene, arbeidet er arealet under grafen

Tillatt forskyvning kan finnes ved å bestemme tillatt rotasjonskapasitet. Rotasjonskapasiteten finnes i Johansen og Laine (2009) basert på en svensk betonghåndbok fra 1990 (S. D.15). Denne er kontrollert i vedlegg B05. I tillegg kontrolleres tilsvarende tillatt kapasitet etter Eurokode 2 (2008, s. NA.7). Kapasiteten etter Eurokoden er 3 mm mindre enn den beregnet i betonghåndboken og utgjør en minimal forskjell. Tillatt rotasjonskapasitet ($\theta_{pl,d}$) leses av figur NA.5.6.N (s. NA.7) og gir 29 milliradianer. Rotasjonen multipliseres med halve lengden for forskyvning midt på bjelken.

$$\begin{aligned}
 u_{rd} &= \theta_{pl,d} \cdot \frac{l}{2} \\
 &= 0.029 \cdot \frac{3000\text{mm}}{2} = 44 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{6.10}$$

Tillatt forskyvning er mer enn opptredende og det valgte tverrsnittet vil være dimensjonert for impulsbelastningen midt på veggen.

Kontroll av raslasten gjøres for innerveggen som får den største trykkbelastningen fra raslasten. Samtidighet av ras- og våpenlast vil ikke vurderes da progressiv kollaps av bygget og trykkbølgen høyst sannsynlig ikke vil opptre samtidig.

Utstøting og gjennomslag

I tillegg til den globale stabilitet må veggen kontrolleres for utstøting og gjennomslag. I vedlegg B06 er kritiske veggtykkelser for utstøting og gjennomslag funnet og gir minimumskrav. Ved valgt veggtykkelse finnes kritisk maksimaltrykk for utstøting, der k_1 er en konstant for forholdet mellom bredde og høyde på veggen. Konstanten multipliseres med tverrsnittshøyden (h) delt på vegghøyden (a), i andre potens (Forsvarsbygg, FFI & DSB, 2005, s. 3.63). Modellene tar høyde for både kvasistatiske og impulsive belastninger.

$$\begin{aligned} p_u &= 90 \cdot k_1 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2 & (6.11) \\ &= 90 \cdot 2.03 \cdot \left(\frac{0.23}{3}\right)^2 = 1.07 \text{MPa} \end{aligned}$$

For gjennomslag er maksimaltrykk:

$$\begin{aligned} p_g &= 180 \cdot k_1 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2 & (6.12) \\ &= 180 \cdot 2.03 \cdot \left(\frac{0.23}{3}\right)^2 = 2.14 \text{MPa} \end{aligned}$$

Maksimaltrykkene er større enn opptredende trykk og veggen vil ikke få utstøting eller gjennomslag.

Lengde- og tverrarmring

Den valgte armeringen $\text{Ø}16$ c/c100 mm er kontrollert for deformasjon midt på. Veggen må kontrolleres for ytterligere parametere som er beregnet i detalj i vedlegg B06.

Hovedarmeringen må forankres inn over opplegg. Nødvendig forankringslengde ($l_{b,rqd}$) bestemmes etter 8.4.3 (2) i Eurokode 2 (2008) ved å multiplisere en fjerdedel av armeringsdiameteren (Ø) med dimensjonerende spenning i armeringsjernet (σ_{sd}) over dimensjonerende heftfasthet (f_{bd}). De to siste faktorene er beregnet i vedlegg B06.

$$l_{b,rqd} = \frac{\text{Ø}}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{16 \text{mm}}{4} \cdot \frac{164 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{4.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 153 \text{mm} \quad (6.13)$$

Kontrolleres mot minstekrav om forankringslengde ($l_{b,min}$) gitt i 8.4.4(1) (Eurokode 2, 2008):

$$l_{b.min} = \max(0.3 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \emptyset, 100mm) = 160mm \quad (6.14)$$

Minstekrav fra eurokoden blir lengst og armeringen forankres minimum 160 mm forbi opplegg. For å sikre tilstrekkelig forankring vil armeringen i veggen trekkes opp i taket, som vist i vedlegg T03.

Etter NA.9.6.3 (Eurokode 2, 2008) settes det krav om tverrarmring som ikke utgjør mindre enn 25% av vertikalarmeringen på samme side og en minimumsarmering. 25% blir størst for veggen og beregnes til:

$$A_{s.min25} = 0.25 \cdot A_s = 503mm^2 \quad (6.15)$$

Nødvendig tverrarmring tilsvare Ø10 c/c 150 mm.

Utsiden av ytterveggen er kontrollert med samme metode som beskrevet over, men for den negative refleksjonsimpulsen, detaljerte beregninger er gjort i vedlegg B05. For nødvendig armering på utsiden av veggen er det valgt et K335 armeringsnett, med armeringsareal 335 mm², for å gi tilstrekkelig horisontalarmering. Vertikalt er utsiden av veggen tilleggsarmert med Ø10 c/c 100 mm for undertrykket fra våpenlasten.

Skjærarmring

Veggen er kontrollert for momentet midt på bjelken og beregningen gir en statisk ekvivalent last (Q_{Ed}) på 151 kN/m, fra vedlegg B05. Lasten multipliseres med halve lengden for å gi opptredende skjærkraft ved opplegg (Sintef byggforsk, 2013).

$$V_{Ed} = \frac{Q_{Ed} \cdot L}{2} = \frac{151 \frac{kN}{m} \cdot 3000mm}{2} = 227 kN \quad (6.16)$$

Etter 6.2.2(1) (Eurokode 2, 2008) er skjærkapasiteten til tverrsnittet gitt ved å multiplisere en rekke faktorer som tar høyde for eventuelle variasjoner i betongtilslag, tverrsnittet av strekkarmeringen som føres over opplegg og dimensjonene på betongtverrsnittet. For detaljerte beregninger se vedlegg B06.

$$\begin{aligned} V_{Rd.c} &= \left(C_{Rd.c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \right) \cdot b \cdot d \\ &= \left(0.15 \cdot 2 \cdot \left(100 \cdot 0.011 \cdot 45 \frac{N}{mm^2} \right)^{\frac{1}{3}} \right) \cdot 1000mm \cdot 182mm = 200kN \end{aligned} \quad (6.17)$$

Kapasiteten er mindre enn opptredende skjærkraft og det er beregningsmessig behov for skjærarmering. Ved å legge inn vertikale armeringsjern av Ø10 kan skjærkapasitet økes etter punkt 6.2.3(3) i Eurokode 2 (2008). Skjærkapasiteten ($V_{Rd,s}$) beregnes ved å multiplisere armeringsarealet (A) delt på senteravstanden inn i veggen (s), med indre momentarm (z), flytegrensen til stålet (f_{yd}) og cotangens av vinkelen (θ) mellom veggen og skjærarmeringen:

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &= 2 \cdot \frac{A_{\emptyset 10}}{s} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot\theta & (6.18) \\ &= 2 \cdot \frac{\pi \cdot (5\text{mm})^2}{0.13\text{m}} \cdot 0.9 \cdot 182\text{mm} \cdot 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2.5 = 248\text{kN} \end{aligned}$$

Veggen har med skjærarmering 2 stk Ø10 c/c130 mm per meter tilstrekkelig skjærkapasitet. Det er videre beregnet ved å sette skjærkraften for et vilkårlig snitt lik kapasiteten fra ligning 6.17 at 250 mm fra opplegg er det ikke lenger behov for skjærarmering. Armering i veggene er tegnet i vedlegg T02.

6.3.2 Innervegg

Tabell 9 gir nødvendig parametere for dimensjonering av innervegg.

Tabell 9 Inndata beregning av innervegg

Geometri	
Bredde, b (<i>betraktet</i>)	1000mm
Høyde, h	200mm
Spennvidde, L	3000mm
Laster vegg	
Våpenlast bruddgrensetilstand	Ikke dimensjonerende
Raslast bruddgrensetilstand	158.4 kN (trykk)
Fredslast bruksgrensetilstand	Ikke dimensjonerende

Raslasten fra overliggende bygg vil resultere i en trykkraft i den innvendige bæreveggen. Veggen sees på som en 1000 mm bred søyle og kontrolleres for slankhet. For ytterligere beregninger se vedlegg B07. En antatt tykkelse på 200 mm kontrolleres for slankhet etter NA.5.8.3.1 i Eurokode 2 (2008). For å beregne slankheten antas minimumsarmering.

Minste vertikalarmering per meter ($A_{s,vmin}$) etter NA.9.6.2 i Eurokode 2 (2008) utgjør 2% av betongtverrsnittarealet (A_c):

$$A_{s,vmin} = 0.002 \cdot A_c = 0.002 \cdot 200\text{mm} \cdot 1000\text{mm} = 400\text{mm}^2 \quad (6.19)$$

Minste horisontalarmering på hver side per meter ($A_{s,hmin}$) etter NA.9.6.3 for innervegger gis ved 0.15 multiplisert med betongens tverrsnittsareal og midlere strekkfasthet (f_{ctm}) over stålets flytegrense (f_{yk}):

$$A_{s,hmin} = 0.15 \cdot A_c \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.15 \cdot 200mm \cdot 1000mm \cdot \frac{3.8 \frac{N}{mm^2}}{500 \frac{N}{mm^2}} = 228mm^2 \quad (6.20)$$

K257 armeringsnett på hver side av veggen vil tilfredsstillе begge krav.

Veggen er kontrollert for slankhet etter slankhetskriterium i Eurokode 2, NA s.7 (2008). Slankhetskontrollen består av en kontroll av grenseverdi for slankheten til konstruksjonen opp mot den faktiske slankheten. Dette kriteriet er tilfredsstillt slik at annen ordens beregning ikke kreves. Videre er armeringsmengden bestemt ved bruk av m/n-diagram (Sørensen, 2009, s. 287), hvilket konkluderer med at veggen ikke har beregningsmessig behov for armering. Minimumsarmering blir størst og veggen armeres med K257 armeringsnett på hver side.

6.3.3 Tak

Tabell 10 gir nødvendig parametere for dimensjonering av tak.

Tabell 10 Inndata for beregning av tak

Geometri	
Bredde, b (betraktet)	1000mm
Høyde, h	250mm
Spennvidde, L	4250mm
Laster tak	
Våpenlast bruddgrensetilstand	0.86 kPa·s og -0.97 kPa·s
Raslast bruddgrensetilstand	53.4 kN/m ²
Fredslast bruksgrensetilstand	8.4 kN/m ²

Taket i dekningsrommet dimensjoneres som et fritt opplagt betongdekke over to spenn med delvis utnyttet trykksone. Et 1000 mm bredt segment betraktes. Det vil være konservativt å se på dekket som fritt opplagt, ettersom både felt- og søttemoment er høyere enn om dekket beregnes som innspent. I realiteten vil dekket være delvis innspent da dette støpes sammen og knutepunkter sikres mot undertrykk fra våpenlasten. For ytterligere beregninger og informasjon se vedlegg B03.

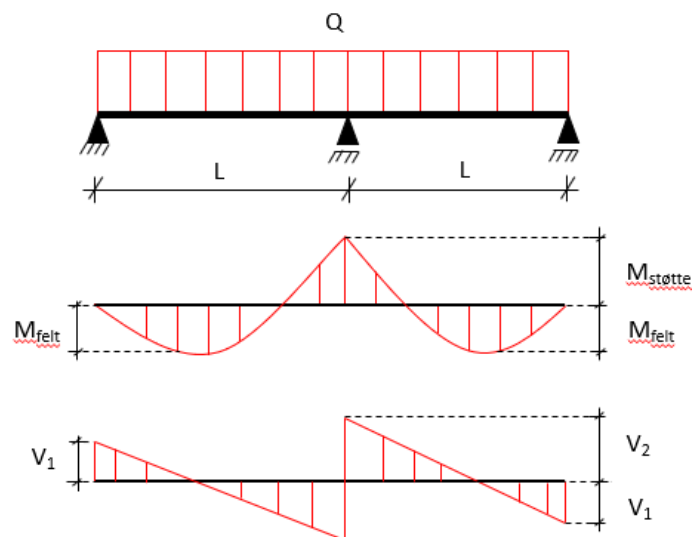
En tykkelse på 250 mm kontrolleres for opptredende krefter. I tillegg til raslasten fra overliggende bygg virker også egenlasten til taket ugunstig. Den er gitt ved:

$$\begin{aligned} G_{kj.sup.tak} &= \gamma_{betong} \cdot h \\ &= 25 \frac{kN}{m^3} \cdot 250mm = 6.3 \frac{kN}{m^2} \end{aligned} \quad (6.21)$$

Dette gir en total linjelast på det 1000 mm brede snittet, fra ligning 6.1:

$$\begin{aligned} Q_{Ed} &= (G_{kj.sup.tak} + A_d) \cdot b \\ &= \left(6.3 \frac{kN}{m^2} + 53.4 \frac{kN}{m^2} \right) \cdot 1000mm = 59.7 \frac{kN}{m} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Dekket har to spenn på en lengde 4250 mm, som vil ha et støttemoment på grunn av den innvendige bæreveggen, se figur 20. Det innebærer at det må armeres i overkant av innerveggen for å ta strekkreftene som oppstår.



Figur 20 Lasttilfelle for taket

Moment og skjærkraft (Sintef byggforsk, 2013) i lasttilfellet er:

$$M_{Ed.stotte} = \frac{Q_{Ed} \cdot L^2}{8} = \frac{59.7 \frac{kN}{m^2} \cdot L^2}{8} = 134.7 \text{ kNm} \quad (6.22)$$

$$M_{Ed.felt} = \frac{9 \cdot Q_{Ed} \cdot L^2}{128} = \frac{9 \cdot 59.7 \frac{kN}{m^2} \cdot 4250mm^2}{8} = 75.8 \text{ kNm} \quad (6.23)$$

$$V_{Ed.1} = \frac{3 \cdot Q_{Ed} \cdot L}{8} = \frac{3 \cdot 59.7 \frac{kN}{m^2} \cdot 4250mm}{8} = 95.1 kN \quad (6.24)$$

$$V_{Ed.2} = \frac{5 \cdot Q_{Ed} \cdot L}{8} = \frac{5 \cdot 59.7 \frac{kN}{m^2} \cdot 4250mm}{8} = 158.4kN \quad (6.25)$$

Trykksonens momentkapasitet (M_{Rd}) utledet fra Eurokode 2 (Sørensen, 2009, ss. 37-38) bestemmes ved å multiplisere en faktor med betongens trykkfasthet (f_{cd}), bredden og effektiv høyde (d):

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= 0.275 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 \\ &= 0.275 \cdot 31.9 \frac{N}{mm^2} \cdot 1000mm \cdot 204mm = 365 kNm \end{aligned} \quad (6.26)$$

Lengde- og tverrarming

Trykksonen har kapasitet til å ta hele momentet både i feltet og over støtte, hvilket betyr at det ikke vil være nødvendig med trykkarmering. Videre bestemmes armering i underkant ($A_{s,UK}$) i lengderetning, per meter, ved å sette opptredende moment (M_{Ed}) lik momentkapasiteten i ligning 6.7 for å finne nødvendig armeringsareal:

$$A_{s,UK} = \frac{M_{Ed, \text{felt}}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{75.8kNm}{500 \frac{N}{mm^2} \cdot 194.2mm} = 769.9 mm^2 \quad (6.27)$$

Dette tilsvarer en armering $\varnothing 12$ c/c 150 mm. Denne armeringen må forankres inn over opplegg. Nødvendig forankringslengde bestemmes etter 8.4.3 (2) i Eurokode 2 (2008) med samme metode som i ligning 6.13 og 6.14, for beregninger se vedlegg B03. Nødvendig forankringslengde blir lengst og 150 mm er nødvendig. For å få likhet med øvrige forankringslengder og unngå misforståelser velges 160 mm.

Armering i overkant ($A_{s,OK}$) over innerveggen, for å ta strekket fra støttemomentet, gis med samme metode som ligning 6.27:

$$A_{s,OK} = \frac{M_{Ed, \text{støtte}}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{134.7kNm}{500 \frac{N}{mm^2} \cdot 185.6mm} = 1452 mm^2 \quad (6.30)$$

Dette tilsvarer en armering på $\varnothing 16$ c/c 125 mm. Denne armeringen legges med en beregnet forankringslengde forbi momentnullpunktet ved støtten. Momentnullpunktet finnes ved å sette

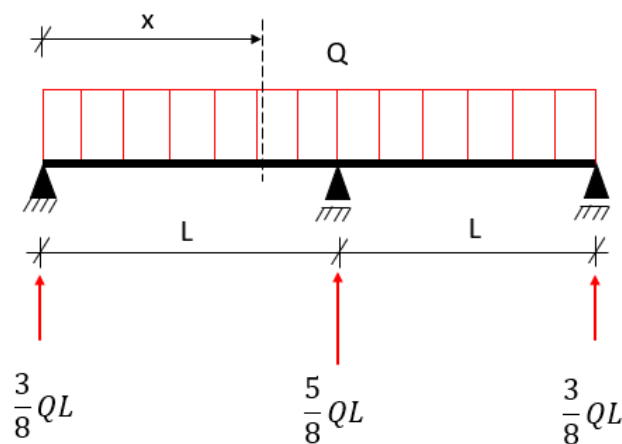
funksjonen av momentet, $M(x) = 0$. Nullpunktet beregnes ved å snitte et vilkårlig sted på dekket og betrakte kreftene som virker på venstre side. Funksjonen vil gi to løsninger som gir hvor momentet er null på den første lengden. Figur 21 viser et slikt vilkårlig snitt, og momentfunksjonen blir følgende:

$$M(x) = -Q \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{3}{8} \cdot Q \cdot L \cdot x \quad (6.31)$$

$$\rightarrow x = 0$$

og

$$x = \frac{3}{4} \cdot L$$



Figur 21 Lasttilfelle for beregning av krefter i et vilkårlig snitt

Dette gir at armeringen i overkant over støtten må føres en fjerdedel av spennvidden L , i tillegg til nødvendig forankringslengde. Beregnet forankringslengde er gitt ved samme metode som i ligning 6.13 og 6.14. Minstekrav fra eurokoden blir lengst og armeringen forankres minimum 160 mm forbi opplegg. Denne summeres med avstanden fra støtte til momentnullpunkt som gir nødvendig forankring totalt 1250 mm fra støtten.

Etter 9.3.1.1.(2) (Eurokode 2, 2008) settes det krav om tverrarmoring som ikke utgjør mindre enn 20% av hovedarmeringen i enveis dekker. 20% av hovedarmering i underkant tilsvarer $\text{Ø}7$ c/c 700 mm, og i overkant $\text{Ø}8$ c/c 150 mm. Det velges derfor å legge K335 i overkant over hele dekket. Dette fører til at tilleggsarmering i overkant over støtte kan reduseres til $\text{Ø}16$ c/c 175 mm.

Kontroll av våpenlast på tak

Taket er kontrollert for våpenlasten etter samme metode som i 6.3.1 i vedlegg B07. Den negative impulsen er kontrollert og gir et armeringsbehov $\varnothing 6$ c/c 150 mm i overkant. Ettersom K335 legges i overkant av hele taket vil den negative impulslasten være ivaretatt. Basert på dette vil raslasten være dimensjonerende for armeringsbehovet i taket.

6.3.4 Gulv

Tabell 11 gir nødvendig parametere for dimensjonering av gulv.

Tabell 11 Inndata beregning av gulv

Geometri	
Bredde, b	18000mm
Høyde, h	100mm
Spennvidde, L	3920mm

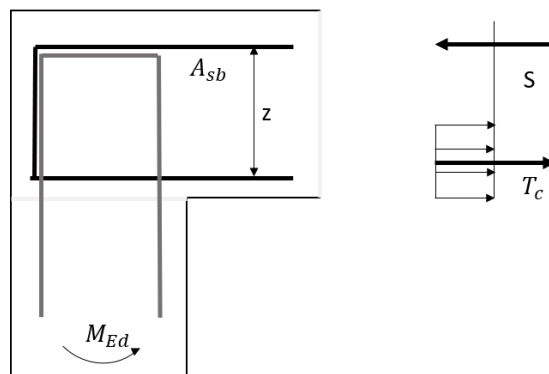
Forutsatt at gulvet ikke etableres på grunn som kan gi rystelser og med valgt fundamentering som hindrer våpenlasten kan gulvet etableres som gulv på grunn. Gulvet vil ikke ha behov for ytterligere dimensjonering enn for person og nyttelast (DSB, 1995, s. 69).

Gulvet etableres etter preakseptert løsning fra Sintef byggforsk (Sintef byggforsk, 2003). Det bygges opp som isolert betonggulv i henhold vedlegg T04. Armering med 30 kg/m^3 stålfiber vil i tillegg gi en betongplate med høye seighetsegenskaper (Sintef byggforsk, 2003, pnkt. 44).

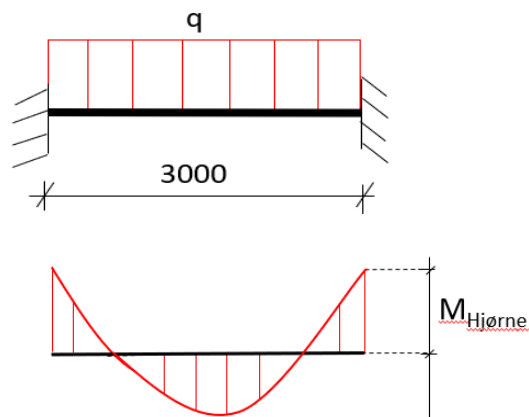
6.3.5 Detaljer

Støpeskjøter unngås i størst mulig grad, men vil være nødvendig i overgangene mellom vegger og dekker. For at overgangen skal være tett mot inntrengning av stridsmidler legges fugebånd mellom skjøtene.

Store krefter vil oppstå i rammehjørnene av konstruksjonen da sammenstøpningen vil føre til en rotasjon ved store belastninger. I beregningene av tak og vegg var den konservative betraktningen for momentbelastningen å betrakte knutepunktet som fritt opplagt. Derimot forutsetter den betraktningen at hjørnene tåler momentet. For dimensjonering av hjørnet vil den konservative betraktningen være at veggen er fast innspent, som vist på figur 22. For å skape høyere seighet i konstruksjonen armeres hjørnene ekstra med bøylor for å sikre mot eksplosjonsbelastningen, etter anbefaling i *Skyddsrum SR 15* (MSB, 2015, s. 84). Detaljen er tegnet i vedlegg T02 og illustrert på figur 23.



Figur 23 Lasttilfellet for rammehjørnet



Figur 22 Spenningsforløp for beregning av rammehjørnet

Momentet i hjørnet er kontrollert for både raslasten på taket og våpenlasten mot veggen, se vedlegg B08. Våpenlasten gir det største momentet i hjørnet for armeringen av taket som vist på figur 24. Det samme momentet vil overføres fra veggen til taket hvor bøylerne må dimensjoneres for samme momentet. Momentet i hjørnet til en fast innspent vegg blir (Sintef byggforsk, 2013):

$$M_{Ed.hjørne} = \frac{Q_{Ed} \cdot L^2}{12} = \frac{151 \frac{kN}{m^2} \cdot 3000mm^2}{12} = 113 kNm \quad (6.34)$$

Momentet fra våpenlasten gir strekk i overkant av hjørnet og trykk i underkant, dette kontrolleres på samme måte som i 6.3.3. Armeringsbehovet i taket og ytterveggen blir bøyler av typen BØ16 c/c 150 mm.

Innerveggen armeres med bøyler kontrollert for momentet som oppstår fra raslasten. Raslasten er valgt ettersom egenvekten til taket og armeringen i taket vil redusere våpenlasten som gir moment i overgangen innervegg/tak. Momentet fra raslasten vurderes dermed større. Det gir

BØ16 c/c 150 mm også i innerveggen. Ingen av beregningene har inkludert armeringen som ligger fra før og vil skjøtes i hjørnene, dette er konservativt og vil gi økt seighet.

Senteravstandene er valgt slik at hjørnearmeringen kan overføre kreftene fra veggen til taket. Unntaket er innsiden av ytterveggen hvor kraftoverføringen vil bli noe redusert. Flertallet av bøylerne vil fortsatt skjøtes med vertikalarmeringen hvilket vil være tilfredsstillende for den negative refleksjonsimpulsen.

Detaljer som dører og ventilasjonsanlegg er ikke beregnet, men det finnes eksisterende produkter som kan bestilles direkte fra leverandør. Ventilasjonsanlegget bør ha nødvendig filter for å stanse branngasser som vil kunne oppstå ved brann.

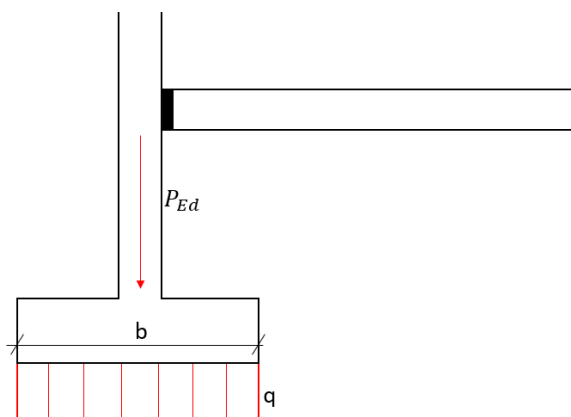
6.3.6 Fundament

Tabell 12 gir nødvendig parametere for dimensjonering av fundament.

Tabell 12 Dimensjonerende laster fundament

Dimensjonerende laster fundament	
Våpenlast bruddgrensetilstand	Ikke kontrollert
Raslast bruddgrensetilstand	158.4 kN/m (Innvendig vegg) 95 kN/m (Utvendig vegg)
Fredslast bruksgrensetilstand	Ikke dimensjonerende

Fundamentet etableres som stripefundamenter, som vist på figur 25, og er tegnet i vedlegg T04. Dette for å redusere belastningen på gulvet som beskrevet i 6.3.4. Fundamentet vil



Figur 24 Lasttilfellet ved stripefundamentering og gulv på grunn

dimensjoneres for den største av våpenlasten og raslasten som utgjør P_{Ed} . Momentbelastningen bør kontrolleres for lasten fra ligning 6.34.

Dekningsrommet etableres på stripefundamenter under alle bærende vegger. Nødvendig bredde på fundamentet vil avgjøres av grunnforholdene og lasten (q) som følger av fundamentbredden. Disse fundamentene dimensjoneres etter lastene i tabell 12, men avhenger av grunnforholdene på stedet som beskrevet i kapittel 1.2.

6.4 Resultater

Resultater for bæresystemet er gjengitt i tabell 13.

Tabell 13 Resultater fra dimensjonering

Konstruksjonsdel og tykkelse	Armering i tverretning	Armering i lengderetning	Skjærarmering	Hjørnearmering
Tak 250mm Overkant	K335	K335 Ø16 c/c175 (støtte)	Ikke nødvendig	BØ16 c/c 150
Underkant	K257	K257 Ø12 c/c200		
Yttervegg 230mm Innside	Ø10 c/c 150	Ø16 c/c 100	2 stk per meter Ø10 c/c 130	BØ16 c/c 150
Utside	K335	K335 + Ø10 c/c 100		
Innervegg 200mm Begge sider	K257	K257	Ikke nødvendig	BØ16 c/c 150
Gulv 100mm	30 kg/m ³ stålfiber			

7 Diskusjon av løsning

I dette kapitlet trekkes det frem viktige elementer fra prosjekteringen samt i hvilken grad løsningen gir beskyttelse mot valgte trusler og øvrige relevante trusler fra kapittel 5. Diskusjonen vektlegger elementer som fremgangsmåte, tidsaspekt, laster, utforming av bærekonstruksjonen og pris. Beregningene sammenlignes med *Forskrift m.v om tilfluktsrom og Skyddsrum SR15*. Avslutningsvis presenteres sikringsrisikobildet som restrisikoen etter dimensjoneringen.

7.1 Fremgangsmåte

Fremgangsmåten presentert i 5.4 vil gi tiltakshaver grunnlag for å identifisere omfanget av dekningsrommet som ønskes etablert. Hvorvidt det er offentlig etat eller privat tiltakshaver som definerer trusler det skal beskyttes mot behøver videre vurdering utover denne studien.

Tidligere krav om byggeplikt for nybygg over en viss størrelse vil ikke lenger være relevant dersom sonekonseptet innføres. Befinner bygget seg innenfor sone II bør personellet ha kort vei til sikkerhet uansett. Hvilke bygg innenfor sonene som skal etablere dekningsrom og størrelsen på disse må vurderes i en eventuell revidering av forskrifter.

7.2 Tid

7.2.1 Oppholdstid

Oppholdstid på seks timer vil ikke være tilstrekkelig for enkelte kjemiske stridsmidler ettersom de kan bli værende i miljøet i over seks timer (Vik & Reif, 2010). Det er derimot mulig å gjøre egen dimensjonering av ventilasjon for å ta høyde for økt oppholdstid, dersom den kjemiske trusselen blir høyere.

Sammenligning av tidligere forskrifter viser at oppholdstiden har blitt redusert fra 72 timer og ned til seks timer i *Forskrift om tilfluktsrom* (1995). Årsaken til dette er trolig endring i trusselen fra gjentatte upresise flyangrep til mer presise våpensystemer. Samtidig har Sivilforsvaret også økt satsningen mot varsling og evakuering (DSB, 2017, s. 26). Oppholdstiden på seks timer vil derfor være fornuftig gitt at det legges planer for evakuering av sivile dersom trusselen fortsatt er til stede etter seks timer.

Brannmotstand for bærende vegger er kun dimensjonert for fire timer. Samtidighet for både brann og en våpentrussel, hvor opphold i dekningsrommet i mer enn seks timer er nødvendig,

vurderes lite sannsynlig i den valgte scenarioklassen. Våpenvirkningen fra konvensjonelle våpen kan føre til brann i bygningsmassen, men det begrensede angrepet vil da høyst sannsynlig ikke vare mer enn fire timer etter at brannen allerede har oppstått. Dette fordi våpensystemer som presisjonsmissiler sannsynligvis ikke benyttes til varighetsbeskytning av et mål. Ambisjonen er å ødelegge et mål og det vil gjøres raskere enn fire timer. Dersom brann oppstår som en ulykke før et rettet angrep inntreffer vil bygningen være evakuert. Når bygget først er evakuert for brann vil ikke dekningsrommet tas i bruk. Svakheten ved at oppholdstiden til dekningsrommet ikke tilfredsstilles ved brannpåvirkning vil derfor sannsynligvis ikke påvirke rommets evne til beskyttelse av sivile. Dette forutsetter at nødutganger til dekningsrommet har tilsvarende brannmotstand.

7.2.2 Klargjøringstid

De dimensjonerende våpenvirkningene kan leveres så hurtig at dekningsrommene må stå klare kontinuerlig sammenlignet med *Forskrift om tilfluktsrom*, som stiller krav til 72timer klargjøringstid (1995, §36). Dersom dekningsrommene har tilnærmet ingen klargjøringstid vil dette gi sivilforsvaret mulighet til å evakuere personell. I tillegg til eventuell klargjøring av tilfluktsrom ved en eskalering mot scenarier som «strategisk overfall» eller bruken av tyngre våpensystemer.

7.3 Laster

7.3.1 Raslast

Denne studien har valgt å bruke metoden fra *Forskrift m.v om tilfluktsrom* (1995), for å beregne raslasten. Videre er det sammenlignet med metode fra *Skyddsrum SR 15* (MSB, 2015). Resultatene fra dette er gjengitt i tabell 14.

Tabell 14 Sammenligning raslaster

Raslast	
Forskrift for tilfluktsrom 1995	Skyddsrum SR 15
53.4 kN/m ²	93.5 kN/m ²

Forskrift m.v om tilfluktsrom og *Skyddsrum SR* bruker tilnærmet samme metode for å beregne raslasten. *Skyddsrum SR* opererer med en raslastkoeffisient k , som kan reduseres med antall etasjer dersom bygget anses som et rasdempende bygg. Dette innebærer at knutepunkter forsterkes for å bidra med en fastholding av en eventuell lastpåkjenning. I tillegg skal dekket i

hver etasje være 15% deformerbar midt i feltet (MSB, 2015, s. 66). Det generisk bygget har tre overliggende etasjer og oppnår derfor ikke reduksjon av koeffisienten.

Kuppeeffekten ved progressiv kollaps vil bidra til å redusere den dynamiske effekten av lasten for dekket, bjelker og søyler. Bærende vegger skal derimot beregnes for uredusert last (MSB, 2015, s. 65). Den reduserte lasten på taket avhenger direkte av spennvidden til det bærende elementet og høyden på bygget. For at reduksjonsfaktoren skal bli mindre enn 1 må det overliggende bygget ha en høyde på minimum 13 m i dette tilfellet. *Forskrift m.v om tilfluktsrom* benytter en konstant faktor på 0,8. I motsetning til *Skyddsrum SR15* tar *Forskrift m.v om tilfluktsrom* høyde for reduksjonen uavhengig av byggets høyde og bæresystem.

Det faktum at metoden som er brukt i dimensjoneringen ikke tar høyde for overnevnte forhold gjør at resultatene fra de to metodene blir forskjellig. Dette sees på som en svakhet med studien. Det er i denne studien ikke sett på raslast fra nærliggende bygg som er høyere enn det generiske bygget. Dersom dekningsrommet etableres i nabobygget til for eksempel Oslo Plaza med sine 117m høyde vil dette ha stor betydning.

Ved prosjektering av bygg i dag deles det inn i konsekvensklasser som igjen gir en pålitelighetsklasse (Eurokode 0, 2008, NA s.4). Det finnes fire pålitelighetsklasser hvor klasse 3 og 4 (strengest) stiller krav til at konstruksjonen sikres mot blant annet eksplosjonslaster. Dersom dekningsrommet etableres i et nybygg bør det vurderes om det er behov for å sikre mot raslasten dersom bygget globalt er sikret mot progressiv kollaps. Om dekningsrommet derimot etableres i et eksisterende bygg hvor dette ikke er ivaretatt bør raslasten dimensjoneres for.

På bakgrunn av sprikende resultater fra de to metodene studien har benyttet for å beregne raslasten, anbefales det at *Forskrift m.v om tilfluktsrom* oppdateres. Dette vil bidra til å forsikre seg om at beregnet raslast ikke avviker mer enn nødvendig fra en reell lastpåkjenning.

7.3.2 Våpenlast

Konstruksjonen er for våpenlasten beregnet til å motstå trykkbølge, utstøting og gjennomslag. I tillegg er undertrykket kontrollert.

Beregning av våpenlast har vist seg å være utfordrende ettersom den dynamiske virkningen ikke kan sammenlignes direkte med en statisk last. Parametere som stivhet til en konstruksjonsdel vil påvirke hvilke krefter som genereres. Utfordringen har vært løst ved å se på hvilken forskyvning veggen får midt på, ved å betrakte segmentet som et

enfrihetsgradssystem. Dette kontrollerer derimot bare armeringsbehovet midt på bjelken og tykkelsen på veggen fra våpenlasten.

Forskrift m.v om tilfluktsrom (1995) og *Skyddsrum SR* (2015) benytter statiske laster, vist i tabell 15, som vil være lettere å benytte i prosjektering. For beregning av skjærarmeringsbehovet er den statisk ekvivalente lasten fra trykkbølgen på 151 kN/m benyttet. Lasten er derimot ikke fullt ekvivalent med trykkbølgen, ettersom det kun er veggens motstandskraft som definerer den ekvivalente lasten og ikke trykket eller impulsen. For beregning av skjærkrefter og momenter i knutepunktene vil bruken av den statisk ekvivalente lasten være en konservativ tilnærming ettersom den definerer hvor mye krefter veggen setter i sving. Sammenlignet med eksisterende forskrift er lasten lavere, men høyere enn den i *Skyddsrum SR15*. Det er derimot verdt å merke seg at avstanden på 20 m tilsvarer nabo til nøkkelobjektet og våpenlasten vil reduseres med avstanden. For kostnadseffektiviteten til dekningsrommet vil beregningsmetoden som tar høyde for avstanden til ladningen være bedre egnet enn å dimensjonere alle dekningsrom for den samme lasten.

Tabell 15 Sammenligning våpenlaster mot vegg

Våpenlast mot vegg	
Forskrift m.v om tilfluktsrom 1995	Skyddsrum SR 15
225 kN/m ²	50 kN/m ²

Styrken med den benyttede metoden for eksplosivlast er at den tar høyde for avstanden til nøkkelobjektet. Den er ikke generell og gir derfor muligheten for selvstendig risikovurdering for den enkelte tiltakshaver. Tyngden og kapasiteten til konstruksjonen er proporsjonal med avstanden til objektet. Sonekonseptet bygger på dette prinsippet.

Svakheten med beregningsmetoden er at den ikke er direkte overførbar til beregning på andre konstruksjonsdeler som tak, fundament og gulv. Våpenlasten tar ikke direkte høyde for ukonvensjonelle våpensystemer som CBRN-trusler, men det er forsøkt å legge til rette for i materialvalgene og detaljutformingen. Kjernevåpen er drøftet til å ikke inkluderes for dekningsrom og utgjør en stor trussel mot sivilbefolkningen dersom de mot formodning skulle benyttes.

Våpenlasten representerer deler av våpensystemene i scenarioklasse 1 «strategisk overfall», for de dekningsrommene i nær tilknytning nøkkelobjektet. Det eksisterer derimot våpensystemer

som er relevant for «strategisk overfall» med betraktelig større eksplosivmengder og trykkvirkninger enn dekningsrommet er dimensjonert for. Presisjonen til våpensystemene vil også være dårligere ved bruk av eksempelvis rakettartilleri og flybomber. Størrelsen og beskyttelsesnivået til sone II vil øke dersom dekningsrommene også skal sikre mot «strategisk overfall». Dekningsrommene vil da ligne mer på tilfluktsrom, hvilket virker mot hensikten med sonekonseptet. Derfor anbefaler studien at eksisterende beskyttelsestiltak som tilfluktsrom og evakuering fortsatt er primærtiltakene for beskyttelse mot «strategisk overfall».

7.4 Bærekonstruksjon

7.4.1 Innervegg

For å redusere spennvidden på taket ble det i dette tilfellet valgt å bruke en innvendig bærevegg.

Dette kan også løses av søyler dersom det ønskes ett større oppholdsrom fremfor to små. Støtter i form av søyler vil riktignok gi andre utfordringer med tanke på skjærarmoring og må dimensjoneres deretter. Innerveggen vil også gi en beskyttende effekt. Dersom en trussel skader personell i dekningsrommet vil innerveggen potensielt sikre halvparten av personellet. Innerveggen gir også mulighet for å skille syke og skadde, sanitærfasiliteter og generatorer fra personellet.

7.4.2 Yttervegg

Ytterveggen er dimensjonert for trykkbølgen, både den positive og negative impulsen. I tillegg har ytterveggen en brannmotstand på fire timer.

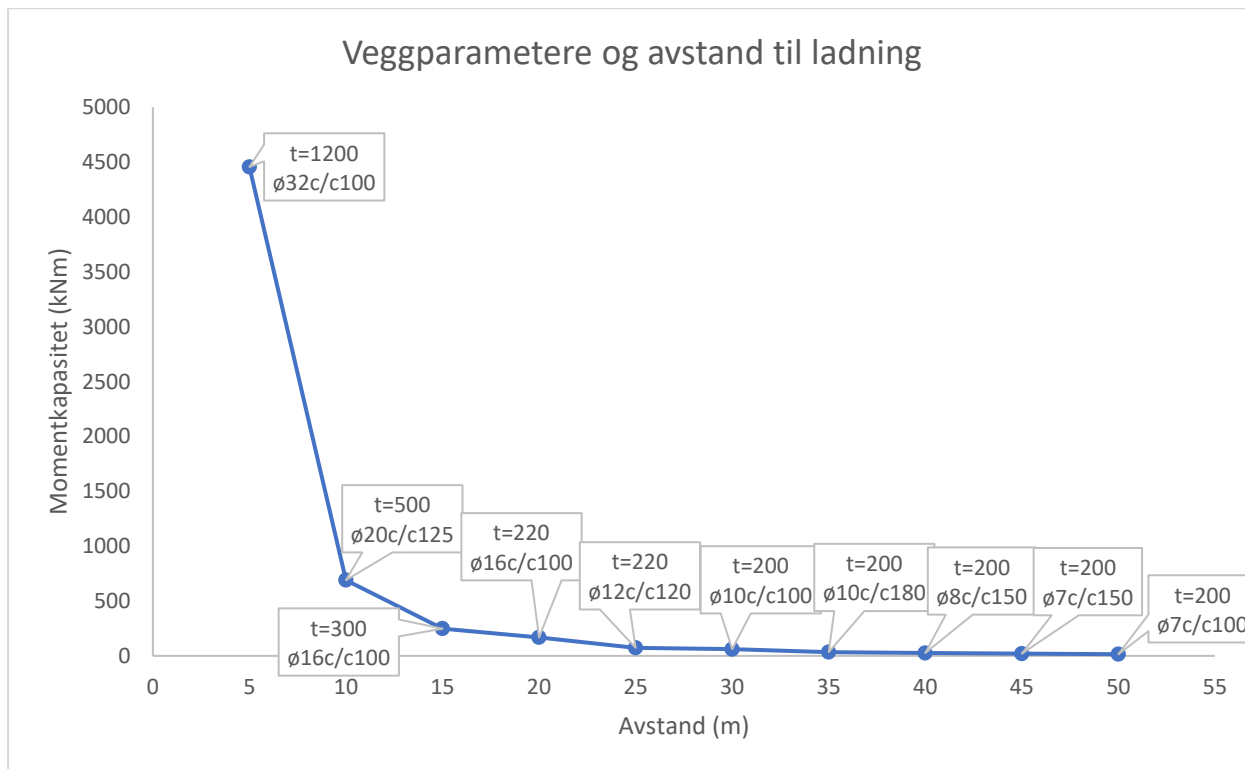
En utfordring ved dimensjoneringen av ytterveggen er mangelen på en nøyaktig statisk ekvivalent last. Beregningen vurderes å være en konservativ betraktning for skjærarmoringen ettersom deformasjonen midt på veggen er kontrollert mot grenseverdien til trykkbelastningen.

Sammenlignet med *Forskrift m.v om tilfluktsrom 1995* og *Skyddsrum SR 15* blir veggen i dekningsrommet lettere. Minste tykkelse for yttervegg for svenske tilfluktsrom er 350 mm (MSB, 2015, s. 73) og 300mm for norske tilfluktsrom på kjellernivå (DSB, 1995, s. 58).

Styrken med metoden er at den tar høyde for avstanden til nøkkelobjektet. I tillegg etableres det som rom i rom, som gir god beskyttelse mot trykk- og splintvirkning.

Svakheten til dimensjoneringen er at den negative virkningen er kontrollert for en TNT-detonasjon. Andre eksplosiver, i verste fall ved bruk av FAE-våpen, vil skape et stort undertrykk foran ytterveggen. Dette kan føre til brudd og bør derfor kontrolleres særskilt for

dekningsrommet. Veggen er ikke kontrollert for sideveis belastning, hvor kortveggen til dekningsrommet belastes og gir trykk i langveggen. Basert på tykkelsen på veggen og mengden tverrarmring sammenlignet med innervegg som er dimensjonert for raslast vurderes det å være tilfredsstillende.



Figur 25 Nødvendig veggtykkelse og armering for gitte avstander til nøkkelobjektet

Metoden benyttet i vedlegg B05 er brukt til å beregne nødvendig veggtykkelse og armeringsmengde for flere avstander til ladningen, som vist på figur 26. For avstander fra 20 m og utover vil krav til brannsikkerhet være dimensjonerende for veggtykkelsen, samtidig som armeringsmengden vil være avtagende. Til sammenligning er nødvendig armeringsmengde på 50 m, fra figur 26, cirka halvparten av kravet til minimumsarmering av en tilsvarende vegg. Sone II som er satt til 100 m radius vil derfor gi god sikkerhet mot «begrenset angrep». Det bør vurderes et minimumsnivå for krav til beskyttelse, som eksempelvis kravene på 20 m, for å gi beskyttelse mot mindre presise våpensystemer. Våpensystemene vil sannsynligvis ikke ha like store eksplosivmengder, men vil fortsatt kunne være en trussel dersom armeringsmengden i veggen reduseres drastisk, som illustrert på figur 25. Krav til etablering av blant annet dekningsrom kan vurderes redusert til 50 m fra nøkkelobjektet. Ved å definere en ny sone med andre krav etter 50 m vil dekningsrommet fortsatt ha behov for splintsikring, men her behøves det ikke nødvendigvis å dimensjoneres særskilt for trykkbølgen.

Ytterveggen er i prinsippet ikke utsatt for splinter, ettersom den etableres under bakkenivå. Fragmenter kan derimot oppstå fra fasaden og dekket over dekningsrommet som kan skade personell dersom dekningsstykkelsen til betongveggen ikke er stor nok. Forsvarets sikkerhetsreglement beskriver krav til dekningsstykkelse for en rekke ammunisjonsstyper. Ved detonasjon av en 155 mm artillerigranat på 20 m vil det kreve 130 mm armert betong for å stanse splintene (Forsvaret, 2018, s. 386). Ytterveggen på 230 mm antas derfor å være sikker mot splintvirkningene fra våpenvirkningene i scenarioklasse 2.

7.4.3 Tak

Taket til dekningsrommet er primært dimensjonert for raslasten fra overliggende bygg. Det er også kontrollert for virkninger fra våpenlasten samt raslast fra nærliggende bygg.

Tabell 16 Sammenligning av krav for utforming av tak

	Forskrift m.v om tilfluktsrom (1995)	Skyddsrum SR 15
Minstetykkelse	400 mm	300 mm

Av tabell 16 fremkommer det at *Forskrift m.v om tilfluktsrom* har minstetykkelser på dekker 400 mm i kjellernivå (1995, s. 58), og *Skyddsrum SR* har krav om minimum 300 mm i sine dekningsrom (MSB, 2015, s. 73). For armeringsbehovet er det kun *Skyddsrum SR* som har spesifikt krav til minste armeringsmengde på 0,14% av betraktet snitt (MSB, 2015, s. 74). Både *Forskrift m.v om tilfluktsrom* og *Skyddsrum SR* har krav til største senteravstand på henholdsvis 150 mm og 200 mm, for å unngå riss.

Styrken med dimensjoneringen er at taket er dimensjonert som et fritt opplagt dekke. Reelt sett vil dekket fungere som delvis innspent da hjørnene mellom tak og vegg støpes sammen. Dette gir moment i knutepunktene, men redusert moment i feltet.

Svakheten med utformingen av taket er at store forskjeller på raslasten ved de forskjellige beregningsmetodene gir noe usikkerhet.

Sammenlignet med *Forskrift m.v om tilfluktsrom* og *Skyddsrum SR* blir taket mindre og lettere. Dette gjør at kostnaden for etablering av et slikt dekningsrom går ned og bidrar til å senke terskelen for å bygge. Taket er ved dimensjonering mot progressiv kollaps sikret mot scenarier i klassene «strategisk overfall» og «begrenset angrep».

7.4.4 Gulv

Gulvet er kun dimensjonert for personlast etter preaksepterte løsninger og kan kreve ytterligere dimensjonering etter at grunnforholdene er redegjort. Ved skissert fundamenteringsmetode og dersom grunnforholdene ikke er fjell vil gulvet tilfredsstillende kravet til dekningsrommet.

7.4.5 Detaljer

Tak og vegger støpes sammen og fungerer som delvis innspente som skaper moment i forbindelsene. Dekningsrommet er derfor prosjektert med forsterkede forbindelser for å sikre kraftoverføring tilsvarende fast innspente konstruksjoner.

En utfordring ved detaljutformingen er å få overført kreftene fra vegg til tak. Valg av bøyeløsning i forbindelsene er valgt etter anbefalt løsning for eksplosjonssikring i *Skyddsrum SR 15* (MSB, 2015). Dette vil sikre at kreftene overføres mellom konstruksjonsdelene samtidig som det oppnår tetthet mot farlige gasser.

7.5 Pris

Denne studien har benyttet Norsk Prisbok til å gjøre et overslag på hva det generiske bygget koster. Norsk Prisbok er et oppslagsverk for den norske byggebransjen utgitt av Norconsult Informasjonssystemer AS og Bygghanalyse AS (Norsk Prisbok, 2013). Norsk Prisbok inneholder en prisdatabase hvor det er beskrevet kostnader ved etablering av komplett bygg. Prisboken er tilgjengelig uten abonnement på en applikasjon. Det presiseres at kostnadene er et overslag og brukes i denne sammenheng til sammenligning av dekningsrommets kostnad opp mot byggets totale kostnad. For detaljer vedrørende kostnadene henvises det til Norsk Prisbok 2013 versjon 2. Overslag av kostnadene til det generiske bygget er gjengitt i tabell 17.

Dekningsrommet er i sin helhet modellert i Autodesk Revit, hvor mengdeberegningene hentes fra. Videre er kostnadene for etablering av dekningsrommet beregnet med Focus Anbud. Dette er et program for å utarbeide anbud og benytter Norsk Standard 3420 for utarbeidelse av beskrivelsestekster og mengdelister i forbindelse med konkurransegrunnlag. Det inkluderer derfor estimert tid og pris for utførelse. For detaljer vedrørende kostnad på dekningsrommet, se vedlegg A02.

Tabell 17 Kostnadsoverslag generisk bygg med dekningsrom

Prosjekt	Bruttoareal (BTA)	Pris/BTA	Pris
Kjellerdel	1200m ²	12 031 kr	14 437 000 kr
Kontordel	3600m ²	30 625 kr	110 250 000 kr
DELSUM			124 687 000 kr
Dekningsrom	157m ²	4900 kr	764 000 kr
SUM			125 451 000 kr

Kostnadene for etablering av bæresystemet til dekningsrommet utgjør, som et midlertidig overslag, 0.06% av totalkostnaden for det generiske bygget. Det vil si høyst sannsynlig under 1% av totalkostnad. Det presiseres at dette ikke er den totale kostnaden av dekningsrommet siden kostnadsøkende elementer som blant annet ventilasjon mangler fra kalkylen. Studien har ikke inngående vurdert kost og nytte for etableringen. Kostnaden anses likevel som rimelig å kunne pålegge en utbygger i dagens sikkerhetspolitiske verden. Som NATOs generalsekretær sa i talen til næringslivets hovedorganisasjon: «I en mer usikker verden, må vi investere mer i sikkerhet» (Stoltenberg, 2019).

7.6 Merverdi i fred

For å unngå fuktskader på konstruksjonen og sikre at dekningsrommet vedlikeholdes, er det fordelaktig om rommet har en merverdi i fred som ikke går på bekostning av klargjøringstiden. Både DSB og FFI viser til at tilfluktsrom som er i bruk i fredstid er bedre vedlikeholdt enn de som ikke er det (DSB, 2016 & Grunnan, 2016). For scenarioklassen «begrenset angrep» er kravet til klargjøringstid svært høyt og krever i praksis at rommet er klart. Dermed bør merverdien ikke ta opp mer plass enn at rommet kan benyttes. Det kan eventuelt projekteres med et tilleggsareal som kan benyttes til utstyr som samtidig gir nok friareal i henhold til kravene i kapittel 6.1.1.

Dekningsrommene kan ved å installere sikringstiltak slik som sikringsdører også benyttes som panikkrom og dermed gi beskyttelse mot kriminelle aktører som vil gi økt sikkerhet mot scenarioklasse 5 «kriminalitet». Dette vil øke motivasjonen for vedlikehold dersom trusselen anses som relevant.

Bruksområdene for dekningsrommet er mange, så lenge det ikke går utover klargjøringstiden. Eksempelvis kan rommet brukes som treningsrom, dersom apparater og lignende ikke tar opp

plass for stående personell. Oppbevaring av kritiske funksjoner som servere kan også gi sikkerhet for operativ drift ved «terrorangrep» eller «begrenset angrep».

7.7 Øvrige parametere

Ventilasjonsanlegget er ikke prosjektert, men vil være avgjørende for å oppnå nødvendig oppholdstid ettersom temperaturstigningen ofte er avgjørende for oppholdstiden. Ved maksimal utnyttelse, altså 0.9 m² per person (inkludert rom for utstyr), vil klimaet bli meget ubehagelig inne i dekningsrommet uten ventilasjonsanlegg. Ventilasjon vil også kunne skape et nødvendig overtrykk for å motstå branngasser samt CBR-stridsmidler. Et antennessystem i ventilasjonsanlegget vil også gi delvis beskyttelse mot enkelte FAE-våpen. Det anbefales å etablere et system for deteksjon av CBR-stridsmidler i sonekonseptet, som beskrevet i kapittel 4.2-4.3, for at beskyttelsestiltakene kan ha effekt. Dekningsrommet har således en fordel sammenlignet med tilfluktsrom ettersom mindre rom skaper et raskere overtrykk. Ved å kontrollere luften inn én kanal påkoblet et CBR-filter vil dekningsrommet være dimensjonert for disse stridsmidlene. Gitt at utsparinger i konstruksjonen er tette.

Ventilasjonsanlegget vil følgelig være avhengig av strømtilførsel for å sikre operativ drift og er sårbar mot EMP, som beskrevet i kapittel 4.4. Nødvendige sikringstiltak bør derfor installeres slik som en skjerm med eksempelvis et Faradaybur i tillegg til at alle elektriske koblinger er tilkoblet ett «single-entry».

Utsparinger til dør og minimum én nødutgang vil være nødvendig. Ved beskyttelse mot CBR-stridsmidler bør det også tilrettelegges for å kunne rense personell ved inngangen til dekningsrommet. Døren og nødutgang må være dimensjonert for trykkbølgen og raslasten, slik at de kan benyttes etter et eventuelt angrep eller progressiv kollaps.

7.8 Restrisiko



Figur 26 Prinsippdiagram over restrisikoen opp mot avstanden mellom dekningsrommet og nøkkelobjektet

Restrisikoen i figur 27 sammenlignes med ren risiko fra kapittel 5.3 for å vurdere innvirkningen til sikringstiltakene.

For scenarioklasse 1 vil dekningsrommet gi beskyttelse mot flere våpenvirkninger. Eksempelvis flyangrep og artilleribeskytning vil ha lav presisjon og dekningsrommene er derfor dårligere beskyttet mot slike trusler. Tilfluktsrom kan da sannsynligvis tas i bruk og totalt sett vil risikoen reduseres. Dersom dekningsrom skal sikres mot «strategisk overfall» må det defineres et minimumsnivå av impulsivbelastning uavhengig av avstand, som bidrar til å redusere risikoen. Det anbefales derimot ikke da eksisterende tilfluktsrom allerede dekker deler av trusselen.

I scenarioklasse 2 er risikoen lavere ved etablering av dekningsrom enn ved eksisterende beskyttelsestiltak. Svært få bygninger i Oslo der folk bor og jobber har tilfredsstillende tilfluktsrom og forflytning til offentlige tilfluktsrom vil ta for lang tid. Evakuering vil også ta for lang tid. I tillegg vil klargjøringstiden til tilfluktsrommene ha ført til at mye av plassen allerede er tatt i bruk. Studien anbefaler derfor at dekningsrom primært dimensjoneres mot «begrenset angrep». Et minimum beskyttelsesnivå vil være nødvendig for å gi noe relevans ved et «strategisk overfall», men sikringen mot «strategisk overfall»

Risikoen for Scenarioklasse 4 og 5 er ikke endret, men tiltak kan redusere risikoen ved «kriminalitet». Hvis ventilasjonsanlegget gir tilstrekkelig beskyttelse mot branngasser vil det også gi beskyttelse mot CBR-stridsmidler. Det vil redusere konsekvensen ved «terrorangrep» med slike våpensystemer. Tabell 18 viser oversikt over hvilke trusler hvor risikoen er delvis redusert og hvor det er tilrettelagt for tiltak.

Tabell 18 Våpenvirksomheter med redusert risiko

Scenarioklasse	Kjernevåpen	EMP	Konvensjonelle våpen	CBR
Strategisk overfall	-	X	Delvis redusert	Tilrettelagt
Begrenset angrep		X	Redusert	Tilrettelagt
Terrorangrep			-	Tilrettelagt
Kriminalitet			Tilrettelagt	

8 Konklusjon

Med utgangspunkt i utvalgte trusselscenarier, hvordan kan et dekningsrom rundt definerte nøkkelobjekter i Oslo utformes?

Problemstillingen har denne studien er tatt for seg ved å gjøre en dokumentstudie og drøfte mulige trusler mot dekningsrom, basert på en sikringsrisikovurdering. Det er utarbeidet en fremgangsmåte for prosjektering av dekningsrom før studien gjør et utvalg som beregnes i detalj. I diskusjonen sammenlignes dimensjoneringen med *Forskrift m.v om tilfluktsrom 1995* og den svenske håndboka *Skyddsrum SR15*.

Studien har dimensjonert et mulig dekningsrom i betong for scenarioklassen «begrenset angrep», hvilket innebærer blant annet angrep med langtrekkende presisjonsmissiler mot nøkkelobjekter. Sivile er sårbare for slike angrep ettersom eksisterende beskyttelsestiltak som tilfluktsrom og evakuering ikke dekker en trussel hvor varslingstiden er kort.

På bakgrunn av valgt scenarioklasse er bæresystemet til dekningsrommet dimensjonert mot den valgte våpenlasten 450 kg TNT detonert på 20 m. Virkningene som er kontrollert er trykk- og splintvirkninger, samt sekundæreffektene progressiv kollaps og brann. Dekningsrommet er beregnet til å behøve tak med 250 mm - og vegger med 230 mm armert betong. I tillegg er det dimensjonert gulv og innvendig bærevegg som ikke avviker særlig fra tradisjonell byggeteknikk. Kostnadene for etablering av dekningsrom i nybygg, tilsvarende studiens generiske bygg, vil utgjøre under 1% av totalkostnaden.

Studien gir forslag til en kostnadseffektiv utforming av bæresystemet sammenlignet med *Forskrift m.v om tilfluktsrom* og *Skyddsrum SR15*. Dette fordi beregningsmetoden tar høyde for avstanden fra bygget til ladningen som går av i nøkkelobjektet. Konstruksjonen vil innenfor sone II gi god beskyttelse for sivile. Etter 50 m vil det derimot være mer kostnadseffektivt å vurdere andre løsninger. Dette fordi på 50 m vil en 200 mm minimumsarmert vegg gi nødvendig sikkerhet mot trykkbølgen, og belastningen vil høyst sannsynlig ikke føre til progressiv kollaps. Sone II kan derfor vurderes endret til 50 m.

Studien viser at dekningsrom uten klargjøringstid kombinert med eksisterende tilfluktsrom og evakuering vil gi sivile god beskyttelse mot en væpnet konflikt. Dette fordi dekningsrommene gir beskyttelse mot hurtigvirkende våpensystemer som eksisterende beskyttelsestiltak er sårbare mot. Dekningsrom bør ha en merverdi i fred og være dimensjonert for seks timer

opphold. Løsningen vil dermed gi en redusert risiko for sivile ved både scenarioklassene «strategisk overfall» og «begrenset angrep». Ved å installere sikringstiltak kan dekningsrommene samtidig sikre mot «kriminalitet». Et ventilasjonsanlegg sikret mot branngasser vil samtidig redusere konsekvensen ved kjemiske, biologiske og radiologiske angrep. Et fullverdig dekningsrom vil kreve ytterligere kontroll og drøfting, men den mulige løsningen gir et nødvendig tillegg til beskyttelseskonseptet.

Basert på kostnadseffektiviteten ved å dimensjonere for en ladning på en gitt avstand og sprikende resultater ved beregning av raslast anbefaler studien at sivilbeskyttelsesloven og *Forskrift m.v om tilfluktsrom* oppdateres. Oppdateringen bør inkludere etablering av dekningsrom som er dimensjonert mot «begrenset angrep» innenfor sonekonseptet. Et minimum beskyttelsesnivå vil være nødvendig for å gi delvis beskyttelse ved bruk av mindre presise våpensystemer. Beskyttelsesbehovet ved «strategisk overfall» vil fortsatt primært dekkes med de eksisterende beskyttelsestiltakene tilfluktsrom og evakuering.

9 Videre arbeid

Studien representerer en fremgangsmåte og en detaljert del av dimensjonering av dekningsrom. Kun et utdrag av parametere er vurdert, derfor bør flere parametere kontrolleres før dekningsrommene etableres. Våpenlastene bør kontrolleres opp mot FAE-våpen. Nødvendige sikringstiltak mot EMP, CBR-trusler og grunnsjokk bør også prosjekteres. Detaljer for dører, ventilasjon og nødutgang bør anskaffes, eller dimensjoneres spesifikt.

Beskyttelsesnivået vil variere avhengig av hvilken sone man befinner seg i. For å gi beskyttelse mot mindre presise våpensystemer bør det studeres hvilke minimumsnivå som bør settes som krav innenfor hver sone. For videre arbeid anbefales det også å gjøre en egen studie for sone I, III og IV.

10 Referanser

- Agerup, U., Nystuen, K. O., Bruvoll, J., Brattekkås, K., & Endregard, M. (2016). *A risk assessment of the Piql Preservation Service (FFI-rapport 00707)*. Kjeller: Forsvarets forskningsinstitutt.
- Asplan Analyse. (1999). *Nytt beskyttelseskonsept for sivilbefolkningen i Norge*. Sandvika: Direktoratet for sivil beredskap.
- Beadle, A. W., & Diesen, S. (2015). *Globale trender mot 2040 - implikasjoner for Forsvarets rolle og relevans (FFI-rapport 01452)*. Kjeller: Forsvarets forskningsinstitutt.
- Betongelementforeningen. (2007). *Betongelementboken bind D, Brannmotstand Bestandighet Tetting*. Asker: Betongelementforeningen.
- Bjerknes, C., & Solem, L. K. (2019, Januar 09). Milliardærens kone forsvunnet- skal ha fått gigantkrav i kryptovaluta. *Dagens Næringsliv*. Hentet fra <https://www.dn.no/marked/anne-elisabeth-falkevik-hagen/tom-hagen/kriminalitet/milliardarens-kone-forsvunnet-skal-ha-fatt-gigantkrav-i-kryptovaluta/2-1-514670>
- Byggteknisk forskrift. (2017). *Forskrift om teknisk krav til byggverk (FOR-2018-06-11-854)*. Hentet Januar 31, 2019 fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840>
- Center for Strategic and International Studies. (2018, Juni 15). *Missiles of Russia*. Hentet Januar 28, 2019 fra <https://missilethreat.csis.org/country/russia/>
- Daily Mirror. (2018, Mars 28). Poisoned Russian spy Sergei Skripal and daughter 'first came into contact with nerve agent at their FRONT DOOR'. Salisbury, Wiltshire, England. Hentet Januar 25, 2019 fra <https://www.mirror.co.uk/news/uk-news/poisoned-russian-spy-sergei-skripal-12269328>
- Department of Defense. (2009). *Design of Buildings to Resist Progressive Collapse*. Department of Defense.
- Department of Homeland Security. (2019, Januar 15). *Shelter*. Hentet fra <http://www.Ready.gov/shelter>
- DSB. (1982). *Forskrifter med veileder om tilfluktsrom*. Direktoratet for sivilt beredskap. Hentet Januar 31, 2019 fra <https://www.sivilforsvaret.no/globalassets/dokumenter/forskrifter---tilfluktsrom/76-forskriftene-og-veileder.pdf>
- DSB. (1995). *Forskrift med veileder om tilfluktsrom*. Direktoratet for sivilt beredskap. Hentet Januar 31, 2019 fra <https://www.sivilforsvaret.no/globalassets/dokumenter/forskrifter--tilfluktsrom/95-forskriftene-og-veileder.pdf>
- DSB. (2014). *Nasjonalt risikobilde*. Tønsberg: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.

- DSB. (2016). *Konseptutredning Sivilforsvaret*. Tønsberg: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
- DSB. (2017). *Fremtidens sivilforsvar*. Tønsberg: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
- Encyclopedia Britannica. (2019, Januar 2). Oklahoma City bombing. Hentet Februar 5, 2019 fra <https://www.britannica.com/event/Oklahoma-City-bombing>
- Etterretningstjenesten. (2019). *FOKUS 2019 Etterretningstjenestens vurdering av aktuelle sikkerhetsutfordringer*. Hentet April 22, 2019 fra https://forsvaret.no/fakta_/ForsvaretDocuments/fokus2019_web.pdf
- Eurokode 0. (2008). *Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner. NS-EN 1990:2002+NA:2008*. Oslo: Standard Norge.
- Eurokode 1-1. (2008). *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-1 Almenne laster*. Oslo: Standard Norge.
- Eurokode 1-1-3. (2008). *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-3: Almenne laster. Snølaster*. Oslo: Standard Norge.
- Eurokode 1-2. (2008). *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-2: Allmenne laster. Laster på konstruksjoner ved brann*. Standard Norge.
- Eurokode 2. (2008). *Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Dele 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*. Oslo: Standard Norge.
- FFI. (2004, Oktober). *FFI-fakta: Biologiske stridsmidler*. Hentet Januar 24, 2019 fra https://www.ffi.no/no/Publikasjoner/Documents/Biologiske_stridsmidler.pdf
- FFI. (2008, April). *FFI-fakta: Virkninger av kjernevåpen*. Hentet Januar 25, 2019 fra https://www.ffi.no/no/Publikasjoner/Documents/Virkninger_av_kjernevaapen.pdf
- FFI. (2013, Oktober). *Fakta om kjemiske våpen*. Hentet Januar 24, 2019 fra https://www.ffi.no/no/Publikasjoner/Documents/Faktaark_Kjemiske_vaapen.pdf
- FOI. (2017). *Att skydda civilbefolkningen från krigets verkningar*. Stockholm: FOI.
- Forskrift om tilfluktsrom. (1995). Forskrift om tilfluktsrom (FOR-1995-03-15-254). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1995-03-15-254>
- Forsvaret. (2018). *UD 2-1 Forsvarets sikkerhetsbestemmelser for landmilitær virksomhet*. Hentet April 01, 2019 fra [https://forsvaret.no/hv/ForsvaretDocuments/UD%20-1%20\(norsk,%20rev%2001\).pdf](https://forsvaret.no/hv/ForsvaretDocuments/UD%20-1%20(norsk,%20rev%2001).pdf)
- Forsvarsbygg. (2016). *Sikringshåndboka*. (2. utg.) Oslo: Forsvarsbygg.
- Forsvarsbygg, FFI & DSB. (2005). *(UOFF) Håndbok i våpenvirkninger*. Oslo: Forsvarsbygg.
- Glasstone, S., & Dola, P. J. (1977). *The Effects of Nuclear Weapons*. United States Department of Defense and the Department of Energy, 3. utgave.

- Grunnan, T. (2016). *Sammendrag av rapporten "Vurdering av samfunnets behov for sivile beskyttelsestiltak" (FFI-eksternnotat 17/01184)*. Kjeller: Forsvarets Forskningsinstitutt.
- Headquarters, US Army Material Command. (1972). *Engineering Design Handbook*. Washington: Headquarters, US Army Material Command.
- Human Rights Watch. (2017). *Death by Chemicals: The Syrian Government's Widespread and Systematic Use*. New York: Human Rights Watch.
- International Committee of the Red Cross. (1977, 06 08). V Protocol additional to the Geneva Conventions of 12 August 1949, and relating to the protection of victims of international armed conflicts (protocol 1).
- Johannessen, A., Tufte, P., & Christoffersen, L. (2010). *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode (4. utg.)*. Oslo: Abstrakt forlag.
- Johansen, A., & Tveter, K. (2018). *Ekspllosjonslaster på betongelementbygg*. Oslo: Krigsskolen.
- Johansen, I. (2006). *Scenarioklasser i Forsvarsstudien 2007: En morfologisk analyse av sikkerhetspolitiske utfordringer mot Norge (FFI-rapport 02664)*. Kjeller: Forsvarets Forskningsinstitutt.
- Johansen, I. (2018, Januar). Scenario Modelling with morphological analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, ss. 116-125.
- Johansson, M., & Laine, L. (2012). *Bebyggelsens motståndsformåga mot extrem dynamisk belastning Del 3: Kapacitet hos byggnader MSB142*. Karlstad: MSB.
- Joint Force Development. (2017, April 21). *Joint publication 3-01 Countering Air and Missile Threats*. Hentet Januar 28, 2019 fra https://fas.org/irp/doddir/dod/jp3_01.pdf
- Klassifiseringsforskrifta. (2013). Forskrift om klassifisering og sikring av anlegg i elektroniske kommunikasjonsnett (FOR-2012-09-10-866). Hentet Januar 28, 2019 fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-09-10-866>
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2015, desember 17). Rundskriv om normer for energi- og arealbruk for statlige bygg. Oslo.
- Kraftberedskapsforskriften. (2013). Forskrift om sikkerhet og beredskap i kraftforsyningen (FOR-2018-11-01-1641). Hentet Januar 28, 2019 fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-07-1157>
- Krigsskolen. (2016). *Studiehåndbok Bachelor i ingeniørfag*. Oslo: Krigsskolen.
- Larsson, P., & Denward, C. (2017). *Att skydda civilbefolkningen från krigets verkningar*. Kista: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- League of Nations. (1925). *Protocol for the Prohibition of the Use in War of Asphyxiating, Poisonous or Other Gases, and of Bacteriological Methods of Warfare*. Hentet fra <https://www.un.org/disarmament/wmd/bio/1925-geneva-protocol/>

- Leppänen, J. (2015). *Beräkningsstöd Arkivbomb (B06-101)*. Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- MSB. (2015). *Skyddsrum SR 15 Handbok*. Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- Nasjonal sikkerhetsmyndighet. (2012, Desember 20). Veileder for objektsikkerhetsforskriften. Oslo. Hentet Januar 28, 2019 fra <https://nsm.stat.no/globalassets/dokumenter/veiledninger/veileder-i-objektsikkerhet-v1.1.pdf>
- NATO. (2003). *Handbook on long term Defence planning*. doi:RTO-TR-069 AC/323(SAS-025)TP/41
- Norsk Prisbok. (2013). Hentet fra Norsk Prisbok: <https://www.norskprisbok.no/WhatIsNP.aspx>
- NOU 2000:24. (2000). *Et sårbart samfunn*. Oslo: Departementets servicesenter.
- NRK. (2019, Februar 01). Hentet Februar 05, 2019 fra Nedrustningsavtalen INF: <https://www.nrk.no/norge/nedrustningsavtalen-inf-1.14325424>
- Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (1993). *CONVENTION ON THE PROHIBITION OF THE DEVELOPMENT, PRODUCTION, STOCKPILING AND USE OF CHEMICAL WEAPONS AND ON THEIR DESTRUCTION*. Hentet Januar 25, 2019 fra https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/CWC/CWC_en.pdf
- Pearson, E. (2014, Mars 20). *Khobar Towers bombing of 1996*. Hentet Januar 31, 2019 fra <https://www.britannica.com/event/Khobar-Towers-bombing-of-1996>
- Ritchey, T. (2013). *General Morphological Analysis*. Hentet Januar 24, 2019 fra <http://www.swemorph.com/pdf/gma.pdf>
- Sikkerhetsloven. (2018). *Lov om nasjonal sikkerhet LOV-2018-06-01-24*. Hentet Mars 04, 2019 fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2018-06-01-24>
- Sintef Byggforsk. (1997). *Planlegging av betongelementbygg*. Hentet Februar 05, 2019 fra https://www.byggforsk.no/dokument/300/planlegging_av_betongelementbygg
- Sintef byggforsk. (2003). *Betonggulv på grunnen 522.111*. Hentet 03 17, 2019 fra https://www.byggforsk.no/dokument/332/betonggulv_paa_grunnen
- Sintef Byggforsk. (2013, August). 471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler. Oslo.
- Sintef byggforsk. (2013). *Statikkformler for bjelker 421.051*. Hentet April 04, 2019 fra https://www.byggforsk.no/dokument/183/statikkformler_for_bjelker
- Sivilbeskyttelsesloven. (2010). *Lov om kommunal beredskapsplikt, sivile beskyttelsestiltak og Sivilforsvaret (LOV-2010-06-25-45)*. Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2010-06-25-45>
- Sørensen, S. I. (2009). *Betongkonstruksjoner Beregning og dimensjonering etter Eurocode 2*. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.

- Standard Norge. (2009, Oktober 1). *Mangler i standardverk i BAE-sektoren ved forebygging av kriminalitet*. Hentet Februar 5, 2019 fra <https://www.standard.no/Global/PDF/Samfunnssikkerhet/SNK296%20krim%20Rapport%202009%201.pdf>
- Standard Norge. (2014). *Samfunnssikkerhet Beskyttelse mot tilsiktede uønskede handlinger Krav til sikringsrisikoanalyse NS 5832:2014*. Lysaker: Standard Norge.
- Statens vegvesen. (2014). *Veg-og gateutforming Håndbok N100*. Hentet Mars 06, 2019 fra https://www.vegvesen.no/_attachment/61414/binary/964095
- Stoltenberg, J. (2019, Januar 09). Vi og verden. Hentet 04 05, 2019 fra <https://www.nho.no/arskonferansen-2019/>
- Szabó, B. (2018, September). Factors endangering highly protected shelters and their personnel. *Hadmérnök*, ss. 124-149.
- United Nations Office for Disarmament Affairs. (1972). *Convention on the Prohibition of the Development, Production and Stockpiling of Bacteriological (Biological) and Toxin Weapons and on Their Destruction*. Hentet Januar 25, 2019 fra [https://www.unog.ch/80256EDD006B8954/\(httpAssets\)/C4048678A93B6934C1257188004848D0/\\$file/BWC-text-English.pdf](https://www.unog.ch/80256EDD006B8954/(httpAssets)/C4048678A93B6934C1257188004848D0/$file/BWC-text-English.pdf)
- Vik, T., & Reif, B. P. (2010). *Modeling the evaporation from a thin liquid surface beneath a turbulent boundary layer FFI-rapport 2010/00254*. Kjeller: FFI. Hentet April 13, 2019 fra <https://admin.ffi.no/no/Rapporter/10-00254.pdf>
- Woolf, A. F. (2019). *Russian Compliance with the Intermediate Range nuclear Forces (INF) Treaty: Background and Issues for Congress (R43832 Version 31)*. Washington D.C: Congressional Research Service.

Vedleggsliste

Beregninger:

- B01 2019-04-24 (U) Geometri dekningsrom
- B02 2019-04-25 (U) Lastanalyse raslast
- B03 2019-04-25 (U) Dimensjonering av tak
- B04 2019-04-25 (U) Dimensjonering av innvendig bærevegg
- B05 2019-04-25 (U) Kontroll av yttervegg mot over- og undertrykk
- B06 2019-04-25 (U) Dimensjonering av yttervegg
- B07 2019-04-25 (U) Kontroll av tak mot over- og undertrykk
- B08 2019-04-25 (U) Dimensjonering av knutepunkter

Tegninger:

- T01 2019-04-22 (U) Plantegning og oppriss
- T02 2019-04-22 (U) Armering vegger
- T03 2019-04-22 (U) Armering dekke over dekningsrom
- T04 2019-04-16 (U) Detalj gulv og fundament

Annet:

- A01 2019-04-22 (U) Bøyeliste
- A02 2019-04-22 (U) Beskrivelsestekst med pris