

Marie Sverdrupsen

Bærekraftig brannteknisk prosjektering av sykehus

Optimalisering av brannsikkerhet og
miljøpåvirkning

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Anne Elise Steen-Hansen

Medveileder: Gaute Nilsen Fossli

Juni 2023

Marie Sverdrupsen

Bærekraftig brannteknisk prosjektering av sykehus

Optimalisering av brannsikkerhet og miljøpåvirkning

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Anne Elise Steen-Hansen
Medveileder: Gaute Nilsen Fossli
Juni 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

I bygg- og anleggsbransjen er det et økende fokus på å velge miljøvennlige løsninger og minimere utslipp. I denne sammenheng er det utforsket hvordan brannteknisk prosjektering kan bidra til å gå i en mer bærekraftig retning. Denne oppgaven retter seg mot brannsikring i sykehus, med fokus på psykiatrisk avdeling. Målet med oppgaven er å undersøke den risikoreduserende effekten av to brannsikringstiltak: seksjoneringsvegg og sprinkleranlegg. I tillegg skal klimapåvirkningen av disse tiltakene vurderes. Videre utforskes muligheten for alternative løsninger som vil opprettholde tilstrekkelig brannsikkerhet og redusere klimagassutslipp.

Opgaven baseres på tre metoder: litteraturstudie, innsamling av statistikk og casestudie. Tyngden ligger på casestudien, der det er sett på et nybygg tilknyttet Akershus universitetssykehus. I forbindelse med casestudien er det utført en risikovurdering, med tilhørende simuleringer i B-RISK, beregning av parametrisert brannforløp, samt nødvendig brannmotstand. I tillegg er det utført en livssyklusanalyse for å vurdere klimapåvirkningen fra de ulike tiltakene.

Som en del av risikovurderingen ble det gjennomgått statistikk og erfaringer fra tidligere brannhendelser på sykehus, spesielt innenfor psykiatrien. Resultatene fra denne datainnsamlingen viser at brann forekommer, men med svært begrenset omfang. Sannsynligheten for at en brann oppstår klassifiseres som «ganske sannsynlig», med en estimert hyppighet på én gang hvert 1-10 år. For å gjøre en kvantitativ vurdering av forventet omfang av brann i sengerom, ble det utført Monte Carlo-simuleringer i analyseverktøyet B-RISK. Resultatene viste at kun 81 av de 10 000 simulerte brannene førte til overtenning og fullt utviklet brann. Dette utgjør en andel på 0,81 %, som vurderes å være lite sannsynlig.

Ved vurdering av den risikoreduserende effekten av seksjoneringsveggen, ble nødvendig brannmotstand beregnet. I henhold til preaksepterte ytelser skal veggen ha en brannmotstand på REI 120-M, og være konstruert i tunge materialer. Imidlertid viser beregningene at den høyeste nødvendige brannmotstanden for veggen er 42 minutter. Det er derfor vurdert at seksjoneringsveggen har en relativt lav risikoreduserende effekt sammenlignet med en alternativ vegg, med en lavere brannmotstand. Dermed ble det konkludert med at en branncellevegg med brannmotstand EI 60 vil være tilstrekkelig for å opprettholde sikkerhetsnivået. Ved å erstatte seksjoneringsveggen i betong med en lettere vegg med brannmotstand EI 60, kan prosjektet redusere utslippene med 26 tonn CO₂-ekvivalenter, tilsvarende 0,6 % av det totale utslippet fra bygget.

Sprinkleranlegg vurderes til å ha stor risikoreduserende effekt. Det vil bidra til å begrense varmeutvikling, som igjen fører til lavere nødvendig brannmotstand. Sprinkleranlegg har en begrenset effekt på personsikkerheten i startbranncellen, men vil gi en økt sikkerhet for personer i andre rom. Sprinkleranlegg har også positiv innvirkning på klimagassutslipp, da det reduserer omfang av brann og derav utslipp knyttet til dette. Til tross for utslipp knyttet til materialer ved installasjon og utskiftning, bidrar sprinkleranlegg totalt sett til lavere klimagassutslipp sammenlignet med usprinklede bygg. Derfor betraktes sprinkleranlegg som en god løsning, både med tanke på brannsikkerhet og miljø.

Ved å se bort fra preaksepterte løsninger og åpne opp for alternative løsninger som reduserer klimagassutslipp, kan brannteknisk prosjektering bevege seg i en mer bærekraftig retning. Dette vil skape en bedre balanse mellom brannsikkerhet og miljø, og føre til trygge og mer bærekraftige bygg.

Abstract

In the construction industry, there is an increasing focus on selecting environmentally friendly solutions and minimizing emissions. In this context, it has been investigated how fire safety engineering could contribute to a more sustainable development. This study specifically targets fire safety in psychiatric departments within hospitals. The objective is to examine the risk-reducing effect of two fire safety measures: fire sectioning and sprinkler systems. Additionally, the environmental impact of these measures will be assessed.

The study utilizes three methods: literature review, collection of statistics, and a case study. The primary focus is on the case study, which investigates a new building associated with Akershus University Hospital. As part of the case study, a risk assessment was conducted, which included simulations in B-RISK, calculations of parametric fire scenarios, and determination of necessary fire resistance. Furthermore, a life-cycle assessment was performed to evaluate the environmental impact of the different measures.

As part of the risk assessment, a review of statistics, and experiences from previous fire incidents in hospitals, particularly in psychiatric departments, was conducted. The results of this data collection indicate that fires occur, but with very limited extent. The probability of a fire occurring is classified as "quite likely", with an estimated frequency of once every 1-10 years. To make a quantitative assessment of the expected extent of fires in patient rooms, Monte Carlo simulations were carried out using the analysis tool B-RISK. The results showed that only 81 out of the 10,000 simulated fires led to flashover and fully developed fires. This represents a share of 0.81 %, which is considered to be unlikely.

When evaluating the risk-reducing effect of the compartmentation wall, the necessary fire resistance was calculated. According to the prescribed performance criteria, the wall should have a fire resistance rating of REI 120-M and be constructed using heavy materials. However, the calculations show that the highest necessary fire resistance for this wall is 42 minutes. Therefore, it is evaluated that the compartmentation wall has a relatively low risk-reducing effect compared to an alternative wall with lower fire resistance. To maintain the desired level of safety, it was determined that a fire compartment wall with an EI 60 fire resistance rating would be sufficient. By replacing the concrete compartmentation wall with a lighter wall with a fire resistance rating of EI 60, the project could potentially save 26 metric tons of CO₂ equivalents and reduce the building's total emissions by 0.6 %.

The sprinkler system is considered to have a significant risk-reducing effect. It helps limit heat exposure, which results in lower required fire resistance. While the sprinkler system has a limited effect on the safety in the initial fire compartment, it provides increased safety for individuals in other rooms. Additionally, the sprinkler system has a positive impact on greenhouse gas emissions by reducing the extent of fires and associated emissions. Despite emissions related to materials during installation and replacement, sprinkler systems contribute to lower overall greenhouse gas emissions compared to buildings without sprinkler systems. Therefore, sprinkler systems are considered a favorable solution in terms of both fire safety and sustainability.

By deviating from prescribed performance criteria and embracing alternative approaches that reduce greenhouse gas emissions, fire safety engineering can move towards a more sustainable direction. This will create a better balance between fire safety and the environment, resulting in safe and more sustainable buildings.

Forord

Denne masteroppgaven utgjør det avsluttende arbeidet på sivilingeniørutdanningen Bygg- og miljøteknikk ved NTNU i Trondheim. Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng i emnet *TBM4900 Bygg- og miljøteknikk, masteroppgave* og er skrevet våren 2023. Arbeidet er utført i samarbeid med Norconsult AS og forskningssenteret Fire Research and Innovation Centre (FRIC).

Oppgaven handler om hvordan brannteknisk prosjektering kan bidra til mer bærekraftige løsninger. Bærekraft er et brennhett tema for tiden, og det var derfor av interesse å undersøke hvordan brannprosjektering kan bidra til økt bærekraft. Studien presenterer et konkret forslag til en endring som vil redusere klimagassutslipp.

Arbeidet med oppgaven ble påbegynt våren 2023, og bygger ikke videre på en prosjektoppgave. Ved oppstart av arbeidet ble det derfor brukt en del tid på å sette seg inn i det faglige grunnlaget og blant annet lære seg simuleringsprogrammet som er benyttet. Gjennom arbeidet med denne masteroppgaven har både kunnskapen og interessen rundt brannsikkerhet økt betraktelig.

Jeg ønsker å takke min veileder ved instituttet, Anne Elise Steen-Hansen, som har bidratt med god veiledning og støtte til oppgaven. Jeg ønsker også å takke ekstern veileder, Gaute Nilsen Fossli, for god bistand, samt gode diskusjoner og råd underveis. I tillegg vil jeg takke andre ansatte hos Norconsult som har vært hjelpelige med bistand til oppgaven.

Til slutt vil jeg takke familie og venner som har støttet og motivert meg gjennom studiet. Spesielt takk til den gode gjengen på kontoret for hjelp og diskusjoner rundt oppgaven, samt oppmuntring gjennom dette siste semesteret.

Lykke til med lesingen!

NTNU, Trondheim
Juni 2023



Marie Sverdrupsen

Innhold

Sammendrag	i
Abstract	ii
Forord	iii
Figurer	vii
Tabeller	viii
Terminologi	ix
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Omfang og avgrensninger	2
1.4 Oppgavens oppbygning	3
2 Metode	4
2.1 Valg av forskningsmetode	4
2.1.1 Reliabilitet og validitet	5
2.2 Litteraturstudie	5
2.2.1 Søkestrategi	6
2.2.2 Reliabilitet og validitet	7
2.3 Innsamling av statistikk	8
2.3.1 Datakilder	8
2.3.2 Reliabilitet og validitet	8
2.4 Casestudie	9
2.4.1 Risikovurdering	9
2.4.2 Brannsimuleringer i B-RISK	9
2.4.3 Beregning av brannmotstand	10
2.4.4 Livssyklusanalyse	10
2.4.5 Reliabilitet og validitet	10
3 Teori	11
3.1 Bærekraft	11
3.1.1 Parisavtalen	12
3.1.2 Bærekraftige bygg	12
3.1.3 Bærekraftige sykehusbygg	12
3.1.4 Brann og bærekraft	13
3.2 Brannteknisk prosjektering	14
3.2.1 Byggteknisk forskrift	14
3.2.2 Brannklassifisering	15
3.2.3 Seksjoneringsvegg	16
3.2.4 Branncelle	17
3.2.5 Sprinkleranlegg	18
3.3 Brannforløp	20
3.3.1 Utviklingsfasen	21
3.3.2 Overtenning og fullt utviklet brann	21

3.3.3	Avkjølingsfasen	22
3.3.4	Ulike modeller for brannforløp	22
3.3.5	ISO 834-kurve	22
3.3.6	Parametrisk brannforløp	23
3.3.7	Ekvivalent branneksponeeringstid	25
3.4	Brannenergi	27
3.5	Klimautslipp fra brann	30
3.5.1	Utslipp fra selve brannen	30
3.6	Risikovurdering	32
3.6.1	Krav i TEK17	33
3.6.2	NS 3901	33
3.6.3	Planlegging	34
3.6.4	Analyse	34
3.6.5	Risikoevaluering	35
3.7	Livssyklusanalyse (LCA)	36
3.7.1	Utførelse av en LCA	36
3.7.2	LCA og brann	38
3.8	Brannhendelser i sykehus	39
3.8.1	Hyppighet og omfang	39
3.8.2	Brannårsak og arnested	41
3.8.3	Konsekvenser av brann	42
3.8.4	Dødsbranner	43
4	Casebeskrivelse	45
5	Resultater	47
5.1	Risikovurdering	47
5.1.1	Planlegging	47
5.1.2	Beskrivelse av analyseobjekt	48
5.1.3	Analyse av årsaker og sannsynlighet for brann	49
5.1.4	Beskrivelse av brannscenarioer	51
5.1.5	Probabilistisk analyse av brannforløp i B-RISK	51
5.1.6	Analyse av nødvendig brannmotstand	55
5.1.7	Risikoevaluering	59
5.2	Beregning av brannenergi	60
5.3	Livssyklusanalyse	62
5.3.1	Utslipp fra seksjoneringsvegg	62
5.3.2	Utslipp fra alternativ brannskillevegg	62
5.3.3	Besparelse	63
5.3.4	Utslipp fra sprinkleranlegg	64
5.4	Utslipp fra brannforløpet	65
6	Diskusjon	66
6.1	Forventet omfang av brann på psykiatrisk sykehus	66
6.2	Evaluering av risikoreduserende effekt av tiltakene versus effekt på klimagassutslipp	69
6.2.1	Seksjoneringsvegg	69
6.2.2	Sprinkler	70
6.3	Alternative og mer bærekraftige tiltak	73
6.3.1	Alternativ til seksjoneringsvegg	73
6.3.2	Alternativ til sprinkleranlegg	74

7 Konklusjon	76
7.1 Forventet omfang av brann på psykiatrisk sykehus	76
7.2 Risikoreduserende effekt av tiltakene versus effekt på klimagassutslipp	76
7.3 Alternative og mer bærekraftige tiltak	77
7.4 Videre arbeid	78
Referanser	79
Vedlegg	84

Figurer

2.1	Illustrasjon av metodetriangulering.	4
3.1	FNs bærekraftsmål.	11
3.2	De tre dimensjonene av bærekraftig utvikling.	12
3.3	Definisjon av sprinklereffektivitet.	19
3.4	Illustrasjon av de ulike fasene i et fullstendig brannforløp.	20
3.5	Illustrasjon av parametrisk og standard temperatur-tidkurve.	22
3.6	Nymans test av gipsplate: (a) temperatur-tidkurve, (b) kumulativ strålingskurve.	26
3.7	Global miljøpåvirkning av en bygningsbrann.	30
3.8	Risikovurderingsprosessen.	32
3.9	Flytskjema for risikovurdering etter NS 3901.	33
3.10	Livsløpsfaser i en LCA.	36
3.11	Situasjonsbeskrivelse ved brannvesenets i ankomst perioden 2016-2022 (sykehus).	40
3.12	Spredning av brann på sykehus i perioden 2016-2022.	40
3.13	Spredning av brann i institusjoner i psykisk helsevern, 2016-2022.	41
3.14	Antatt arnested innen «Helsetjenester».	42
3.15	Dødsårsak for omkomne i branner i perioden 2005-2014.	43
4.1	Modell av VOP på Ahus i front, tilknyttet eksisterende psykiatri bak.	45
4.2	Plantegning av nye VOP, plan 1.	46
5.1	Modell av sengerom på VOP, sett ovenfra.	48
5.2	Illustrasjon av analyseobjektet, sengerom.	49
5.3	Antall oppdrag fra brann- og redningstjenesten i psykiatrien i perioden 2016-2022.	50
5.4	Temperatur i øvre lag på sengerom for 10 000 simulerte branner i B-RISK.	53
5.5	100 og 92-persentilen av temperatur-tidkurve med maksimal effekt på 2250-4750 kW.	54
5.6	Temperatur-tidkurve for sengerom med og uten sprinkleranlegg, $q_{f,k}= 280 \text{ MJ/m}^2$	55
5.7	Kumulativ strålingsenergi med ekvivalent tid for brann i sengerom med og uten sprinkleranlegg, $q_{f,k}= 280 \text{ MJ/m}^2$	56
5.8	Kumulativ strålingsenergi fra parametrisk brannforløp, usprinklet og $q_{f,k}= 650 \text{ MJ/m}^2$	57
5.9	Temperatur i øvre lag med en maksimal HRR 2251-4750 kW, $q_{f,k}=400 \text{ MJ/m}^2$	57
5.10	Histogram av ekvivalent tid for vegg fra B-RISK.	58
5.11	Utslipp for seksjoneringsvegg fra ulike produsenter.	62
5.12	Utslipp for seksjoneringsvegg og en alternativ branncellevegg.	63
5.13	Utslipp fra brannforløp med to nivåer av maksimal HRR.	65

Tabeller

1.1	Oppbygning av oppgaven.	3
3.1	Ytelser for brannmotstand.	15
3.2	Bygningsmaterialers egenskaper ved brannpåvirkning.	15
3.3	Maksimal størrelse på brannseksjon.	16
3.4	Brannmotstand til branncellebegrensende bygningsdeler, generelt.	17
3.5	Vekstfaktorer og referansetider for ulike brannutviklingshastigheter.	21
3.6	Et utvalg av spesifikk brannenergi per golvareal, for ulik bruk av bygningen. . .	28
4.1	Planfordeling, areal og bruksinformasjon for VOP.	46
5.1	Klassifisering av sannsynligheter	47
5.2	Sannsynlighetsfordelinger som er lagt inn som input i B-RISK.	51
5.3	Faste verdier for beregning av parametrisk brannforløp.	55
5.4	Sammenstilling av resultater fra parametrisk brannforløp, sengerom.	56
5.5	Beregning av karakteristisk brannenergi, sengerom.	60
5.6	Resultater for beregning av karakteristisk spesifikk brannenergi, sengerom. . . .	61

Terminologi

Brannenergi	Den totale varmemengden som frigjøres når alle brennbare materialer i et område forbrennes (kbt.no, 2020).
Brannforløp	Brannens utvikling fra antenning til den slukner eller blir sløkket (kbt.no, 2020).
Brannmotstand	En konstruksjons evne til å opprettholde bæreevne, stabilitet, integritet og varmeisolering i en gitt tidsperiode, slik at den oppfyller angitte krav ved standardisert brannprøving (kbt.no, 2020).
Brannseksjon	Et avgrenset område av en bygning som skal begrense spredning av brann (DiBK, 2017a).
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
Ekvivalent branneksponeringstid	Den tiden det tar for å oppnå en ekvivalens mellom varmepåvirkningen fra en standardbrann og en designbrann/virkelig brann (Xie et al., 2017).
Funksjonskrav	Overordnet formål eller oppgave som skal oppfylles i henhold til TEK17 (DiBK, 2017a).
LCA (Livssyklusanalyse)	En vurdering av miljøpåvirkningen til et produkt eller system gjennom hele eller deler av livsløpet (Byggforskserien, 2014).
Monte Carlo-simulering	Metode for å estimere mulige utfall av en usikker hendelse som avhenger av ulike variabler (Standard Norge, 2019).
Preakseptert ytelse	Ytelse gitt i veiledning til TEK17 som tilfredsstiller funksjonskravene (DiBK, 2017a).
Risiko	Uttrykk for kombinasjonen av sannsynligheten for og konsekvensen av en uønsket hendelse (Standard Norge, 2021).
Risikovurdering	En samlet prosess som handler om å identifisere, analysere og evaluere risikoen (Standard Norge, 2021).
TEK17 (Byggteknisk forskrift)	Angir et sett med minimumskrav til egenskaper en bygning må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge (DiBK, 2017a).
Varmeavgivelses- hastighet (HRR)	Varmemengden som frigjøres per tidsenhet når et materiale forbrennes (Standard Norge, 2008).

1 Innledning

I innledningen presenteres bakgrunnen for oppgaven. Problemstillingen med tilhørende forskningsspørsmål fremlegges, og omfanget og avgrensninger av oppgaven beskrives.

1.1 Bakgrunn

I dagens samfunn er det økende fokus på å ta miljøvennlige valg og sikre en bærekraftig utvikling. Bygg- og anleggsbransjen står ansvarlig for en betydelig andel av klimagassutslippene og ressursforbruket i verden. I lys av dette har det oppstått et stort behov for å utvikle og implementere mer bærekraftige praksiser og løsninger. Dette er en bransje som kan, og bør bidra betraktelig for et mer bærekraftig samfunn.

Brannteknisk prosjektering har som mål å sikre brannsikkerheten i bygninger. Tradisjonelt har fokuset vært rettet mot å oppfylle branntekniske krav og forskrifter, med lite oppmerksomhet rundt bærekraftsaspektene. Likevel er det observert en voksende etterspørsel etter å ta hensyn til klimapåvirkningen og implementere bærekraftige prinsipper i brannprosjekteringen. I en masteroppgave av Mæhlum (2022) med tittelen «Bærekraftig brannprosjektering» ble det gjennomført en kartlegging av hvordan bærekraft blir inkludert i brannprosjektering. I tillegg ble det forsøkt å utarbeide en definisjon på hva «bærekraftig brannprosjektering» er, som resulterte i følgende definisjon:

Bærekraftig brannprosjektering innebærer brannteknisk rådgiving som setter krav om reduksjon av CO₂-avtrykk og miljøfarlige stoffer høyt ved valg av branntekniske løsninger, både i planlegging, bygging og drift av byggverket. Utslipp fra en potensiell brann skal også tas i betraktning, og brannbeskyttelsen skal utformes fleksibel og holdbar over tid. (Mæhlum, 2022)

En brann i seg selv vil ikke kunne anses som bærekraftig, da det fører til betydelige utslipp både under brannen og til riving og gjenoppbygning av bygningen i etterkant. I utgangspunktet er det derfor svært uønsket med en brann som kan forårsake store ødeleggelser. Å innføre en rekke brannsikringstiltak vil kunne begrense en brann til et minimum. Imidlertid kan det være en utfordring å balansere brannsikkerhet med bærekraftige løsninger. En mengde ekstra brannsikringstiltak vil medføre økt klimagassutslipp på grunn av ekstra materialforbruk. Dette vil derfor ikke være en løsning sett i et bærekraftperspektiv. Det er ønskelig å minimere utslippene knyttet til brannsikringstiltak samtidig som brannsikkerheten opprettholdes. Ved å analysere og vurdere ulike tiltak kan man evaluere den potensielle effekten med tanke på både brannsikkerheten og klimautslippene.

Sykehus plasseres i risikoklasse 6 og krever dermed en svært høy grad av brannsikkerhet. Som oftest er sykehus også store bygg, noe som medfører betydelige utslipp ved oppføring. Sykehusbygg HF har utarbeidet en standard for klima og miljø i sykehusbygg som beskriver hvordan helseforetakene kan bidra til å oppnå Norges klimagassutslippsmål (Sykehusbygg HF, 2021). Dette dokumentet vil være styrende for både nybygg og rehabilitering av sykehus. Videre i oppgaven vil det undersøkes hvordan brannprosjekteringen kan bidra til å realisere mer bærekraftige sykehusprosjekter. Dette vil kunne bidra til en mer helhetlig tilnærming der bærekraft og sikkerhet går hånd i hånd.

1.2 Problemstilling

Denne masteroppgaven har som formål å bidra til en økt forståelse for hvordan brannteknisk prosjektering kan bidra til å oppnå gode bærekraftige løsninger i sykehusbygg. Det er ønske om å utforske løsninger som vil ha en stor risikoreduserende effekt, samtidig som utslippet holdes på et akseptabelt nivå. Problemstillingen til oppgaven er som følger:

Hvordan kan brannteknisk prosjektering bidra til mer bærekraftige løsninger i sykehusbygg?

Sykehus er bygg som krever god brannsikring og har et generelt høyt sikkerhetsnivå. Spørsmålet er om dette sikkerhetsnivået er for høyt. Vil det være mulig å redusere tiltak og dermed begrense utslipp, eller finnes det alternative løsninger med lavere utslipp som kan benyttes? I denne oppgaven skal det gås nærmere inn på to tiltak: seksjoneringsvegg og sprinkleranlegg. Det skal sees på hvilken risikoreduserende effekt seksjoneringsvegg og sprinkleranlegg har på brannsikkerheten. Videre skal det gjøres en analyse av påvirkningen på klimagassutslipp fra materialer og en potensiell brann. Det blir også gjort en vurdering av om det finnes alternative løsninger til de preaksepterte. Oppgaven vil fokusere på brannsikkerheten ved nye voksenpsykiatriske avdeling på Akershus universitetssykehus.

For å kunne svare på problemstillingen er det utarbeidet tre forskningsspørsmål:

1. Hva er forventet omfang av brann på psykiatrisk sykehus?
2. Hvilken risikoreduserende effekt har tiltakene på brannsikkerheten versus effekt på klimagassutslipp?
3. Finnes det alternative løsninger som vil gi tilstrekkelig brannsikkerhet og som bidrar til et mindre klimagassutslipp, og dermed anses som mer bærekraftig?

1.3 Omfang og avgrensninger

Denne oppgaven fokuserer spesifikt på brannsikkerheten på sykehus, spesielt rettet mot psykiatrien. Dette til tross for at bærekraft kan inkluderes i brannprosjekteringen for alle typer bygg. Ved valg av hvilke brannscenarier som skulle analyseres, ble det besluttet å avgrense dette til brann med brannstart i sengerom. Dette valget baseres på statistikk om hvilket scenario som vil være mest sannsynlig at skjer og innebærer størst risiko. Simuleringene og analysene kan likevel være gjeldende for andre typer rom.

Det er valgt å avgrense oppgaven til to spesifikke tiltak: seksjoneringsvegg og sprinkleranlegg. Disse tiltakene er valgt etter innspill fra veiledere og etter forfatterens egen interesse for hva som kan ha høyest nytteverdi. Noen andre brannsikringstiltak vil bli diskutert, men vil ikke bli utforsket i detalj.

En ytterligere avgrensning er knyttet til håndtering av utslipp i forbindelse med brann. Oppgaven fokuserer hovedsakelig på utslipp fra selve brannen, og det gjøres ikke beregninger for utslipp relatert til riving og gjenoppbygging. Dette ble vurdert som for omfattende for oppgavens rammer og omfang.

Arbeidet med masteroppgaven hadde oppstart i januar, og bygger ikke videre på en tidligere prosjektoppgave. Det var derfor nødvendig å bruke en god del tid i oppstartsfasen for å sette seg godt inn i temaet. Oppgaven har en tidsbegrensning på 20 uker, noe som kan påvirke dybden og omfanget av arbeidet.

1.4 Oppgavens oppbygning

Tabell 1.1 gir en kort presentasjon av hvert kapittel i oppgaven.

Tabell 1.1: Oppbygning av oppgaven.

1 Innledning	Bakgrunnen og formålet med oppgaven beskrives. Videre presenteres problemstillingen med tilhørende forskningsspørsmål. Kapitlet inneholder også en beskrivelse av omfang og avgrensninger.
2 Metode	Gjennomgang av metodene som er benyttet i arbeidet med oppgaven. Kapitlet beskriver hvordan litteraturstudie, innhenting av statistikk og casestudien har blitt gjennomført.
3 Teori	I teorikapitlet presenteres relevant teori, med fokus på bærekraft, brannsikringstiltak, brannteknikk og metoder for analyser som er gjort som en del av casestudien. Det inneholder også en gjennomgang av statistikk og erfaringer fra brannhendelser i sykehus.
4 Casebeskrivelse	Beskrivelse av casebygget tilknyttet Akershus universitetssykehus, med informasjon om prosjektet, bruksinformasjon og plantegninger.
5 Resultater	Presentasjon og tolkning av resultatene fra risikovurderingen, med tilhørende simuleringer i B-RISK og beregninger av parametrisk brannforløp, samt ekvivalent tid. Videre presenteres resultatene fra livssyklusanalysen, beregning av brannenergi og utslipp fra brann.
6 Diskusjon	I denne delen diskuteres de ulike forskningsspørsmålene. De kvantitative resultatene fra casestudien blir også forsøkt satt opp mot den kvalitative dataen som er funnet i litteraturstudien.
7 Konklusjon	Konklusjonen gir en kort oppsummering av de viktigste funnene og forskningsspørsmålene blir forsøkt besvart. Kapitlet gir også forslag til videre arbeid.

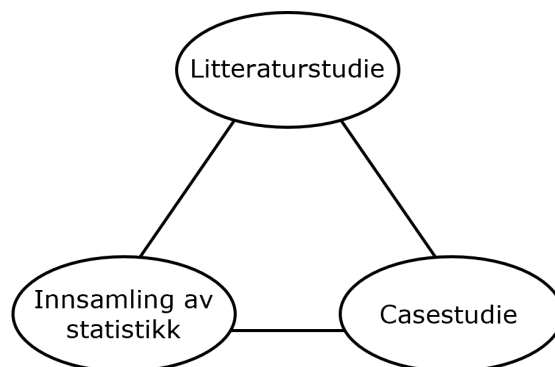
2 Metode

Hensikten med forskning er ifølge Jacobsen (2022) å frambringe gyldig og troverdig kunnskap om virkeligheten. For å oppnå dette må forskningen ha en strategi, altså en metode for hvordan man skal gå fram. I dette kapitlet er det en beskrivelse av valgte metoder og hvordan forskningen er utført.

2.1 Valg av forskningsmetode

Ved valg av forskningsmetode ble det gjort en vurdering av hvordan problemstillingen kunne besvares på best mulig måte. Det ble gjort en evaluering av hvilken data som var nødvendig og hvordan denne kunne innhentes. I denne oppgaven ble det hovedsakelig anvendt tre forskningsmetoder: litteraturstudie, innsamling av statistikk og casestudie. Litteraturstudie ble valgt for å danne et nødvendig teoretisk grunnlag for de aktuelle temaene, samt bidra til å besvare deler av problemstillingen. I tillegg inneholdt det en gjennomgang av analyseteknikker som videre ble brukt i casestudien. Innsamling av statistikk er gjort for å studere erfaringer fra tidligere branner og for å kunne gi innsikt i forventet hyppighet og omfang. Casestudie ble valgt for å teste hypotesen på et praktisk eksempel. I casestudien ble det utført flere beregninger og analyser. Formålet med dette var å kunne presentere spesifikk data og resultater fra den spesifikke branncellen som er analysert.

En kombinasjon av ulike forskningsmetoder kalles metodetriangulering. Dette innebærer å bruke flere metoder for å belyse en problemstilling (Sander, 2021). I denne oppgaven er det en triangulering av litteraturstudie, innsamling av statistikk og casestudie, som illustrert i Figur 2.1. De ulike metodene utfyller hverandre. Enkelte deler av dataen som ble innhentet gjennom litteraturstudien og fra statistikken, ble videre brukt i casestudien og analyser tilknyttet dette. Metodetriangulering benyttes også for å undersøke problemet fra ulike angrepspunkt. Dette vil kunne gi en mer nyansert og helhetlig forståelse. Hvis ulike tilnærminger resulterer i samme resultat, er dette med på å styrke troverdigheten til forskningen.



Figur 2.1: Illustrasjon av metodetriangulering.

De ulike metodene bygger på kvalitativ og kvantitativ metode. Kvalitativ metode innebærer innsamling og analyse av data i form av tekst (Grønmo, 2023a). Dette står i kontrast til kvantitativ metode som innebærer innsamling og analyse av data i form av mengde eller målbare tall (Grønmo, 2023b). Kvalitativ og kvantitative metode kan kombineres, noe som er gjort i denne oppgaven. Dette vil kunne gi en dypere innsikt og helhetlig forståelse av oppgaven. Litteraturstudien innebar innhenting av kvalitative data. Slik kvalitativ data er godt egnet for å få fram en nyansert beskrivelse av situasjonen. Ved oppstart av oppgaven var den kvalitative

datainnsamlingen essensiell for at de kvantitative vurderingene kunne foretas. Etter hvert som grunnleggende kunnskap og forståelse av situasjonen var lagt, kunne forskningsspørsmålene utvikles. Det var da mulig å gjennomføre den kvantitative analysen gjennom casestudien.

2.1.1 Reliabilitet og validitet

Kvaliteten til datainnsamling gjort i forbindelse med forskning kan uttrykkes ved reliabilitet og validitet. Reliabilitet betyr pålitelighet og troverdighet, og angir om resultatene gjenspeiler den virkelige situasjonen og er etterprøvbare (Sander, 2022). Det indikerer om forskningen er til å stole på og om den er gjennomført på en troverdig måte (Jacobsen, 2022). Høy reliabilitet vil tilsi at samme forskning utført av andre vil gi tilnærmet samme resultat eller konklusjon. Validitet betyr gyldighet eller relevans. Det dreier seg om hvorvidt innsamlet data faktisk svarer på spørsmålet. Ifølge Dahlum (2023) handler validitet om i hvilken grad man kan trekke gyldige slutninger om det som er formålet å undersøke. For å kunne benytte studien som et beslutningsgrunnlag, er det viktig at den har høy validitet og reliabilitet. Det er derfor gjort en vurdering av reliabiliteten og validiteten for de ulike metodene som er benyttet i denne oppgaven.

2.2 Litteraturstudie

Litteraturstudie er metode som innebærer gjennomgang og sammenstilling av eksisterende kunnskap (Dalland, 2020). Gjennom litteraturstudien gjøres det en innsamling av kvalitative data. Litteraturstudie egner seg godt for en beskrivende problemstilling (Jacobsen, 2022). Dette er problemstillinger som søker etter en forståelse eller beskrivelse av en situasjon, som vil være gjeldende for denne oppgaven.

En fordel med litteraturstudie er at den gjør det mulig å raskt skaffe et overblikk over tilgjengelig litteratur. Det bidrar til å gi ny kunnskap og oppdage nye sammenhenger. Metoden krever lite forkunnskaper og erfaring. En svakhet ved metoden er muligheten for å gå glipp av viktig og relevant litteratur ved avgrensede, filtrerte søk. I søkeprosessen kan det også bli tatt gale beslutninger ved valg av litteratur. Dette kan skyldes en tendens til å søke etter bebreftelser på eksisterende hypoteser, og dermed overse data som ikke passer inn. Det er derfor viktig å være åpen for å inkludere informasjon som kan være motstridende.

Litteraturstudien som er utført i denne oppgaven er en kombinasjon av gjennomgang av begreper, eksisterende forskning og metoder for beregninger og analyser. Temaene det er gjort et litteratursøk på kan deles inn i to hovedkategorier:

- Bærekraft og miljøpåvirkning
- Brannsikkerhet og brannteknikk

Ved oppstart av oppgaven ble det utført et bredt søk innenfor bærekraft og brann. Dette ble gjort for å danne et grunnlag av hva bærekraft innebærer, og hvilken påvirkning dette vil ha på brannprosjektering. Videre ble det søkt mer spesifikt på temaer innenfor brann i sykehus, brannsikkerhet og brannteknikk. Dette var med på å danne et teoretisk grunnlag for det påfølgende arbeidet, samt underbygge eller motbevise hypoteser.

2.2.1 Søkestrategi

Det er benyttet ulike søkestrategier for å finne relevant litteratur. Valg av strategi avhenger av hvor tilgjengelig litteraturen er. Følgende metoder for litteratursøket er i hovedsak blitt benyttet:

- **Grossing:** Denne metoden blir omtalt av Dalland (2020) som ustrukturert søking på nett og i bibliotekets samlinger. Dette passer godt når det gjøres et bredt og åpent søk. I et slikt søk kan en komme over relevante artikler mens man egentlig er på utkikk etter noe annet. Grossing ble brukt en god del, spesielt i startfasen da målet var å skaffe seg et overblikk over temaene. Denne metoden bidro også til å finne nettsider med blant annet ulike publikasjoner og rapporter.
- **«Backward snowballing»:** Denne metoden handler om å ta for seg relevante artikler og lete i referanselisten etter andre artikler som er av interesse (Venn, 2022). Denne metoden er benyttet i en del forskningsartikler, rapporter og tidligere masteroppgaver for å finne fram til primærkilden eller annen relevant forskning og litteratur.
- **Semistrukturerte søk:** Dette innebærer planlagte og forberedte søk (Dalland, 2020). Etter hvert som grunnlaget var lagt og temaet for oppgaven tilspisset seg, ble søkingen mer strukturert. Ut ifra slik søking ble det funnet ulike relevante publiserte forskningsartikler.

Ved utvelgelse av litteratur er det gjort en kritisk utplukking av litteratur som kunne anses som relevant. I første omgang ble det sett på tittel og sammendrag. Hvis dette ble vurdert relevant ble litteraturen videre gjennomgått og vurdert. Avsenderen ble også vurdert, og om det kunne anses som en pålitelig kilde. Det er forsøkt å begrense søkene ved å benytte seg av den nyeste publiserte forskningen. Det er imidlertid verdt å nevne at det noen ganger var utfordrende å finne ny forskning på temaet, og derfor kan noen av de benyttede kildene være litt utdaterte.

Underveis i semesteret er det blitt tilsendt ulike artikler og kilder fra veileder(e) som har blitt benyttet i oppgaven. Disse hadde som regel høy aktualitet for oppgaven, og ble tatt med videre. I tillegg er det brukt pensumbøker fra tidligere branntekniske emner ved NTNU.

Søkemotorer

For å finne relevant litteratur ble det gjort søk via ulike søkemotorer. Oria, Google Scholar og Google ble i hovedsak benyttet. Oria er en felles kunnskapsbase for de ulike norske universitetsbibliotekene. Denne basen er benyttet for å finne litteratur, både i form av artikler og bøker. Kildene som finnes her er fagfelleverderte. Google Scholar er benyttet for å finne relevante forskningsartikler og brukt til å gjøre semistrukturerte søk.

Den ordinære søkemotoren til Google er også benyttet, hovedsakelig for mer spesifikke søk etter blant annet definisjoner og rapporter. Denne søkemotoren gir rask tilgang til informasjon, men det er viktig å være kritisk og nøye med vurderingen av kildene som dukker opp, da de kan variere i troverdighet og pålitelighet.

2.2.2 Reliabilitet og validitet

Ved utvalg av kilder er det gjort en kritisk gjennomgang av kildene. Dette for å sikre at resultatene har høy validitet og reliabilitet. Ved utvelgelse av kilder er det benyttet seg av TONE-prinsippet. TONE står for troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet (Overland, 2018):

- **Troverdighet:** Dette handler om hvor sikker og pålitelig en kilde er. For å avgjøre troverdigheten til en kilde er det viktig å vurdere hvem som er forfatter og avsender, samt hvor artikkelen er publisert.
- **Objektivitet:** Dette handler om kilden er nøytral og upartisk. For å bedømme objektiviteten til en kilde, bør hensikten med publiseringen undersøkes. Er hensikten å informere eller overbevise? Det er også relevant å se på hvordan dataen eller informasjonen presenteres og om den er i samsvar med tidligere forskning.
- **Nøyaktighet:** Dette dreier seg om å bedømme hvor pålitelig og korrekt informasjonen i en kilde er. For å vurdere nøyaktigheten kan en se på forskningsmetodikken som er brukt. Det er viktig å vurdere hvor oppdatert dataen er og om den kan bekreftes eller støttes av andre troverdige kilder.
- **Egnethet:** Vurdering av egnethet kan gjøres ved å sjekke hvor godt kilden passer til tiltenkt bruk. Det kan også være nyttig å vurdere hvem som er tenkt mottaker av kilden.

Gjennom litteraturstudien er det ikke mulig å ha full kontroll over dataen og metoden bak publisert litteratur. Reliabiliteten og validiteten til litteraturstudien er derfor svært avhengig av utvalget og evalueringen av kildene, samt å inkludere et tilstrekkelig utvalg for å øke generaliserbarheten. Ved å benytte anerkjente og pålitelige kilder, som fagfellevurderte artikler, vitenskapelige rapporter og anerkjente forfattere, kan en øke reliabiliteten til litteraturstudien. I tillegg er det viktig å sikre at utvalget av kilder er representativt og omfatter ulike perspektiver. Dette bidrar til å øke validiteten ved å sikre at studien tar hensyn til ulike synspunkter og at resultatene kan generaliseres til en større kontekst.

2.3 Innsamling av statistikk

Det er utført en innsamling av brannstatistikk for å gi et bilde av virkeligheten og se til tidligere erfaringer fra branner. I oppgaven er statistikken presentert sammen med litteraturstudien. Formålet med innsamlingen av statistikk var primært å kvantifisere sannsynligheten for brann og analysere konsekvensene av en brann. Statistikken som er innhentet kan betegnes som sekundærdata. Dette er data eller informasjon som er samlet inn av andre for et annet formål enn den spesifikke problemstillingen i oppgaven (Hansen, 2015). Slik data kan ofte nås gjennom et direkte søk fra egen datamaskin, og kan raskt gi svar på det ønskede formålet.

2.3.1 Datakilder

Det er hentet inn statistikk fra ulike datakilder. De ulike kildene inneholder data fra ulike perioder og har varierende grad av detaljnivå. Det er primært funnet statistikk fra Norge, men det er også innhentet data fra Sverige.

Brannstatistikk.no (BRIS) er en tjeneste fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) som inneholder en nasjonal oversikt over alle utrykninger utført av brannvesenet (DSB, 2023). BRIS gjør det mulig å søke, visualisere og sammenligne statistikk fra alle typer oppdrag. Tjenesten inneholder en god del informasjon fra de ulike oppdragene, noe som gjør det mulig å hente ut interessant data. Her kan det hentes ut statistikk fra alle oppdrag brann- og redningstjenesten har håndtert siden 2016. Dette er en relativt kort tidsperiode for å kunne gi et tilstrekkelig bilde av risiko og konsekvenser, men gir en viss indikasjon.

For å finne tall lenger tilbake i tid er det benyttet funn og statistikk fra en rapport utgitt av DSB med tittelen «Kjennetegn og utviklingstrekk ved næringsbranner 1986-2009» (DSB, 2011). I denne rapporten vil statistikk fra årene før 1998 være noe ufullstendig på visse områder. Det er likevel ansett til å være tilstrekkelig for denne oppgaven.

Det er supplert med statistikk fra Sverige for å gi et bredere grunnlag. Det antas at hendelser i Sverige vil være representativt for det som kan forventes i Norge. MSB, den svenske versjonen av DSB, har et statistikk- og analyseverktøy kalt IDA. Der kan statistikk og analyser fra blant annet branner hentes ut. Statistikken fra IDA viser branner og brannhendelser i bygninger som førte til at redningstjenesten ble tilkalt i perioden 1998-2021.

2.3.2 Reliabilitet og validitet

DSB og MSB er offentlige myndigheter, og er ansvarlig for at dataene de samler inn er pålitelige og nøyaktige. Dette styrker reliabiliteten til dataen. Det kan likevel være noen feilkilder som kan påvirke reliabiliteten av dataene, for eksempel at brannvesenet kan ha ulik praksis for rapportering av branner.

DSB og MSB bruker klare definisjoner av ulike variabler og har et etablert system for datainn-samling, noe som gir tillit til at dataene er valide og representerer det de faktisk ønsker å måle. Det kan likevel være noen utfordringer med validiteten av dataene. I tilfeller der datagrunnlaget er begrenset vil det være mulig å trekke ugyldige slutninger. En bør derfor være forsiktig med å trekke konklusjoner basert på denne dataen alene. Samlet sett kan det sies at innhentet statistikk har høy reliabilitet og validitet.

2.4 Casestudie

En del av oppgaven er utført som en casestudie av nye voksenpsykiatriske avdeling tilknyttet Akershus universitetssykehus. Casestudie gir muligheten til å få dyp innsikt for et spesifikt tilfelle, og undersøke en situasjon i detalj. Det har den fordelen at det kan gi et målbart og virkelighetsnært svar på oppgaven, og det bidrar til å teste teorier. En potensiell ulempe med casestudier er at grunnet fokuset på en enkelt enhet eller hendelse, kan det være vanskelig å generalisere funnene. Det vil også være mulighet for feil i innsamling og produksjon av data.

I forbindelse med casestudien er det gjort ulike analyser av bygningen med hensikt for å kunne svare på problemstillingen og tilhørende forskningsspørsmål. Casestudien bygger i hovedsak på en risikovurdering og livssyklusanalyse. Disse inneholder simuleringer og/eller beregninger som gir data som er nødvendig for å kunne besvare forskningsspørsmålene. Metoden benyttes for å teste ut hypoteser og kvantifisere et mulig svar på problemet.

Utførelsen av en risikovurdering og livssyklusanalyse er standardisert, men det er foretatt visse forenklinger for å tilpasse oppgavens omfang. Andre beregninger som er gjort i forbindelse med oppgaven er beregning av brannenergi og utslipp knyttet til brannen. Beregningsmetode for dette er beskrevet i teorikapitlet.

2.4.1 Risikovurdering

Hovedfokuset i arbeidet med oppgaven var risikovurderingen og beregninger tilknyttet dette. Risikovurderingen er gjort med formål om å kunne fastsette den risikoreducerende effekten tiltakene seksjoneringsvegg og sprinkleranlegg har for sikkerheten.

Risikovurderingen ble først gjennomført kvalitativt i form av underliggende statistisk data og annen erfaringsdata. Det er også gjort en kvantitativ vurdering med en rekke beregninger. Underliggende analyseteknikker for den kvantitative delen av risikovurderingen er brannsimuleringer i programmet B-RISK og beregning av parametrisk brannforløp. Resultatene fra dette ble blant annet brukt til å beregne nødvendig brannmotstand og til å kunne kvantifisere risikoen knyttet til ulike brannscenarier. Dette ble brukt videre i vurdering og diskusjon rundt forskningsspørsmålene.

2.4.2 Brannsimuleringer i B-RISK

En stor del av risikovurderingen innebærer simuleringer med simuleringsverktøyet B-RISK. Programvaren er utviklet av BRANZ Ltd og University of Canterbury (Collen Wade et al., 2016). B-RISK bygger på fysiske prinsipper og brannodynamikk, og er basert på en to-sonemodell. En to-sonemodell deler rommet inn i en øvre og nedre sone, begge med uniform temperatur. Den nedre sonen består av kald, frisk luft og den øvre av varm røyk. Programmet lar brukeren legge inn en enkel romgeometri og en rekke andre parametere. B-RISK kan gi resultater for blant annet gasstemperatur, varmeavgivelse, overflatetemperatur og sikt.

B-RISK kan benyttes til både å gjøre deterministiske og probabilitiske analyser, basert på henholdsvis enkeltsimuleringer og Monte Carlo-simuleringer. Begge analysemetodene er benyttet i arbeid med oppgaven, med hovedtyngde på Monte Carlo-simuleringene.

Monte Carlo-simuleringer utføres for å estimere mulige utfall av en usikker hendelse som er avhengig av ulike variabler (Standard Norge, 2019). Som input i B-RISK kan ulike parametere legges inn som sannsynlighetsfordelinger. For hver iterasjon henter datamaskinen tilfeldige tall

fra fordelingene som benyttes i beregningen, og det simuleres et brannforløp. Ved å gjenta slike iterasjoner et stort antall ganger, for eksempel 10 000, oppnås et statistisk grunnlag som kan gi en kontinuerlig fordeling av dataen (Rausand et al., 2021). Resultatene kan både gi svar på hvilke hendelser som kan skje, og hva som er sannsynligheten for at det skjer. Mengden simuleringer vil kunne gi en høy nøyaktighet.

Resultatene fra Monte Carlo-simuleringene ble benyttet for å tallfeste sannsynligheten for at en brann vil bli fullt utviklet. Dette gir et bilde av hvilke brannscenarier som vil kunne bli problematiske. Resultatene vil også bidra til å gi et bilde av hvilken risikoreducerende effekt sprinkleranlegg har.

Simuleringene har den fordel at det vil være både billigere, raskere og enklere enn eventuelle eksperimenter. Sammenlignet med håndberegninger vil det kunne gi et mer realistisk bilde, da det tar hensyn til en rekke usikre parametere. En svakhet ved Monte Carlo-simuleringene er at det er usikkerhet knyttet til inputparametere som er benyttet i simuleringene. I tillegg stilles det krav til et visst kunnskapsnivå til den utførende av simuleringene. Inputverdier må legges inn rett og resultatene må tolkes på rett vis.

2.4.3 Beregning av brannmotstand

Beregning av brannmotstand er en viktig del av analysen for å kunne vurdere behovet for en seksjoneringsvegg og bestemme den nødvendige brannmotstanden. For å beregne dette er det brukt beregningsgangen for parametrisk brannforløp og ekvivalent tid som er beskrevet i Kapittel 3.3.6 og 3.3.7. Det ble anvendt en deterministisk tilnærming, som innebærer å gjøre spesifikke beregninger for bestemte scenarier basert på visse forutsetninger. Disse beregningene ble utført i ulike regneark i Excel. I tillegg genererte Monte Carlo-simuleringene en frekvensfordeling av beregnet ekvivalent tid.

2.4.4 Livssyklusanalyse

Det er utført en livssyklusanalyse for å evaluere miljøpåvirkningen av tiltakene. Livssyklusanalysen ser på utslipp som er knyttet til produksjon av seksjoneringsvegg, og om alternative vegger vil gi et lavere utslipp. Metoden for utførelse er standardisert, og beskrevet i Kapittel 3.7. For sprinkleranlegg er det gjort en forenkling for beregning av utslipp ved å bruke tall fra referansedata. Denne referansedataen bygger på samme metode som brukt for livssyklusanalyse av veggene.

2.4.5 Reliabilitet og validitet

For at casestudien skal ha høy reliabilitet må den utføres på en systematisk og pålitelig måte. For at resultatene skal være etterprøvbare, er det lagt ved input-data og utklipp fra beregninger som vedlegg. Beregningen utført i forbindelse med casestudien anses å ha høy reliabilitet. Tilsvarende simuleringer og beregninger med lik input vil gi de samme resultatene. Evalueringen av risiko vil være en subjektiv vurdering, og andre vil muligens tolke dataen på annet sett. Denne har derfor en lavere reliabilitet.

Når det kommer til resultatenes validitet er dette avhengig av hvorvidt det er trukket riktige slutninger, og om en faktisk undersøker det som er ment å undersøke. Ved å benytte seg av anerkjente målemetoder, slik som de som er beskrevet i standarder, vil validiteten være høy.

3 Teori

I dette kapitlet presenteres relevant teori, med fokus på bærekraft, brannteknikk, risikovurdering og livssyklusanalyse. I tillegg inneholder det en gjennomgang av statistikk og erfaringer fra brannforløp i sykehus. Dette danner grunnlag for analyser, samt videre drøfting av forskningsspørsmålene.

3.1 Bærekraft

Begrepet «bærekraft» blir mye brukt, både i politikken, media og i samfunnet generelt. For å vite hva som menes med bærekraft og en bærekraftig utvikling, er det viktig med en felles forståelse av begrepet. En velkjent definisjon av bærekraftig utvikling er som følger:

En utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov. (FN-sambandet, 2021)

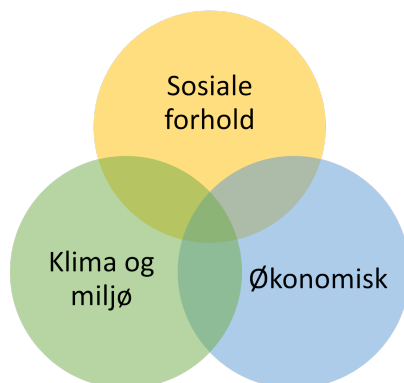
Prinsippet om en bærekraftig utvikling stammer tilbake til 1987 da rapporten «Vår felles framtid» ble presentert av verdenskommisjonen for miljø og utvikling (FN-sambandet, 2021). Kommisjonen ble opprettet i 1983 og hadde som oppgave å foreslå strategier for å løse både fattigdoms- og miljøproblemer. Dette markerte starten på et økende fokus på bærekraft, og blant annet problematikken knyttet til overforbruk av ressurser. I 2000 ble FNs tusenårsmål vedtatt. Dette var åtte mål som var satt for å bekjempe fattigdom innen 2015. Et av målene skulle også sikre en bærekraftig utvikling. Disse målene var rettet mot utviklingsland og hadde stor suksess. Tusenårsmålene ble i 2016 erstattet av FNs bærekraftsmål, som er gjeldende for hele verden (FN-sambandet, 2023). Disse målene utgjør en global handlingsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030.

Bærekraftsmålene består av 17 mål, som vist i Figur 3.1. Bærekraftsmålrappporten er en global vurdering av landenes fremgang mot å nå målene (Sachs et al., 2022). Norge har allerede oppnådd mange av målene, og rangeres som det fjerde beste landet globalt. Likevel er det store utfordringer med å nå enkelte av målene. Rapporten fra 2022 viser at Norge har store utfordringer med mål 2 «Utrydde sult», 12 «Ansvarlig forbruk og produksjon», 13 «Stopp klimaendringene» og 15 «Livet på land». Norge skårer spesielt lavt på mål 12 og 13. For å klare å nå disse målene innen 2030 er det derfor avgjørende å handle nå.



Figur 3.1: FNs bærekraftsmål (FN-sambandet, 2021).

For å oppnå en bærekraftig utvikling må det ifølge FN-sambandet (2021) jobbes på tre områder: klima og miljø, økonomi og sosiale forhold. Disse områdene blir ofte kalt de tre dimensjonene i bærekraftig utvikling og henger sammen, som illustrert i Figur 3.2. For at en aktivitet skal kunne betegnes som bærekraftig, må forbedringer innen et område ikke gå på bekostning av et annet. Det er derfor viktig å ha en helhetlig tilnærming når det gjelder bærekraft.



Figur 3.2: De tre dimensjonene av bærekraftig utvikling (FN-sambandet, 2021).

3.1.1 Parisavtalen

Parisavtalen ble utarbeidet i 2015 for å sikre at verden skal klare å begrense klimaendringene (FN-sambandet, 2020). Dette er en internasjonal avtale som er juridisk bindende og forplikter alle land til å kutte klimagassutslipp. Det er en felles enighet om at jordkloden ikke skal bli mer enn 2 °C varmere, og det strebes mot å ikke overstige 1,5 °C. Avtalen innebærer at alle land må utarbeide en nasjonal plan for hvordan dette skal oppnås. Norge har satt som mål å redusere klimagassutslippet med mer enn 50 % innen 2030 (Klima- og miljødepartementet, 2021). For at dette målet skal nås må det kuttes fra flere hold.

3.1.2 Bærekraftige bygg

Innenfor bygg blir begrepet «bærekraftig kvalitet» benyttet. Bygg21 (2018) viser til bærekraftig kvalitet som evnen til å tilfredsstille brukeren og samfunnet. Bygg må utvikles slik at alle de tre aspektene ved bærekraftig utvikling tas hensyn til. Målet er å bygge kostnadseffektive bygg med lavest mulig ressursbruk som gir positive konsekvenser for brukerne av bygget. Bygg21 har utarbeidet ti kvalitetsprinsipper for bærekraftige bygg og områder. Prinsipp nummer fire handler om å ivareta sikkerhet. Her står hindring av brann og brannspredning sentralt. Prinsipp ni handler om god ressursutnyttelse og lave klimagassutslipp. Disse to prinsippene vil være svært sentrale i denne oppgaven.

3.1.3 Bærekraftige sykehusbygg

For at Norge skal klare å nå klimagassutslippsmålene, er det nødvendig at alle bidrar. Sykehusbygg er en av Norges aller største byggherrer og eiendomsforvaltere, og står derfor i en viktig posisjon for å kunne bremse klimautslippene (Sykehusbygg HF, 2021). Som en del av dette arbeidet har Sykehusbygg HF utarbeidet en standard for klima og miljø i sykehusprosjekter. Denne ble utgitt i 2021 og vil være gjeldene for alle større sykehusprosjekter, både for nybygg og rehabilitering. Standarden har satt fem miljømål som et utgangspunkt for å etablere prosjektspesifikke mål. Målene nedenfor er hentet fra standarden (Sykehusbygg HF, 2021).

1. **Lokalisering:** Det skal ikke velges lokalisering for nye sykehus som er ugunstig for klima og miljø (klimafotavtrykk, ekstremvær, lokalmiljø).
2. **CO₂-utslipp fra materialer** skal reduseres med 50 % fra referanseverdi på 451 kg CO₂-ekvivalenter per m² BTA.
3. **Fossilfri/utslippsfri byggeplass:** Etterspørre fossilfri- og etter hvert kreve utslippsfri byggeplass.
4. **Avfall fra byggeriet** skal reduseres, og ikke overstige 25 kg per bygget kvadratmeter. Minimum 90 % skal kildesorteres.
5. **Energiforbruk:** For nye sykehus er målsetningen at reelt energiforbruk skal reduseres med 25 % fra referanseverdi.

3.1.4 Brann og bærekraft

En moderne tilnærming til brannprosjektering handler om å oppnå god sikkerhet ved å innføre et optimalt nivå av brannsikringstiltak uten overbeskyttelse (Brzezińska og Bryant, 2020). Tilsvarende handler bærekraftsmålene om å utnytte ressursene på best mulig måte. Det observeres likevel et misforhold mellom brannsikring og bærekraft. Ifølge professor Torero (2012) er en av de største utfordringene innenfor brannrådgivning at det overbeskyttes. Det innføres flere tiltak enn hva som er nødvendig, noe som fører til økte kostnader og høyere utslipp fra materialer. En slik tilnærming vil ikke kunne ansees som bærekraftig.

Ved å unngå overbeskyttelse kan en bidra til å redusere klimagassutslippene. Dette vil være i samsvar med bærekraftsmålene som innebærer å redusere klimagassutslipp og fremme ansvarlig forbruk av ressurser. Bærekraft omfatter også tiltak for å forhindre katastrofer. Brannsikring har som mål å hindre katastrofer fra en eventuell brann, og kan derfor sees på som en form for skadekontroll (Brzezińska og Bryant, 2020). Brannsikring i seg selv kan også betraktes som bærekraftig. Ved å beskytte bygninger mot brann og forhindre at branner utvikler seg til en skala som vil føre til store utslipp, kan klimagassutslipp reduseres og samtidig kan store katastrofer unngås.

For å trekke brannprosjektering i en mer bærekraftig retning er det flere kilder som peker mot å gå bort fra de preaksepterte ytelsene og ha en mer analytisk tilnærming. Ifølge Brzezińska og Bryant (2020) er misforholdet mellom brannsikring og bærekraft knyttet til at brannsikring er basert på preskriptive historiske tilnærminger. Dette kan løses ved å se bort fra de preaksepterte løsningene og heller ha en mer ytelsesbasert tilnærming. Torero (2012) støtter opp under dette, og mener i tillegg at sikkerhetsfaktoren som blir brukt i forbindelse med brannsikring er for høy og bør senkes. Spørsmålet er da hvor mye denne kan trekkes ned og hvordan det skal beregnes. Ved å anvende eksisterende kunnskap og verktøy, vil det ifølge han være mulig å optimalisere brannsikring. Dette kan gjøres ved å tenke og gjøre som en ingeniør, og utforske nye løsninger.

3.2 Brannteknisk prosjektering

Brannteknisk prosjektering omfatter planlegging av et byggverks branntekniske hovedutføring, samt branntekniske systemer og løsninger (kbt.no, 2020). Prosjekteringen kan utføres på to nivåer: overordnet brannsikkerhetsstrategi og detaljprosjektering. I prosjekteringen er det flere lover og forskrifter som må følges, der byggt teknisk forskrift spesifiserer kravene som skal overholdes.

3.2.1 Byggt teknisk forskrift

Byggt teknisk forskrift (TEK) fastsetter en grense for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge (DiBK, 2017a). Gjeldende forskrift er TEK17, med ikrafttredelse 1. juli 2017. Forskriften angir overordnede funksjonskrav som må oppfylles i det ferdige byggverket (DiBK, 2017b). Funksjonskravene er vanligvis angitt kvalitativt, men i de fleste tilfeller er de fortolket og uttrykt som kvantitative ytelseskrav. Ytelseskravene er myndighetenes tolkning og gir konkrete løsninger på hvordan funksjonskravene kan oppfylles. I veiledningen til TEK17 (VTEK) er det angitt preaksepterte ytelser som tilfredsstillende funksjonskravene. De preaksepterte ytelsene må ikke følges, men eventuelle avvik og alternative ytelser må dokumenteres ved analyse. Samlet sett må de alternative ytelsene gi samme kvalitet og sikkerhet som om de preaksepterte ytelsene var fulgt.

Kapittel 11 i TEK17 angir krav til sikkerhet ved brann. Kravene har størst fokus på personsikkerhet og forebyggende tiltak for å forhindre tap av liv eller skader ved brann. De fleste tiltakene har en reaktiv tilnærming, som tar for seg problemet når en brann allerede har oppstått. Det er få tiltak som fokuserer på forebygging av at en brann skal oppstå i utgangspunktet. Slike forebyggende tiltak er angitt i Forskrift om brannforebygging (Forskrift om brannforebygging, 2015). Denne skal bidra til å redusere sannsynligheten for brann.

Funksjonskravene for brannsikkerhet er i stor grad gitt som preaksepterte ytelser. Disse vil det ofte være hensiktsmessig å følge ved brannteknisk prosjektering. Forskriften skiller mellom to former for brannteknisk prosjektering: forenklet prosjektering og analytisk prosjektering. I en forenklet prosjektering følges de preaksepterte ytelsene uten avvik. Ved valgmuligheter i veiledningen, kan prosjekterende velge den best egnede ytelsen for prosjektet. Denne tilnærmingen kan brukes for byggverk i brannklasse 1, 2 og 3, samt byggverk med opptil 16 etasjer. For byggverk som avviker fra de preaksepterte ytelsene eller i brannklasse 4, må det gjennomføres en analytisk prosjektering. Analysen må gjennomføres i samsvar med NS 3901 og SN-INSTA/TS 950. En utførelse av risikoanalyse i henhold til NS 3901 er beskrevet videre i Kapittel 3.6.

3.2.2 Brannklassifisering

Bygningsmaterialer og bygningsdeler må tilfredsstillte spesifikke branntekniske ytelser for å oppfylle kravene i TEK (Byggforskserien, 2021). Dette gjelder både for bygningsdelers brannmotstand og byggeprodukters egenskaper ved brannpåvirkning. Klassifiseringen blir gjort i henhold til NS-EN 13501-serien.

Brannmotstanden til en bygningsdel betegner hvor lang tid bygningsdelen kan opprettholde sine viktigste funksjoner ved påkjenning av en standard temperatur-tidkurve (Byggforskserien, 2021). En slik kurve er nærmere beskrevet i Kapittel 3.3.5. Ulike måter å betegne brannmotstand på er vist i Tabell 3.1. Bokstavene R, E, I, etterfølges av brannmotstandstiden gitt i minutter. For eksempel betyr klassifisering EI 60 at kriteriene for integritet og isolasjon skal opprettholdes i 60 minutter under en standardbrann.

En branncelle har krav til integritet (E) og isolasjon (I). Denne skal altså være så tett at en brann ikke overføres til den andre siden som følge av gjennomgang av flammer eller på grunn av varmeoverføring i en gitt tidsperiode. Seksjoneringsvegger har i tillegg krav til bæreevne (R). Dette innebærer at veggen også må opprettholde tilstrekkelig bæreevne ved lastpåkjenning fra brann.

Tabell 3.1: Ytelser for brannmotstand.

Ytelser for brannmotstand - EN13501-2	
R	Bæreevne
E	Integritet
I	Isolasjonsevne

Byggeprodukter blir klassifisert basert på deres egenskaper ved brannpåvirkning (Hansen og Hovde, 2000). Disse egenskapene inkluderer antenlighet, brennbarhet, varmeavgivelse, flammespredning, røykproduksjon og produksjon av brennende dråper. Produktene er inndelt i primærklasser, som er basert på brennbarheten til materialene. Tilleggsklassene angir røykproduksjon og produksjon av brennende dråper. En oversikt over de ulike klassene er gitt i Tabell 3.2.

Tabell 3.2: Bygningsmaterialers egenskaper ved brannpåvirkning.

Klassifisering av bygningsprodukter - EN13501-1	
A1	Ubrennbare materialer
A2, B, C, D	Ulike grader av brennbarhet, hvor klasse A2 er den strengeste (begrenset brennbarhet)
E	Laveste klassifisering av brennbarhet
F	Ingen ytelse for egenskaper (tilfredsstillter ikke klasse E)
Tilleggsklasser	
s1, s2, s3	Angir evnen til å produsere røyk. Der s1 angir minst, og s3 mest.
d0, d1, d2	Angir evnen til å produsere brennbare dråper. Der d0 angir ingen, og d2 mest.

3.2.3 Seksjoneringsvegg

En seksjoneringsvegg er en vegg som brukes til å dele en bygning inn i separate brannseksjoner. Formålet med dette er ifølge § 11-7 i TEK17 å:

- a) sikre liv og helse der rømning og redning kan ta lang tid.
- b) hindre urimelig store økonomiske eller materielle tap.
- c) bidra til at en brann, med påregnelig slokkeinnsats, begrenses til den brannseksjonen der den startet. (DiBK, 2017a)

Maksimal størrelse på en brannseksjon er angitt i de preaksepterte ytelsene. Denne størrelsen er avhengig av spesifikk brannenergi per omhyllingsflate og brannsikringstiltak. Preaksepterte maksimale størrelser på en brannseksjon er angitt i Tabell 3.3.

Tabell 3.3: Maksimal størrelse på brannseksjon (DiBK, 2017a).

Spesifikk brannenergi [MJ/m ²]	Største bruttoareal i m ² pr. etasje uten seksjonering			
	Med Normalt	Med brannalarmanlegg	Med sprinkleranlegg	Med røykventilasjon
Over 400	800	1200	5000	Uegnet
50-400	1200	1800	10 000	4000
Under 50	1800	2700	Ubegrenset	10 000

Nødvendig brannmotstand for en seksjoneringsvegg er avhengig av spesifikk brannenergi og brannklasse. Den minste brannmotstanden en seksjoneringsvegg kan ha er REI 90-M A2-s1,d0. For brannklasse 2 og 3, med en brannenergi under 400 MJ/m², skal brannmotstanden være REI 120-M A2-s1,d0.

Seksjoneringsvegger skal i sin helhet bestå av ubrennbare materialer. Dette er materialer som tilfredsstillende klasse A2-s1,d0. Eksempler på materialer som tilfredsstillende dette er betong, mur, gipsplater og mineralull. Ved tilfeller der det er dokumentert at isolasjonsmaterialet ikke blir involvert i brannen gjennom den forutsatte motstandstiden, kan isolasjonsmateriale med lavere klassifisering benyttes.

Et krav til seksjoneringsvegger er at de må kunne opprettholde tilstrekkelig mekanisk motstandsevne (M). Dette innebærer evnen til å motstå støt grunnet sammenbrudd av andre bygningsdeler under og etter en brann (kbt.no, 2020). Det kreves at konstruksjonene på den ene siden av seksjoneringsveggen kan falle sammen uten at seksjoneringsveggen faller etter (Byggforskserien, 2005). For å tilfredsstillende dette, blir seksjoneringsvegger som regel utført i tunge materialer som betong eller mur. VTEK forutsetter at seksjoneringsveggen utføres i tunge materialer, så fremt den mekaniske motstandsevnen ikke er dokumentert ved prøvning. Denne prøvingsmetoden går ut på å treffe elementet med en normert gjenstand etter at elementet har vært utsatt for brannpåvirkning (DiBK, 2017a). Det er ikke funnet alternative produkter eller løsninger på det norske markedet som er M-klassifisert. Oppføring av en seksjoneringsvegg må derfor baseres på VTEK, og være utført i tunge materialer som mur og betong.

Brannseksjonering skal sikre liv og helse der rømning kan ta lang tid. Dette vil blant annet gjelde på sykehus, der assistert rømning tar ekstra tid. I henhold til de preaksepterte ytelsene må byggverk i risikoklasse 6, beregnet for sykehus eller andre pleieinstitusjoner, deles i minst to vertikale brannseksjoner uavhengig av størrelse. Dette skal sikre at pasienter som krever assistert rømning kan flyttes horisontalt til en sikker seksjon i samme etasje. Dette vil hindre at pasienter kan skades ved forflytning ned trapp og at medisinsk utstyr som ikke kan frakobles kan forbli tilkoblet. Evakueringen av avdelinger på sykehus kan inndeles i fire faser (DSB, 2010, referert i Flusund, 2010). Fase 1 innebærer evakuering av pasient(er) vekk fra arnestedet, som ofte vil være pasientrommet, og forbi en røykskilledør. I fase 2 evakueres også pasienter i nærliggende rom forbi en røykskilledør i tiliggende korridor. Fase 3 tilsier horisontal evakuering av avdelinger i etasjer under og over arnestedet. Alle pasienter blir evakuert til naboseksjon. I fase 4 vil pasientene evakueres ut av bygningen. Hvilken fase som iverksettes blir sett i forhold til trusselen. Det blir stadfestet at fase 1 vanligvis vil være tilstrekkelig og det er svært sjeldent at evakuering skjer på tvers av en brannseksjon.

3.2.4 Branncelle

En branncelle er en avgrenset del av en bygning som skal begrense spredning av brann. Byggverk skal deles opp på en hensiktsmessig måte (DiBK, 2017a). Dette innebærer at områder med ulik risiko for liv og helse, eller ulik fare for brann skal utgjøre separate brannceller. Rømningsveier, trapperom og hvert enkelt sykerom i sykehus vil typisk være utført som egne brannceller.

Oppdeling i brannceller skal ifølge TEK17 § 11-8 bidra til å:

- a. sikre tid til rømning og redning
- b. forsinke og begrense brann- og røykspredningen slik at det ikke oppstår unødige store materielle skader
- c. lette sløkkearbeidet

Hovedfunksjonen til en branncelle er å forsinke og begrense spredning av brann og røyk utenfor den opprinnelige branncellen (DiBK, 2017a). Spesielt viktig vil det være å hindre spredning til rømningsveiene i den tiden som vil være nødvendig for rømning og redning. For å oppnå dette, er det satt krav til brannmotstanden til de omsluttende bygningsdelene i branncellen. Brannmotstanden er avhengig av bygningens brannklasse, og er angitt i Tabell 3.4.

Tabell 3.4: Brannmotstand til branncellebegrensende bygningsdeler, generelt (DiBK, 2017a).

Brannklasse	Brannmotstand
1	EI 30
2	EI 60
3	EI 60 A2-s1,d0

3.2.5 Sprinkleranlegg

Sprinkleranlegg har som formål å slokke eller kontrollere en brann inntil annen slokkeinnsats ankommer, slik at omfanget begrenses (DSB og DiBK, 2015). Det er et aktivt brannsikringstiltak som utløses ved brannpåkjenning. Temperaturen for aktivering varierer, men ligger normalt i området rundt 68 °C. Sprinkleranlegg vil i mange tilfeller kunne begrense en brann i stor grad, og reduserer dermed de potensielle materielle skadene. Det er et tiltak som er med på å heve sikkerhetsnivået betraktelig.

TEK17 § 11-12 stiller krav til at byggverk i risikoklasse 6 skal ha automatisk brannslokkeanlegg (DiBK, 2017a). Dette kravet oppfylles hvis det installeres automatisk sprinkleranlegg som er prosjektert i samsvar med NS-EN 12845. Andre slokkesystemer kan benyttes, men det må da dokumenteres at disse har minst tilsvarende funksjon og pålitelighet som automatisk sprinkleranlegg. Der automatisk sprinkleranlegg er installert, åpner forskriften for reduserte preaksepterte ytelser. Dette innebærer blant annet økt maksimal størrelse på brannseksjon og redusert brannmotstand for vinduer.

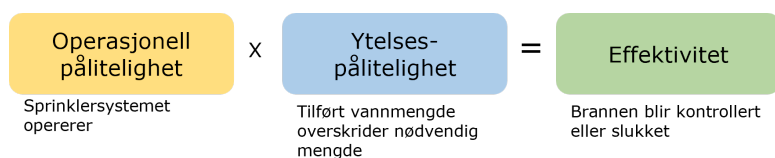
Effektivitet og pålitelighet

Det finnes en del tilgjengelig data på påliteligheten til sprinkler. Det er likevel viktig å være kritisk til hvordan dataen er samlet inn og kategorisert (Standard Norge, 2019). Statistisk data kan for eksempel indikere sprinklersvikt i tilfeller der sprinklere ikke har kontrollert en ulmebrann. Dette er ikke å forvente av et sprinkleranlegg, og bør derfor ikke angis som sprinklersvikt. Statistikk fra USA indikerer at i svært mange tilfeller, mellom 44-87 %, er brannen for liten til å utløse sprinkleranlegget (Nystedt, 2011). Ved innsamling av data av pålitelighetstall for sprinkleranlegg er det derfor viktig å ta dette i betraktning.

For å kunne vurdere den risikoreduserende effekten av sprinkleranlegg, er det viktig å ha kunnskap om påliteligheten og effektiviteten til systemet. Mangel på informasjon om effektiviteten til ulike brannsikkerhetssystemer er bemerket som en begrensende faktor ved ytelsesbasert prosjektering (Frank et al., 2013). Til tross for at det er gjort mye forskning på sprinklersystemer, er det fortsatt betydelig usikkerhet knyttet til effektiviteten. En av utfordringene er mangelen på en konsistent definisjon av sprinkleranleggets effektivitet på tvers av ulike studier. Resultatene kan derfor være vanskelig å sammenligne.

Bukowski et al. (2002) benytter to ulike begrep om pålitelighet: operasjonell pålitelighet og ytelsespålitelighet. Operasjonell pålitelighet defineres som et mål på sannsynligheten for at et brannsikringssystem vil være operativt. Denne tar ikke hensyn til at dimensjonert system samsvarer med potensiell brannfare. Ytelsespålitelighet er et mål på hvor godt systemet er egnet til å oppfylle sin tiltenkte funksjon under spesifikke branneksponeeringsforhold. Det handler om hvor godt systemet utfører dens tiltenkte oppgave. Ved å skille mellom operasjonell pålitelighet og ytelsespålitelighet kan man få en mer nyansert forståelse av sprinkleranleggets totale pålitelighet og effektivitet.

Effektiviteten til et sprinklersystem kan vurderes i forhold til systemets designmål (Frank et al., 2013). Effektiviteten til sprinkler blir ifølge Hall (2010) definert som en kombinasjon av operasjonell pålitelighet og ytelsespålitelighet, som vist i Figur 3.3. En slik definisjon av effektivitet er av interesse, da den gir informasjon om i hvilken grad brannen blir kontrollert.



Figur 3.3: Definisjon av sprinklereffektivitet, basert på Nystedt (2011).

Frank et al. (2013) viser til flere studier som estimerer effektiviteten til sprinkleranlegg basert på tidligere bygningsbranner. De ulike studiene spenner seg over et bredt tidsaspekt, fra 1897-2010. Resultatene varierer mellom 70 % til 99,5 %. Den store variasjonen kan skyldes ulik definisjon av effektivitet og hvilke tall som er inkludert i de ulike studiene. Det er valgt å fokusere på den nyeste dataen som er funnet tilgjengelig. En studie fra New Zealand tar for seg 1171 hendelser mellom 2001-2010 (Frank et al., 2013). Resultatene fra denne indikerer en normalfordelt pålitelighet for sprinklere med et gjennomsnitt på 86 % og et standardavvik på 4,6 %. Denne studien er også henvist til i SN-INSTA/TR 951. En annen studie publisert av Hall (2010) tar for seg 47 520 hendelser i USA i perioden 2006-2010. Her blir det rapportert en effektivitet på 88 %.

I henhold til nyere data fra USA har sprinkleranlegg vist seg å være pålitelige i bygningsbranner som anses som store nok til å aktivere systemet (Ahrens, 2021). I løpet av perioden 2015-2019 var sprinkleranlegget operativt i 92 % av disse brannene. Videre var det i 96 % av hendelsene effektivt nok til å kontrollere brannen, så fremt det ble utløst. Samlet sett fungerte sprinkleranlegget og var effektivt i 88 % av brannene. Disse tallene på effektivitet er i samsvar med definisjonen i Figur 3.3.

Sprinkleranlegg på sykehus

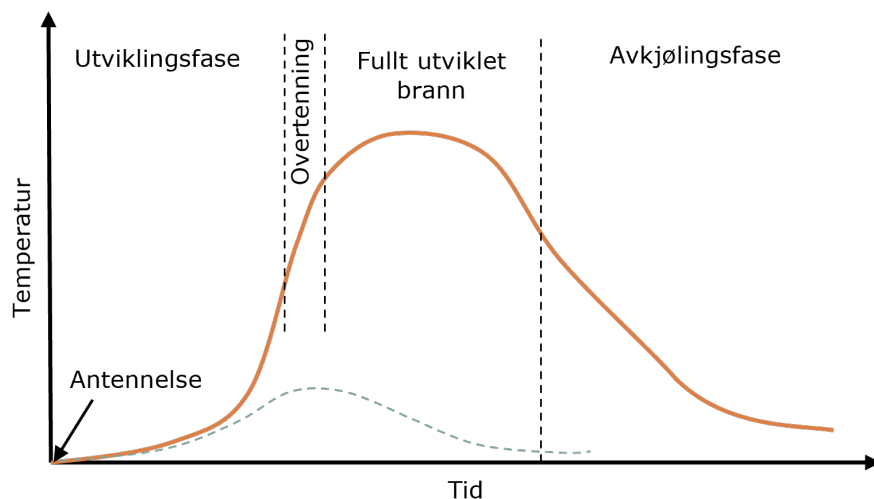
Sprinkleranlegg vil bidra til en reduksjon i skade på bygninger sammenlignet med bygninger uten automatisk slukkesystemer. Dette trekkes fram i en rapport fra NFPA om USAs erfaring med sprinkler i perioden 2015-2019 (Ahrens, 2021). Datautvalget dekker en stor andel av bygningene, både med og uten sprinklere. Rapporten viser at det er installert en form for automatisk slokkeanlegg i 58 % av bygningene innenfor kategorien helsetjenester. Dette innebærer blant annet sykehus, sykehjem, legekontorer og andre institusjoner. Innenfor helsetjenestesektoren anslår rapporten en gjennomsnittlig reduksjon på 71 % i brannrelaterte kostnader per hendelse i bygninger der sprinklere er installert. Dette betyr at bygninger med sprinklere har betydelig lavere utgifter knyttet til gjenoppbygging etter brann sammenlignet med bygninger uten sprinklere.

Når det kommer til brannspredning indikerer den samme rapporten at sprinkleranlegg ikke har en signifikant effekt (Ahrens, 2021). I bygninger uten automatisk slokkeanlegg er det registrert spredning til rom utenfor arnestedsrommet i 8 % av brannforløpene. For bygninger der sprinkler er installert er brannen begrenset til arnestedsrommet i 98 % av tilfellene. Dette tilsvarer en reduksjon på 6 %.

3.3 Brannforløp

En beskrivelse av et brannforløp omfatter brannens utvikling fra antenning til den slokner eller er blitt slokket (kbt.no, 2020). Begrepet «fullstendig brannforløp» benyttes når det er snakk om at en brann får utvikle seg fritt i et rom uten aktiv slokkeinnsats. En brann påvirkes av en rekke faktorer, som romgeometri, brennbare materialer og tilgang på oksygen. Å forutsi et brannforløp er svært utfordrende på grunn av den høye usikkerheten knyttet til disse parameterne.

Et brannforløp kan deles inn i tre ulike faser: utviklingsfasen, fullt utviklet brann og avkjølingsfasen (Drysdale, 2011). Overtenning skjer ved overgangen til fullt utviklet brann. Figur 3.4 viser to temperatur-tidkurver med de ulike fasene for et fullstendig brannforløp.



Figur 3.4: Illustrasjon av de ulike fasene i et fullstendig brannforløp, basert på Drysdale (2011).

Enhver antennelse vil ikke utvikle seg til en fullt utviklet brann, og overtenning vil ikke nødvendigvis inntreffe. Den stiplede linjen i Figur 3.4 viser et potensielt brannforløp for en brann uten overtenning og som slokner naturlig. Drysdale (2011) beskriver tre ulike scenarier for en brann:

1. Brannen kan brenne ut av seg selv. Dette kan for eksempel skje hvis gjenstanden som først ble antent er isolert og brannen ikke spres videre.
2. Brannen utvikler seg ikke grunnet manglende ventilasjon og tilgang på oksygen. Brannen kan slokke av seg selv eller fortsette å brenne med en svært langsom varmeavgivelseshastighet.
3. Brannen utvikler seg til en fullt utviklet brann. Dette skjer hvis det er tilstrekkelig mengde brennbart materiale og god ventilasjon.

3.3.1 Utviklingsfasen

Utviklingsfasen, eller vekstfasen, er tiden fra antennelse til overtenning. I denne fasen er temperaturen relativt lav, men varmeavgivelseshastigheten og temperaturen øker (Drysdale, 2011). Her vil brannen vokse inntil det når punktet der overtenning inntreffer. Varigheten på utviklingsfasen er viktig når det kommer til personsikkerheten, da det er denne tiden som er tilgjengelig for rømning.

Varmeavgivelseshastigheten (HRR) kan beregnes ved hjelp av likning 1 (Drysdale, 2011). Denne beregner brannens økning i effekt i forhold til tid (kbt.no, 2020).

$$\dot{Q} = \alpha * t^2 \quad (1)$$

Hvor:

- \dot{Q} er varmeavgivelseshastigheten eller branneffekten, [kW].
- α er vekstfaktoren, [kW/s²].
- t er tiden, [s].

Vekstfaktoren, α , angir hvor raskt effekten øker. Brannutviklingshastigheten kan inndeles i langsom, medium, hurtig og ekstremt rask etter NS-EN 1991-1-2. Denne påvirkes blant annet av overflaten til det brennbare materialet (Buchanan og Kwabena, 2017). Vekstfaktoren for de ulike hastighetene er vist i Tabell 3.5. Denne viser også referansetiden, t_0 , som er tiden som kreves for å oppnå en varmeavgivelseshastighet på 1 MW. NS-EN 1991-1-2 oppgir anbefalte brannutviklingshastigheter for ulike kategorier av bygninger. For sykehus er det anbefalt en medium vekst.

Tabell 3.5: Vekstfaktorer og referansetider for ulike brannutviklingshastigheter.

Beskrivelse	Vekstfaktor α , [kW/s ²]	Tid til 1 MW t_0 , [s]
Langsom	0,00293	600
Medium	0,01172	300
Hurtig	0,0469	150
Ekstremt rask	0,1876	75

3.3.2 Overtenning og fullt utviklet brann

Overtenning er overgangen til en fullt utviklet brann. Dette innebærer en tilstand der alle overflater på brennbare materialer bidrar til forbrenningen (kbt.no, 2020). I løpet av denne fasen inntreffer den maksimale effekten og temperaturen (Drysdale, 2011). Det vil typisk kunne bli temperaturer opp mot 900-1100 °C, men også enda høyere temperaturer kan forekomme. Det vil være fare for at brannen spres til andre deler av bygget og at bygningen får en strukturell svikt.

Tiden det tar fram til overtenning er av interesse når det kommer til personsikkerheten, da det etter overtenning har oppstått kritiske forhold. Ifølge Drysdale (2011) er det umulig å overleve en fullt utviklet brann. Kriteriene for overtenning kan variere og beskrives på ulike måter.

Et vanlig kriterium for overtenning er når temperaturen i røyklaget under taket når $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Drysdale, 2011; Buchanan og Kwabena, 2017). En av de tidligste studiene om kriteriene for overtenning ble utført av Waterman i 1968 (Drysdale, 2011). Resultatene viste at det kreves en varmekraft mot gulvet på 20 kW/m^2 for at overtenning skal inntreffe.

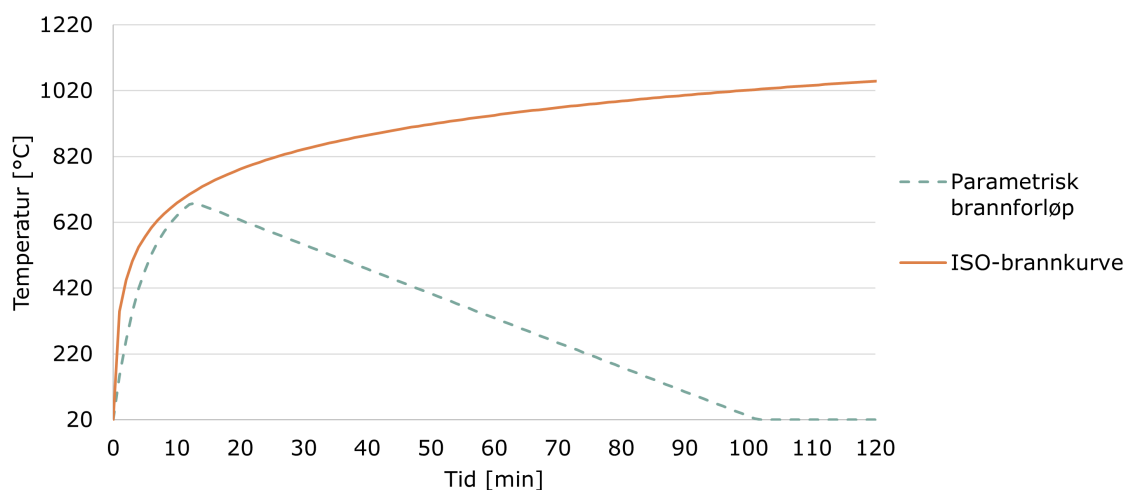
I en fullt utviklet brann stabiliseres omfanget av brannen. Her vil branneffekten ikke øke signifikant, men ha nådd sin maksimale verdi (Bolig- og Planstyrelsen, 2021). Den maksimale effekten er naturlig begrenset av enten oksygentilførselen i en ventilasjonskontrollert brann, eller av mengden brennbart materiale i en brenselskontrollert brann.

3.3.3 Avkjølingsfasen

I avkjølingsfasen vil varmeavgivelseshastigheten og temperaturen avta gradvis, som følge av at det brennbare materiale er oppbrent eller at brannen slokkes (Bolig- og Planstyrelsen, 2021). Flammen vil etter hvert opphøre, men brannen vil kunne etterlate seg glør som fortsetter å brenne i lang tid.

3.3.4 Ulike modeller for brannforløp

Brannforløpet til en reell brann er avhengig av en rekke faktorer, og en rekke ulike brannscenarier vil kunne inntreffe. For å beskrive temperaturutviklingen gjennom et brannforløp er det utviklet flere modeller, både enkle og mer avanserte som tar hensyn til ulike faktorer ved beregning av et brannforløp. To modeller som blir sett videre på er ISO 834-kurven og parametrisk brannforløp. Figur 3.5 illustrerer to temperatur-tidkurver: en Iso-brannkurve og en parametrisk temperatur-tidkurve med tilfeldige parameterverdier.



Figur 3.5: Illustrasjon av parametrisk og standard temperatur-tidkurve.

3.3.5 ISO 834-kurve

ISO 834 temperatur-tidkurven benyttes i standardiserte brannmotstandstester. Denne omtales ofte som ISO-kurve eller standardbrann. Kurven benyttes til å angi den varmeeeksponeringen en konstruksjon må tåle i en viss tidsperiode (Standard Norge, 2008). Modellen gjenspeiler ikke nødvendigvis virkeligheten, men blir brukt som et sammenlikningsgrunnlag ved for eksempel branntesting av materialer.

Standard temperatur-tidkurven kan beregnes ved hjelp av likning 2 i henhold til NS-EN 1991-1-2. Kurven representerer en modell for en fullt utviklet brann i en branncelle. Gasstemperaturen i branncellen bestemmes utelukkende av tiden fra antennelse. Det tas ikke hensyn til romgeometri, åpningsfaktor, brannenergi og egenskapene til omsluttende bygningsdeler. Kurven inkluderer heller ikke en avkjølingsfase, og den gir en kontinuerlig økning av temperatur.

$$\Theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (2)$$

Hvor:

- Θ_g er gasstemperaturen i branncellen, [$^{\circ}C$].
- t er tid, [min].

3.3.6 Parametrisk brannforløp

Parametrisk brannforløp benyttes til å beskrive temperaturutviklingen gjennom et fullstendig brannforløp. Metoden er beskrevet i NS-EN 1991-1-2. Modellen er gjeldende for en branncelle og det forutsettes at all brannenergi forbrennes fullstendig (Standard Norge, 2008). En parametrisk beregning tar også hensyn til de ulike fasene i brannforløpet, og temperaturutviklingen inndeles i en oppvarmingsfase og avkjølingsfase. Beregningsmodellene tar hensyn til de spesifikke fysiske parameterne i branncellen, slik som varmekapasitet, ventilasjon og brannenergi. Det er en rekke begrensninger ved beregning av et parametrisk brannforløp. Disse er angitt i Tillegg A i standarden og beregningsmetoden er beskrevet nedenfor.

En parametrisk temperatur-tidkurve i oppvarmingsfasen kan beregnes etter likning 3.

$$\Theta_g = 20 + 1\,325 (1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*}) \quad (3)$$

Hvor:

$$\begin{aligned} \Theta_g &= \text{gasstemperaturen i branncellen} && [^{\circ}C] \\ t^* &= t * \Gamma && [h] \end{aligned}$$

med

$$\begin{aligned} t &= \text{tid} && [h] \\ \Gamma &= [O/b]^2 / (0,04/1160)^2 && [-] \\ b &= \sqrt{(\rho c \lambda)} \text{ (hvor } 100 \leq b \leq 2200) && [J/m^2 s^{1/2} K] \\ \rho &= \text{omsluttende bygningsdelerers massetetthet} && [kg/m^3] \\ \lambda &= \text{omsluttende bygningsdelerers spesifikke varmekapasitet} && [W/mK] \\ O &= \text{åpningsfaktor: } A_v H^{1/2} / A_t \text{ (hvor } 0,02 \leq O \leq 0,20) && [m^{1/2}] \\ A_v &= \text{samlet areal for vertikale åpninger i veggene} && [m^2] \\ h_{eq} &= \text{vektet gjennomsnitt av vindushøyden for alle vegger} && [m] \\ A_t &= \text{samlet areal av omsluttende bygningsdeler} && [m^2] \end{aligned}$$

Maksimal temperatur, θ_{max} , i oppvarmingsfasen inntreffer der $t^* = t_{max}^*$

$$t_{max}^* = t_{max} * \Gamma \quad [h]$$

Hvor:

$$t_{max} = \max[(0, 2 * 10^{-3} * q_{t,d}/O); t_{lim}] \quad [h]$$

$$q_{t,d} = \text{dimensjonerende spesifikk brannenergi relatert til omhyllingsflaten, } A_t$$

$$q_{t,d} = q_{f,d} * A_f/A_t. \text{ Følgende grenser bør overholdes: } 50 \leq q_{t,d} \leq 1000 \quad [MJ/m^2]$$

$$q_{f,d} = \text{dimensjonerende spesifikk brannenergi relatert til gulvarealet, } A_f \quad [MJ/m^2]$$

$$t_{lim} = 25, 20 \text{ og } 15 \text{ min ved henholdsvis langsom, middels og hurtig} \\ \text{brannutvikling} \quad [h]$$

Der $t_{max} = t_{lim}$, erstattes t^* med:

$$\Gamma_{lim} = [O_{lim}/b]^2 / (0,04/1160)^2 \quad [-]$$

der

$$O_{lim} = 0,1 * 10^{-3} * q_{t,d}/t_{lim} \quad [m^{1/2}]$$

Temperatur-tidkurven i avkjølingsfasen er avhengig av verdien til t^* . Tre uttrykk må vurderes:

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 625(t^* - t_{max}^* * x) \quad \text{for} \quad t_{max}^* \leq 0,5$$

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 250(3 - t_{max}^* * x)(t^* - t_{max}^* * x) \quad \text{for} \quad 0,5 < t_{max}^* < 2$$

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 250(t^* - t_{max}^* * x) \quad \text{for} \quad t_{max}^* \geq 2$$

der

$$t_{max}^* = (0,2 * 10^{-3} * q_{t,d}/O)/\Gamma$$

$$x = 1,0 \text{ hvis } t_{max} > t_{lim} \text{ eller } x = t_{lim} * \Gamma/t_{max}^* \text{ hvis } t_{max} = t_{lim}$$

3.3.7 Ekvivalent branneksponeeringstid

En metode for beregning av nødvendig brannmotstand til en bygningsdel er prinsippet om ekvivalent branneksponeeringstid. NS-EN 1991-1-2 definerer ekvivalent branneksponeeringstid som «eksponeringstid for standard temperatur-tidkurven som antas å ha samme varmeevirkning som en virkelig brann i branncellen» (Standard Norge, 2008). En slik tilnærming ser på når det oppnås en ekvivalens mellom branneksponeeringen fra en standardbrann og en designbrann eller en virkelig brann (Xie et al., 2017). Dette er en metode som er beskrevet flere steder i litteraturen.

Margaret Law utviklet i 1971 en metode for beregning av ekvivalent tid, opprinnelig ment for til beregning av stålkonstruksjoner (Barnett, 2007). Metoden betegnet «den tiden det tar i en reell brann for et beskyttet stålelement å nå samme temperatur som i en standard branneksponeeringstest» (Barnett, 2007). Laws metode betegner ekvivalent tid som den tiden det tar for varmeeffekten å bli tilsvarende mellom en virkelig brann og en standardbrann (Law, 1971). Varmeeffekten angis av arealet under temperatur-tidkurven. Det blir dermed arealet som er viktig, i stedet for formen. Konseptet som ble utviklet hadde imidlertid noen begrensninger. Det er senere vist i litteraturen at metoden blant annet ikke kan forutsi strukturell svikt som skyldes mekanismer som knekking og nedbøyning (Wade et al., 2014). En faktor som Law så som viktig å estimere for å forbedre metoden, var reell temperatur og varigheten av brann. Dette kan knyttes til blant annet strålingsintensiteten. I senere år har det blitt utviklet ulike tilnærminger for å beregne ekvivalent tid, blant annet basert på energi og varmestråling.

En tilnærming til prinsippet om ekvivalent tid er å sammenligne strålingsenergien fra en designbrann eller reell brann med en standardbrann (Barnett, 2007). Denne tilnærmingen er beskrevet i ulike studier, og blir blant annet beskrevet av Building Research Association of New Zealand (BRANZ). Varmestråling defineres som overføring av varme ved elektromagnetisk stråling (kbt.no, 2020). Intensiteten av varmestrålingen er sterkt knyttet til temperaturen, og uttrykkes som en funksjon av absolutt temperatur, T , opphøyd i fjerde potens. Dette betyr at selv små endringer i temperaturen vil gi store endringer for varmestrålingsenergien. For eksempel vil en økning i temperaturen på 10 K føre til en økning i strålingsenergi på 10 000 J.

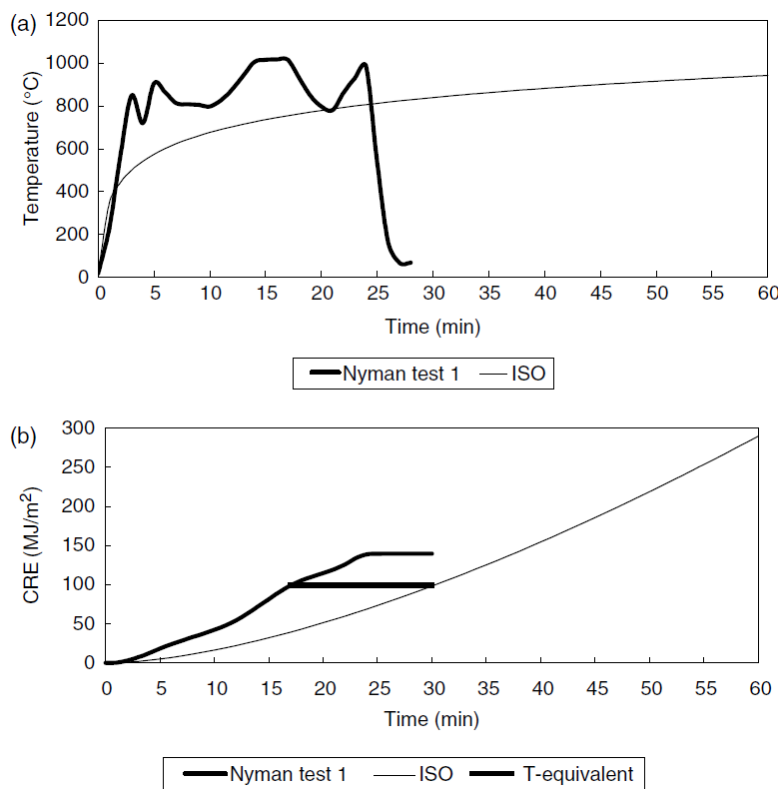
For å vurdere den samlede varmestrålingen over tid benyttes begrepet kumulativ strålingsenergi (CRE). Den kumulative strålingsenergien representerer den totale mengden energi over en bestemt tidsperiode. Den kan beregnes ved hjelp av likning 4 (Barnett, 2007). Videre vil den kumulative strålingsenergi kurven benyttes ved beregning av ekvivalent tid.

$$CRE = \int_0^t Q_R dt = \varepsilon \sigma \int_0^t (T^4) dt \quad (4)$$

Hvor:

- CRE er kumulativ strålingsenergi, [J/m^2].
- ε er emissivitet, konservativ verdi lik 1, [-].
- σ er Stefan-Boltzmann konstant, [$5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$].
- T er gasstemperatur i øvre lag i branncellen, [K].
- t er tid fra start, [s].

Figur 3.6 illustrerer en temperatur-tidkurve og CRE-kurve for branntesting av en vegg med gipsplater som skal oppfylle en brannmotstand på 30 minutter. I kurve (b) kan det observeres at for en CRE-verdi på 99 MJ/m^2 , samsvarer en ISO-tid på 30 minutter med en estimert «time to failure» (TTF) på 17 minutter. I den faktiske testen ble TTF målt til 19 minutter. Når en temperatur-tidkurve har verdier høyere enn ISO-kurven og samme kumulative strålingsenergi, vil TTF være kortere enn ISO-tiden. Tilsvarende vil TTF være lengre hvis temperatur-tidkurven har lavere verdier enn ISO-kurven og samme kumulative strålingsenergi.



Figur 3.6: Nymans test av gipsplate: (a) temperatur-tidkurve, (b) kumulativ strålingskurve (Barnett, 2007).

Metoden for ekvivalent branneksponeeringstid vil ifølge Wade et al. (2014) være mest nyttig til å vurdere brannmotstanden når det er begrenset informasjon tilgjengelig om spesifikke materialer, konstruksjonstype eller bæresystem. Studier gjennomført med numeriske undersøkelser og eksperimenter har vist at denne metoden gir et godt estimert anslag på brannmotstand for bruk i praksis (Wade et al., 2014). Ifølge Barnett (2007) vil prinsippet med kumulativ stråling være mest relevant for bruk ved vurdering av vegger. For andre elementer, som tak og sammensatte materialer, vil metoden være mindre anvendelig. Den bør heller ikke benyttes for bygningselementer som anses å være svært kritiske, slik som bærende elementer som søyler og bjelker. I slike tilfeller bør en mer presis og nøyaktig metode benyttes for å vurdere brannmotstanden.

Nytteverdien til metoden begrenses av nøyaktigheten på beregnet temperatur og varmestråling gjennom brannforløpet. En mer presis modell av et brannforløp vil derfor kunne gi et bedre grunnlag for vurdering av brannmotstand. I følge Wade et al. (2014) bør ekvivalent eksponeringstid kun brukes som en indikator på den destruktive effekten brannen kan ha på et bygningselement. Den kan også brukes som grunnlag for å fastsette brannmotstand. Det er viktig å merke seg at metoden ikke gir en nøyaktig forventet tidspunkt for svikt eller sammenbrudd.

3.4 Brannenergi

Brannenergi defineres som summen av varmemengde som frigis ved forbrenning av alle brennbare materialer i et område (Standard Norge, 2008). Dette omfatter alt brennbart innhold og aktuelle brennbare deler av konstruksjonen. Brannenergi er en viktig faktor som spiller inn på utviklingen av en brann. For at en brann skal kunne utvikle seg til en fullt utviklet brann, må det være tilstrekkelig mengde brennbart materiale tilgjengelig. Brannenergien benyttes blant annet til å vurdere nødvendig brannmotstand for brann- og seksjoneringsvegger, samt størrelse på brannseksjoner (Byggforskserien, 2013).

Brannenergi kan deles inn i permanent og variabel brannenergi (Byggforskserien, 2013). Permanent brannenergi omfatter fastmonterte gjenstander og selve bygningskonstruksjonen. Den variable brannenergien inkluderer flyttbare gjenstander, som innredning og klær. Ved beregning av brannenergi utgjør denne et usikkerhetsmoment. Den totale brannenergien er summen av permanent og variabel brannenergi.

NS-EN 1991-1-2 angir en metode for beregning av dimensjonerende spesifikk brannenergi. Denne metoden brukes for å bestemme de termiske påvirkningene ved branndimensjonering. Videre presenteres metoden for beregning av denne.

Den karakteristiske brannenergien, $Q_{fi,k}$, kan beregnes ut fra likning 5 (Standard Norge, 2008).

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} * H_{ui} * \psi_i \quad (5)$$

Hvor:

- $Q_{fi,k}$ er karakteristisk brannenergi, $[MJ]$.
- $M_{k,i}$ er mengde brennbart materiale for materiale i , $[kg]$.
- H_{ui} er netto forbrenningsvarme for materiale i , $[MJ/kg]$.
- ψ_i er valgfri faktor for vurdering av beskyttet brannenergi, gitt i NS-EN 1991-1-2 E.2.3.

Ved beregning av karakteristisk brannenergi er det nødvendig å vite forbrenningsvarmen for de ulike materialene. Forbrenningsvarme er avgitt varmemengde ved fullstendig forbrenning av en masseenheter av et materiale (Byggforskserien, 2013). Mest brukt er netto forbrenningsvarme, H_u , som tar hensyn til fuktigheten i materialet og energien som går med til oppvarming og fordamping av dette. NS-EN 1991-1-2 angir netto forbrenningsvarme for enkelte faste og flytende stoffer som kan benyttes i beregningen av brannenergi. Alternativt bør verdien bestemmes i henhold til NS-EN ISO 1716:2018.

Den spesifikke brannenergien angir den totale brannenergien per arealenheter i en branncelle (Byggforskserien, 2013). Karakteristisk spesifikk brannenergi, $q_{f,k}$, beregnes etter likning 6.

$$q_{f,k} = \frac{Q_{fi,k}}{A} \quad (6)$$

Hvor:

- $q_{f,k}$ er karakteristisk spesifikk brannenergi, $[MJ/m^2]$.
- $Q_{fi,k}$ er karakteristisk brannenergi, $[MJ]$.
- A er enten golvflaten, A_f , eller omhyllingsflaten, A_t , $[m^2]$. Karakteristisk spesifikk brannenergi angis da henholdshvis $q_{f,k}$ og $q_{t,k}$. I VTEK blir omhyllingsflaten benyttet.

Ved å ta hensyn til ulike faktorer for brannaktivering og brannsikringstiltak, kan den dimensjonerende spesifikke brannenergien, $q_{f,d}$, beregnes etter likning 7. Denne verdien brukes deretter til å beregne potensielle brannforløp. Verdien kan enten baseres på statistiske verdier angitt i NS-EN 1991-1-2 eller på en mer spesifikk beregning for den aktuelle branncellen.

$$q_{f,d} = q_{f,k} * m * \delta_{q1} * \delta_{q2} * \delta_n \quad (7)$$

Hvor:

- $q_{f,d}$ er dimensjonerende spesifikk brannenergi, $[MJ/m^2]$.
- $q_{f,k}$ er karakteristisk spesifikk brannenergi, $[MJ/m^2]$.
- m er forbrenningsfaktor, $[-]$.
- ψ_{q1} er faktor for brannaktivering basert på størrelse, gitt i NS-EN 1991-1-2 E.1(3).
- ψ_{q2} er faktor for brannaktivering basert på type bruk, gitt i NS-EN 1991-1-2 E.1(3).
- ψ_n er faktor for brannsikringstiltak, gitt i NS-EN 1991-1-2 E.1(3).

Verdier på brannenergi

Tabell E.4 i NS-EN 1991-1-2 angir statistiske verdier for variabel spesifikk brannenergi for ulike typer bygninger og bruksområder. Verdiene angir et gjennomsnitt og 80 %-fraktilen forutsatt en Gumbel-fordeling. Tabell 3.6 viser forskjellige verdier som er angitt i standarden. En interessant observasjon fra tabellen er at rom i sykehus har relativt lav brannenergi sammenlignet med andre bruksområder. Gjennomsnittsverdien for brannenergi i sykehusrom er $230 MJ/m^2$, og 80 %-fraktilen er $280 MJ/m^2$.

Tabell 3.6: Et utvalg av spesifikk brannenergi per golvareal, $q_{f,k} [MJ/m^2]$, for ulike bruk av bygningen (Standard Norge, 2008).

Bruk	Gjennomsnitt	80 %-fraktil
Bolig	780	948
Sykehus (rom)	230	280
Hotell (rom)	310	377
Bibliotek	1 500	1 824
Kontor	420	511
Klasserom i skole	285	347
Handlesenter	600	730

Verdiene for brannenergi som er oppgitt i NS-EN 1991-1-2 er hentet fra en rapport fra Thomas (1986). Dagens innredning og materialer kan være annerledes enn det som ble observert for flere tiår siden, og derfor kan disse verdiene være noe utdaterte. Brannenergi er en dimensjonerende parameter, og det er derfor viktig å ha pålitelig statistikk på dette området (Thauvoye et al., 2008).

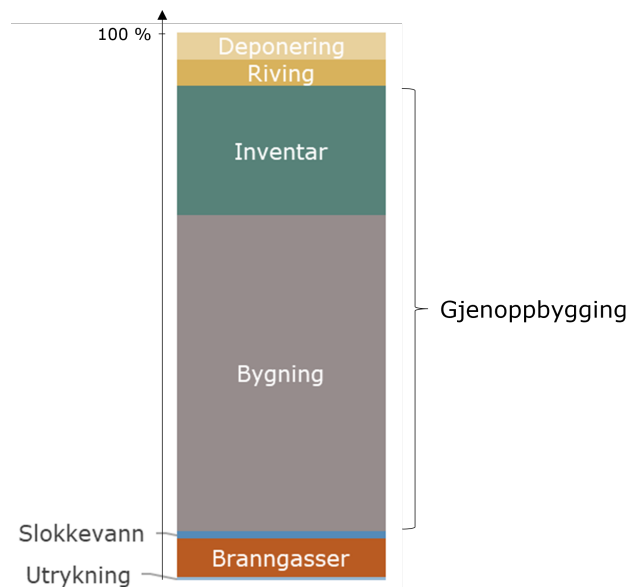
En fransk studie utført av Thauvoye et al. (2008) viser til data for spesifikk brannenergi i ulike offentlige bygninger, inkludert sykehus. Disse undersøkelsene ble gjennomført som en del av et nasjonalt prosjekt for brannsikkerhet, med formål om å forbedre den ytelsesbaserte tilnærmingen i det franske regelverket. Totalt ble det kartlagt mengde brannenergi fra 20 rom på ett sykehus. Resultatene viste at de fleste målte verdier var i området 0-230 MJ/m², med en gjennomsnittsverdi på 188 MJ/m² og et standardavvik på 107 MJ/m². En verdi på omtrent 260 MJ/m² tilsvarer 80 %-fraktilen forutsatt en Gumbel-fordeling. Disse verdiene er lavere enn verdiene angitt i eurokoden, som viser til et gjennomsnitt på 230 MJ/m² og en 80 %-fraktil på 280 MJ/m². Det er derfor rimelig å anta at ved å benytte verdiene i eurokoden gjøres det et konservativt overslag. Dette vil bidra til et tilstrekkelig sikkerhetsnivå.

3.5 Klimautslipp fra brann

En brann vil påvirke miljøet gjennom utslipp den genererer. Miljøpåvirkningen relateres først og fremst til tre punkter (Olsson og Göras, 2018):

- Når det brenner produseres det en stor mengde karbondioksid og andre giftige gasser.
- Bygningen må saneres, repareres, gjenoppbygges og/eller rives. Skadde materialer må deponeres. Nye byggematerialer vil bidra til utslipp knyttet til blant annet produksjon og transport.
- Møbler og annet inventar må erstattes.

Den globale miljøpåvirkningen fra en brann blir diskutert i et webinar av McNamee et al. (2021). Figur 3.7 viser fordelingen av klimagassutslipp knyttet til en bygningsbrann, og er hentet fra dette webinarret. Det er viktig å bemerke at den eksakte fordelingen vil variere fra ulike scenarioer, men den gir en god illustrasjon. Fra figuren kommer det tydelig fram at den største andelen utslipp kommer fra gjenoppbygging.



Figur 3.7: Global miljøpåvirkning av en bygningsbrann, rekonstruert fra McNamee et al. (2021).

3.5.1 Utslipp fra selve brannen

Når det brenner produseres det sot og røykgasser, hvor den største andelen er karbondioksid. Klimapåvirkningen fra selve brannen vil i hovedsak være avhengig av mengde brennbart materiale og mengde CO₂ som produseres når det brenner (Olsson og Göras, 2018). Det vil også være avhengig av hvor fullstendig det brennbare materialet brenner opp. I en underventilert brann vil ikke materialet forbrennes fullstendig, grunnet mangel på oksygen. Dette fører til redusert produksjon av CO₂, og i stedet dannes andre skadelige stoffer som karbonmonoksid (CO) og hydrokarboner. Disse stoffene er mer skadelige enn CO₂, men har kortere levetid i atmosfæren.

Slokking bidrar til å senke temperaturen og vil redusere brannforløpet (McNamee et al., 2021). Når forbrenningstemperaturen reduseres, vil dette kunne resultere i produksjon av mer ufullstendige forbrente produkter, som vil gi en større produksjon av giftige stoffer. Ved slokking tidlig i brannforløpet kan det oppnås en betydelig reduksjon i utslipp av skadelige avfallstoffer sammenlignet med å la det fortsette å brenne. Imidlertid, hvis brannen slokkes sent i brannforløpet, kan det øke produksjonen av giftige stoffer.

Det finnes metoder for å estimere utslipp fra en brann. Olsson og Göras (2018) angir en metode for beregning av CO₂-produksjon per MJ forbrent materiale. Her forutsettes fullstendig forbrenning. For skoler er denne verdien beregnet til 0,063 kg CO₂/MJ, mens for boliger 0,067 kg CO₂/MJ. Disse verdiene kan benyttes til å estimere klimapåvirkningen ved brann. Denne kan beregnes slik:

$$\text{Klimapåvirkning av brann (kg CO}_2\text{)} = \text{brannutsatt areal (m}^2\text{)} \times \text{brannbelastning (MJ/m}^2\text{)} \times \text{CO}_2\text{-produksjon ved brann (kg/MJ)}$$

En alternativ metode for å beregne klimagassutslipp er å ta hensyn til faktorer som varmeavgivelseshastighet og forbrenningsvarme. Ved en brenselskontrollert brann kan varmeavgivelseshastigheten beregnes etter likning 8.

$$\dot{Q}_c = \chi * \dot{m} * \Delta H_c \quad (8)$$

Hvor:

- \dot{Q}_c er varmeavgivelseshastigheten, [kW].
- χ er forbrenningseffektivitet, [-].
- ΔH_c er forbrenningsvarme, [MJ/kg].
- \dot{m} er forbrenningshastighet, [g/s].

Ved å omforme likningen kan en få et uttrykk for forbrenningshastigheten. Denne forteller hvor mye av massen av materialet som forbrennes per tidsenhet, og kan uttrykkes slik (det antas i uttrykket at forbrenningseffektiviteten er lik 1):

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\Delta H_c} \quad (9)$$

For å beregne mengden CO₂ som produseres ved forbrenning per tidsenhet, kan likning 10 benyttes. Den totale mengden CO₂ som produseres kan bestemmes ved å finne integralet (arealet under kurven) av CO₂-produksjonen i løpet av hele forbrenningstiden.

$$\dot{m}_{CO_2} = \dot{m} * Y_{CO_2} \quad (10)$$

Hvor:

- \dot{m}_{CO_2} er produsert masse CO₂ per sekund, [g CO₂/s].
- Y_{CO_2} er produsert masse CO₂ per masse forbrent materiale, [g CO₂/g]. Det finnes anbefalte verdier for denne i for eksempel Boverket (Sverige). Anbefalt verdi her er 2,5 g/g (Boverket, 2013).

3.6 Risikovurdering

Risiko handler om usikkerheten rundt hvorvidt en uønsket hendelse kan inntreffe og hvilke konsekvenser det kan føre med seg (Standard Norge, 2021). En risikovurdering har som mål å fastslå sannsynligheten for at en uønsket hendelse inntreffer og vurdere konsekvensen av dens virkninger. I korte trekk handler det om å identifisere, analysere og evaluere risikoen. En risikovurdering gjennomføres i hovedsak ved å svare på følgende spørsmål (Rausand og Utne, 2022):

1. Hva kan gå galt?
2. Hva er sannsynligheten for at det går galt?
3. Hva vil konsekvensene være hvis det går galt?

Risikovurderinger gjennomføres for å ha et beslutningsgrunnlag for avgjørelser som innebærer risiko (Rausand og Utne, 2022). Det kan blant annet benyttes ved planlegging, prosjektering og valg av løsninger. I en utviklingsfase kan dette gi et grunnlag for å velge mellom alternative løsninger.

NS 5814 er en felles standard for risikovurdering i Norge. Denne standarden omhandler de aller fleste typer risikovurderinger (Rausand og Utne, 2022). Standarden deler risikovurdering opp i fire trinn. Disse er illustrert i Figur 3.8 og angir rekkefølgen for de ulike aktivitetene. En risikoanalyse er som vist en del av risikovurderingen.



Figur 3.8: Risikovurderingsprosessen, basert på NS 5814 (Standard Norge, 2021).

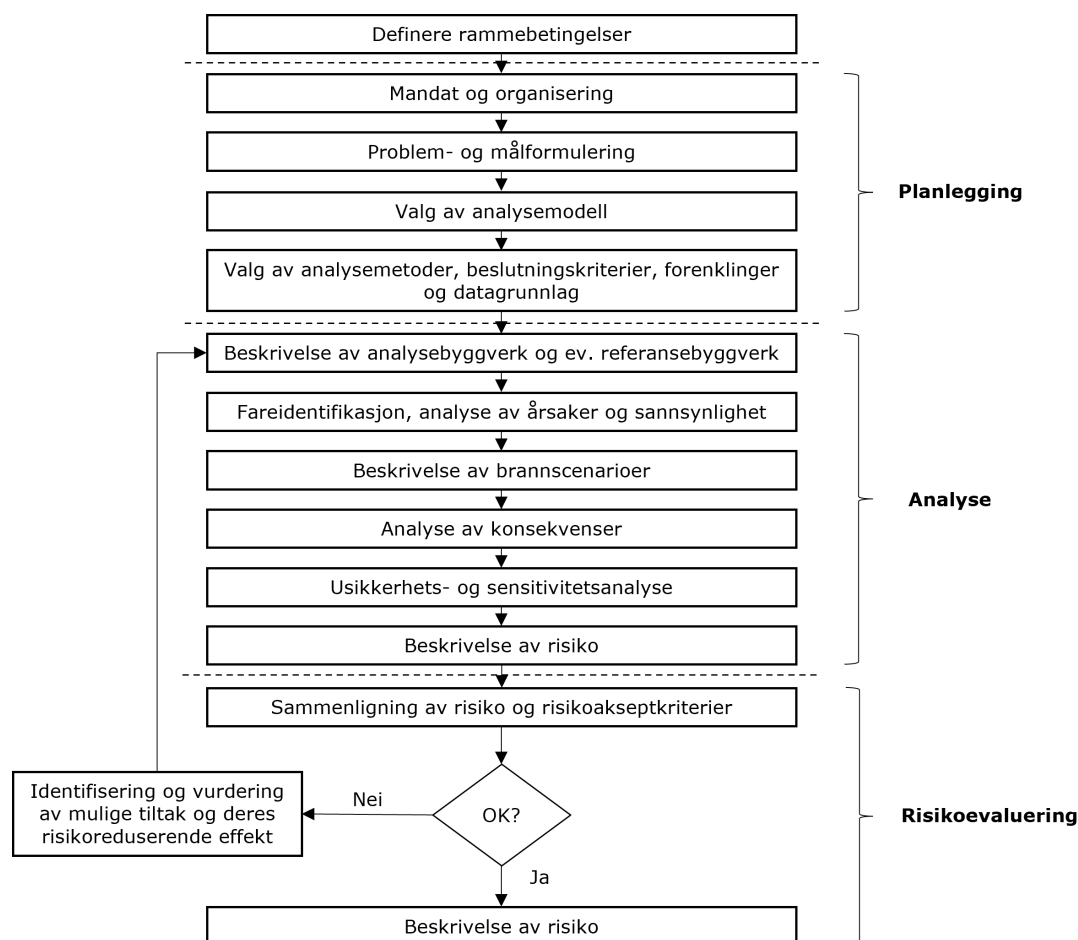
3.6.1 Krav i TEK17

Funksjonskravene for brannsikkerhet i TEK17 kan oppnås ved å følge de preaksepterte ytelsene som er angitt i forskriften. Likevel vil det være rom for valg av alternative løsninger, gitt at disse er likeverdige de preaksepterte. Dette innebærer at de skal inneha minst samme kvalitet og sikkerhet som ved å følge de preaksepterte ytelsene. Jamfør §2-2 i TEK17 må eventuelle fravik fra de preaksepterte ytelsene dokumenteres med analyse. Ved å gjennomføre analysen i samsvar med NS 3901 og SN-INSTA/TS 950, oppfylles forskriftens krav til en analyse for sikkerhet ved brann. Omfanget av analysen vil avhenge av hvor stor fravikelse som er gjort fra de preaksepterte ytelsene.

3.6.2 NS 3901

NS 3901 er en standard som angir krav til risikovurdering av brann i byggverk og gir retningslinjer for utførelsen av denne vurderingen. Denne bygger på de samme prinsippene som NS 5814, men utgjør et selvstendig grunnlag for utførelsen av risikovurdering av brann. Den kan derfor benyttes uavhengig av NS 5814. NS 3901 er per våren 2023 under revisjon.

En risikovurdering består av tre faser: planlegging, analyse og risikoevaluering. Et flytskjema for risikovurderinger av brann i byggverk er vist i Figur 3.9. Denne er rekonstruert fra NS 3901. Flytskjemaet viser de ulike aktiviteter som tilhører hver enkelt fase. Enkelte av aktivitetene blir videre sett nærmere på.



Figur 3.9: Flytskjema for risikovurdering etter NS 3901, rekonstruert etter Standard Norge (2012).

3.6.3 Planlegging

I planleggingsfasen av risikovurderingen skal det legges en plan for gjennomføringen. Bakgrunnen for risikovurderingen skal beskrives, og målet skal spesifiseres. Videre skal det velges analysemodell, metoder for analyse og beslutningskriterier. I tillegg skal forenklinger og data-grunnlag presenteres.

Valg av analysemodell

To ulike analysemetoder blir beskrevet i standarden: risikoanalyse og komparativ analyse. I en risikoanalyse blir det totale risikobildet vurdert. Her vurderes sikkerheten opp mot forhåndsbestemte risikoakseptkriterier. En annen mulighet er komparativ analyse, som inneholder en sammenligning av analysebyggverket og et referansebyggverk. Dette er den vanligste analyseformen for brannteknisk prosjektering (Standard Norge, 2012). Her ønsker man å vise at sikkerheten i analysebygget er minst like god som referansebygget. Referansebygget er utformet i samsvar med de preaksepterte ytelsene og representerer derfor en akseptabel risiko. Komparativ analyse følger de samme prinsippene som en risikoanalyse, men med noen presiseringer og tilpasninger som er beskrevet i standarden.

Valg av analysemetoder og beslutningskriterier

Analysemetoder og beslutningskriterier fastsettes blant annet på grunnlag av målet til analysen, den aktuelle problemstillingen og tilgjengelig data.

En risikoanalyse kan gjennomføres både kvalitativ og kvantitativt (Standard Norge, 2012). I enkelte tilfeller vil det være tilstrekkelig med kun en kvalitativ analyse. En slik analyse skal kun benyttes i ukompliserte byggverk der det er små avvik fra de preaksepterte ytelsene som vil ha liten innvirkning på personrisikoen. En kvalitativ analyse består først og fremst av identifisering, forklaring og beskrivelse av uønskede hendelser, deres årsaker og konsekvenser. Dette underbygges av blant annet statistikk, erfaringer og utredninger. Ved et mer omfattende analysebehov, er det krav til at det gjennomføres en kvantitativ risikoanalyse. Det finnes flere ulike risikoanalysemetoder som er listet opp i NS 3901. Dette kan for eksempel være grovanalyse, feiltreanalyse, hendelsestreanalyse eller risiko- og sårbarhetsanalyse. Disse metodene benytter ulike underliggende analyseteknikker, som beregninger eller simulering av brann- og røykspredning og rømning.

Som beslutningsgrunnlag til risikovurderinger må risikoakseptkriterier fastsettes. Disse må tilpasses den spesifikke analysen og dens formål, samt være i samsvar med den valgte analysemetoden. Risikoakseptkriterier kan uttrykkes på ulike måter, for eksempel ved hjelp av en risikomatriks med ulike soner som angir ikke-akseptable nivåer, ALARP-områder (As Low As Reasonably Practicable) og akseptable nivåer. ALARP-området uttrykker en risiko som bør reduseres så langt det er praktisk mulig, samt at kostnadene står i forhold til redusert risiko.

3.6.4 Analyse

Analysedelen skal ifølge Standard Norge (2012) inneholde identifisering og sammenstilling av initierende hendelser, konsekvenser og tilhørende sannsynligheter. Dette vil innebære både en kvalitativ og kvantitativ analyse.

Analyse av årsaker og sannsynlighet

I denne delen av analysen skal det gjøres en vurdering av sannsynligheten for brann. Dette gjøres ved å identifisere ulike årsaker som kan bidra til brann. Når sannsynligheten fastsettes tas det hensyn til tekniske tiltak, samt menneskelig og organisatoriske forhold.

For å analysere sannsynligheten, kan det tas utgangspunkt i historiske data, som statistikk og annen erfaringsdata, eller ekspertvurderinger. Videre kan sannsynlighet angis som en frekvens på en semi-kvantitativ skala. Denne angir for eksempel svært lav, lav, høy og svært høy. En årsak- og sannsynlighetsanalyse danner grunnlaget for valg av brannscenarioer som videre vil bli vurdert i risikoanalysen.

Brannscenarioer

En beskrivelse av ulike brannscenarioer skal inkludere lokalisering av brannen, type brann og operasjonelle betingelser i bygget. Brannscenarioene må beskrives tilstrekkelig detaljert, slik at det senere er mulig å gjøre en konsekvensanalyse. NS 3901 setter krav til fire ulike brannscenarioer som skal analyseres for å verifisere at forskriften er oppfylt. Disse scenarioene er som følger:

1. Verst tenkelig scenario. En alvorlig brann med rask utvikling og høy branneffekt.
2. Brann i et rom uten personer og som kan være truende for et større antall personer i andre deler av bygningen. Dette kan ekskluderes hvis det er heldekkende slokkeanlegg eller brannalarmanlegg i bygningen.
3. Brann med langsom utvikling og som ikke utløser det automatiske slokkeanlegget.
4. Et representativt brannscenario for det aktuelle analysebygget. Dette kan bestemmes basert på statistikk og erfaringer.

Beskrivelse av risiko

Risikoen skal beskrives på bakgrunn av årsak- og konsekvensanalysen. En slik beskrivelse skal sammenstille mulige sluttkonsekvenser med tilhørende sannsynligheter eller frekvenser. Dette kan for eksempel gjøres i en risikomatrise og/eller som en kvalitativ beskrivelse. Denne skal legge grunnlag for videre evaluering av risiko og andre beslutninger.

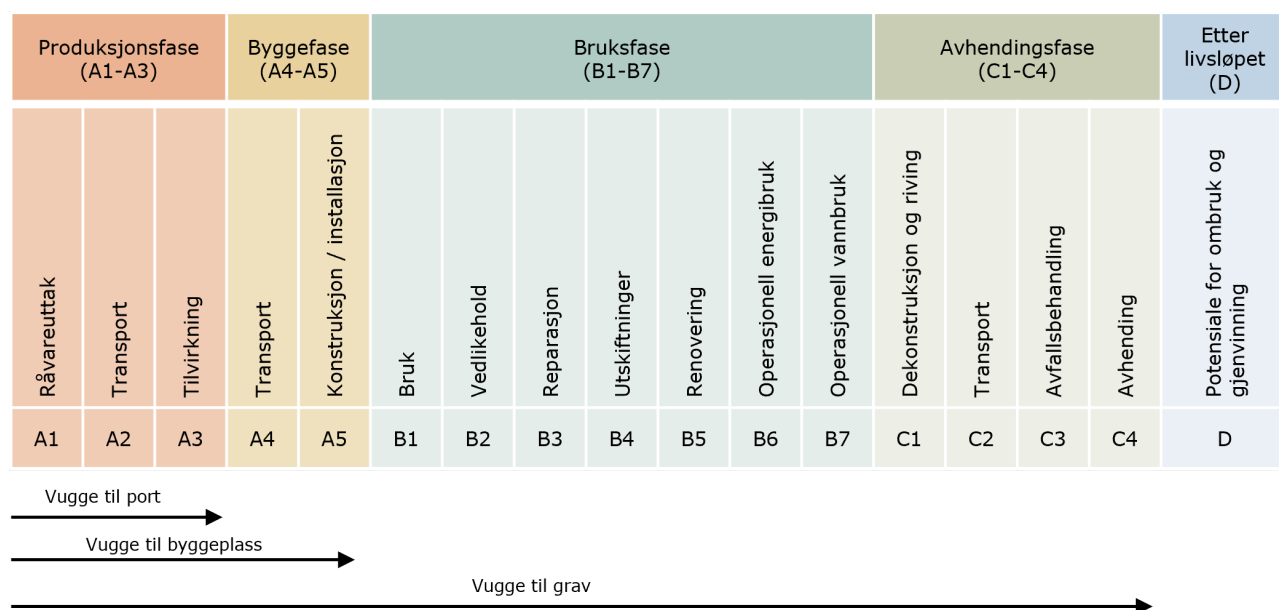
3.6.5 Risikoevaluering

En evaluering av risikoen skal ikke bare gjøres som en isolert vurdering, men også som en del av en helhetlig beslutningsprosess. Andre viktige aspekter som økonomi, miljø og brukervennlighet skal også tas i betraktning. Risikoen skal sammenlignes med risikoakseptkriterier, og det skal tas beslutninger om eventuelle tiltak må innføres. Hvis det besluttes at tiltak er nødvendig, gjøres det en vurdering av effekten av disse tiltakene. Hvis tiltakene er såpass omfattende at det fører til vesentlige endringer på risikoen, skal det utføres en ny risikoanalyse.

3.7 Livssyklusanalyse (LCA)

En livssyklusanalyse (LCA) er en metode som brukes for å vurdere miljøpåvirkningen av ulike produkter og tjenester (Byggforskserien, 2014). Metoden er særlig anvendt innenfor bygge-materialer og bygninger, men også andre type produkter blir vurdert. Miljøpåvirkningen kan beregnes for hele eller deler av et livsløp. En LCA kan brukes som et sammenligningsgrunnlag for ulike løsninger eller bygninger.

Livsløpet til en bygning kan deles inn i fire faser: produksjonsfase, byggefase, bruksfase og avhendingsfase. I tillegg kan potensial for ombruk og gjenvinning inkluderes som en ekstra fase etter endt livsløp. Denne fasen beskriver potensielle miljøpåvirkninger og miljøgevinster ved ombruk og gjenvinning. De ulike fasene med tilhørende enhetsprosesser er illustrert i Figur 3.10.



Figur 3.10: Livsløpsfaser i en LCA.

3.7.1 Utførelse av en LCA

Utførelse av en LCA skal følge gitte standarder. NS-EN ISO 14040 angir prinsipper og rammeverk for livssyklusanalyser, og NS-EN ISO 14044 angir krav og retningslinjer for hvordan det kan utføres. I henhold til NS-EN ISO 14040 kan utførelsen av en LCA deles opp i fire faser (Standard Norge, 2006). De ulike fasene er beskrevet nedenfor.

Fase 1: Fastsetting av hensikt og omfang

Den innledende fasen for en LCA har som hensikt å fastsette tiltenkt anvendelse og målgruppe. For at hensikten skal oppnås, vil det være svært viktig at omfanget er definert tilstrekkelig. Dette vil blant annet innebære å fastsette produksystem, systemgrenser og funksjonell enhet.

Et produksystem er en samling av ulike enhetsprosesser, og er en modell av et livsløp (Byggforskserien, 2014). Standard Norge (2006) definerer enhetsprosess som «minste del med kvantifiserte inngangs- og utgangsdata som vurderes i et livsløpsregnskap». Eksempler på ulike enhetsprosesser er råvareuttak, transport og produksjon. Alle ressurser som inngår i hver enkelt enhetsprosess og tilhørende utslipp blir vurdert.

En systemgrense setter rammer for hvilke livsløpsfaser som inngår i beregningen (Byggforskserien, 2014). Den valgte systemgrensen definerer hva som vil inngå i produktsystemet og derav hvilke livsløpsfaser som inkluderes. Ulike systemgrenser kan være «vugge til port», som inkluderer prosessene fram til produktet er ferdig produsert. For bygninger vil det normalt benyttes systemgrensen «vugge til grav». Dette inkluderer hele livsløpet til en bygning og tar for seg både produksjonsfasen, byggefasen, bruksfasen og avhendingsfasen. Her vil også utslipp knyttet til blant annet energi- og vannforbruk inkluderes.

Funksjonell enhet blir brukt som en referanseenheter (Byggforskserien, 2014). Dette er en målbar enhet, slik at resultatet enkelt kan sammenlignes med andre produkter og bygninger. Et eksempel kan være utslipp fra en bygning med en gitt levetid og tekniske krav.

Fase 2: Livsløpsregnskap (LCI)

I livsløpsregnskapet blir nødvendig data innsamlet (Byggforskserien, 2014). Dette omfatter blant annet mengde materialer og utslipp knyttet til de ulike produktene. Målet er å samle inn data fra alt som inngår i produktsystemet, men dette vil ikke alltid la seg gjøre. NS-EN 15978 stiller krav til at minimum 95 % av massen og energien som inngår i hver fase skal inkluderes, samt 99 % av den totale massen og energibruk fra hver enhetsprosess.

Verdier for utslipp fra ulike produkter blir hentet fra EPDer. En EPD er en miljødeklarasjon som beskriver miljøpåvirkningen til et spesifikt produkt eller en tjeneste for de ulike fasene gjennom produktets levetid.

Fase 3: Livsløpseffektvurdering (LCIA)

En livsløpseffektvurdering er en evaluering av de potensielle miljøpåvirkningene som følge av ressursbruken og utslipp knyttet til bruk. GWP, globalt oppvarmingspotensial, er en vanlig måte å beregne miljøpåvirkningen på. GWP-verdien angir den akkumulerte oppvarmingseffekten som de ulike drivhusgassene har på atmosfæren (Toldnæs, 2023). Ulike klimagasser har ulik oppvarmingseffekt og levetid i atmosfæren (Olerud og Lahn, 2023). For å kunne sammenligne klimapåvirkningen blir disse regnet om til CO₂-verdier. GWP-verdien er den mengde CO₂ som ville hatt samme effekt på klimaet som den aktuelle klimagassen over en valgt tidshorisont. Videre brukes denne verdien til å regne om til CO₂-ekvivalenter.

Fase 4: Tolkning

I tolkningsfasen må regnskapet med de potensielle miljøpåvirkningene tolkes, analyseres og rapporteres. Gjennom tolkningen kan det trekkes konklusjoner og gis anbefalinger til for eksempel valg av løsninger.

3.7.2 LCA og brann

Ulike brannsikringstiltak vil ha varierende klimagassavtrykk. Når ulike alternativer gir samme nivå av brannsikkerhet og tilsvarende risiko for skade på bygningen ved brann, kan klimagassutslippene fra disse tiltakene enkelt sammenlignes (McNamee et al., 2021). Dette kan for eksempel gjelde ved vurdering av ulik brannsikring av en stålsøyle, der brannmaling vil resultere i betydelig mindre utslipp sammenlignet med betongfylling. Der ulike tiltak vil gi ulik risiko for skade på bygningen ved brann, kreves en mer omfattende vurdering for å bestemme hva som vil være mest gunstig sett i et klimagassperspektiv. Utslipp knyttet til selve brannsikringstiltaket og den statistiske forventede skaden på bygningen ved brann må vurderes.

I en konvensjonell LCA blir utslipp knyttet til eventuelle ulykker ekskludert. Den tar ikke hensyn til utslipp fra bygningen hvis noe skulle begynne å brenne. Slike utslipp vil være svært vanskelig å beregne, blant annet grunnet mangel på utslippsdata fra slike ulykker (Andersson et al., 2004). Likevel vil det være mulig å beregne dette, og det kommer stadig flere og nye tall på dette området. En rapport fra McNamee et al. (2022) undersøker miljøpåvirkningen av branner i bygningsmasser og presenterer ulike utslippsfaktorer knyttet til branner. I forbindelse med å fastslå disse utslippsfaktorene er det gjennomført en rekke forsøk i både små- og storskala. Ved å kombinere statistisk forventning av brann og utslippsfaktorer vil det være mulig å beregne ulike miljøeffekter av en brann.

For å inkludere potensielt utslipp knyttet til brann, er det utviklet en LCA-modell som inkluderer dette. Denne modellen blir kalt «Fire-LCA» og er utviklet av SP (Sveriges Tekniska Forskningsinstitut) og IVL (Svenska Miljöinstitutet). Målet med denne modellen er å kvantifisere miljøpåvirkningen ved et gitt brannsikkerhetsnivå (Andersson et al., 2004). Modellen bygger på en tradisjonell LCA-metodikk som følger ISO-standardene. Den eneste modifikasjonen vil være utslipp knyttet til en brann. Gjennom levetiden til et bygg kan enkelte av materialene potensielt bli involvert i branner. Brannstatistikk brukes for å kvantifisere hvor mye av materialene som vil være involvert i ulike brannscenarier. Deretter benyttes utslippsfaktorer til å beregne den totale miljøpåvirkningen av brannen. I beregningene må to ulike sikkerhetsnivåer sammenlignes for at miljøpåvirkningen kan vurderes. Det er publisert retningslinjer på hvordan en slik Fire-LCA kan gjennomføres, men detaljer rundt disse vil ikke bli presentert her.

3.8 Brannhendelser i sykehus

Helsetjenester har en samfunnskritisk funksjon, og bortfall av disse kan ha en betydning for befolkningens sikkerhet (DSB, 2016). Dette omfatter blant annet psykisk helsevern og akuttmedisinske tjenester i og utenfor sykehus. Brann i sykehus som medfører store ødeleggelser vil derfor kunne føre til potensielt store konsekvenser. Dette arbeides det aktivt for å unngå. Sykehus plasseres i risikoklasse 6 og det stilles generelle høye krav til brannsikkerheten. Et sykehus rommer sårbare pasienter og pasienter som krever assistert rømning. Dette vil også gjelde for psykiatrisk avdeling. Det er derfor viktig med gode løsninger som sikrer trygg og effektiv rømning.

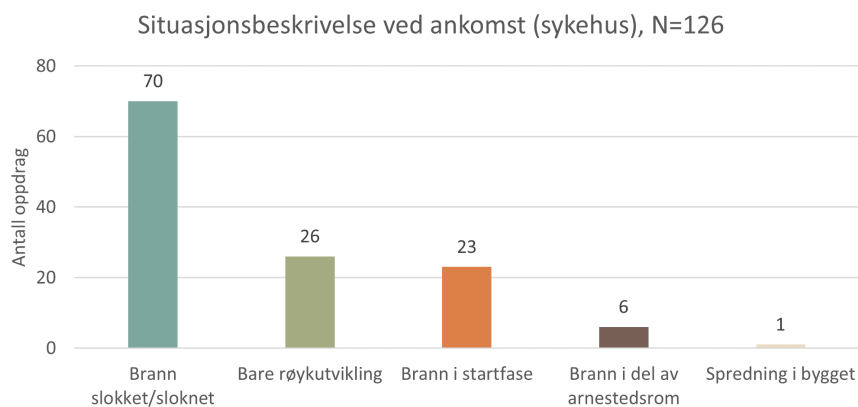
Nasjonalt er det få branntilløp i sykehus som får alvorlige konsekvenser, men branner oppstår likevel. Det er derfor viktig å ha en grunnleggende kunnskap om hvilke hendelser som oppstår hyppigst og hvilke konsekvenser dette kan medføre. Bruk av statistikk er et viktig verktøy i denne sammenheng. Dette kan benyttes til å fastslå risikoen for brann, samt forventet omfang og konsekvenser av en brann. Disse innsiktene kan deretter brukes til å evaluere risikoen og implementere eventuelle tiltak som er nødvendige.

Statistikk fra Norge i perioden 2016-2022 er hentet fra analyseverktøyet BRIS. For statistikk fra Sverige er statistikk- og analyseverktøyet IDA benyttet, og inneholder brannhendelser i perioden 1998-2021. En fullstendig oversikt over funnene fra BRIS og IDA er vedlagt i Vedlegg A. Videre blir de mest sentrale funnene fra disse kildene presentert, samt supplert med statistikk fra rapporter.

3.8.1 Hyppighet og omfang

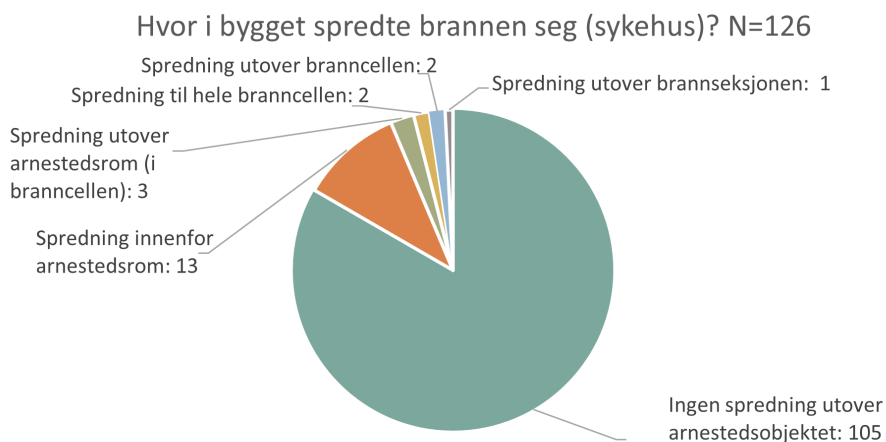
DSB deler bygninger inn i ulike bygningstyper og næringer. I perioden 2016-2022 er det registrert 213 oppdrag innenfor bygningstypen «Sykehus». Dette tilsvarer omtrent 1 % av det totale antall oppdrag i denne perioden, og omtrent 30 oppdrag per år. I Sverige er det i omtrent samme tidsperiode (2015-2021) registrert 411 innsatser på sykehus, noe som gir et gjennomsnittlig antall på 59 per år. Ser man på prosentandelen av det totale antall branntilfeller, tilsvarer innsatser på sykehus 0,6 %. Dette er noe lavere enn det som er registrert i Norge.

Figur 3.11 viser situasjonsbeskrivelse ved brannvesenets ankomst i 126 tilfeller ved brann på sykehus (DSB, 2023). Statistikken viser til at brannen var slokket eller sloknet i over halvparten av oppdragene (56 %). Av disse brannene var brannspredningen hindret ved innsats av personer på stedet i 80 % av tilfellene. 3 % av brannene ble slokket av automatisk slokkeanlegg. Brannen sloknet av seg selv i 6 % av tilfellene. Figuren viser at det i én av fem tilfeller er registrert brann ved brannvesenets ankomst. I ett tilfelle var det registrert spredning utover arnestedsrommet.



Figur 3.11: Situasjonsbeskrivelse ved brannvesenets ankomst i perioden 2016-2022 (sykehus) (DSB, 2023).

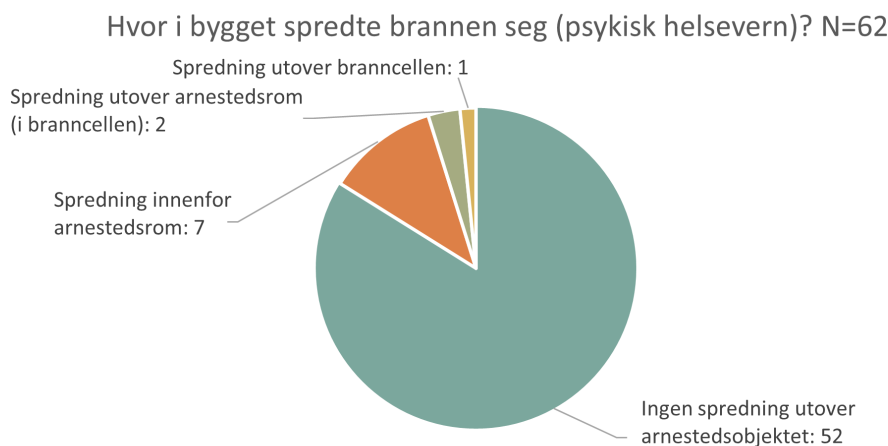
Figur 3.12 viser hvor i bygget brannen spredte seg ved brann på sykehus. I 98 % av tilfellene var det ingen spredning av brann utover branncellen. Dette kan indikere at brannceller har en viktig hensikt for å unngå brannspredning. I perioden 2016-2022 er det registrert ett tilfelle der brannen har spredning utover brannseksjonen. Det er ukjent hva dette skyldtes. Ytterst få tilfeller av spredning utover brannseksjonen kan tyde på at det som regel ikke oppstår branner der seksjoneringsveggen er nødvendig for å hindre spredning av brann, og at brannene i de aller fleste tilfeller er for små.



Figur 3.12: Spredning av brann på sykehus i perioden 2016-2022 (DSB, 2023).

For næringsgruppen «Institusjoner i psykisk helsevern for voksne» og «Institusjoner i psykisk helsevern for barn og unge» innenfor næringskoden «sykehustjenester» er det i perioden 2016-2022 registrert totalt 96 branner. Dette gir et gjennomsnitt på 14 oppdrag per år. Av disse var brannen i 69 % av oppdragene sloknet ved brannvesenets ankomst. Av de resterende brannene var det ingen spredning utover arnestedsrommet. I seks av tilfellene var det kun røykutvikling.

Figur 3.13 viser brannspredning for 62 oppdrag ved brann i institusjoner i psykisk helsevern. I de aller fleste tilfeller (84 %) var det ingen spredning utover arnestedsobjektet. Det er i ett tilfelle registrert spredning utover branncellen. Funnene viser at det oppstår branner, men disse får som oftest ikke utviklet seg til en større brann.



Figur 3.13: Spredning av brann i institusjoner i psykisk helsevern, 2016-2022 (DSB, 2023).

Bygningsbranner i helsetjenesten (sykehus og hospits) i USA i perioden 2011-2015 støtter opp under et begrenset omfang av brannen. En rapport utgitt av Campbell (2017) viser til at de aller fleste branner er små. I mer enn åtte av ti branner (83 %) var brannen begrenset til det objektet brannen startet i. I 4 % av hendelsene spredte brannen seg utenfor arnestedsrommet. Det mest hyppige scenarioet er en begrenset brann, men større branner er også registrert. Dette er det derfor viktig å ta høyde for i prosjekteringen.

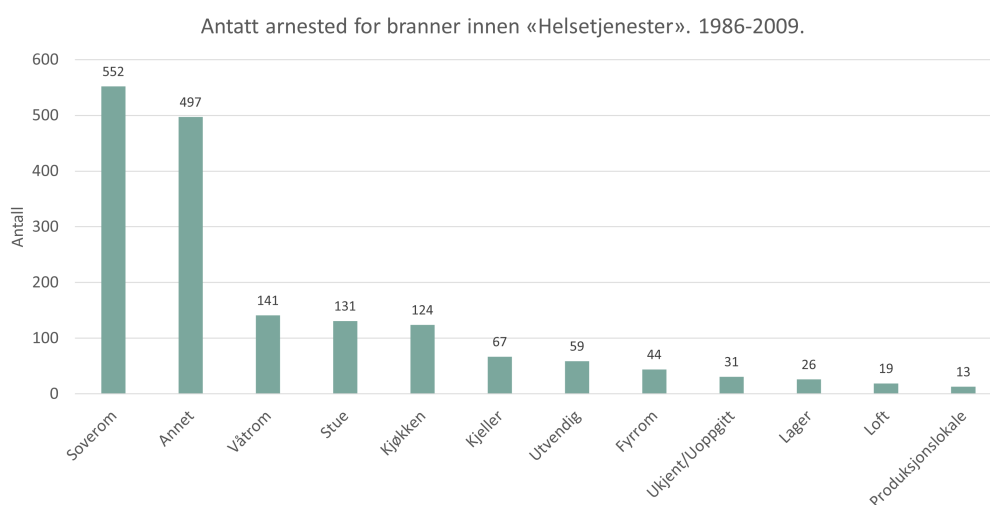
Røykspredning kan være en stor trussel for personsikkerheten. Til tross for at en brann ofte er begrenset i omfang og kontrolleres raskt, vil det være en fare knyttet til røykspredning. Av totalt 126 registrerte tilfeller for bygningstypen «Sykehus», var det i 60 % av tilfellene ingen spredning av røyk utover branncellen. I 35 % av hendelsene spredte røyken seg utover branncellen, men innenfor brannseksjonen og 6 % av tilfellene innebar spredning utover brannseksjonen. Allerede før brannvesenets ankomst har altså røyken i omtrent 40 % av brannene spredt seg utover arnestedsrommet, og kan potensielt utgjøre en fare for personsikkerheten.

3.8.2 Brannårsak og arnested

Fra DSBs gransking av næringsbranner er det observert særegne risikoområder innenfor de ulike næringene med tanke på brannårsak (DSB, 2011). Det er videre sett på næringen «Helsetjenester». Denne næringen består av tre hovednæringsgrupper: «Sykehustjenester», «Lege- og tannlegetjenester» og «Andre helsetjenester». Fra granskningen av brannårsaker er det påsatt brann, åpen ild og elektrisk feil som står som brannårsak for de fleste av brannene. Fra årsaken «åpen ild», utgjør spesielt røyking en stor brannrisiko. 13 % av de granskede brannene innenfor «Helsetjenester» er påsatt, og er hovedproblemet innenfor denne næringen. Også i Sverige står årsaken «påsatt brann» for en stor del av brannene (MSB, 2023). Av det totale antall innsatser er brannårsaken i 29 % av tilfellene påsatt brann og 29 % utstyrsfeil.

I en evaluering av påsatte branner i næringsbygg i 1996 og 1997, utført av Sintef NBL på oppdrag fra DSB, er det gjort noen hovedfunn (DSB, 2011). Av de 236 evaluerte brannene med brannårsak «påsett», manglet det i 44 % motiv for handlingen. Av brannene med manglende motiv var brannen i 44 % av tilfellene påsett av personer i psykisk ubalanse, og da oftest pasienter på psykiatriske sykehus. Av de brannene der brannstifteren er kjent, var brannstifteren i én av fem tilfeller i psykisk ubalanse og 13 % var ruspåvirket. Én av tre hadde normal sinnstilstand. Dette viser til at det kan innebære en ekstra fare for påsett brann i psykiatrien.

I perioden 1986-2009 var antatt arnested for næringsgruppen «Sykehustjenester» i én av tre tilfeller «Soverom». Dette kan henge sammen med at mange branner skyldes åpen ild, derav røyking og påsett brann av en pasient. Det er også en stor andel branner som har arnested registrert som kategorien «annet». Det er usikkert hva dette innebærer. Figur 3.14 viser denne fordelingen. Andelen branner som starter på soverom er noe lavere i statistikken fra Sverige, der den er 16 %. Her står soverom og kjøkken for omtrent like stor andel av arnestedene.



Figur 3.14: Antatt arnested innen «Helsetjenester», rekonstruert fra DSB (2011).

Hovedårsaken til brann innenfor helsetjenester i perioden 2011-2015 i USA er kjøkkenutstyr (Campbell, 2017). Dette står for hele 66 % av brannene. I 6 % var brannene forsettlig. I tillegg står røyking, oppvarming og lek med varmekilde for til sammen 12 % av tilfellene.

3.8.3 Konsekvenser av brann

Sammenlignet med andre næringer, er det få branner i sykehus som har ført til et stort antall skadde. Mellom 1986-2009 er syv personer omkommet i Norge, og 48 personer skadet i totalt 40 branner (DSB, 2011). Dette tilsvarer 0,02 % av brannene innenfor næringen «Helsetjenester». 20 av brannene som førte til personskade skyldtes påsett brann. I de aller fleste tilfeller oppstår det dermed ikke personskade, men det er registrert.

Til tross for at de fleste brannene som er registrert fra USA startet i kjøkken, står brann i soverom eller pasientrom for 38 % av personskadene (Campbell, 2017). Dette tilsvarer 12 av 32 tilfeller skadete. For kjøkken er det registrert to personskader. Dette viser til at en brann som oppstår i et pasientrom vil være mest truende med tanke på personsikkerheten.

I statistikken fra USA i perioden 2011-2015 sto kategorien «psykisk helsetilbud» for 22 % av brannene innenfor branner i helsetjenester. Videre sto det kun for 6 % av sivile skader og 9 % av skader på bygningen.

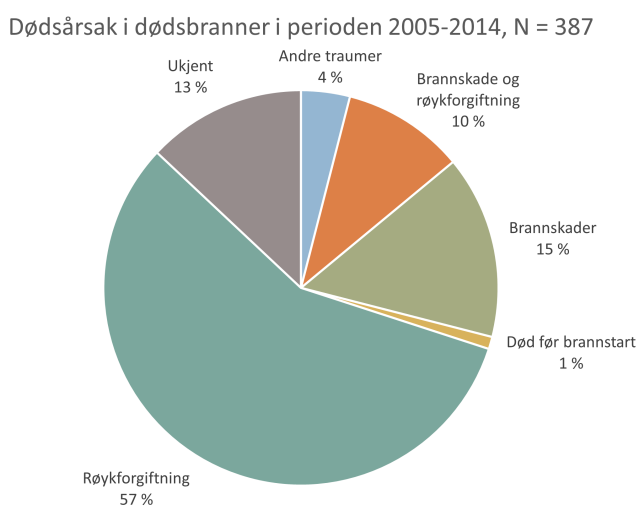
3.8.4 Dødsbranner

Det kan være nyttig å se til statistikken over dødsbranner for å vurdere hvilke scenarier som kan føre til dødsfall. I 2017 utga RISE en rapport med tittelen «Analyse av dødsbranner i Norge i perioden 2005-2014» (Sesseng et al., 2017). Denne rapporten tar blant annet for seg årsaker til dødsbranner og hvordan dette kan forebygges. I perioden 2005-2014 er det registrert 517 branner med totalt 571 omkomne. Analysen er basert på informasjon fra 347 politirapporter, noe som antas å være tilstrekkelig.

Dødsbranner i boliger står for hele 85 % av alle dødsbranner. De aller fleste dødsbrannene oppstår i hjemmet, og i de rommene man tilbringer mest tid. 37 % startet i stue, 19 % i kjøkken og 13 % i soverom. Den største brannårsaken for en dødsbrann er «åpen ild» (39 %). Dette inkluderer blant annet levende lys og røyking, der røyking står for den største andelen (13 %).

Det fremgår av rapporten at det i nesten alle dødsbranner har vært flammembrann (99 %). Det er likevel vanskelig å anslå hvordan brannforløpet var ved tidspunktet døden inntraff, og om flere har omkommet av ulmebrann.

Figur 3.15 viser fordelingen av dødsårsaken til de omkomne i branner i perioden 2005-2014. Røykforgiftning står for 57 % av tilfellene, og står for den høyeste andelen. Deretter kommer brannskader (15 %) og en kombinasjon av brannskade og røykforgiftning (10 %). Dette viser at det i svært mange tilfeller er røyken som dreper. Røykforgiftning kan skje tidlig i et brannforløp, selv før brannen har utviklet synlige flammer. Forebygging av røykforgiftning handler derfor i stor grad om å unngå at en brann i utgangspunktet vil oppstå. Videre er det viktig å ha fokus på tidlig deteksjon og slokking av brannen.



Figur 3.15: Dødsårsak for omkomne i branner i perioden 2005-2014, rekonstruert fra Sesseng et al. (2017).

I en analyse fra Sverige som omfatter 144 dødsbranner i perioden 2011-2014, blir det gjennomgått hvordan dødsulykkene kunne vært forhindre (Runefors et al., 2016). Denne studien viser at et termisk aktiverbart slokkeanlegg, som sprinkleranlegg, vil ha høyest potensial for å forhindre en dødsbrann. Dette vil likevel ha liten effekt på å forhindre dødsfall i startobjektet, for eksempel i en seng, grunnet at brannen vil være for stor når sprinkleranlegget aktiveres. Fra granskingen av dødsbranner i Norge er det i 91 % av dødsbrannene ikke registrert automatisk slokkeanlegg i bygningen. 8 % er ukjent, mens det i 1 % var installert. De tilfellene der det var installert automatisk slokkeanlegg var brannen ikke blitt stor nok til å utløse anlegget. Dette gjelder for tre tilfeller i institusjon. Da det ikke foreligger norsk data på dødsbranner der sprinkleranlegget ble utløst, kan det tyde på at det i sprinklede bygg vil være lav sannsynlighet for at personer omkommer i brannen.

Fra den svenske studien av dødsbranner, er det få tilfeller der dødsfall kunne vært forhindre ved å ha tilstrekkelig brannmotstand mellom branncellene (3 %) (Runefors et al., 2016). Det vises til at en stor andel av dødsfallene skjer i startbranncellen, og at tiltak innad i branncellen er det viktigste for personsikkerheten. Tiltak som sikrer lett tilgjengelig rømming, vil også være en viktig del.

Det er ikke funnet eksempler på dødsbranner i Sykehus i nyere tid (etter 1980). Det er derfor gjort et søk etter eksempler på mest nærliggende bygningstype. Et eksempel som trekkes fram er brannen i Sveio Omsorgssenter i 2007, der to pasienter omkom (DSB og DiBK, 2007). Sikkerheten på et omsorgssenter vil ikke sidestilles med et sykehus, men brannen kan likevel være interessant med tanke på hva som vil kunne være truende for personsikkerheten. Fra evalueringen kommer det fram at syv pasienter var direkte truet av brannen, men fem av disse ble reddet ut av personalet og brannvesenet. Ifølge politiet startet brannen bak et kjøleskap i et lite strykerom/lager. Brannen hadde en svært rask utvikling, og var ukontrollerbar innen tre minutter. Det ble vurdert at personalet ikke ville kunne håndtert brannen. I evalueringen trekkes det fram at kun et automatisk slokkeanlegg kunne begrenset eller stoppet brannforløpet.

4 Casebeskrivelse

Som en del av oppgaven er det utført en casestudie av et prosjekt tilknyttet Akershus universitetssykehus (Ahus). Prosjektet Senter for psykisk helsevern Nordbyhagen (PHN) er en utvidelse av eksisterende psykiatri på Ahus og skal samle all sykehusbasert psykiatri på Nordbyhagen (Akershus universitetssykehus, 2023). Forprosjektet er ferdig, og det nye bygget skal etter planen stå klart i løpet av 2026.

Prosjektet består av ulike delprosjekter, derav etablering av to bygg. Denne oppgaven tar for seg et av delprosjektene: tilbygg for voksenpsykiatri (VOP). Det blir videre benyttet betegnelsen VOP når det er snakk om det spesifikke casebygget. Her skal det etableres 50 nye døgnbehandlingsplasser for voksne i et nytt senterbygg. Dette bygget skal analyseres og ulike branntekniske løsninger skal vurderes opp mot klimagassutslipp. Norconsult er engasjert som ansvarlig prosjekterende for brannsikkerhet for hele prosjektet, og det er blitt tilsendt branntegninger og modell av bygget. Figur 4.1 viser modell av VOP i front og hvordan nybygget tilknyttes det eksisterende bygget.



Figur 4.1: Modell av VOP på Ahus i front, tilknyttet eksisterende psykiatri bak.

Nybygget vil utgjøre cirka 9 000 m² fordelt på fire tellende etasjer. Hovedfunksjonen til bygget vil være pasientrom med sengeplasser, og det er planlagt to fulle etasjer med pasientrom (plan 1 og 2). Risikoklasse 6 vil være styrende for bygningen, men enkelte deler av bygget plasseres i risikoklasse 2 eller 5. Dette gjelder for eksempel arealer som kun er ment for ansatte. Bygningen plasseres i brannklasse 2. Tabell 4.1 viser planfordeling med areal og bruksinformasjon.

5 Resultater

Dette kapitlet presenterer resultatene fra risikovurderingen og livssyklusanalysen, samt beregning av brannenergi og utslipp fra brannforløpet. Hovedfokuset i oppgaven ligger på resultatene fra B-RISK og beregning av parametrisk brannforløp.

5.1 Risikovurdering

Det er utført en forenklet risikovurdering av VOP ved bruk av NS 3901, som beskrevet i Kapittel 3.6. Analysen er rettet mot brannsikringstiltakene sprinkleranlegg og seksjoneringsvegg. Vurderingen dekker derfor ikke alle aspekter av risikoen for bygningen, og dermed vil den ikke utgjøre en fullstendig risikovurdering.

5.1.1 Planlegging

Analysen inneholder en identifisering av mulige hendelser, konsekvenser og sannsynligheter for brann på sengerom og dens omfang. Målet med risikovurderingen er å kunne fastsette risikoen for at en brann skal oppstå og hvilket omfang det er sannsynlig at en potensiell brann vil få. Det er videre gjort analyser på om brannmotstandskravet til de omsluttende veggene i sengerommet er tilfredsstilt i henhold til forskriften. Dette brukes videre til å gjøre en vurdering av hvilken risikoreduserende effekt seksjonering har for bygningens sikkerhetsnivå. I tillegg er risikovurderingen gjennomført for å kunne vurdere mulige alternativer til de preaksepterte ytelsene. Dette vil ikke være en del av selve risikovurderingen, men diskuteres i Kapittel 6.3.

Risikovurderingen gjennomføres som en risikoanalyse, der sikkerhetskriteriene sees opp mot de preaksepterte ytelsene som er angitt i TEK17. Analysen er gjennomført både kvalitativt og kvantitativt. I den kvantitative analysen er det både benyttet en deterministisk og probabilistisk tilnærming. Som underliggende analyseteknikker er det benyttet seg av brannsimuleringsverktøyet B-RISK, beregning av parametrisk brannforløp og ekvivalent tid. Monte Carlo-simuleringene gir en probabilistisk tilnærming, og benyttes til å angi sannsynligheten for overtenning, samt nødvendig brannmotstand for seksjoneringsveggen. Beregningene fra parametrisk brannforløp har en deterministisk tilnærming.

Fastsetting av beslutningskriterier

Akseptabel risiko kan fastsettes avhengig av hvilken sannsynlighet det er for at en hendelse skal inntreffe og hvilken konsekvens dette kan føre til. For å kunne vurdere sannsynligheten for brann og ulike brannscenarier blir det benyttet seg av en skala etter Rausand og Utne (2022). Klassifisering av sannsynlighetsklasser fastsettes etter Tabell 5.1.

Tabell 5.1: Klassifisering av sannsynligheter (Rausand og Utne, 2022).

Klasser	Sannsynlighet	Frekvens
1	Svært lite sannsynlig	Mindre enn en gang pr. 1000 år
2	Lite sannsynlig	Én gang pr. 100 – 1000 år
3	Sannsynlig	Én gang pr. 10 – 100 år
4	Ganske sannsynlig	Én gang pr. 1 – 10 år
5	Svært sannsynlig	Mer enn en gang pr. år

Beslutningskriteriene for konsekvens av brann er knyttet opp mot fare for brannspredning og nødvendig brannmotstand. Kriteriet for fullt utviklet brann og fare for videre brannspredning er satt til når temperaturen overstiger 500 °C. Disse brannene blir klassifisert som alvorlige branner.

Videre kriterier følger de preaksepterte ytelsene i TEK17. Seksjoneringsveggen skal tilfredsstille minimum brannmotstand REI 120-M. For at kriteriet skal være oppfylt, må den beregnede nødvendige brannmotstanden være lavere enn 120 minutter. En lavere ekvivalent tid indikerer at veggen kan motstå brannpåkjenningen. Branncelleveggene skal forsinke og begrense brann- og røykspredning for å unngå unødvendig store materielle skader. Preakseptert skal disse veggene kunne motstå brannpåkjenningen tilsvarende en ISO-tid på 60 minutter. Beregningen av ekvivalent tid for disse veggene skal derfor ikke overstige 60 minutter.

Det er ikke gjort rømningsanalyser og beregninger knyttet til personsikkerheten. Dette er likevel en faktor i vurderingen av akseptabel risiko, men er kun vurdert kvalitativt.

5.1.2 Beskrivelse av analyseobjekt

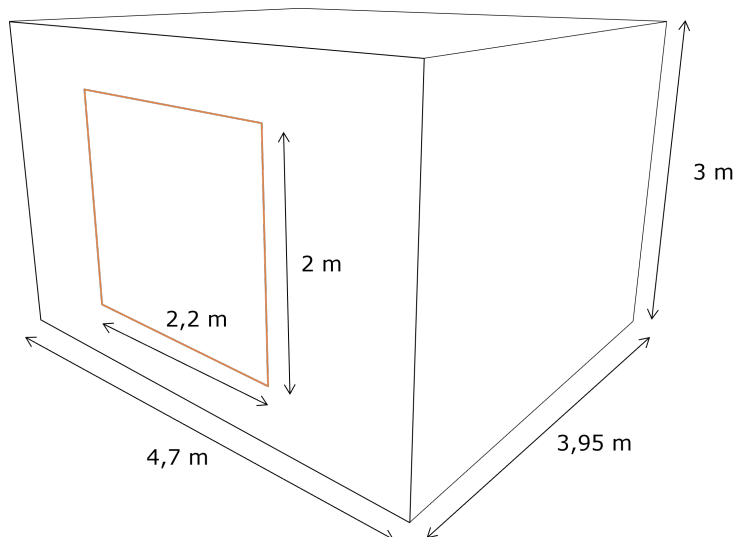
Videre analyse fokuserer på brann i sengerom. Sengerommene på VOP har noe varierende form og størrelse, som vist tidligere i plantegning (se Figur 4.2). Det er valgt å ta utgangspunkt i et sengerom på 18,5 m², tilliggende seksjoneringsvegg. En brann i dette sengerommet vil kunne ha størst innvirkning på seksjoneringsveggen. Figur 5.1 viser en modell av sengerommet som legges til grunnlag for videre analyse. Venstre skillevegg er planlagt som en seksjoneringsvegg, resterende vegger er planlagt som branncellevegg med brannmotstand EI 60.



Figur 5.1: Modell av sengerom på VOP, sett ovenfra.

I simuleringverktøyet B-RISK er det kun mulig å legge inn en rektangulær form. Dette gjelder også for beregning av parametrisk brannforløp. Geometrien som er lagt til grunn i analysen vil derfor ikke være helt korrekt i forhold til de prosjerterte sengerommene. Imidlertid er det benyttet samme volum og gulvareal som det valgte sengerommet.

Det analyserte objektet har en rektangulær form med målene 3,95 m × 4,7 m, og en takhøyde på 3 meter. Det er lagt inn et vindusareal som er i henhold til modell på 2,20 m × 2 m. En illustrasjon av analyseobjektet er vist i Figur 5.2. Veggene er kledd med gipsplater, og etasjeskillere er i betong. Alle overflater er satt som ubrennbare. Sengerommet har automatisk brannslukkeanlegg, plassert midt i rommet.



Figur 5.2: Illustrasjon av analyseobjektet, sengerom.

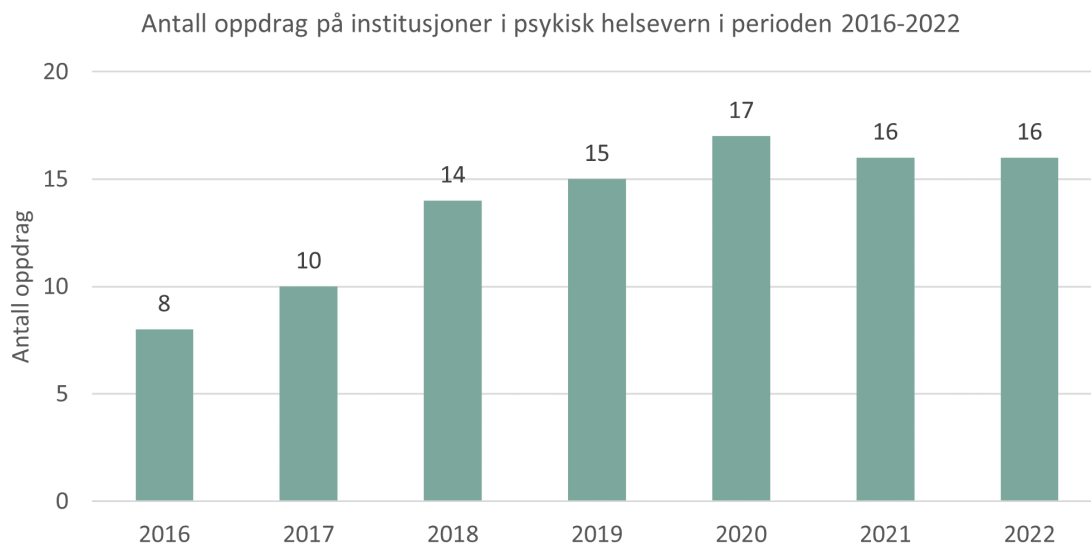
5.1.3 Analyse av årsaker og sannsynlighet for brann

En mer omfattende analyse av årsaker og sannsynlighet for brann er gjort som en del av litteraturstudien, se Kapittel 3.8. En kort oppsummering er inkludert her.

Datainnsamlingen av tidligere brannhendelser viser at de fleste branner på sykehus starter på soverom. Statistikken fra BRIS viser at 8 av 16 branntilfeller i psykiatrisk avdeling startet på soverom. Dette er et svært begrenset datagrunnlag, men det er med på å vise en trend. En stor andel av brannene starter også på kjøkken og stue. På VOP har ikke pasientene tilgang til eget kjøkken, noe som vil redusere sannsynligheten for brannstart på kjøkken. En hyppig brannårsak til branner knyttet til psykiatri, er påsatt brann og åpen ild av pasienter. Dette vises blant annet til i rapporten som omhandler næringsbranner i perioden 1986-2009, der påsatt brann og åpen ild er den dominerende brannårsaken i kategorien «Pleie- og omsorgstjenester i institusjon».

Det er også gjort et søk etter mer spesifikk informasjon om branntilfeller i psykiatrien i Norge. Gjennom ulike nettaviser er det registrert flere tilfeller av branntilløp. Vedlegg B inneholder informasjon fra syv tilfeller. Denne informasjonen gir en viss innsikt i hendelsene, men baserer seg på tilfeldige hendelser og representerer ikke en fullstendig oversikt. En fellesnevner for disse er at brannen startet på sengerom i de tilfellene arnested er spesifisert. Samtlige branner er begrenset til sengerommet, men det er registrert røykutvikling til tiliggende arealer og røykskader knyttet til dette. Et tilfelle fra 2005 på sykehuset i Namsos resulterte i at hele rommet ble nedbrent. Denne brannen skyldtes påtennelse av pasient. Generelt viser dette søket at branner i psykiatrien oppstår, og at det er en viss risiko knyttet til det.

Figur 5.3 viser antall branner som er registrert i psykisk helsevern i perioden 2016-2022. Dataen er hentet fra analyseverktøyet BRIS. Antall branner er noe varierende fra år til år, med et gjennomsnitt på 14 per år.



Figur 5.3: Antall oppdrag fra brann- og redningstjenesten i psykiatrien i perioden 2016-2022, (DSB, 2023).

Basert på den identifiserte risikoen knyttet til påsatt brann av pasient, er det gjort en vurdering av sannsynligheten for brann på VOP. En antagelse er gjort om at sannsynligheten for brann er relatert til antall pasienter, og dermed kan en statistisk forventet hyppighet beregnes. I 2021 var det registrert 3 288 døgnplasser for psykisk helsevern for voksne (Helsedirektoratet, 2021). Dette gir en statistisk forventning på 0,0043 branner per døgnplass per år, basert på gjennomsnittet på 14 branner per år. På VOP er det planlagt å etablere 50 døgnplasser. Ut i fra dette er det forventet at det oppstår 0,22 branner i året. Dette vil tilsvare omtrent en brann hvert femte år.

Som supplement til den offentlige statistikken er det tilsendt en oversikt over registrerte brannhendelser fra eksisterende psykiatrisk avdeling på Ahus. I løpet av perioden 2019-2022 er det registrert totalt 30 hendelser, der majoriteten av hendelsene skyldes at pasienter har utløst brannalarmen. Det er registrert fire tilfeller hvor det har vært et branntilløp. Tre av fire tilfeller skyldes påtennelse av pasient på sengerom. I tillegg er det registrert et forsøk på påtennelse. Samtlige hendelser ble raskt slokket eller kontrollert av personalet. Dette tatt i betraktning, kan det gjøres en grov antagelse om at det er forventet at det oppstår én brann i året. Sannsynligheten for at en brann vil oppstå, kan da klassifiseres som «ganske sannsynlig» i henhold til klassifiseringskriteriene angitt i Tabell 5.1.

5.1.4 Beskrivelse av brannscenarioer

NS 3901 angir ulike brannscenarioer som skal vurderes i analysen. Disse er det tatt høyde for, og følgende scenarioer er analysert:

Brannscenario 1: Verst tenkelig scenario. Brann med rask utvikling, høy effekt og som ikke utløser sprinkleranlegget. Nok brannenergi til at brannen vil kunne bli fullt utviklet.

Brannscenario 2: Brann som utvikler seg langsomt, og som ikke vil utløse sprinkleranlegget. Et scenario som vil kunne føre til en del røykproduksjon.

Brannscenario 3: Representativt scenario. Brann som starter i madrass i sengerom. Medium vekst med middels effekt. Sprinkleranlegg fungerer som tiltenkt. Utvikler seg ikke til fullt utviklet brann.

Simuleringene i B-RISK vil ta høyde for samtlige scenarioer, grunnet at vekstrate, effekt og sprinklerpålidelighet er lagt inn som sannsynlighetsdistribusjoner. Ved de deterministiske beregningene er de ulike scenarioene tatt hensyn til ved å gjøre ulike beregninger med ulik input som minimum tar høyde for en gjennomsnittlig og en maksimal verdi.

5.1.5 Probabilistisk analyse av brannforløp i B-RISK

Det er utført totalt 10 000 iterasjoner i B-RISK for å lage et bilde over forventet omfang av brann i et sengerom. Iterasjonene ble utført i tre omganger for å ta høyde for sannsynligheten for maksimal varmeavgivelse. Det er gjort 7200 iterasjoner i området 0-250 kW, 1700 med 251-1000 kW og 1100 med 2251-4750 kW. Brannvekstrate og pålidelighet for sprinkler har lik input for samtlige iterasjoner. Tabell 5.2 viser en oversikt over forhold som er lagt inn som sannsynlighetsfordelinger i B-RISK. INSTA 951 angir en probabilistisk metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk. Denne inneholder blant annet inngangsdata som kan brukes i slike analyser. Verdiene er hentet fra SN-INSTA/TR 951 og fra resultatene i litteratursøket. I disse simuleringene er det ikke tatt hensyn til mengde brannenergi.

Tabell 5.2: Sannsynlighetsfordelinger som er lagt inn som input i B-RISK.

Forhold	Type fordeling	Gjennomsnitt	Standardavvik	Varians	Henvisning
Brannvekstrate, α [kW/s ²]	Lognormal fordeling	-4,727	1,246	1,552516	SN INSTA 951 Table 5

Forhold	Type fordeling	Nedre grense	Øvre grense	Kumulativ fordeling	Henvisning
Maksimal varmeavgivelse, HRR [kW]	Uniform fordeling	0	250	72 %	SN INSTA 951 Table 6
		251	1000	89 %	
		2251	4750	100 %	

Forhold	Type fordeling	Operasjonell pålidelighet	Ytelsespålidelighet	Effektivitet	Henvisning
Pålidelighetsdata for sprinkleranlegg	Prosentvis	92 %	96 %	88 %	Ahrens (2021)

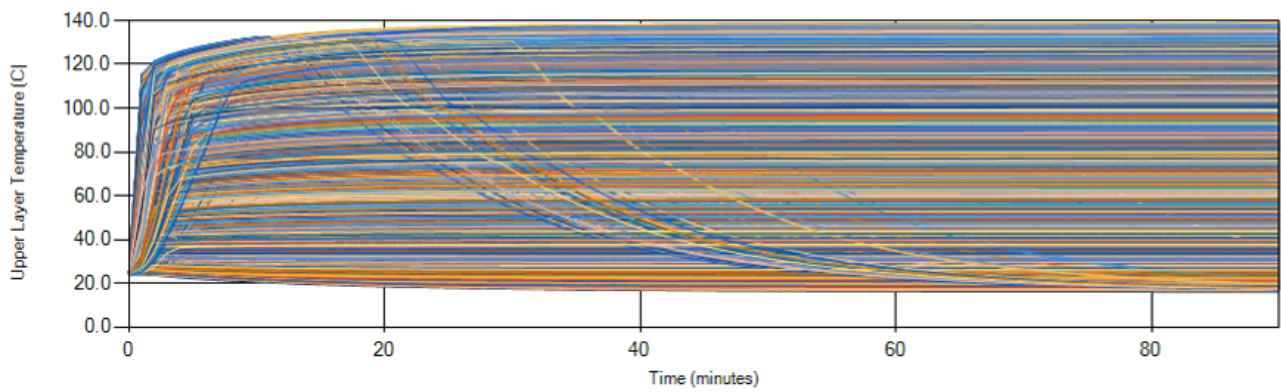
Brannvekstrate er lagt inn med en lognormal fordeling. Forventningsverdien til denne kan regnes ut fra ligning 11, hvor μ angir gjennomsnitt og σ standardavvik. Med verdiene oppgitt i Tabell 5.2 vil da brannvekstraten ha en forventningsverdi på 0,019 kW/s². Dette er en noe høyere verdi enn medium vekst, hvor verdien er 0,01172 kW/s².

$$E(x) = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (11)$$

For maksimal varmeavgivelse er det lagt inn en uniform fordeling. Dette innebærer at alle utfall i det angitte området har lik sannsynlighet. Det er gjort en vurdering av hvorvidt en brann vil kunne oppnå en maksimal varmeavgivelse på 4750 kW. Ifølge NS-EN 1991-1-2, Tabell E.5, er den største varmeavgivelseshastigheten for rom på sykehus 250 kW/m². Dette tilsvarer derfor en øvre verdi på 4625 kW for det analyserte sengerommet. En øvre verdi på 4750 kW er likevel brukt som input i B-RISK, og denne forskjellen vurderes til å ikke ha en utslagsgivende effekt. Med et vindusareal på 4,4 m² viser resultatene fra B-RISK at brannen ikke vil bli ventilasjonsregulert.

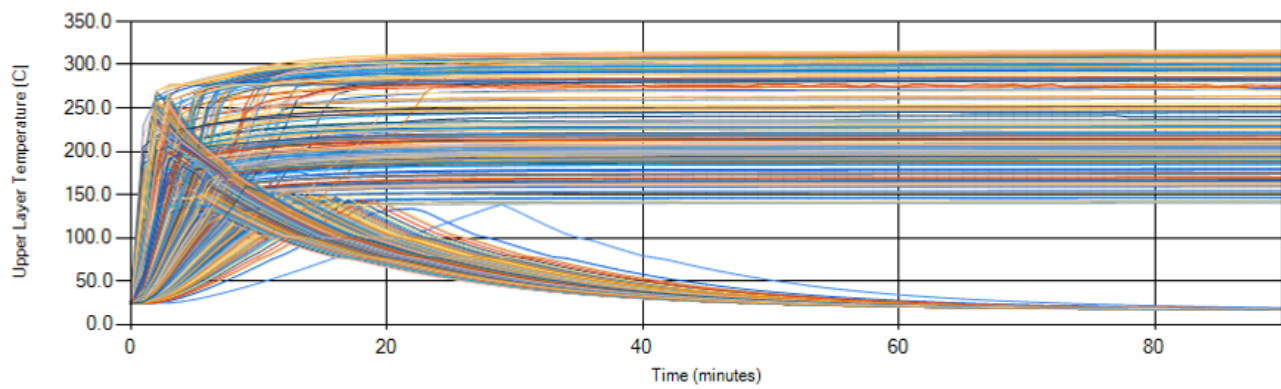
Resultatene av simuleringene for brannforløpene i B-RISK er presentert i Figur 5.4. Analysetiden er satt til 90 minutter, og for de brannene som ikke kontrolleres av sprinkleranlegg vil brannen fortsette ut denne tiden. I Figur 5.4a kan det observeres at av de 7200 simulerte tilfellene med maksimal effekt i området 0-250 kW, er det ingen brannforløp som overskrider en temperatur på 140 °C. Dette betyr at ingen av disse simulerte tilfellene vil utvikle seg til en fullt utviklet brann. For en maksimal effekt i området 251-1000 kW er det heller ingen brannforløp som vil føre til overtenning, se Figur 5.4b. Disse vil likevel innebære en risiko for røykskader og røykspredning. I henhold til INSTA 951 er det 89 % sannsynlighet for at en brann vil være innenfor dette omfanget.

Output Data - Time-series Plot: Room 1. 7200 iterations



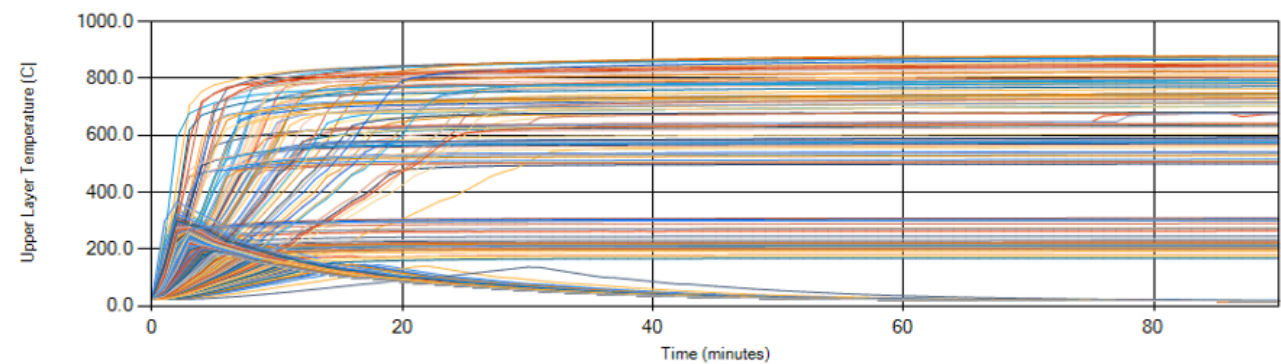
(a) Maksimal HRR 0-250 kW.

Output Data - Time-series Plot: Room 1. 1700 iterations



(b) Maksimal HRR 251-1000 kW.

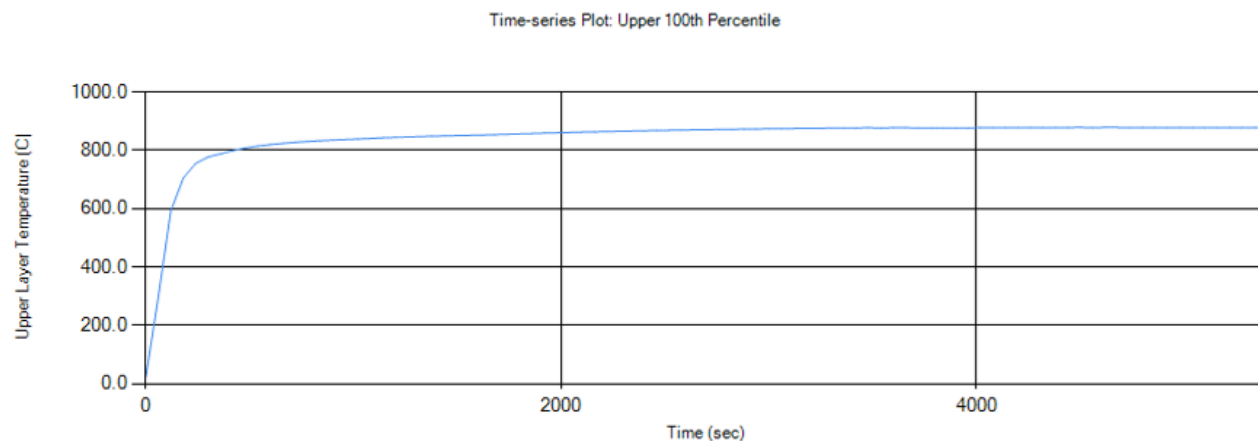
Output Data - Time-series Plot: Room 1. 1100 iterations



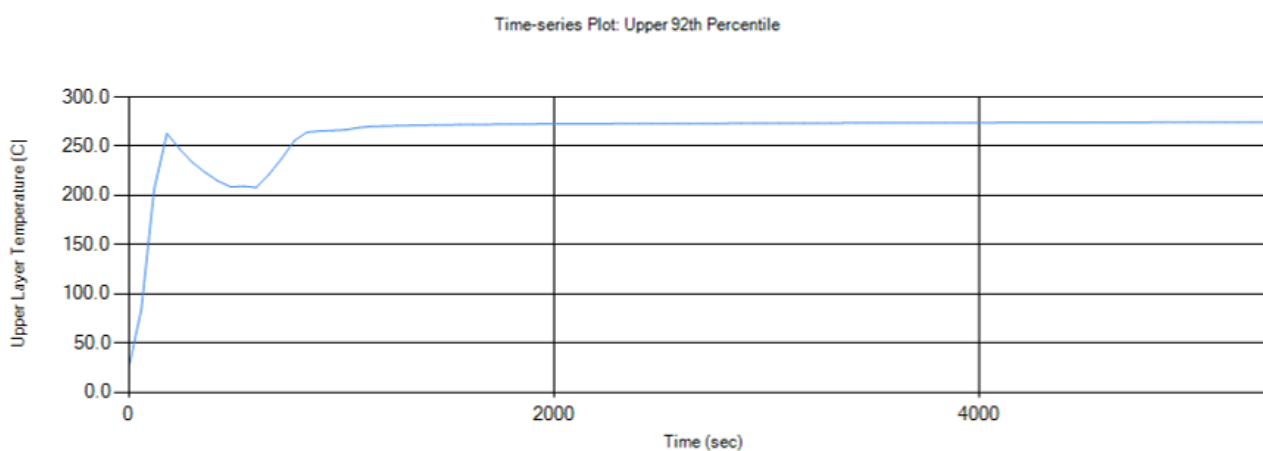
(c) Maksimal HRR 2251-4750 kW.

Figur 5.4: Temperatur i øvre lag på sengerom for 10 000 simulerte branner i B-RISK.

Figur 5.4c presenterer resultatene for temperatur i det øvre laget basert på 1100 iterasjoner med maksimal varmeavgivelse mellom 2251 og 4750 kW. Det er kun branner i dette området som vurderes til å kunne bli en alvorlig brann og med potensial for overtenning og spredning. Av disse vil 81 av brannene overstige en temperatur på 500 °C, som vil innebære overtenning og fullt utviklet brann. Disse brannene faller inn under «Brannscenario 1», som er det verst tenkelig scenarioet. Dette kan også tilsvare «Brannscenario 2» for de tilfellene der det er en langsom vekst. Figur 5.5 illustrerer 100- og 92-persentilen av de 1100 iterasjonene med høyest effekt. 92-persentilen vil ikke overstige en temperatur på 300 °C, som vist i 5.5b. Det vil si at det kun er 8 % av de simulerte brannene med en effekt i området 2251-4750 kW som vil være mer alvorlig enn dette.



(a)



(b)

Figur 5.5: 100 og 92-persentilen av temperatur-tidkurve med maksimal effekt på 2250-4750 kW.

Sannsynligheten for at en brann vil føre til overtenning er beregnet til å være 0,81 %, som tilsvarer 81 av 10 000 tilfeller. Det er viktig å bemerke at de simulerte brannscenarioene ikke tar høyde for manuell slukkeinnsats. Dette vil i realiteten være med på å begrense omfanget, og sannsynligheten for overtenning ville vært noe lavere.

5.1.6 Analyse av nødvendig brannmotstand

Nødvendig brannmotstand er beregnet ved hjelp av både parametrisk brannforløp og simuleringer i B-RISK. Det er brukt både en deterministisk og probabilistisk tilnærming. Parametrisk brannforløp gir resultater som angir den nødvendige brannmotstanden basert på et fullstendig brannforløp. I B-RISK er analysesiden satt til 90 minutter, som for de fleste tilfeller er tilstrekkelig for et fullstendig brannforløp.

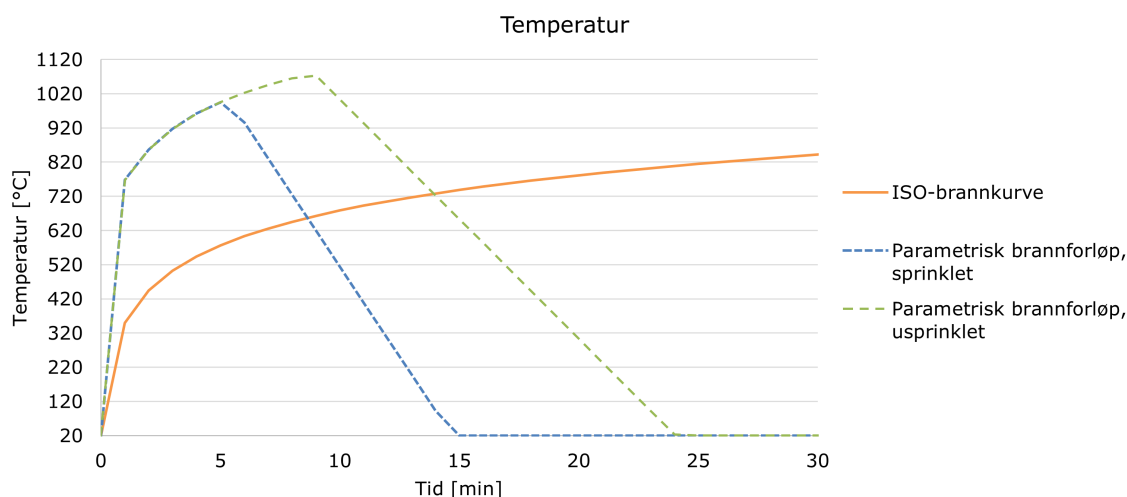
Resultater fra parametrisk brannforløp

Resultatene fra parametrisk brannforløp angir temperaturutviklingen gjennom et fullstendig brannforløp. Disse resultatene er videre benyttet til å beregne ekvivalent branneksponeerings-tid. Beregningene er utført etter metodene beskrevet i Kapittel 3.3.6 og 3.3.7. Det er gjort beregninger for tre ulike nivåer av karakteristisk spesifikk brannenergi per gulvareal: 230, 280 og 400 MJ/m². Disse verdiene representerer henholdsvis middelveien, 80-persentilen og en øvre verdi. I tillegg er det sett på tilfeller både med og uten sprinkleranlegg. Romgeometrien og ventilasjonsareal er tilsvarende som beskrevet tidligere. Andre faste input-verdier er vist i Tabell 5.3. Det er tatt utgangspunkt i at veggene kles med Gyproc Habito, som er en forsterket gipsplate.

Tabell 5.3: Faste verdier for beregning av parametrisk brannforløp.

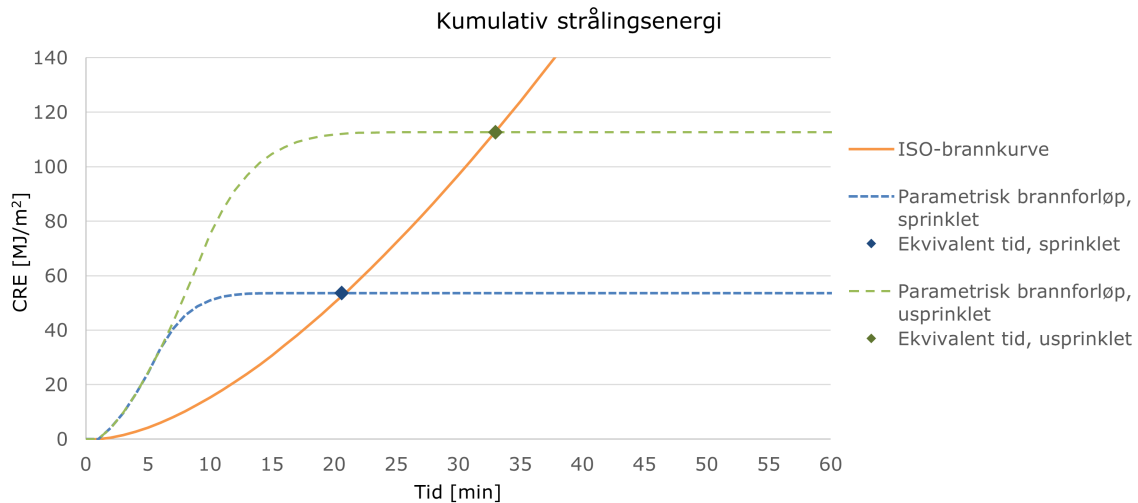
	Symbol	Verdi	Enhet
Omsluttende bygningsdeler massetetthet	ρ	960	[kg/m ³]
Omsluttende bygningsdelers spesifikke varmekapasitet	c	1000	[J/kg K]
Omsluttende bygningsdelers varmekonduktivitet	λ	0,25	[W/m K]

Figur 5.6 viser temperatur-tidkurven for et sengerom med en brannenergi på 280 MJ/m². Den høyeste temperaturen som oppnås gjennom brannforløpet er 1080 °C.



Figur 5.6: Temperatur-tidkurve for sengerom med og uten sprinkleranlegg, $q_{f,k} = 280$ MJ/m².

Temperatur-tidkurven er videre brukt til å beregne strålingsenergien gjennom brannforløpet. Den kumulative strålingsenergien med punkter som viser ekvivalent tid er fremstilt i Figur 5.7. Etter omtrent 15 og 20 minutter for henholdsvis sprinklet og usprinklet rom, stagnerer energien. Dette er fordi brannforløpet avtar. Den nødvendige brannmotstanden for at veggen skal motstå et fullstendig brannforløp i et usprinklet rom med en brannenergi på 280 MJ/m^2 er beregnet til å være 32 minutter.



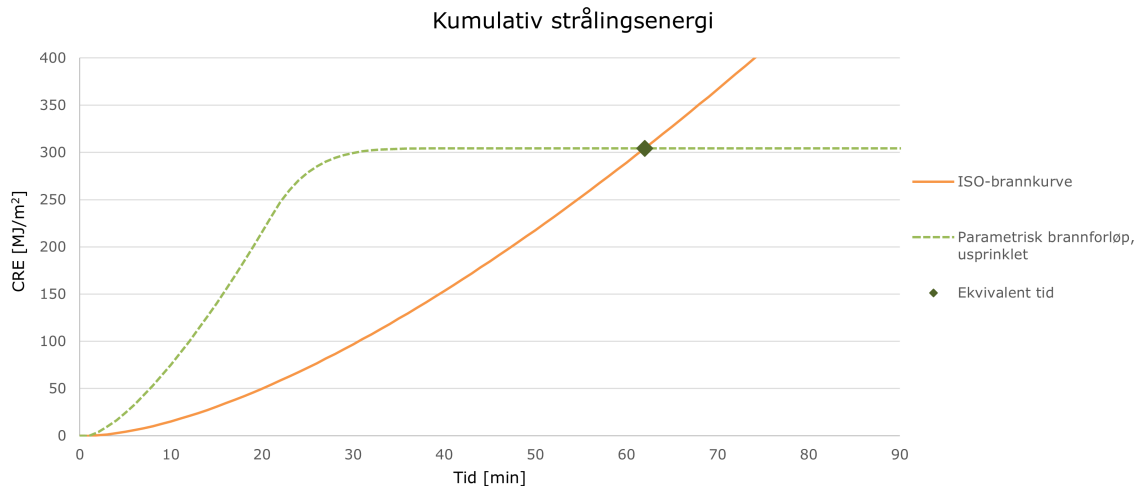
Figur 5.7: Kumulativ strålingsenergi med ekvivalent tid for brann i sengerom med og uten sprinkleranlegg, $q_{f,k} = 280 \text{ MJ/m}^2$.

Tabell 5.4 viser en sammenstilling av resultatene fra de ulike brannforløpene med varierende brannenergi. Resultatene er også vedlagt i Vedlegg C. Den høyeste nødvendige brannmotstanden er beregnet til 42 minutter. Dette gjelder for tilfellet der $q_{f,k}$ er 400 MJ/m^2 , og rommet er usprinklet. Denne mengden brannenergi er høyere enn forventet verdi, og 42 minutter kan anses som den høyeste brannmotstanden som vil være nødvendig. Disse resultatene viser også at sprinkleranlegg vil ha en reduserende effekt på nødvendig brannmotstand.

Tabell 5.4: Sammenstilling av resultater fra parametriske brannforløp, sengerom.

	Brannenergi					
	230 MJ/m^2		280 MJ/m^2		400 MJ/m^2	
	Sprinklet	Usprinklet	Sprinklet	Usprinklet	Sprinklet	Usprinklet
Ekvivalent ISO-tid [min]	17	28	20	32	29	42
Maksimal temperatur [$^{\circ}\text{C}$]	976	1052	1005	1080	1058	1134
Kumulativ strålingsenergi [MJ/m^2]	40	91	54	113	95	169

Brannmotstanden er vist å være avhengig av tilgjengelig brannenergi. For å få en ekvivalent ISO-tid på over 60 minutter er det nødvendig med en brannenergi over 600 MJ/m^2 for et usprinklet tilfelle. Dette er en brannenergi på langt over forventet verdi. Figur 5.8 illustrerer kumulative strålingsenergi med ekvivalent ISO-tid for et parametrisk brannforløp med en karakteristisk spesifikk brannenergi på 650 MJ/m^2 . For å overstige en ekvivalent tid på 90 minutter er det beregnet at det vil være nødvendig med en karakteristisk spesifikk brannenergi på 1050 MJ/m^2 .

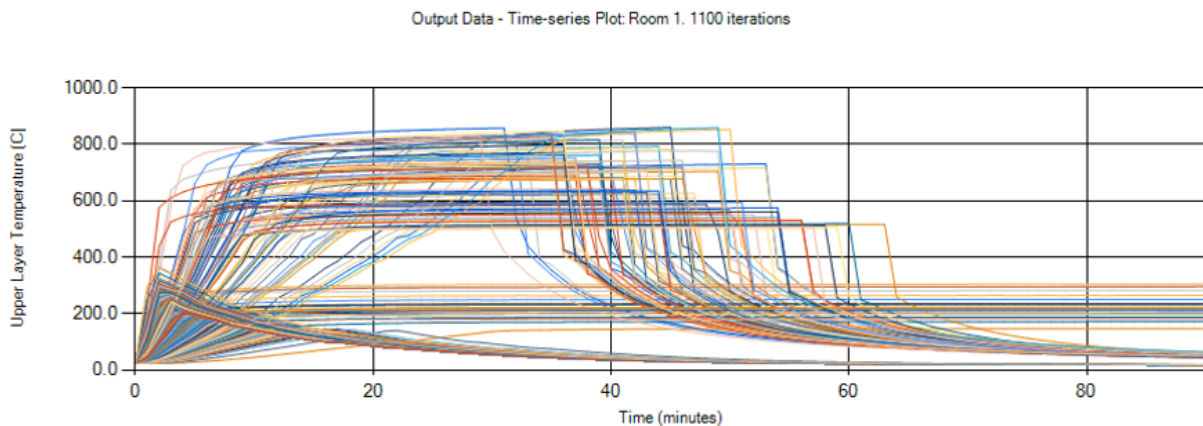


Figur 5.8: Kumulativ strålingsenergi fra parametrisk brannforløp, usprinklet og $q_{f,k} = 650 \text{ MJ/m}^2$

Resultater fra B-RISK

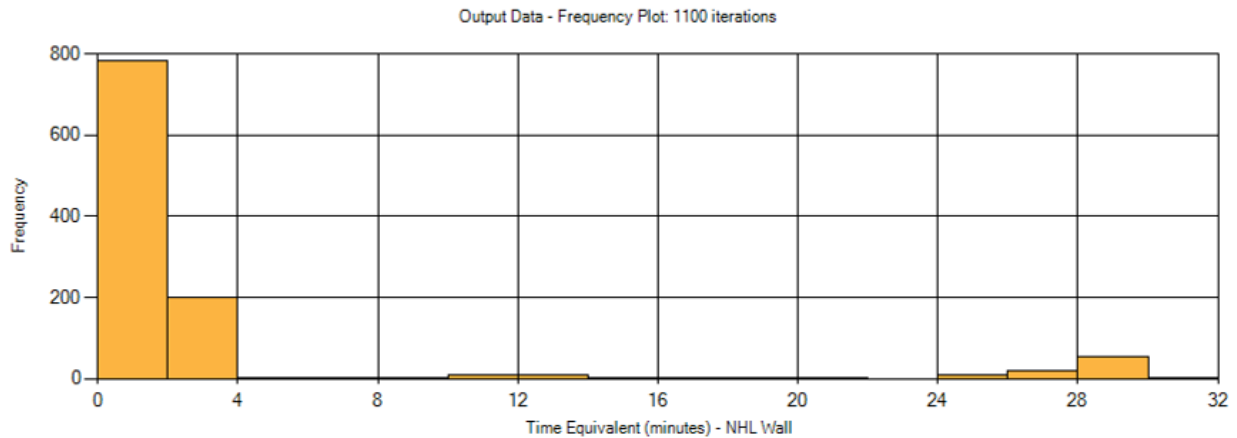
Det er også utført beregninger av ekvivalent tid i B-RISK. Dette bygger på samme prinsipp som beskrevet tidligere, som inkluderer beregning av kumulativ strålingsenergi. Som et konservativt anslag ble det valgt å bruke en brannenergi på 400 MJ/m^2 i simuleringene. Denne er ikke lagt inn som en sannsynlighetsfordeling, men en konstant verdi. Brannvekstrate, maksimal HRR og påliteligheten til sprinkleranlegg er lagt inn med samme inputverdier som vist i Tabell 5.2.

Figur 5.9 viser temperaturutviklingen gjennom brannforløpet for 1100 iterasjoner med en maksimal HRR på 2251-4750 kW. Av de brannene som blir fullt utviklet, avtar brannforløpet når mengden brennbart materiale er forbrent, normalt innen det har gått 60 minutter.



Figur 5.9: Temperatur i øvre lag med en maksimal HRR 2251-4750 kW, $q_{f,k} = 400 \text{ MJ/m}^2$.

Figur 5.10 viser et histogram som viser frekvensen av beregnet ekvivalent tid for 1100 iterasjoner med maksimal effekt på 2251-4750 kW. Figuren viser at i de aller fleste tilfeller vil den nødvendige brannmotstanden være under 4 minutter. Dette vil typisk gjelde de tilfellene der sprinkleranlegget utløses. 90-persentilen gir en ekvivalent tid på 11 minutter. Det er kun noen få tilfeller der nødvendig brannmotstand er over 30 minutter. 100 %-kvartilen gir en ekvivalent tid på 32 minutter. Dette er den høyeste nødvendige brannmotstanden som er beregnet fra simuleringene i B-RISK.



Figur 5.10: Histogram av ekvivalent tid for vegg fra B-RISK.

For simulerte branner med en lavere maksimal HRR (< 1000 kW), er det ikke beregnet en ekvivalent tid som er høyere enn 30 minutter. Det vil være 89 % sannsynlighet for at en brann vil være innenfor dette området. En seksjoneringsvegg med brannmotstand REI 120 vil derfor kunne motstå belastningen fra samtlige 10 000 simulerte branner.

5.1.7 Risikoevaluering

Sannsynligheten for at det vil oppstå brann er vurdert til å være ganske sannsynlig, med en frekvens på én gang per 1-10 år. Imidlertid er det lite sannsynlig at brannen vil utvikle seg til en alvorlig hendelse. For personsikkerheten vil den største risikoen være knyttet til røykutvikling og skader relatert til dette. Konsekvenser av dette er ikke videre vurdert.

Sannsynligheten for at en oppstått brann utvikler seg til overtenning er beregnet til 0,81 %. Gitt at det oppstår i gjennomsnitt ett branntilfelle hvert år, tilsier dette en fullt utviklet brann hvert 123. år (1/0,0081). Hvis levetiden til bygningen settes til 60 år, er sannsynligheten for at en slik brann skal oppstå i løpet av levetiden 49 %. Konsekvensene av en slik brann vil primært være fare for røykskader, samt potensiell brannspredning.

Analysen indikerer at det ikke er noen risiko knyttet til at brannmotstanden til seksjoneringsveggen er utilstrekkelig. Beregningene viser at en brannmotstand på 120 minutter vil være tilstrekkelig for å motstå samtlige simulert brannforløp. De branncellebegrensede veggene er også beregnet til å kunne motstå et fullstendig brannforløp. Det er derfor ikke funnet noen antydning til at akseptkriteriene ikke er tilfredsstillt.

Analysen tydeliggjør at sprinkleranlegg har en betydelig risikoreduserende effekt, ved at det kontrollerer og eventuelt slokker brannen. Uten sprinkleranlegg ville sannsynligheten for overtenning vært betydelig høyere.

Generelt viser risikoanalysen at sikkerhetsnivået i psykiatrien er høyt. Sannsynligheten for at det oppstår en omfattende brann med store konsekvenser er svært liten. Imidlertid har analysen avdekket en viss sannsynlighet for at branner kan oppstå. Dette er ofte små branner som starter på sengerom. Disse har dog lav risiko knyttet til materielle skader, og den største risikoen vil være knyttet til røykutvikling. Risikoevalueringen viser at tiltakene seksjoneringsvegg og sprinkleranlegg oppfyller risikoakseptkriteriene, og at sikkerheten er godt ivaretatt. Ytterligere tiltak er derfor unødvendig. Det er videre i diskusjonskapitlet av oppgaven sett på muligheten for å redusere noen av kravene.

5.2 Beregning av brannenergi

Det er utført en grov overslagberegning på spesifikk brannenergi i et sengerom ved å følge beregningsmetoden beskrevet i Kapittel 3.4. De ulike objektene i rommet er bestemt ut fra plantegninger, i tillegg til antagelser på hva som kan finnes i et sengerom på et sykehus. Gjenstandene i rommet er kategorisert etter materialer. NS-EN 1991-1-2 oppgir netto forbrenningsvarme for disse materialene. For å estimere mengden brennbart materiale for møbler og tekstiler, er oppgitte vekter på produkter fra møbelforhandlere blitt benyttet. For hvert objekt ble det identifisert flere mulige produkter, og deretter ble det gjort en overslagsvurdering.

En TV er bygd opp av et variert materiale. Det er derfor valgt å benytte en verdi på netto forbrenningsvarme fra en kanadisk studie på brannenergi utført av Bwalya et al. (2004). I denne studien oppgis det en øvre netto forbrenningsvarme på 27 MJ/kg. Informasjon om vekt er hentet fra elkjøp sine nettsider.

Beskyttelsesfaktoren for samtlige materialer er valgt satt lik én. I henhold til NS-EN 1991-1-2, Tillegg E, kan forbrenningsfaktoren for materialer som hovedsakelig består av cellulose antas å være 0,8. For andre materialer er det valgt å sette forbrenningsfaktoren lik én som et konservativt overslag. Dette tilsier fullstendig forbrenning av materialet.

Beregning av karakteristisk brannenergi for sengerommet er presentert i Tabell 5.5.

Tabell 5.5: Beregning av karakteristisk brannenergi, sengerom.

Objekt	Materiale	Netto forbrenningsvarme H_{ui} [MJ/kg]	Mengde brennbart materiale $M_{k,i}$ [kg]	Karakteristisk brannenergi $Q_{fi,k,i}$ [MJ]
Seng	Trevirke	17,5	50	875
Madrass	Polyuretan	25	15	375
Dyne/pute	Polyester	30	5	150
Klær	Cellulose	20	15	300
Stolstamme	Trevirke	17,5	3	52,5
Stolsete	Polypropylen	40	3	120
Pult	Trevirke	17,5	40	700
Klesskap	Trevirke	17,5	60	1050
TV	Variert	27	12	324
Gardiner	Cellulose	20	3	60
Teppe	Cellulose	20	5	100
			Totalt:	4107

Tabell 5.6 viser resultatene fra beregning av karakteristisk spesifikk brannenergi. For et sengerom på 18,5 m² gir overslagsberegningen en karakteristisk spesifikk brannenergi for gulvflate, $q_{f,k}$, på 221 MJ/m². I standarden er gjennomsnittsverdien oppgitt til å være 230 MJ/m². Dette er svært nærliggende verdier. Resultatene viser at verdiene i standarden kan anses å være et tilstrekkelig estimat.

Tabell 5.6: Resultater for beregning av karakteristisk spesifikk brannenergi, sengerom.

	Symbol	Verdi [MJ/m ²]
Karakteristisk brannenergi	$Q_{fi,k}$	4107
Karakteristisk spesifikk brannenergi, gulv	$q_{f,k}$	221
Karakteristisk spesifikk brannenergi, omhylling	$q_{t,k}$	46

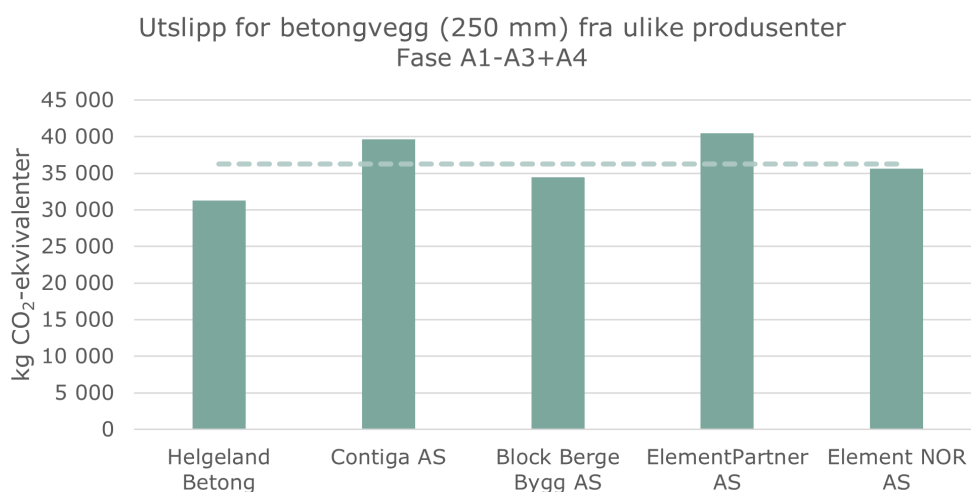
5.3 Livssyklusanalyse

5.3.1 Utslipp fra seksjoneringsvegg

Seksjoneringsveggene på VOP skal bygges som massive betongvegger med en tykkelse på 250 mm. Dette tilfredsstillir brannmotstandskravet på REI 120-M. Seksjoneringsveggene er markert i rødt, som tidligere vist i Figur 4.2. Det er gjort en beregning på hvor mye utslipp bygging av disse vil medføre. For å kunne beregne det totale utslippet fra seksjoneringsveggene, er det innhentet mengdedata fra VOP. Veggene har et totalt volum på 128 m³. Med en tykkelse på 250 mm, tilsvarer dette et areal på 511 m².

Valgt systemgrense for LCAen er A1-A4, som inkluderer produksjonsfase og transport til byggeplassen. Denne systemgrensen er satt grunnet begrenset datautvalg for resterende faser i ulike EPDer. Det er ikke tatt hensyn til lokasjon av produsent og eventuelle endringer i transportdistanse som følge av dette. Funksjonell enhet er definert som det totale utslippet for seksjoneringsveggene og som utslippet per kvadratmeter vegg.

Det er gjort et utvalg av ulike betongprodusenter for å kunne gi et gjennomsnittlig tall på utslipp for en seksjoneringsvegg. Det er tatt utgangspunkt i bruk av lavkarbonbetong. Dette er betong som bidrar til et mindre klimagassutslipp sammenlignet med ordinær betong. Utslippene er beregnet for både plasstøpte og prefabrikkerte vegger. Figur 5.11 viser det totale utslippet for seksjoneringsveggene på VOP for et utvalg av produsenter. Mer detaljerte beregninger er vedlagt i Vedlegg D. Beregningen gir et gjennomsnittlig utslipp på omtrent 36 tonn CO₂-ekvivalenter. Dette tilsvarer et utslipp på omtrent 71 kg CO₂-ekvivalenter per kvadratmeter vegg.



Figur 5.11: Utslipp for seksjoneringsvegg fra ulike produsenter.

5.3.2 Utslipp fra alternativ brannskillevegg

Det er utført beregninger på utslipp for en alternativ vegg-løsning, utført som en branncellevegg. Branncelleveggene mellom sengerommene er planlagt som lettvegger med isolert stålstenderverk og tre lag plateledning på hver side: OSB, gips og Gyproc Habito (forsterket gipsplate). Dette tilfredsstillir minimum brannmotstand EI 60. En slik oppbygning av vegg er vurdert som et alternativ til den nåværende seksjoneringsveggen.

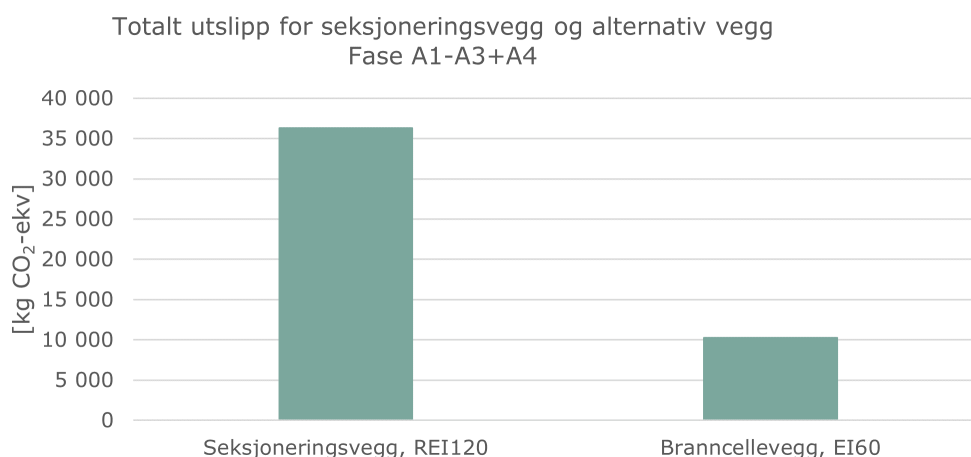
I livssyklusanalysen er det benyttet seg av EPDer fra ulike produsenter for de ulike materialene. Disse er valgt ut fra en vurdering av om produktet vil kunne være presentabel innenfor den spesifikke produktkategorien. Resultatene er derfor produktspesifikke, og tallene kan variere avhengig av valgt produsent og type produkt. Det er ikke tatt hensyn til lokasjon av produsent og eventuell endring i transportdistanse.

Trevirke tar opp karbondioksid gjennom fotosyntesen som bindes i trevirket gjennom levetiden, og slippes ut ved forbrenning eller nedbrytning av materialet. Denne karbondioksiden omtales som biogent karbon. Materialer av tre er derfor oppgitt med et negativt utslipp i produksjonsfasen (A1-A3). Det er valgt å ekskludere biogent karbon fra regnskapet, da det kun blir sett på deler av livsløpet og ikke tar hensyn til at det lagrede karbonet frigjøres ved endt levetid.

Resultatene fra LCAen for branncelleveggen gir et utslipp på 20 kg CO₂-ekvivalenter per m² vegg, og et totalt utslipp på omtrent 10 tonn CO₂-ekvivalenter. En mer utfyllende beregning kan sees i Vedlegg D.

5.3.3 Besparelse

Det totale utslippet knyttet til produksjon av materialer og transport til byggeplassen for de to alternative veggene er vist i Figur 5.12. Sammenlignet med å bygge en seksjoneringsvegg av betong på 250 mm, vil prosjektet kunne spare totalt 26 tonn CO₂-ekvivalenter ved å bygge en lettere skillevegg.



Figur 5.12: Utslipp for seksjoneringsvegg og en alternativ branncellevegg.

Som en referanse for klimagassutslipp i sykehusprosjekter er det utarbeidet en LCA for Sykehuset Østfold Kalnes (Sykehusbygg HF, 2021). Sykehuset sto ferdig i 2015 og har en BTA på 70 409 m². Beregningsperioden for LCAen er satt til 60 år og inkluderer fasene fra vugge til port, A1-C4. Referanseverdien er på 451 kg CO₂-ekvivalenter/m² BTA.

Basert på denne referanseverdien vil det totale utslippet for VOP være $451 \times 9000 = 4059$ tonn CO₂-ekvivalenter. Utslipet fra seksjoneringsveggen slik den er prosjektert vil da bidra til nesten 1 % av det totale utslippet. Alternativet, en lettere branncellevegg, vil på sin side bidra med omtrent 0,3 %. Ved å bytte ut seksjoneringsveggen med en alternativ, lettere vegg, vil det totale utslippet ha omtrent en prosentvis reduksjon på 0,6.

5.3.4 Utslipp fra sprinkleranlegg

Ved beregning av utslipp fra produksjon, installasjon og drift av sprinkleranlegg er det valgt å gjøre en grov forenkling ved å benytte referansedata. På nåværende sted i prosjekteringen er det ikke tilstrekkelig prosjekteringsgrunnlag til å kunne uthente materialer knyttet til sprinkleranlegget, og en LCA utført på egenhånd ble ansett å inneholde for høy usikkerhet.

I en rapport publisert av Liaøy et al. (2022) er det gjort en LCA for sprinkleranlegg. Rapporten tar for seg klimagassutslipp fra materialer til sprinkleranlegg for Kalnes Sykehus over en periode på 60 år. Analysen inkluderer utslipp knyttet til materialer ved installasjon og utskiftninger gjennom hele perioden. Resultatene fra denne analysen viser at et tradisjonelt sprinkleranlegg har et utslipp på 24 kg CO₂-ekvivalenter per BTA.

For VOP vil sprinkleranlegg ut ifra disse tallene bidra til et utslipp på:
24 kg CO₂-ekvivalenter per BTA × 9000 m² = 216 tonn CO₂-ekvivalenter.

Alternativer til sprinkleranlegg med lavere utslipp

Vanntåkeanlegg er et alternativt automatisk slokkeanlegg som vil kunne bidra til et lavere utslipp enn et tradisjonelt sprinkleranlegg. Et slikt system bruker ørsmå vanndråper til å kontrollere eller slokke en brann (O'Connor, 2022). De små dråpene virker kjølede og fortrenger oksygen. Slike systemer har et mindre vannforbruk og mindre rørdimensjoner sammenlignet med et standard sprinklersystem. I følge Parsons (2021) kan det bruke opptil 85 % mindre vann. Dette vil også føre til mindre vannskade ved slokning.

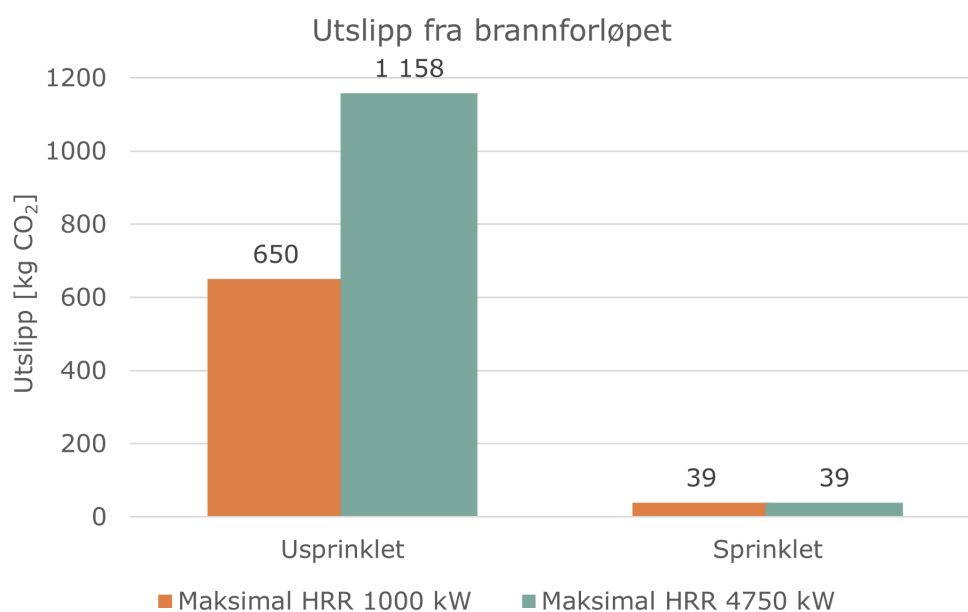
Rørdimensjonene i et vanntåkeanlegg er mindre, og krever dermed mindre materiale. Dette vil bidra til å spare utslipp. Fra beregninger utført av Liaøy et al. (2022) på referanseprosjektet Sykehuset Østfold Kalnes, ble det konstatert at vanntåkeanlegg vil gi en betydelig reduksjon av utslipp. Disse beregningene viser at vanntåke og sprinkleranlegg gir et utslipp på henholdsvis 7 og 24 kg CO₂-ekvivalenter per BTA. Dette er en differanse på 71 %. Her er det kun sett på klimapåvirkningen fra materialene, uten en helhetlig vurdering av hvilket alternativ som er mest gunstig totalt sett eller om vanntåkeanlegg er egnet for en slik sykehusbygning.

For at slike systemer skal kunne erstatte et tradisjonelt sprinkleranlegg, må det dokumenteres at det virker etter sin hensikt. Dette vil kunne innebære at det må utføres tester i representative brannscenarier. I følge Norsk Sprinklerteknikk (2023) vil vanntåkeanlegg med fordel kunne benyttes i bygg med lav brannbelastning. Det er ikke funnet spesifikk informasjon om hvorvidt dette vil være tilstrekkelig for sikkerheten i sykehus.

5.4 Utslipp fra brannforløpet

For å estimere utslipp fra brannforløpet, er det gjort enkeltsimuleringer i B-RISK som gir varmeavgivelseshastigheten gjennom brannforløpet. Beregningsmetoden følger fremgangsmåten beskrevet i Kapittel 3.5. Det er valgt å se på et «sannsynlig» brannforløp med en medium vekstrate, som er anbefalt verdi for sykehus. Det er sett på to ulike nivåer av maksimal effekt: 1000 og 4750 kW. Brannenergien er satt til 280 MJ/m², som dekker 80-persentilen. Simulerings-tiden er satt til 90 minutter, som i dette tilfellet vil være tilstrekkelig tid til at alt tilgjengelig brennbart materiale brennes opp.

Figur 5.13 illustrerer beregnet utslipp fra brannforløpet for de to simuleringene med ulik effekt. Det er viktig å presisere at dette er en svært forenklet måte å beregne utslipp fra et brannforløp på, men det gir likevel en pekepinn på mengde CO₂ og effekten sprinkleranlegg har. Vedlegg E viser beregningene av utslipp fra brannforløpet.



Figur 5.13: Utslipp fra brannforløp med to nivåer av maksimal HRR.

6 Diskusjon

Diskusjonskapitlet inneholder en drøfting av resultatene fra analysene og beregningene. Disse settes også opp mot funn fra litteraturstudien. Diskusjonen tar også opp usikkerheter knyttet til resultatene og presenterer egne refleksjoner rundt funnene. De tre forskningsspørsmålene blir diskutert hver for seg.

6.1 Forventet omfang av brann på psykiatrisk sykehus

Statistikk og erfaringer fra tidligere branner indikerer at sannsynligheten for brann i psykiatriske sykehus er høy. Resultatene fra risikovurderingen angir at det forventes omtrent ett branntilløp per år, og klassifiseres som «ganske sannsynlig» (én gang per 1-10 år), med grense mot «svært sannsynlig» (mer enn én gang per år). Dette tilsier at det kan forventes at brann oppstår relativt hyppig i psykiatrien. Anslått hyppighet er lavere ut fra statistikken hentet fra BRIS, enn det erfaringene fra Ahus indikerte. En mulig forklaring kan være at ikke alle hendelser rapporteres hos brannvesenet. Dette kan typisk gjelde mindre branner som personalet håndterer selv, og som ikke krever utrykning. Det må også påpekes at forventningen om én brann i året vil være et grovt anslag, og antall branntilfeller vil kunne variere betydelig fra år til år.

Det er forventet at det vil oppstå branntilfeller i løpet av byggets levetid, men årsakene bak vil variere. Det er likevel funnet noen fellesnevnerer rundt disse. Litteraturen trekker frem en økt risiko for forsettlig brann fra personer i psykisk ubalanse. DSBs gransking av næringsbranner viser en sammenheng mellom de brannene som har brannårsaken «påsett» og at brannstifteren var i psykisk ubalanse. Den viser at en betydelig andel av de påsatte brannene skyldtes påtennelse av en person i psykisk ubalanse. Erfaringer fra Ahus og andre tilfeller omtalt i nyhetsartikler rapporterer flere hendelser der pasienter med vilje har forsøkt å starte branner, noe som støtter opp om funnene. Dette indikerer at det kan være en ekstra fare for påsett brann i psykiatrien på grunn av pasientenes tilstand. Det er derfor viktig med gode rutiner og tiltak som hindrer pasienter fra å starte branner. I tillegg er det viktig å passe på å unngå aktiviteter som kan øke brannfaren, som for eksempel røyking. Til tross for tiltak, vil det likevel være en risiko til stede.

Erfaringer fra tidligere hendelser indikerer at branner vanligvis raskt blir slokket og at det er få branner som blir store og sprer seg utover branncellen. Statistikken fra BRIS viser at i hele 84 % av tilfellene begrenses brannen til det objektet den startet i. Dette understøttes av statistikk fra USA, der 83 % av brannene ikke spredte seg utover opprinnelsesobjektet. En lav sannsynlighet for brannspredning er også vist i resultatene fra simuleringene i B-RISK. Av de 10 000 simulerte branntilfellene, var det kun 81 branner som førte til overtenning. Dette innebærer da 0,81 %. Det vil derfor være en svært lav sannsynlighet for at det vil oppstå en brann som potensielt vil kunne innebære overtenning og fare for spredning.

Det ble valgt å gjøre totalt 10 000 iterasjoner i B-RISK for å få et representativt utvalg av resultatene. Ved å gjøre 10 000 iterasjoner ble en rekke kombinasjoner av de ulike faktorene tatt hensyn til. 1000 iterasjoner ville ikke nødvendigvis ha gitt en god nok indikasjon på risikoen, da dette hadde innebåret kun 110 iterasjoner med den øvre effektkategorien. Det er disse brannene som virkelig er av interesse, og som sier noe om den største potensielle trusselen. Simuleringene med maksimal varmeavgivelse under 1000 kW viser en ganske tydelig og jevn trend i utfall, der ingen av tilfellene vil kunne føre til fullt utviklet brann. For simuleringene med en øvre effekt mellom 2251 og 4750 kW viser resultatene derimot noe annet. Her observeres det en stor spredning i mulige utfall, der det i 81 tilfeller vil være en temperatur over 500 °C. Ved å gjøre

flere iterasjoner innenfor dette effektområdet kunne dette tallet muligens blitt mer sikkert. Det konkluderes likevel med at 1100 iterasjoner gir et godt nok bilde av risikoen.

Simuleringene i B-RISK tar ikke høyde for eventuell manuell slokkeinnsats. Dette vil være en viktig faktor i evalueringen av forventet omfang, og vil kunne bidra til at enda færre enn 81 av de simulerte brannene fører til overtenning. Fra INSTA 951 vil det være over 90 % sannsynlighet for at en person med et brannslukningsapparat vil kunne klare å slokke en brann i et område som er under 20 m². Basert på tidligere brannhendelser gis det et inntrykk av at dette stemmer. Et godt trent og rutinert personale vil raskt kunne håndtere flere av branntilløpene og begrense brannen. Dette kan hindre at en brann vil kunne vokse seg stor og utgjøre en stor fare. I tillegg vil slokkeinnsats fra brannvesenet kunne begrense fare for spredning hvis brannen først får utvikle seg. Det er likevel viktig å bemerke at de verst tenkelige brannene vil være fullt utviklet innen få minutter og før brannvesenet vil rekke fram. For å hindre spredning vil det derfor være avgjørende at døren til brannen holdes lukket. Dette vil ikke kunne neglisjere faren for spredning til andre rom, men være med på å senke den.

Selv om brannen vanligvis vil være begrenset til startobjektet og innad branncellen, vil det fortsatt være en viss risiko for videre spredning. Statistikken fra BRIS viser ett tilfelle der brannen faktisk spredte seg utover branncellen. I B-RISK ble det derfor forsøkt å simulere spredning til korridor og hvilken risiko dette ville utgjøre. Resultatene viste en liten temperaturstigning i gangen, men ingen varmeavgivelse og tegn til videre antennelse. Det ble derfor vurdert at disse resultatene ikke var valide. Årsaken til at det ikke ble observert videre antennelse er usikkert, men det kan antas at feil input i programmet kan være en mulig faktor. Dette kan også skyldes begrensninger i forfatters kunnskapsnivå når det gjelder bruken av programvaren.

Den naturlige inndelingen av et sykehus i en rekke brannceller er en viktig faktor som bidrar til å begrense brannspredning. Branncellene fungerer som barrierer, i tillegg til at det begrenser tilgangen til brennbart materiale. Utformingen av bygget gir derfor en naturlig høy brannsikkerhet uten å innføre ekstra skillevegger eller tekniske tiltak. Imidlertid vurderes manuell slokkeinnsats fra personalet som den viktigste faktoren for å begrense brannens omfang.

Begrenset mengde brannenergi er også sett på som en faktor til at brann på sykehus som regel er i et begrenset omfang. Sammenlignet med bygningstyper som bolig, vil rom i sykehus ha en mye lavere brannenergi, med et gjennomsnitt på henholdsvis 780 og 230 MJ/m². I et sykehusrom vil det være begrenset med tilgjengelig brennbart materiale, da det først og fremst innebærer en seng, pult, stol og et klesskap. Fra overslagsberegningen av brannenergi ble det beregnet en brannenergi på 221 MJ/m². Dette ble gjort med hensikt om å sikre at tallene i standardene virket rimelige. Resultatene fra overslagsberegningen indikerte at verdien fra standarden var i rett område, og ble derfor vurdert til å være god nok.

Fra gjennomgangen av litteraturen og statistikken fra sykehusbranner i Norge er det ikke registrert tilfeller der en brann har fått fatale konsekvenser i nyere tid. Det mest nærliggende er branner i omsorgsboliger. Slike bygg vil ofte inneha en annen risiko, da pasienter for eksempel kan ha tilgang til eget kjøkken. I andre land er det funnet store sykehusbranner med fatale konsekvenser, for eksempel fra Russland og Kina. Dette ble dog ikke vurdert til å være relevant for sykehusbygg i Norge, på grunn av blant annet ulik byggeskikk og tekniske krav. Risikoen for at det vil kunne oppstå store branner som vil innebære spredning til store deler av bygningen er derfor vurdert til å være svært liten.

Til tross for at det er sannsynlig at brannen er svært begrenset i omfang, vil det være en fare knyttet til røykspredning. Dette vises til i statistikken fra BRIS, der det i omtrent 40 % av tilfellene er registrert røykspredning utover branncellen. Dette anses som den største trusselen med tanke på personsikkerhet, men vil ha liten innvirkning på bygningsmessige forhold.

Det forventede omfanget av en brann vil kunne gi en indikasjon på hvilken størrelsesorden på en brann det skal dimensjoneres for. Ved prosjektering av branntekniske løsninger kan en spørre seg hvilket brannforløp som skal være dimensjonerende. Skal det prosjekteres for de store og verst tenkelige brannene som det er lite sannsynlig at vil oppstå, eller skal det prosjekteres for de mest sannsynlige tilfellene? Er det nødvendig å prosjektere for en fullt utviklet brann hvis det strengt tatt ikke forventes at det skal oppstå? Det vil ha en liten risikoreduserende effekt å dimensjonere for en fullt utviklet brann hvis det ikke er noen risiko for det i utgangspunktet. Imidlertid viser resultatene fra B-RISK at det vil være en risiko til stede. Psykiatri har en samfunnskritisk funksjon, og det er derfor viktig å legge seg på et sikkerhetsnivå som sikrer at potensiell skade fra en brann holdes til et minimum. Til tross for at en fullt utviklet brann er lite sannsynlig, bør sikkerhetsnivået legges relativt høyt. Hvilken brann som er valgt som dimensjoneringsgrunnlag vil kunne være med på å sette krav til blant annet de branntekniske konstruksjonene. En vurdering av hvilken brann det skal dimensjoneres for, blir diskutert i påfølgende kapittel.

6.2 Evaluering av risikoreduserende effekt av tiltakene versus effekt på klimagassutslipp

I risikovurderingen er det gjort en vurdering av hvilken effekt seksjoneringsvegg og sprinkleranlegg har for sikkerheten på VOP. I litteraturstudien er det undersøkt virkningen av tiltakene. Det kan være krevende å fastsette den risikoreduserende effekten, men det er gjort et forsøk på å gjøre en kvantitativ vurdering. I risikoevalueringen blir sprinkleranlegg vurdert til å ha en stor risikoreduserende effekt. Seksjoneringsveggen, slik den er planlagt, kan ikke anses å ha samme effekt. De ulike tiltakene blir videre diskutert hver for seg, og til slutt sett i sammenheng med bærekraftsaspektet.

I risikovurderingen er det ikke gjort analyser på når kritiske forhold for personsikkerheten inntrer eller rømningstid. Dette vil være en svakhet, da ikke hele sikkerhetsaspektet er analysert. Vurderingen rundt dette vil derfor være basert på tilgjengelig litteratur og antagelser om hva som kan anses som sannsynlig.

6.2.1 Seksjoneringsvegg

Den risikoreduserende effekten til en seksjoneringsvegg er blant annet sett i sammenheng med kravet til brannmotstand og beregnet ekvivalent tid. De preaksepterte ytelsene angir at seksjoneringsveggen minst må ha brannmotstand REI 120-M A2-s1,d0. Dette skal sikre brannspredning med påregnelig slokkeinnsats. Ut ifra beregningene er dette en brannmotstand langt over den påkjenning som veggen forventes å bli utsatt for.

Monte Carlo-simuleringene i B-RISK viser en frekvensfordeling av nødvendig brannmotstand. Resultatene viser at ingen av de simulerte brannene gir en ekvivalent tid på mer enn 32 minutter. 99-persentilen angir en tid på mindre enn 30 minutter. Ut ifra beregningen vil det derfor ikke være nødvendig med en brannmotstand som er høyere enn 60 minutter. Tilnærmingen med parametrisk brannforløp støtter opp under dette. Beregningene fra parametrisk brannforløp ser på et fullstendig forløp, og resultatene vil derfor være gjeldende for de brannene som blir fullt utviklet. Den høyeste ekvivalente tiden som er beregnet er 42 minutter, og gjelder for tilfellet der rommet er usprinklet og med en brannenergi på 400 MJ/m². Resultatene fra B-RISK og parametrisk brannforløp kan sies å være i samme område, noe som vil styrke påliteligheten til vurderingen av nødvendig brannmotstand.

Beregningene viser at brannforløp med mer energi vil gi lenger varighet, samt en høyere strålingsenergi, og dermed en høyere ekvivalent tid. For å komme opp på et nivå som vil kreve en brannmotstand over 60 minutter, er det nødvendig med en brannenergi på over 600 MJ/m² ut fra et parametrisk brannforløp. Et slikt tilfelle antas å være lite sannsynlig.

Resultatene fra parametrisk brannforløp og B-RISK viser at veggen vil kunne motstå et fullstendig brannforløp. Den vil derfor kunne anses å ha en risikoreduserende effekt, siden den vil hindre spredning. Det er imidlertid ikke sannsynlig at den får utnyttet sitt fulle potensiale.

Sikker rømning

En seksjoneringsvegg skal i tillegg til å begrense brannspredning, sikre sikker rømning. På sykehus stiller TEK17 krav til seksjonering uavhengig av størrelse på etasjen. Filosofien bak dette er å kunne sikre horisontal rømning av pasienter som krever assistert rømning, der vertikal forflytning vil kunne innebære helsefare. I teorien kan en brann være fullt utviklet på en side av seksjoneringsveggen, mens pasientene er flyttet til en trygg plass på andre siden. Hensikten

vurderes som god, men det settes spørsmål til hvor stor risikoreduserende effekt dette har, og om det faktisk er nødvendig for å sikre personsikkerheten. Som regel vil evakuering bort fra arnestedet være tilstrekkelig for å komme i sikkerhet. Dette vil stort sett innebære evakuering av pasient ut av sengerom og forbi første røykskiller. Påstanden om at dette vil være tilstrekkelig underbygges av statistikken. Det er få tilfeller der det vil være nødvendig å evakuere en avdeling forbi en seksjoneringsvegg.

Røykskader anses som den største trusselen for personsikkerheten. I tilfeller der røykspredning utgjør en betydelig risiko, vil en seksjoneringsvegg ha en lignende effekt som en vanlig røykskiller. Dette skyldes at veggen normalt ikke utsettes for stor nok varmepåkjønning til at brannmotstanden utfordres. Det stilles ikke krav til at veggen skal være røyktett for å oppfylle kravet til brannmotstand. Likevel vil den sannsynligvis være røyktett til en viss grad, og fungere som en barriere for røykspredning. For dører i seksjoneringsveggen stilles det derimot krav til røyktetthet, men dette forutsetter at det er riktig utført og at døren lukkes. Sannsynligheten for at en selvluukkende dør fungerer som planlagt er satt til 80 % i INSTA 951. Det vil derfor være en større sannsynlighet for røykspredning, enn at brannmotstanden utfordres.

Det kan videre tenkes at evakuering ut av bygningen vil skje grunnet røykspredning, og ikke på grunn av veggens evne til å begrense selve brannen. Selv om seksjoneringsveggen teoretisk sett kan motstå et fullstendig brannforløp, vil evakuering av bygningen sannsynligvis bli utført uavhengig av veggens brannmotstand. Med andre ord kan seksjoneringsveggen sies å ha begrenset eller ingen direkte innvirkning på å oppfylle kravene for sikker rømning.

Hindring av økonomiske og materielle tap

Oppdeling i brannseksjoner skal ifølge TEK17 bidra til å hindre urimelig store økonomiske eller materielle tap. Litteraturstudien viser at brann i psykiatri stort sett begrenses til det rommet brannen starter i, og generelt gir relativt lite skadeomfang. Det er ingenting som tyder på at det er seksjoneringsveggen som har bidratt til å begrense dette. Derimot trekkes lite brannenergi og god håndtering av ansatte fram som avgjørende faktorer.

Påvirkning på klimagassutslipp

Siden seksjoneringsvegg er vurdert til å ikke gi noen reduksjon av brannens omfang, samt potensielt skadeomfang, vil den heller ikke bidra til å redusere klimagassutslipp knyttet til brannen. Det er derfor ikke gjort noen beregninger og videre vurdering av dette.

6.2.2 Sprinkler

Sprinkleranlegg påvirker både personsikkerheten, brannomfang og materielle skader på bygningen. Sammenlignet med seksjoneringsvegg, kan det påstås at sprinkleranlegg gir en høyere risikoreduserende effekt. Dette støttes av både litteraturen, statistikken og beregningene.

Statistikken fra BRIS for næringsgruppen «psykisk helsevern i institusjon» viser til at sprinkleranlegget har lite å si for brannspredning. I kun 2 % av tilfellene er det registrert at automatisk slokkeanlegg bidro til å hindre brannspredningen. Det er også kun i 11 % av brannene registrert at sprinkleranlegget ble utløst. Det kan være en rekke faktorer som spiller inn på at slokkeanlegget ikke har vært den begrensede faktoren. En mulighet kan være at brannen ble begrenset av innsats av personer på stedet, til tross for at slokkeanlegget ble utløst. Det kan også skyldes at brannen i de fleste tilfeller ikke er stor nok til å utløse slokkeanlegget, og at det dermed ikke vil begrense brannen. Dessuten er det et svært begrenset datautvalg, noe som gir et begrenset beslutningsgrunnlag for å vurdere effekten.

Derimot gir statistikken fra USA et bredere datagrunnlag. For bygg innen helsetjenester begrenses brannen til arnestedsrommet i sprinklede og usprinklede bygg i henholdsvis 98 % og 92 % av tilfellene. Det er en forskjell, men muligens mindre enn forventet. Dette kan dog skyldes at brannen i utgangspunktet ikke blir stor nok til å spres til andre rom. Den største forskjellen mellom sprinklede og usprinklede bygg er, ifølge den samme rapporten, kostnader knyttet til gjenoppbygging. Rapporten viser en reduksjon på 71 % i kostnader for sprinklede versus ikke sprinklede bygg. Dette er en markant reduksjon, og det kan derfor forventes at sprinkleranlegget vil ha en god risikoreduserende effekt for materielle skader. Til tross for at denne studien bygger på et bredt datagrunnlag, burde disse tallene vært støttet opp av ytterligere kilder for å sikre et grundigere fundament for videre konklusjoner.

Beregningene viser til at sprinkleranlegg vil ha en reduserende effekt på ekvivalent tid, noe som er forventet ut ifra at det begrenser varmeutviklingen. Fra beregningene gir simuleringene i B-RISK en større effekt enn for parametrisk brannforløp. Dette henger sammen med at i B-RISK er sannsynligheten for sløkking av brannen satt til 88 %. I parametrisk brannforløp gir sprinkler kun en reduksjon av tilgjengelig brannenergi (40 % reduksjon). Brannforløpet vil nå en temperatur på langt over det som kreves for at sprinkleranlegget skal utløses, uten at brannen kontrolleres eller sløkkes. For tilfeller der det er sprinkleranlegg installert, vil derfor simuleringer i B-RISK gi et mer realistisk bilde av virkeligheten.

Når det gjelder personsikkerheten, kan sprinkleranlegg ha begrenset effekt på personer som befinner seg i startbranncellen. Dette skyldes at ved rask brannvekst kan brannen allerede ha utviklet seg til et truende stadium før sprinkleranlegget utløses. Derimot vil det ha en god effekt på personer som oppholder seg i andre rom i bygningen. Ved å begrense brannens utbredelse og forsinke brannutviklingen kan sprinkleranlegg bidra til å øke tilgjengelig rømningstid. For å kunne kvantifisere denne effekten av sprinkler, burde det vært utført for eksempel rømningsanalyser og beregninger på når kritiske forhold for personsikkerheten inntreffer.

Påvirkning på klimagassutslipp

I tillegg til reduksjon av risikoen, har sprinkleranlegg en reduserende effekt på klimagassutslipp. Grunnet at sprinkler kontrollerer/slokker brannen, vil utslipp fra brannforløpet minimeres sammenlignet med et usprinklet tilfelle. Dette ble vist ved beregning av CO₂-utslipp fra brannforløpet, simulert i B-RISK. Denne reduserende effekten er avhengig av maksimal varmeavgivelse, da mengde utslipp fra brannen er knyttet til dette. For et «sannsynlig» brannforløp, med maksimal effekt på 1000 kW, vil sprinkling av bygget bidra til en reduksjon på omtrent 610 kg CO₂. Usprinklet og sprinklet ga henholdsvis et utslipp på 650 kg CO₂ og 39 kg CO₂. I disse beregningene er det kun varmeavgivelse og sprinkler som tas hensyn til, og i realiteten ville det vært en rekke andre faktorer som kunne påvirket dette tallet. For eksempel ville brannen i et usprinklet bygg kunne blitt sløkket, slik at utslippet hadde blitt redusert. I et verst tenkelig tilfelle, der brannen får utvikle seg fritt innenfor branncellen, vil sprinkler bidra til en betydelig reduksjon i utslipp fra brannforløpet.

Sprinkleranlegg blir vurdert som en bærekraftig løsning, til tross for de utslippene som er knyttet til materialer ved installasjon og utskiftninger. For eksempelet med brann i sengerom, vil materialene for sprinkleranlegget bidra til et utslipp på 24 kg CO₂-ekvivalenter/BTA × 18,5 m² = 444 kg CO₂-ekvivalenter. En grov beregning av utslippene fra materialer og brannforløpet i et sprinklet sengerom blir derfor: 444 kg CO₂-ekvivalenter fra materialer + 39 kg CO₂ fra brannen, som tilsvarer 483 kg CO₂. For et usprinklet bygg er utslipp fra brannen beregnet til å være 650 kg CO₂. Her vil det ikke være ekstra utslipp knyttet til materialer. I sum vil altså et sprinklet bygg bidra til et mindre klimagassutslipp.

En reduksjon av størrelse på brannen vil bidra til en reduksjon av skader på bygningen. Dette vil igjen kunne bidra til mindre utslipp knyttet til gjenoppbygging. Som fremkommet av litteraturstudien, vil den største utslippsposten ved en brann være fra riving og gjenoppbygging. Det er ikke gjort beregninger på hvor stort dette utslippet potensielt ville vært, men det antas at et totalskadet sengerom vil føre til en betydelig mengde utslipp. Utløsning av sprinkleranlegg vil også kunne føre til store vannskader, og utbedring av dette vil også innebære utslipp knyttet til materialer. Likevel er det vist til at sprinkler gir en reduksjon av kostnader knyttet til gjenoppbygging, og det kan derfor tenkes at brannskadene vil være større enn vannskadene. Samlet sett er derfor sprinkleranlegg ansett å ha en god effekt, både med tanke på brannsikkerhet og bærekraft.

6.3 Alternative og mer bærekraftige tiltak

For at bærekraft skal inkluderes i brannprosjekteringen er endringer nødvendig. Å gjøre endringer er vanskelig. Flere av tiltakene er såpass godt innarbeidet at det kan virke urimelig å fjerne de. Gjennom årene har flere tiltak blitt innført, uten at det nødvendigvis er gjort en reduksjon av andre tiltak. For at brannprosjekteringen skal kunne gå i en mer bærekraftig retning må man derimot være villig til å utføre endringer. Det kan være nødvendig å erkjenne at noen tiltak har større hensikt enn andre, og at disse bør prioriteres. Sett i et bærekraftperspektiv bør de tiltakene som både har en stor risikoreduserende effekt, samtidig som de bidrar til et minimalt bidrag til utslipp prioriteres.

De tiltakene som bør prioriteres, er de som vil bidra til å hindre små branner som oppstår ofte, samt de som hindrer større branner som oppstår mer sjeldent. Hvis innføring av tiltakene bidrar til dette, anses det å både ha en positiv effekt på brannsikkerheten og klimagassutslipp. Store branner som oppstår ofte er ikke observert i statistikken, og er derfor ikke et scenario det tas høyde for. Tiltak som vurderes til å ha en god risikoreduserende effekt samtidig som utslippet holdes på et akseptabelt nivå anses å være det optimale. Dette vil altså være tiltak der fordelene av å innføre det, vil være større enn ulempen. Det er ønsket å kunne innføre best mulig brannsikkerhet per ressurs. Hvis tiltak vil bidra til et høyt utslipp uten at det har noen effekt på sikkerheten, bør det vurderes om tiltakene kan reduseres. Dette vil i realiteten være en kost-nyttevurdering av sikkerheten versus klima.

Ved vurdering av hvilke tiltak som bør prioriteres, er det observert to ulike problemstillinger. For tiltak som gir samme sikkerhetsnivå, bør det tiltaket som bidrar til minst klimagassutslipp velges. Dette kan for eksempel gjelde ved ulike oppbygninger av en vegg som gir lik brannmotstand, men ulikt utslippstall. Alternativer der sikkerhetsnivået ikke vil være det samme vil kreve en annen tilnærming, og det må gjøres en mer grundig analyse.

Når alternative tiltak vurderes, er det valgt å se litt bort fra de preaksepterte ytelsene, og i stedet se på et mer helhetlig sikkerhetsnivå. Det vil være fullt mulig å oppfylle de tekniske kravene uten å følge de preaksepterte ytelsene, men dette vil kunne være mer tidskrevende og kostbart. Den enkleste veien vil derfor være å følge det som er preakseptert. For å gå i en mer bærekraftig retning bør man derimot være villig til å gjøre ekstra analyser og vurderinger på om alternative løsninger vil gi tilstrekkelig sikkerhet.

6.3.1 Alternativ til seksjoneringsvegg

Seksjoneringsveggen, med en preakseptert brannmotstand på REI 120-M, viser seg å ha en begrenset effekt. Å fjerne denne oppfattes som urimelig, ettersom den vil gi økt sikkerhet med tanke på røykspredning, samt mulighet for gradvis evakuering til tryggere områder. Som et alternativ er det sett på å bytte ut seksjoneringsveggen med samme oppbygning som de andre branncelleveggene i bygget, med brannmotstand EI 60.

En brannmotstand på 60 minutter er beregnet til å være tilstrekkelig i samtlige av de simulerte brannene. 99-persentilen angir en ekvivalent tid på mindre enn 30 minutter. Til tross for at det er lav sannsynlighet for at en brann kan bli fullt utviklet, er det en risiko til stede. Å ha en brannmotstand på mindre enn 60 minutter vurderes å ikke være gjennomførbart. Dette kan begrunnes med at en total fjerning vil øke den reelle risikoen, samt at det er beregnet tilfeller der en brannmotstand på 30 minutter ikke vil være tilstrekkelig. Det er et ønske å holde sikkerhetsnivået på tilsvarende nivå som dagens.

I tillegg til bæreevne (R), integritet (E) og isolasjonsevne (I), stiller TEK krav til mekanisk motstandsevne (M) for seksjoneringsvegger. Ved å erstatte veggen med lettere materialer, vil den ikke kunne tilfredsstille kravene til verken M eller R. Men igjen, hvis det i utgangspunktet ikke er forventet at tilliggende konstruksjoner potensielt vil kunne falle sammen, har en mekanisk motstandsevne og bæreevne liten hensikt.

Livssyklusanalysen viser tydelige resultater. En vegg bygget i massiv betong vil bidra til omtrent 3,5 ganger så høyt utslipp som en vegg med stålstenderverk. Ved å bytte ut seksjoneringsveggene med lettere branncellevegger, vil det kunne spare prosjektet VOP for totalt 26 tonn CO₂-ekvivalenter. Med 26 tonn CO₂-ekvivalenter kunne man bygget 58 m² nytt sykehus (gitt av referanseverdien fra Kalnes). Sammenlignet med det totale utslippet for bygningen, er denne besparelsen estimert til å være rundt 0,6 % av det totale utslippet. Selve seksjoneringsveggen er en liten del av bygningen. Likevel vil den kunne ha en påvirkning på det totale utslippet. Denne endringen er muligens ikke så stor, men hvis man kan spare litt her og der vil det bli en betydelig sum til slutt.

For VOP er det planlagt bruk av lavkarbonbetong. For referansebygget er det brukt vanlig betong. På VOP skal det benyttes betong iblant annet etasjeskillere og sjakter, så dette alene vil bidra til en reduksjon av det totale utslippet sammenlignet med Sykehuset Kalnes. Derfor kan en reduksjon på 26 tonn CO₂-ekvivalenter representere en større prosentandel enn 0,6 for VOP.

Det knyttes en viss usikkerhet til livssyklusanalysen. Dette relateres blant annet til valg av produkter. Ved beregning av utslipp fra seksjoneringsveggen er det inkludert flere produsenter, og et gjennomsnittstall fra disse er brukt. For analysen av branncellevegg kunne det også vært inkludert flere produkter for å få et mer representativt tall for ulike produsenter. Dessverre er det en begrensning av tilgjengelige EPDer som er publisert, og dermed utfordrende å finne EPDer for tilsvarende produkter fra ulike produsenter. En annen kilde til usikkerhet i LCAen omhandler mengdeberegningen. For beregning av armering er det benyttet seg av mengder hentet fra Norsk Prisbok, uten spesifikke beregninger for de aktuelle veggene. Den reelle armeringsmengden kan derfor være større eller mindre enn den som er brukt i beregningen. På det stadiet prosjektet var ved utførelsen av LCAen ble dette ansett å være tilstrekkelig og mest gjennomførbart. For de veggene som er prefabrikkert er armeringen inkludert i utslippstallene, og egen beregning på dette var ikke nødvendig. For branncelleveggen er det ikke tatt hensyn til eventuelle festemidler til stålstenderverket.

Ved å erstatte veggen med en EI 60-vegg, viser beregningene at hensikten med seksjoneringsveggen fortsatt vil ivaretas. Dette vil betraktes som et godt alternativ som både vil ivareta brannsikkerheten og redusere utslipp.

6.3.2 Alternativ til sprinkleranlegg

Selv om sprinkleranlegg betraktes som et positivt tiltak med tanke på bærekraft, er det viktig å vurdere mulige alternative løsninger som kan være enda mer bærekraftige. Sprinkleranlegg medfører utslipp knyttet til materialbruk og mulige vannskader, noe som gir rom for forbedringer.

Vanntåkeanlegg er trukket fram som et alternativ til sprinkleranlegg. Med tanke på bærekraft vil dette komme bedre ut, da det innebærer mindre utslipp til materialer grunnet mindre rørdimensjoner. I tillegg vil det kunne gi mindre skader på bygningen, grunnet lavere vannmengde.

Dette er likevel ikke et slokkesystem som er godt etablert. I VTEK blir kravet om automatisk slokkeanlegg oppfylt ved å installere sprinkleranlegg i samsvar med sprinklerstandarden. For alternative slokkeanlegg må det derimot dokumenteres at disse har en tilsvarende funksjon og pålitelighet som sprinkleranlegg. Dette kan gjøre det vanskeligere for alternative løsninger å bli valgt til fordel for sprinkler, da det krever en mer omfattende vurdering. Vanntåkeanlegg blir trukket fram som en god løsning i bygninger med lav brannenergi. Dette vil være gjeldende for sengerom i sykehus, og det kan derfor tenkes at en slik løsning ville vært tilstrekkelig med tanke på sikkerheten. For at det skal bli lettere å velge de mest miljøvennlige løsningene bør slike løsninger trekkes fram, med forutsetning om at det gir tilsvarende sikkerhet.

Andre tiltak

Med bakgrunn i at det ikke er registrert større og svært alvorlige branner innenfor psykiatrien, men derimot en rekke mindre, trekkes organisatoriske tiltak fram som viktig. Dette vil både innebære forebyggende tiltak og rask respondering i tilfelle brannhendelser oppstår. Organisatoriske tiltak kan betraktes som svært bærekraftige, da de reduserer sannsynligheten for brann og dermed også utslipp forbundet med dette. Implementering av organisatoriske tiltak vil heller ikke innebære en utslippspost, og derfor være svært bærekraftig. Forebyggende tiltak kan omfatte å sikre at pasienter ikke har tilgang til gjenstander som kan skape brann. Andre tiltak vil kunne være tilstrekkelig bemanning og gode rutiner for håndtering av brannhendelser. Ved å ha tilstrekkelig personell tilgjengelig, kan man sikre at brannen oppdages tidlig og at nødvendige tiltak iverksettes umiddelbart. Dette vil kunne holde omfanget fra brannen til et minimum. Personalet må være godt opplært i rutiner for brannhåndtering. Regelmessige øvelser vil kunne bidra til å styrke kompetansen til personalet. Generelt vil forebygging og andre organisatoriske tiltak være viktig, både med tanke på sikkerheten og klimaet.

7 Konklusjon

Konklusjonskapitlet gir en kort oppsummering og konklusjon av de viktigste funnene i studien, samt en konklusjon av de tre forskningsspørsmålene. Dette skal kunne svare på problemstillingen som omhandler hvordan brannteknisk prosjektering kan bidra til mer bærekraftige løsninger på sykehus. I tillegg gis det forslag til videre arbeid.

Generelt kan brannteknisk prosjektering bidra til økt bærekraft ved å se på alternative løsninger som samlet sett reduserer klimagassutslipp. Ved å dokumentere at alternative løsninger vil gi tilsvarende sikkerhet som de preaksepterte, vil man kunne ta i bruk nye alternativer uten at det går på bekostning av sikkerheten. På denne måten kan en helhetlig tilnærming til brannteknisk prosjektering bidra til både god brannsikkerhet og bærekraft.

7.1 Forventet omfang av brann på psykiatrisk sykehus

Basert på statistikk og erfaringer fra tidligere branner vurderes sannsynligheten for brann i psykiatriske sykehus til å være relativt høy. For VOP forventes det omtrent ett branntilløp per år, noe som klassifiseres som ganske sannsynlig. Vanligvis blir brannene raskt slokket og begrenset til branncellen den oppstår. Det er ikke forventet at det vil oppstå større branner der store deler av bygningen går tapt.

Branner på sykehus forventes generelt sett å ha et begrenset omfang på grunn av lav brannenergi, effektive organisatoriske tiltak og omfattende brannsikringstiltak. Monte Carlo-simuleringene i B-RISK gir en indikasjon på sannsynligheten for overtenning og fullt utviklet brann. Resultatene viser at 81 av 10 000 branner potensielt vil føre til overtenning. Basert på disse simuleringene er det forventet at en slik brann vil oppstå i gjennomsnitt én gang hvert 123. år, som klassifiseres som «lite sannsynlig». En fullt utviklet brann med overtenning er det verst tenkelige scenarioet, og det er viktig å merke seg at manuell slokking ikke er sett på som en faktor i simuleringene og vil kunne redusere sannsynligheten.

7.2 Risikoreduserende effekt av tiltakene versus effekt på klimagassutslipp

Seksjoneringsvegg viser seg å ha en begrenset risikoreduserende effekt. Beregningene viser at den maksimale ISO-tiden en slik vegg må kunne motstå er 42 minutter. De aller fleste simulerte brannene gir en ekvivalent tid på under 30 minutter. Dette betyr at en brannmotstand på 120 minutter gir en svært høy sikkerhetsmargin. Den vil ikke ha en effekt på brannspredning, da det ikke forventes en brann der det er nødvendig. Veggen bidrar til økt personsikkerhet ved å sikre evakuering til et trygt område. En seksjoneringsvegg i seg selv har ingen innvirkning på klimagassutslippene som oppstår under en brann. Dermed vil den heller ikke bidra til en reduksjon av klimagassutslipp i tilfelle brann.

Sprinkleranlegg kan konkluderes med å ha en stor risikoreduserende effekt. I de fleste tilfeller vil sprinkleranlegget kontrollere brannen og begrense dens omfang. Det er kun i sjeldne tilfeller, der sprinkleranlegget ikke fungerer optimalt, at de simulerte brannene fører til overtenning. Beregninger av ekvivalent-tid viser tydelig at sprinkleranlegg gir en markant reduksjon av nødvendig brannmotstand. I tillegg til å forbedre brannsikkerheten, har sprinkleranlegg også en positiv effekt på klimagassutslippene knyttet til brann. Ved å raskt kontrollere brannen, begrenser sprinkleranlegget omfanget og hindrer utslipp av store mengder klimagasser.

7.3 Alternative og mer bærekraftige tiltak

Seksjoneringsvegger foreslås å erstattes med branncellevegger som har en lavere brannmotstand (EI 60). Dette alternativet vil oppnå et tilsvarende sikkerhetsnivå, samtidig som det vil bidra til å redusere utslipp. Branncellevegger vil opprettholde begrensning av røykspredning og tilrettelegge for gradvis evakuering til tryggere områder. Livssyklusanalysen viser at en seksjoneringsvegg utført i lavkarbonbetong vil bidra til omtrent 3,5 ganger så mye utslipp som en branncellevegg med stålstenderverk og platekledning. Ved å erstatte seksjoneringsveggen med en branncellevegg, kan prosjektet oppnå en reduksjon av utslipp på minst 0,6 %.

Sprinkleranlegg betraktes som et bærekraftig tiltak. Til tross for at installasjon og utskiftninger gjennom levetiden vil medføre utslipp, viser analysen at sprinklede bygg totalt sett vil gi et lavere klimagassutslipp ved brann sammenlignet med usprinklede. Sprinkleranlegg kan bidra til å begrense skadeomfanget, noe som ytterligere styrker påstanden om dens positive innvirkning på klimaet. Installasjon av alternative automatiske sløkkeanlegg, som for eksempel vanntåkeanlegg, kan bidra til mindre utslipp. Før dette foreslås som et godt alternativ, må det først dokumenteres at sikkerheten ivaretas.

I tillegg til de bygningstekniske tiltakene, understrekes betydningen av organisatoriske tiltak. Både forebyggende tiltak og rask respons ved brannhendelser vil ha en avgjørende rolle for risikoen. Ved å ha gode organisatoriske tiltak vil man redusere sannsynligheten for brannhendelser, og samtidig redusere utslipp knyttet til branner.

Ved å se litt bort fra de preaksepterte løsningene, og åpne opp for alternative løsninger, vil brannteknisk prosjektering kunne gå i en mer bærekraftig retning. For å oppnå en bedre balanse mellom brannsikkerhet og bærekraft, bør miljømessige aspekt også inkluderes i designprosessen. Ved å gjøre dette, kan brannteknisk prosjektering bidra til å skape bygninger som ikke bare er trygge, men også reduserer belastningen på miljøet og er mer bærekraftige.

7.4 Videre arbeid

Gjennom arbeidet med denne masteroppgaven er det avdekket områder som kan utforskes videre for å øke kunnskapen om brannprosjektering og bærekraft. Forslag til videre arbeid er presentert nedenfor.

Denne oppgaven vil kun være et første skritt mot en anbefaling til endringer i brannprosjekteringen som kan føre til økt bærekraft. Dataen fra denne oppgaven vil kun gjelde for det spesifikke casebygget, og det er ikke data som kan generaliseres. En videreføring av oppgaven kan omfatte beregning av nødvendig brannmotstand for andre type bygninger. Dette kan innebære lignende bygg, slik som sykehjem, men også for andre type bygg, som skolebygg eller kontorbygg. Oppgaven har fokusert på de to spesifikke tiltakene seksjoneringsvegg og sprinkleranlegg. Videre arbeid kan se nærmere på andre tiltak, og deres påvirkning på sikkerhet og bærekraft.

I denne oppgaven har beregningene primært fokusert på påvirkningen av bygningskroppen og nødvendig brannmotstand. En annen tilnærming kan være å inkludere analyser av personsikkerhet, for eksempel rømningsanalyser og simulering av røykspredning. Dette vil gi en mer helhetlig vurdering av brannsikkerhet og bærekraft.

En interessant problemstilling er å undersøke hvordan byggets levetid påvirker brannprosjekteringen. En økt levetid kan være positivt med tanke på utslipp knyttet til materialer, men det vil også øke sannsynligheten for større branner. Det vil være interessant å undersøke hvordan valg av brannsikkerhetsnivå påvirkes av økt levetid, og om dette kan ha innvirkning på hvilke tiltak som vurderes som nødvendig.

Det økonomiske aspektet er en del av den helhetlige bærekrafttilnærmingen. Videre arbeid kan derfor innebære en analyse av kostnaden ved ulike tiltak og deres påvirkning på byggets totale levetidskostnader.

Fokuset i denne oppgaven har vært på utslipp knyttet til produksjon av tiltakene og fra selve brannforløpet. Som vist til i litteraturen er den største utslippsposten ved brann knyttet til riving og gjenoppbygging. En videre undersøkelse kan derfor se nærmere på omfanget av skader på bygningen og relaterte utslipp til dette. Dette vil gi en bedre forståelse av de totale miljømessige konsekvensene av brann, og bidra til en mer helhetlig vurdering av bærekraft i brannprosjektering.

Referanser

- Ahrens, Marty (2021). «U.S. Experience with Sprinklers». I: URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Suppression/ossprinklers.pdf>.
- Akershus universitetssykehus (2023). *Om PHN*. URL: <https://www.ahus.no/om-phn> (sjekket 27.05.2023).
- Andersson, Petra, Margaret Simonson, Claes Tullin, Håkan Stripplé, Jan-Olov Sundqvist og Toumas Paloposki (2004). *Fire-LCA Guidelines*. Tekn. rapp. URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-4653>.
- Barnett, C. (2007). «A New T-equivalent Method for Fire Rated Wall Constructions using Cumulative Radiation Energy». I: *Journal of Fire Protection Engineering - J FIRE PROT ENG* 17, s. 113–127. DOI: 10.1177/1042391506066098.
- Bolig- og Planstyrelsen (2021). *Bygningsreglements vejledning til kapitel 5 - Brand*. URL: https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/05/Vejledninger/Generel_Brand?Layout=ShowAll (sjekket 08.04.2023).
- Boverket (2013). *Boverkets ændring av verkets allmänna råd (2011:27) om analytisk dimensio-
nering av byggnaders brandskydd*; URL: <https://rinfo.boverket.se/BFS2011-27/pdf/BFS2013-12.pdf>.
- Brzezińska, Dorota og Paul Bryant (2020). «Risk index method - A tool for sustainable, holistic building fire strategies». eng. I: *Sustainability (Basel, Switzerland)* 12.11. Place: Basel Publisher: MDPI AG, s. 4469–. ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su12114469. URL: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-981-15-6852-7_2.pdf.
- Buchanan, A. og A. A. Kwabena (2017). *Structural Design for Fire Safety*. 2nd edition. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons Inc. ISBN: 978-0-470-97289-2.
- Bukowski, R., E. Budnick og Christopher F. (2002). «Estimates of the Operational Reliability of Fire Protection Systems». I.
- Bwalya, A. C., M. A. Sultan og N. Bénichou (2004). *A pilot survey of fire loads in Canadian homes*. en. Tekn. rapp. Artwork Size: 24 p. National Research Council of Canada, 24 p. DOI: 10.4224/20377729. URL: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=ceaa619c-9976-4591-9371-9f5e5319fccc>.
- Bygg21 (2018). *10 kvalitetsprinsipper for bærekraftige bygg og områder*. Tekn. rapp. URL: https://bygg21.no/wp-content/uploads/2021/03/33019_delrapport-3a_digitalt_compressed-2.pdf.
- Byggforskserien (2005). *520.306 Brann- og seksjoneringsvegger i større bygninger*.
- (2013). *321.051 Brannenergi i bygninger. Beregninger og statistiske verdier - Byggforskserien*.
 - (2014). *470.101 Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper - Byggforskserien*.
 - (2021). *520.320 Brannteknisk klassifisering og dokumentasjon av bygningsdeler og byggeprodukter - Byggforskserien*.

- Campbell, Richard (2017). *Structure Fires in Health Care Facilities*. Tekn. rapp. National Fire Protection Association.
- Collen Wade, Greg Baker, Kevin Frank, Roger Harrison og Michael Spearpoint (2016). *B-RISK 2016 user guide and technical manual*.
- Dahlum, Sirianne (2023). *validitet*. no. URL: <http://snl.no/validitet> (sjekket 08.03.2023).
- Dalland, Olav (2020). *Metode og oppgaveskriving*. nob. 7. utgave. Oslo: Gyldendal. ISBN: 978-82-05-54308-9.
- DiBK (2017a). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. no. URL: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>.
- (2017b). *Slik leser du byggteknisk forskrift*. no. URL: <https://dibk.no/regelverk/alt-om-tek/slik-leser-du-tek17> (sjekket 18.02.2023).
- Drysdale, Dougal (2011). *An Introduction to Fire Dynamics*. Third Edition. Wiley.
- DSB (2011). *Kjennetegn og utviklingstrekk ved næringsbranner 1986-2009*. Tekn. rapp. URL: <https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/naeringsbranner.pdf>.
- (2016). *Samfunnets kritiske funksjoner*. Tekn. rapp. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). URL: https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/kiks-2_januar.pdf.
- (2023). *Brannstatistikk*. URL: <https://www.brannstatistikk.no/brus-ui/> (sjekket 31.01.2023).
- DSB og DiBK (2007). *Evaluering av brann 9. juni 2007 i Sveio Omsorgssenter*. Tekn. rapp. URL: <https://dibk.no/globalassets/sikkerhet/evalueringsrapport-brann-i-sveio-omsorgssenter-2007.pdf>.
- (2015). *Automatiske slokkeanlegg øker personsikkerheten*. URL: https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/automatiske_slokkeanlegg_oker_personsikkerheten.pdf.
- Flusund, Steinar (2010). *Brannsikkerhet i sykehus*. Tekn. rapp. URL: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/231630/370112_FULLTEXT01.pdf?sequence=1.
- Forskrift om brannforebygging (2015). *Forskrift om brannforebygging - Lovdata*. URL: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-12-17-1710>.
- Frank, Kevin, Neil Gravestock, Michael Spearpoint og Charles Fleischmann (2013). «A review of sprinkler system effectiveness studies». I: *Fire Science Reviews* 2.1, s. 6. ISSN: 2193-0414. DOI: 10.1186/2193-0414-2-6. URL: <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-6>.
- Grønmo, Sigmund (2023a). *kvalitativ metode*. no. URL: http://snl.no/kvalitativ_metode (sjekket 08.03.2023).
- (2023b). *kvantitativ metode*. no. URL: http://snl.no/kvantitativ_metode (sjekket 08.03.2023).
- Hall, John R. (2010). *U.S. Experience with Sprinklers and Other Automatic Fire Extinguishing Equipment*. URL: https://www.tvsfpe.org/resources/Documents/Historical%20Documents/Other/US_Experience_with_Sprinklers.pdf.

- Hansen, Anne Steen og Per Jostein Hovde (2000). *Bygningsmaterialers egenskaper ved brannpåvirkning*. no. Tekn. rapp. URL: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/stf22-a00827.pdf>.
- Hansen, Tom (2015). *Sekundærdata*. URL: <https://www.analysen.no/sekundaerdata/> (sjekket 17.04.2023).
- Helsedirektoratet (2021). *Døgnplasser i psykisk helsevern*. no. Tekn. rapp. Samdata Spesialisthelsetjenesten.
- Jacobsen, Dag Ingvar (2022). *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* 4. utgave. Cappelen Damm AS. ISBN: 978-82-02-72730-7.
- kbt.no (2020). *Faguttrykk*. URL: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp> (sjekket 18.03.2023).
- Klima- og miljødepartementet (2021). *Internasjonale klimaforhandlinger*. Redaksjonellartikkel. Publisher: regjeringen.no. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/de-internasjonale-klimaforhandlingene/id2741333/> (sjekket 24.02.2023).
- Law, Margaret (1971). *Prediction of fire resistance*. URL: <http://fe.hkie.org.hk/FireDigest/Document/Images/20111103232151352/20111103232151352.pdf>.
- Liaøy, Anders R., Jo Erik Abildgaard, Trine Lise Folvik og Jonas Winsvold (2022). *GHG Emissions assessment of extinguishing systems*. Tekn. rapp. URL: <https://prevent-systems.com/files/Multiconsult-report-GHG-assesment-of-extinguishing-systems-2022-06.pdf>.
- McNamee, Margaret, Joakim Astrom, Benjamin Truchot, Guy Marliar og Brian Meacham (2022). «Environmental Impact of Fires in the Built Environment: Emission Factors». en. I: URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/US-Fire-Problem/RFEmission-Factors.pdf>.
- McNamee, Margaret, Lotta Vylund og Therese Göras (2021). *Hur påverkar bränder det hållbara samhället, och vad kan vi göra åt det? Fokus: Ekologisk hållbarhet*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=BqYFCsliyLk> (sjekket 13.04.2023).
- MSB (2023). *MSB:s statistik- och analysverktyg IDA*. URL: <https://ida.msb.se/ida2#page=3d635cdf-e7eb-4f49-b579-9612fb44c941> (sjekket 29.05.2023).
- Mæhlum, Mari (2022). «Bærekraftig brannprosjektering». nob. Accepted: 2022-09-24T17:19:29Z. Masteroppg. NTNU. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/3021068> (sjekket 30.01.2023).
- Norsk Sprinklerteknikk (2023). *Vanntåkeanlegg*. no. URL: <https://norsksprinklerteknikk.no/tjenester/vanntakeanlegg/> (sjekket 27.05.2023).
- Nystedt, Fredrik (2011). «Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings». en. I: URL: <https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/3912725/1832676.pdf>.
- O'Connor, Brian (2022). *Water Mist Systems Overview*. URL: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/Blogs-Landing-Page/NFPA-Today/Blog-Posts/2022/06/24/Water-Mist-Systems-Overview>.

- Olerud, Kåre og Bård Lahn (2023). *CO2-ekvivalenter*. no. URL: <https://snl.no/CO2-ekvivalenter> (sjekket 11.04.2023).
- Olsson, Nils og Therése Göras (2018). *Hållbart brandskydd*. sv. Bengt Dahlgren AB. ISBN: 978-91-639-5957-8. (Sjekket 12.04.2023).
- Overland, Jan-Arve (okt. 2018). *TONE - strategi for kildekritikk*. nb. URL: <https://ndla.no/nb/subject:1:54b1727c-2d91-4512-901c-8434e13339b4/topic:1:ffe4b637-1789-44fc-9c7e-ff69fd41652f/resource:1:169741> (sjekket 26.10.2022).
- Parsons, Richard (okt. 2021). *Green, greener, watermist*. en-GB. URL: <https://ukfiremag.co.uk/green-greener-watermist/> (sjekket 27.05.2023).
- Rausand, Marvin, Anne Barros og Arnljot Høyland (2021). *System reliability theory: models, statistical methods, and applications*. Hoboken, N.J.
- Rausand, Marvin og Ingrid Bouwer Utne (2022). *Risikoanalyse: teori og metoder*. nob. 2. utgave. Bergen: Fagbokforlaget. ISBN: 978-82-450-3942-9.
- Runefors, Marcus, Nils Johansson og Patrick Van Hees (2016). «How could the fire fatalities have been prevented? An analysis of 144 cases during 2011-2014 in Sweden: An analysis». I: *Journal of Fire Sciences* 34. DOI: 10.1177/0734904116667962.
- Sachs, Jeffrey D., Guillaume Lafortune, Christian Kroll, Grayson Fuller og Finn Woelm (2022). *Sustainable Development Report 2022*. en. URL: <https://dashboards.sdgindex.org/>.
- FN-sambandet (2020). *Parisavtalen*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen> (sjekket 24.02.2023).
- (2021). *Bærekraftig utvikling*. URL: <https://www.fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling> (sjekket 06.05.2023).
 - (2023). *FNs bærekraftsmål*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (sjekket 17.02.2023).
- Sander, Kjetil (2021). *Metodetriangulering*. URL: <https://estudie.no/metodetriangulering/> (sjekket 08.03.2023).
- (2022). *Reliabilitet*. URL: <https://estudie.no/reliabilitet/> (sjekket 08.03.2023).
- Sesseng, Christian, Karolina Storesund og Anne Steen-Hansen (2017). «Analyse av dødsbranner i Norge i perioden 2005 - 2014». I: URL: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2017/a17-20176-1-analyse-av-dodsbranner-i-norge-i-perioden-2005-2014.pdf>.
- Standard Norge (2006). *NS-EN ISO 14040:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk*.
- (2008). *NS-EN 1991-1-2:2002+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-2: Allmenne laster - Laster på konstruksjoner ved brann*.
 - (2012). *NS 3901:2012 Krav til risikovurdering av brann i byggverk*.
 - (2019). *SN-INSTA/TR 951:2019 Guide for Probabilistic Analysis for Verifying Fire Safety Design in Buildings*.
 - (2021). *NS 5814:2021 Krav til risikovurderinger*.

- Sykehusbygg HF (2021). *Standard for klima og miljø i sykehusprosjekter*. Tekn. rapp. URL: <https://www.sykehusbygg.no/siteassets/documents/veiledere/standard-for-klima-i-miljo-i-sykehusprosjekter-med-vedlegg.pdf>.
- Thauvoye, C., B. Zhao, J. Klein og M. Fontana (2008). «Fire Load Survey and Statistical Analysis». I: *Fire Safety Science* 9, s. 991–1002. ISSN: 18174299. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.9-991. URL: https://publications.iafss.org/publications/fss/9/991/view/fss_9-991.pdf (sjekket 09.03.2023).
- Thomas, P. H. (1986). *Design Guide Structural Fire Safety*. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037971128690041X?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=7d2a5bd2b84bb4f9.
- Toldnæs, Jens Petter (2023). *globale oppvarmingspotensialer*. URL: <https://snl.no/globale-oppvarmingspotensialer> (sjekket 11.04.2023).
- Torero, Jose L. (2012). *Prof Jose Torero: "Cost Reduction, Optimization, Sustainability and Fire Safety" 1st March 2012*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=gJx8JB3MYDO> (sjekket 13.03.2023).
- Venn, Michaela (sep. 2022). *Subject Guides: Systematic Reviews for Health: Citation Tracking*. en. URL: <https://utas.libguides.com/SystematicReviews/CitationTracking> (sjekket 26.10.2022).
- Wade, C. A., J. T. Gerlich og A. Abu (2014). *The Relationship between Fire Severity and Time-Equivalence. BRANZ Study Report 314*. URL: https://d39d3mj7qio96p.cloudfront.net/media/documents/SR314_The_relationship_between_fire_severity_and_time_equivalence.pdf.
- Xie, Philip, Anthony Abu og Michael Spearpoint (2017). «Comparison of Existing Time-Equivalence Methods and the Minimum Load Capacity Method». I: s. 263–271. ISBN: 978-981-10-0375-2. DOI: 10.1007/978-981-10-0376-9_26.

Vedlegg

A Brannstatistikk

B Brannhendelser fra nyhetsartikler

C Parametrisk brannforløp - beregning

D LCA

E Utslipp fra brannforløpet

A Brannstatistikk

Statistikk fra brannstatistikk.no

Dette er en oversikt over tilgjengelig statistikk fra registrerte branner på norske sykehus og sykehustjenester som innebærer psykisk helsevern i perioden 2016-2022. All informasjon og data er innhentet fra tjenesten brannstatistikk.no. Her finnes en oversikt over alle brannvesenets utrykninger. Tjenesten ligger tilgjengelig og åpen for alle. Dataen er innsamlet i mars og april 2023.

Tidsperiode: 01.01.2016 – 31.12.2022

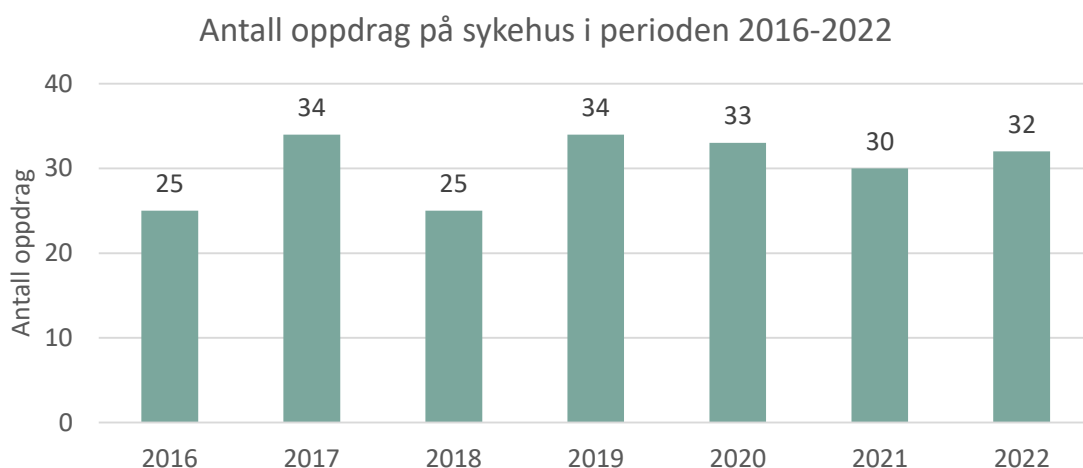
Oppdragstype: Branner tilknyttet bygg

1 Brann i sykehus

Bygningstype: Sykehus

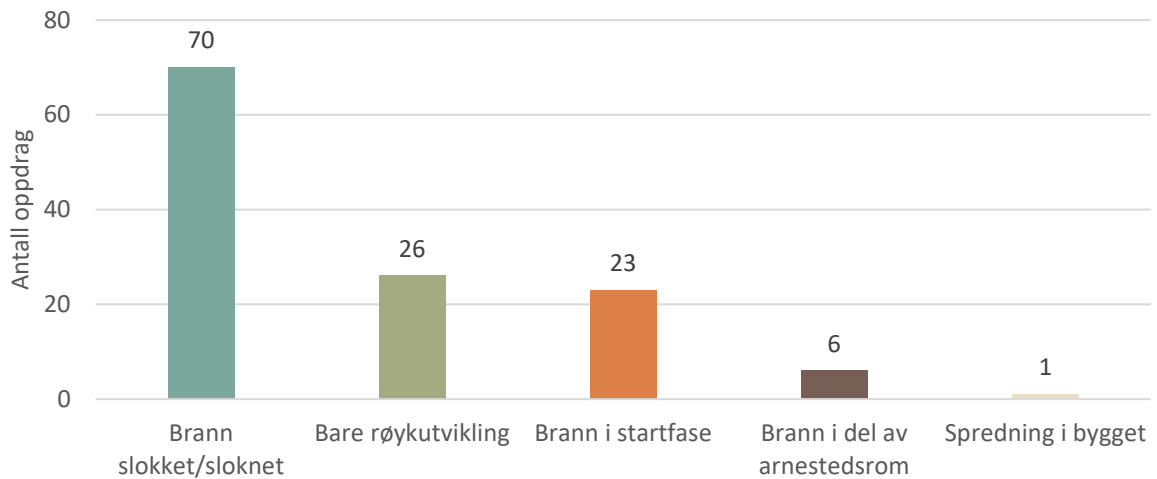
Totalt antall oppdrag: 213

Gjennomsnittlig antall oppdrag per år: 30,4

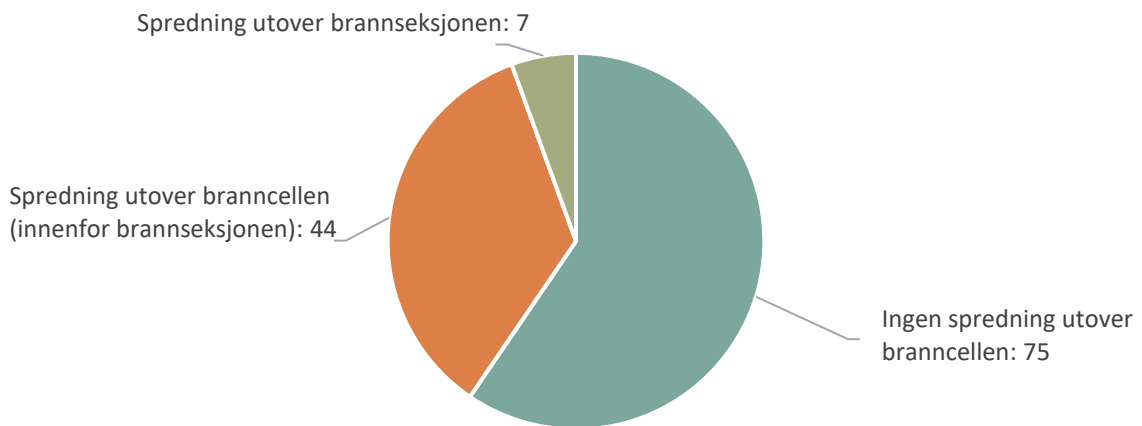


Hvordan ble brannen først oppdaget?	Antall oppdrag	%-andel
Automatisk brannalarm	140	80 %
Noen så eller luktet røyk eller flammer	21	12 %
Røykvarsler	7	4 %
Ukjent	6	3 %
Automatisk slokkeanlegg	2	1 %
Totalt	176	100 %

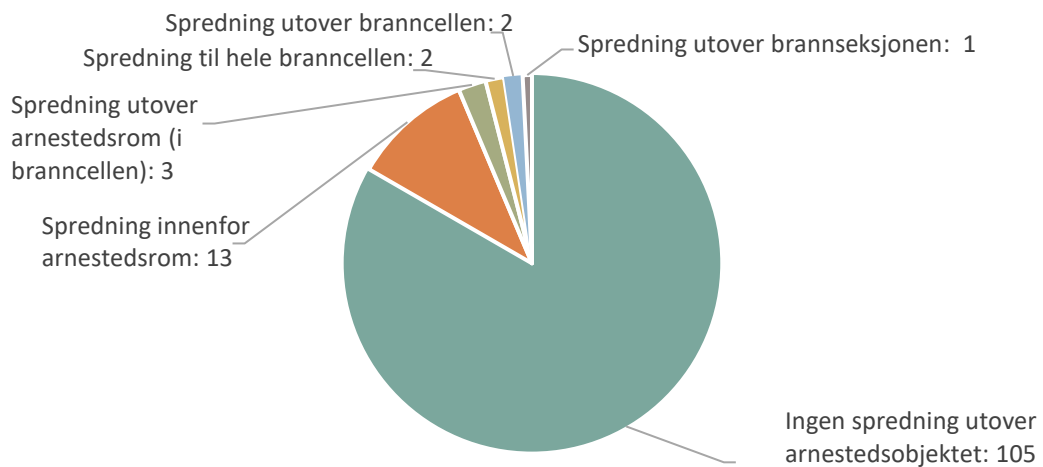
Situasjonsbeskrivelse ved ankomst, N=126



Hvor i bygget spredte røyken seg? N=126



Hvor i bygget spredte brannen seg? N=126



INNSATS OG OPPGAVER	Ja	Nei	Totalt antall tilfeller
Gjennomførte brann- og redningsvesenet innsats på hendelsesstedet?	81 %	19 %	213

Hvilke typer innsats/oppgaver ble utført på hendelsesstedet?	Antall	%-andel
Kontroll av hendelse	49	22 %
Restverdireddning	43	19 %
Innvendig røykdykkerinnsats	45	20 %
Annet	37	17 %
Slokkeinnsats	29	13 %
Opprydning	16	7 %
Helseoppgaver	3	1 %
Totalt*	222	100 %

* Det totale antallet er høyere enn totalt antall tilfeller grunnet at flere typer innsats/oppgaver kan ha forekommet for et oppdrag.

Hva bidro til å hindre brannspredningen?	Antall	%-andel
Innsats av andre personer på stedet	125	60 %
Brannvesenets innsats	31	15 %
Innsats av annet innsatspersonell	24	11 %
Automatisk slokkeanlegg	4	2 %
Branncelleinndeling	6	3 %
Brannseksjonering*	6	3 %
Ingenting / Brannen slokket av seg selv	13	6 %
Totalt**	209	100 %

* Av brannene som er registrert hindret av brannseksjonering er det ikke registrert spredning av brann utover branncellen. Det antas derfor at brannseksjonen ikke har vært avgjørende for hindring av videre spredning.

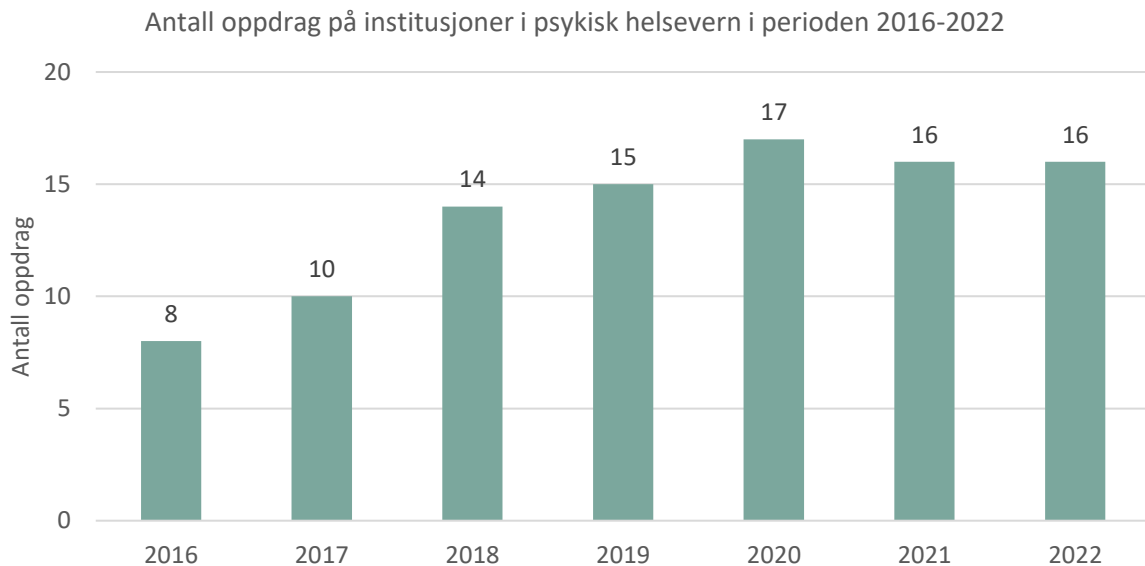
** Flere typer innsats/oppgaver kan ha forekommet for ett oppdrag.

2 Brann i psykiatri

Næringsgruppering: Institusjoner i psykisk helsevern for voksne, barn og unge

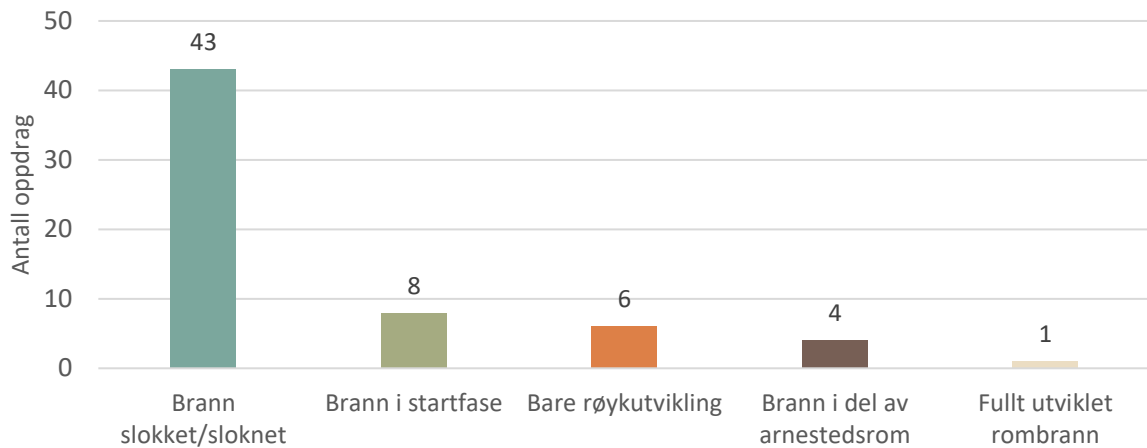
Totalt antall oppdrag: 96

Gjennomsnittlig antall oppdrag per år: 13,7

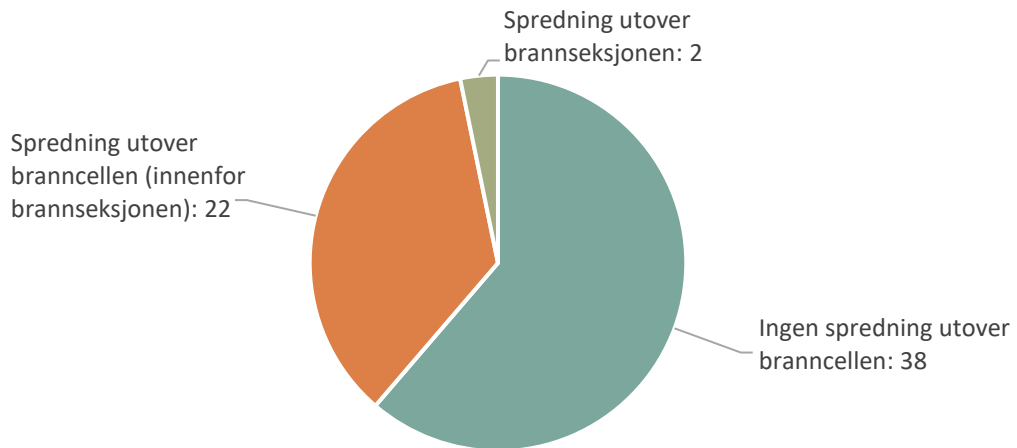


Hvordan ble brannen først oppdaget?	Antall oppdrag	%-andel
Automatisk brannalarm	71	82 %
Noen så eller luktet røyk eller flammer	9	10 %
Røykvarsler	4	5 %
Ukjent	2	2 %
Automatisk slokkeanlegg	1	1 %
Totalt	87	100 %

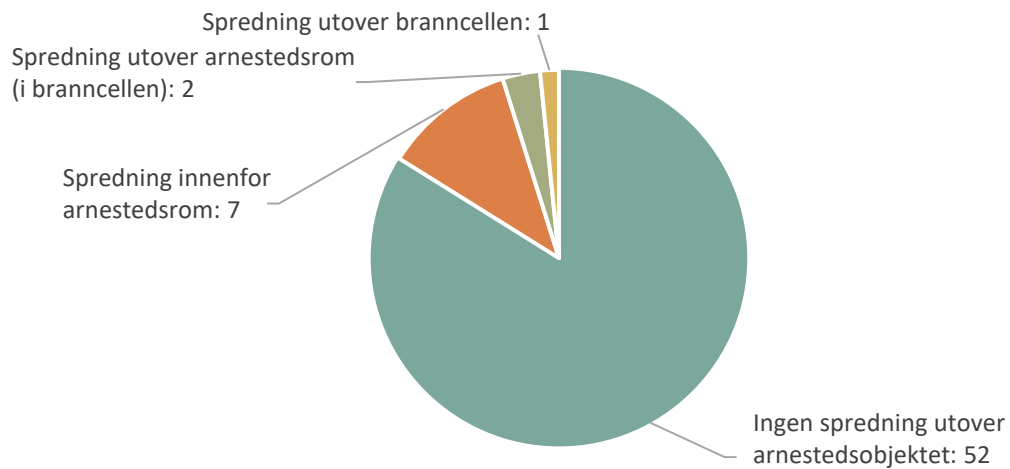
Situasjonsbeskrivelse ved ankomst, N=62



Hvor i bygget spredte røyken seg? N=62



Hvor i bygget spredte brannen seg? N=62



INNSATS OG OPPGAVER	Ja	Nei	Totalt antall tilfeller
Gjennomførte brann- og redningsvesenet innsats på hendelsesstedet?	76 %	24 %	96

Hvilke typer innsats/oppgaver ble utført på hendelsesstedet?	Antall	%-andel
Kontroll av hendelse	26	26 %
Restverdireddning	21	21 %
Innvendig røykdykkerinnsats	19	19 %
Annet	18	18 %
Slokkeinnsats	8	8 %
Opprydning	7	7 %
Total	99	100 %

* Det totale antallet er høyere enn totalt antall tilfeller grunnet at flere typer innsats/oppgaver kan ha forekommet for et oppdrag.

Hva bidro til å hindre brannspredningen?	Antall	%-andel
Innsats av andre personer på stedet	67	66 %
Innsats av annet innsatspersonell	14	14 %
Brannvesenets innsats	7	7 %
Ingenting/ Brannen slokkes av seg selv	5	5 %
Branncelleinndeling*	3	3 %
Brannseksjonering**	3	3 %
Automatisk slokkeanlegg	2	2 %
Total***	101	100 %

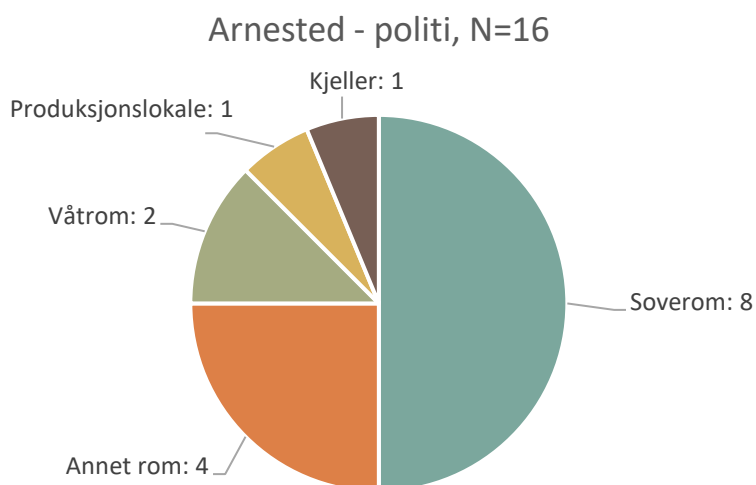
* Av brannene som er registrert hindret av branncelleinndeling er det ikke registrert spredning av brann utover arnestedobjektet. Det er derfor usikkert hvordan branncelle kan ha bidratt til å hindre brannspredning.

**Av brannene som er registrert hindret av brannseksjonering er det ikke registrert spredning av brann utover branncellen. I to av tre tilfeller er det registrert ingen spredning utover arnestedobjektet. Det antas derfor at brannseksjon ikke har vært avgjørende for hindring av videre spredning.

*** Flere typer innsats/oppgaver kan ha forekommet for ett oppdrag.

Annen informasjon	Ja	Nei	Vet ikke	Totalt antall tilfeller
Var det noen tilstede i branncellen da det begynte å brenne?	68 %	20 %	12 %	25
Oppstod det personskader under hendelsen?	5 %	84 %	11 %	87
Har brann- og redningsvesenet aktivt reddet personer ved innsatsen?	0 %	100 %	0 %	64
Har andre enn brann- og redningsvesenet aktivt reddet personer?	23 %	58 %	19 %	62
Oppstod det personskader under hendelsen?	5 %	84 %	11 %	87
Var det røyk i rømningsveiene da brann- og redningsvesenet ankom?	45 %	55 %	0 %	11
Var det automatisk slokkeanlegg i startbranncellen?	22 %	53 %	25 %	55
Utløste det automatiske slokkeanlegget?	11 %	89 %	0 %	18

På brannstatistikk.no er det et svært begrenset grunnlag for arnested og arnestedsubjekt. Det er likevel valgt å inkluderes, da det gir en viss pekepinn på hyppige arnesteder. Soverom angis som den hyppigste kategorien. I kategorien soverom inngår også pasientrom på sykehus.



Nedenfor er detaljer om de brannene som har arnested «soverom»:

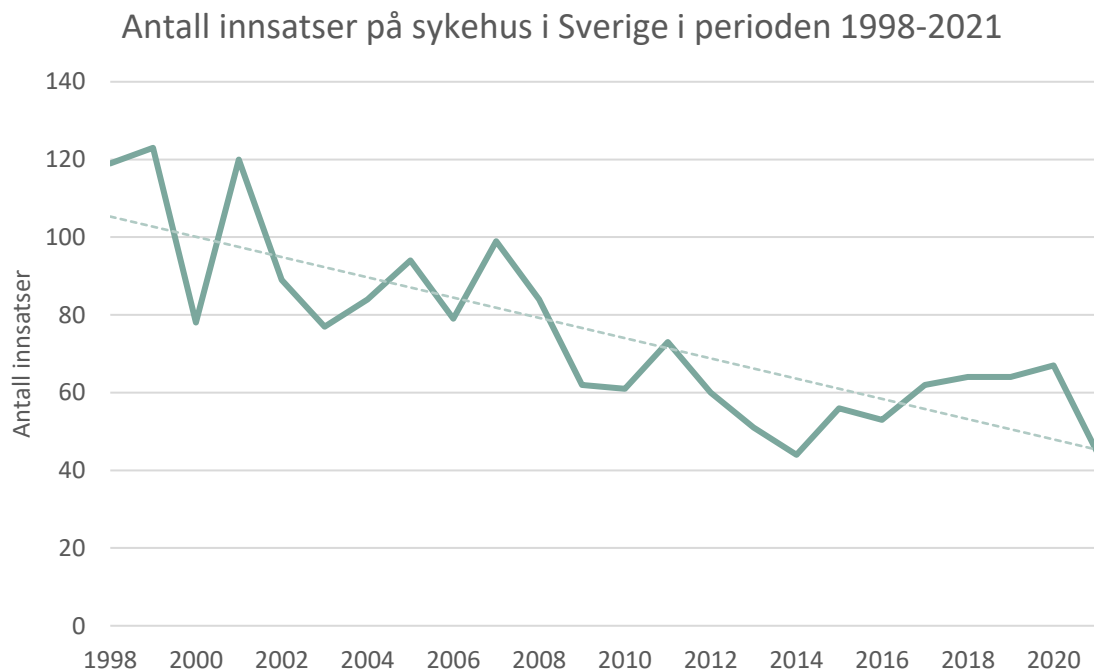
	Antall oppdrag
Hvordan ble brannen først oppdaget?	
Automatisk brannalarm	6
Noen så eller luktet røyk eller flammer	1
Røykvarsler	1
Situasjonsbeskrivelse ved ankomst	
Brann slokket/sloknet	5
Brann i startfase	2
Hvor i bygget spredte røyken seg?	
Ingen spredning utover branncellen	4
Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	3
Hvor i bygget spredte brannen seg?	
Ingen spredning utover arnestedsobjektet	4
Spredning innenfor arnestedsrom	3
Hva bidro til å hindre brannspredningen?	
Innsats av andre personer på stedet	7
Innsats av annet innsatspersonell	2

Statistikk fra IDA - Sverige

Virksomhet: Sykehus
Tidsperiode: 1998-2021

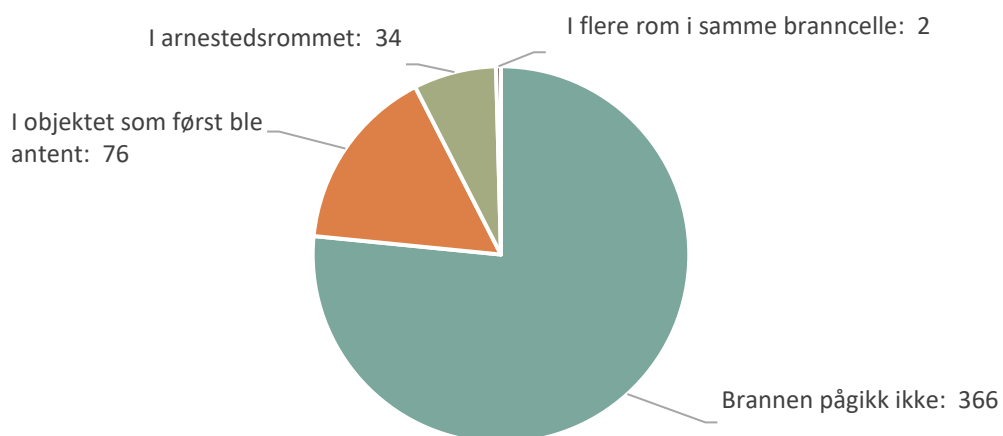
Data er hentet fra analyseverktøyet [IDA](#). Dataen er utgitt av MSB (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap). Det er kun innhentet data fra virksomhetskategorien «Sykehus». Det er ikke funnet spesifikk data på psykiatriske avdelinger på sykehus.

Totalt antall innsatser: 1808
Gjennomsnittlig antall innsatser per år: 75

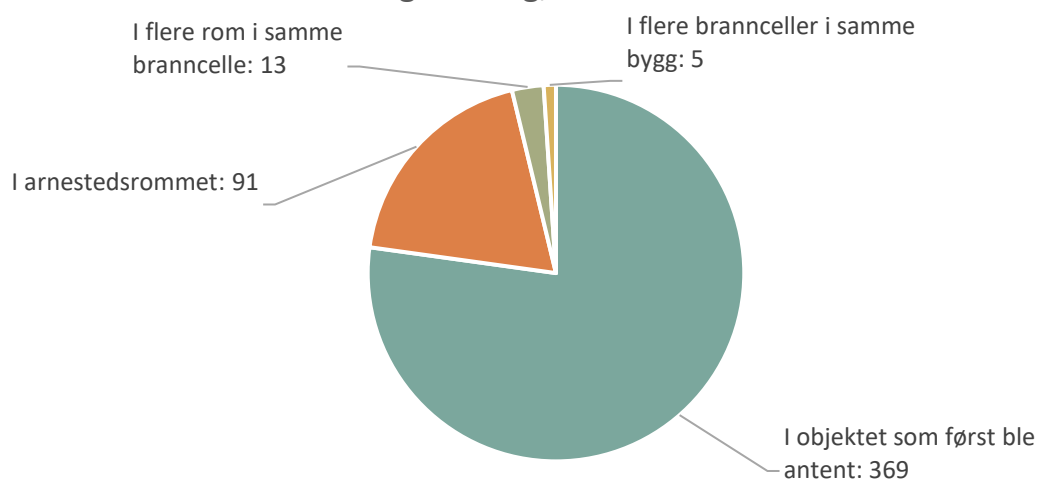


Ved beskrivelse av omfang av brannen er det i 1330 av 1808 tilfeller registrert omfang som «ikke aktuelt». Dette kan blant annet innebære hendelser der det ikke er registrert brann eller det er manglende informasjon. Ved omfang er det sett på de 478 tilfellene det er registrert sted.

Omfang ved brannvesenets ankomst, N=478

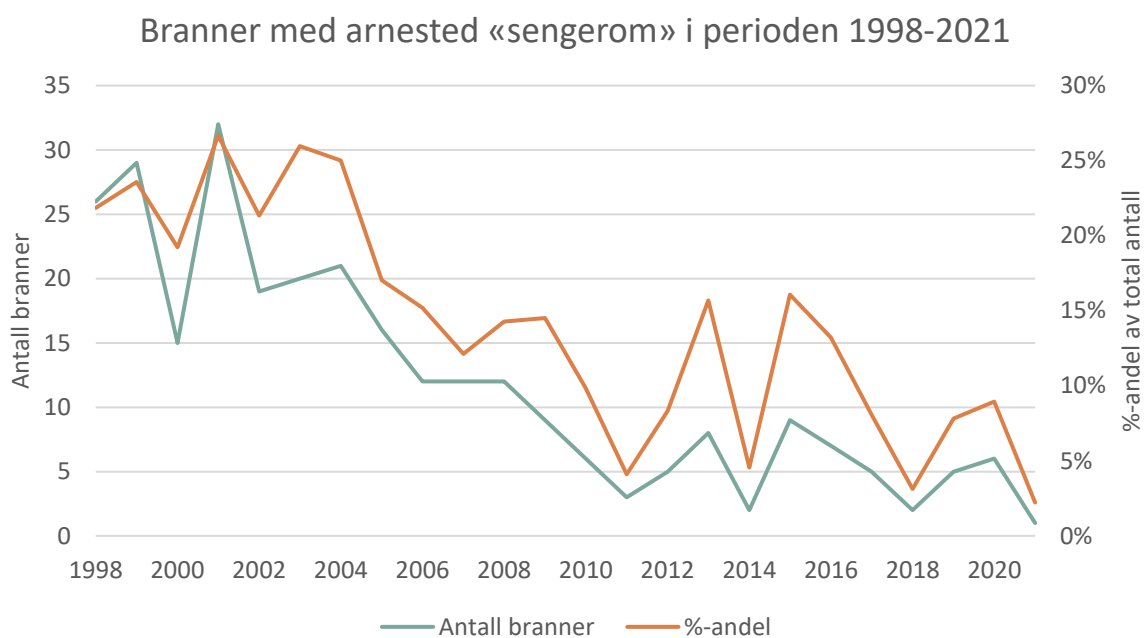


Endelig omfang, N=478



Arnestedsrom	Antall	%-andel
Soverom	282	16 %
Kjøkken	254	14%
Bad, toalett eller badstue	182	10 %
Trappehus eller korridor	146	8 %
Øvrige	944	52 %
Totalt	1808	100 %

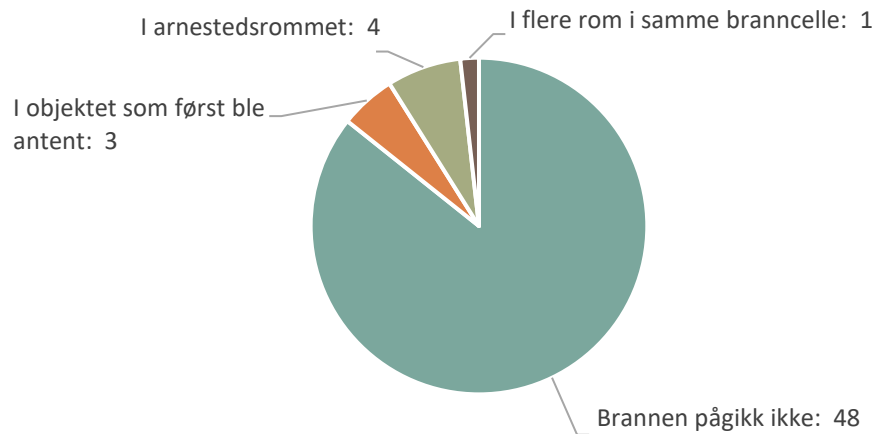
Totalt antall innsatser med arnested «sengerom»: 282
 Gjennomsnittlig antall innsatser per år: 12



Det er videre sett på omfanget til branner som er registrert med arnestedsrom «sengerom». I 226 av 282 tilfeller er omfanget registrert som «ikke aktuelt». I diagrammene nedenfor er disse tilfellene ekskludert.

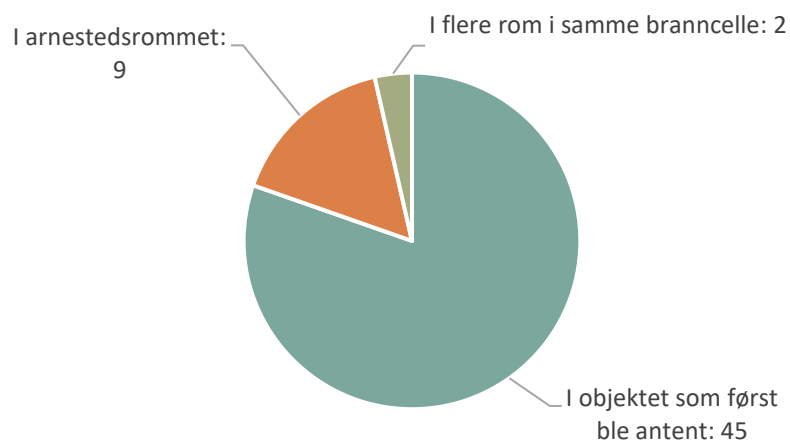
Omfang ved brannvesenets ankomst, N=56

Arnested: «sengerom»



Endelig omfang, N=56

Arnested: «sengerom»



B Brannhendelser fra nyhetsartikler

Dato	Hvor	Beskrivelse
03.04.2005	Psykiatrisk avdeling, Sykehuset Namsos	Kvinne mistenkt for å ha påtent brann på sitt eget rom. Rommet er nedbrent. Store røykskader på resten av avdelingen. Ingen personskade. 14 personer evakuert. https://www.adressa.no/nyheter/trondelag/i/rEgXEm/pasienter-evakuert-fra-sykehus
01.08.2010	Østmarka Sykehus	Påsatt brann av pasient. Kraftig røykutvikling. Meldt kontroll av brannen ti minutter etter brannvesenets ankomst. En del av beboerne og ansatte evakuert. https://www.nrk.no/trondelag/brann-pa-ostmarka-sykehus-1.7232162
25.01.2012	Østmarka Sykehus	Pasient tente på en dyne. 11 pasienter ble evakuert. Brannen slukket. https://www.nrk.no/trondelag/tente-pa-dyne-pa-pasientrom-1.7969273
15.06.2017	Psykiatrisk avdeling, Skien sykehus	Brannstart på rom. Brannvesenet slukket brannen. Flere personer ble eksponert for røyk. Åtte ble evakuert og fem fikk behandling på stedet. En person innlagt, med ukjent skadeomfang. https://www.aftenposten.no/norge/i/zqgJ5/brann-paa-psykiatrisk-avdeling-i-skien
11.07.2018	Psykiatrisk avdeling, Sørlandet sykehus	Brann på sykehus. Slukket og utlufting av røyk i etterkant. https://www.nrk.no/sorlandet/oppstod-pa-psykiatrisk-avdeling-1.14121121
11.01.2020	Sykehuset Innlandet avdeling Reinsvoll	Branntilløp på rom. Spredning av røyk til tiliggende arealer. Brann slukket av brannvesenet. Ti pasienter og ti ansatte ble evakuert. Ingen skade. https://www.gd.no/branntillop-pa-psykiatrisk-sykehus/s/5-18-1049957
06.08.2022	Østmarka psykiatriske sykehus	Brann på rom. Slukket ved brannvesenets ankomst, fortsatt mye røykutvikling. https://direkte.vg.no/nyhetsdognet/news/stor-roeykutvikling-paa-oestmarka-psykiatriske-sykehus-vurderer-evakuering.uM3XosLQn

C Parametrisk brannforløp - beregning

Vedlegget er for tilfellet med brannenergi lik 280 MJ/m^2 og usprinklet, men vil være representativt for samtlige beregninger av parametrisk brannforløp.

REGNEARK - PARAMETRISK BRANNFØRLØP

Regnearket beregner parametrisk brannforløp og ekvivalent tid ved bruk av:

NS-EN 1991-1-2 - Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - del 2: Laster på konstruksjoner ved brann

Arket gjelder en branncelle

Arket gjelder ventilasjonskontrollert brann

Arket tar ikke hensyn til forløp der tlim er styrende

Beskrivelse av celler:

Input
Beregning
Konstant

Geometrisk input

	symbol	=	verdi	Enhet	Henvisning	Kommentar
Takhøyde	H	=	3,00	[m]		Maksimalt 4 meter
Omslutningsareal / Omhyllingsflate	A_t	=	89,00	[m ²]		
Gulvareal	A_f	=	18,55	[m ²]		Maksimalt 500 m ²
Areal av vertikale ventilasjonsflater	A_w	=	4,36	[m ²]		Modellen er sensitiv for endring av ventilasjon.
Midlere høyde på vertikale flater	h_{eq}	=	2,00	[m]		

Mobil brannenergi (innredning)

	symbol	=	verdi	Enhet	Henvisning	Kommentar
Karakteristisk spesifikk brannenergi	$q_{f,k}$	=	280	[MJ/m ²]	NS-EN 1991-1-2 pkt E.2.5.	
Faktor, brannaktiveringsrisiko,	δ_{q1}	=	1,10	[-]	NS-EN 1991-1-2 pkt E.1	
Faktor, brannaktiveringsrisiko, bruk	δ_{q2}	=	1	[-]	NS-EN 1991-1-2 pkt E.1	
Faktor, sprinkler	δ_n	=	0,6	[-]	NS-EN 1991-1-2 pkt NA. E.2	Sprinkler = 0,6. Usprinklet = 1
Forbrenningsfaktor	m	=	0,8	[-]	NS-EN 1991-1-2 pkt E.3	
Dimensjonerende spesifikk mobil brannenergi - gulv	$q_{f,d,mobil}$	=	148	[MJ/m ²]	NS-EN 1991-1-2 pkt E.1 (3)	
Dimensjonerende spesifikk mobil brannenergi - omhylling	$q_{t,d,mobil}$	=	31	[MJ/m ²]	NS-EN 1991-1-2 pkt E.1 (3)	

Parametrisk brannforløp

	symbol	=	verdi	Enhet	Henvisning	Kommentar
Omsluttende bygningsdeler massetetthet	ρ	=	960	[kg/m ³]	NS-EN 1991-1-2 pkt Tillegg A (1)	
Omsluttende bygningsdeler spesifikk varmekapasitet	c	=	1000	[J/kgK]	NS-EN 1991-1-2 pkt Tillegg A (1)	
Omsluttende bygningsdeler varmekonduktivitet	λ	=	0,25	[W/mK]	NS-EN 1991-1-2 pkt Tillegg A (1)	
Omsluttende bygningsdeler termiske egenskaper	b	=	490	[J/m ² s ^{1/2} K]	NS-EN 1991-1-2 pkt Tillegg A (1)	Grenseverdier $100 \leq b \leq 2200$ (forventningsverdi 500)
Åpningsfaktor	O	=	0,07	[m ^{1/2}]	NS-EN 1991-1-2 pkt Tillegg A (1)	Grenseverdier $0,02 \leq O \leq 0,20$
Gamma, mellomregningsfaktor	Γ	=	16,8	[-]	NS-EN 1991-1-2 pkt Tillegg A (1)	

Immobil brannenergi

	symbol	=	verdi	Enhet	Henvisning	Kommentar
Total dimensjonerende spesifikk brannenergi, omhyllingsareal	$q_{t,d}$	=	31	[MJ/m ²]	NS-EN 1991-1-2 pkt E.1 (3)	

Resultater

	symbol	=	verdi	Enhet	Henvisning	Kommentar
Ekvivalent ISO kurve tid	t_{iso}	=	20,00	[min]	"A New T-equivalent method for fire rated wall constructions using Cumulative Radiation Energy" -C.R. Barnett (2007)	En ISO-kurve evkivalet basert på total stråling.

BEREGNING AV ISO-BRANNKURVE

(Kun de 30 første minuttene er inkludert i vedlegget)

Maks energi parametrisk brannforløp:	53,61
Nærmeste underliggende energi ISO:	49,90
Tilsvarende ISO tid:	20

Totalt utslipp fra brann: 650 kg CO₂

Tid [s]	Tid [min]	ISO-kurve [°C]	Strålingsenergi [MJ/m ²]	Energi (CRE) [MJ/m ²]
0	0	20,00	0,03	0,00
60	1	349,21	0,51	0,03
120	2	444,50	0,90	0,53
180	3	502,29	1,23	1,44
240	4	543,89	1,51	2,67
300	5	576,41	1,77	4,18
360	6	603,12	2,00	5,95
420	7	625,78	2,22	7,96
480	8	645,46	2,42	10,18
540	9	662,85	2,61	12,60
600	10	678,43	2,79	15,21
660	11	692,54	2,96	17,99
720	12	705,44	3,12	20,95
780	13	717,31	3,27	24,07
840	14	728,31	3,42	27,34
900	15	738,56	3,56	30,76
960	16	748,15	3,70	34,32
1020	17	757,17	3,83	38,02
1080	18	765,67	3,96	41,85
1140	19	773,72	4,08	45,81
1200	20	781,35	4,20	49,90
1260	21	788,62	4,32	54,10
1320	22	795,55	4,44	58,42
1380	23	802,17	4,55	62,86
1440	24	808,52	4,65	67,40
1500	25	814,60	4,76	72,06
1560	26	820,45	4,86	76,82
1620	27	826,08	4,96	81,68
1680	28	831,50	5,06	86,65
1740	29	836,74	5,16	91,71
1800	30	841,80	5,25	96,87

BEREGNING AV PARAMETRISK BRANNFØRLØP

(Kun de 30 første minuttene er inkludert i vedlegget)

t_{\max} , [h]	t^*_{\max} , [h]	T_{\max} , [h]	Max energi, [MJ/m ²]
0,09	1,50	1005,41	53,61

Tid [min]	Tid [s]	Tid [h]	t^* [h]	Q_g [°C]	Strålingsenergi [MJ/m ²]	Energi (CRE) [MJ/m ²]
0	0	0,00	0,00	20,00	0,03	0,00
1	60	0,02	0,28	768,13	4,00	0,03
2	120	0,03	0,56	856,88	5,54	4,02
3	180	0,05	0,84	917,32	6,83	9,57
4	240	0,07	1,12	961,63	7,90	16,40
5	300	0,08	1,40	995,57	8,81	24,30
6	360	0,10	1,68	935,84	7,26	33,11
7	420	0,12	1,96	830,49	5,04	40,38
8	480	0,13	2,24	725,15	3,38	45,42
9	540	0,15	2,52	619,80	2,16	48,80
10	600	0,17	2,80	514,46	1,31	50,96
11	660	0,18	3,08	409,11	0,74	52,27
12	720	0,20	3,36	303,77	0,38	53,00
13	780	0,22	3,64	198,42	0,17	53,38
14	840	0,23	3,92	93,08	0,06	53,55
15	900	0,25	4,20	20,00	0,00	53,61
16	960	0,27	4,48	20,00	0,00	53,61
17	1020	0,28	4,76	20,00	0,00	53,61
18	1080	0,30	5,04	20,00	0,00	53,61
19	1140	0,32	5,32	20,00	0,00	53,61
20	1200	0,33	5,60	20,00	0,00	53,61
21	1260	0,35	5,88	20,00	0,00	53,61
22	1320	0,37	6,16	20,00	0,00	53,61
23	1380	0,38	6,44	20,00	0,00	53,61
24	1440	0,40	6,72	20,00	0,00	53,61
25	1500	0,42	7,00	20,00	0,00	53,61
26	1560	0,43	7,28	20,00	0,00	53,61
27	1620	0,45	7,56	20,00	0,00	53,61
28	1680	0,47	7,84	20,00	0,00	53,61
29	1740	0,48	8,12	20,00	0,00	53,61
30	1800	0,50	8,40	20,00	0,00	53,61

RESULTATER

Brannenergi: Gjennomsnittsverdi

Simulering 1:		
Areal:	18,5	m ²
Brannenergi:	230	MJ/m ²
Sprinkler:	Nei	
Ekvivalent ISO-tid	28	min
Maksimal CRE:	91	MJ/m ²
Maksimal temp:	1052	°C

Simulering 2:		
Areal:	18,5	m ²
Brannenergi:	230	MJ/m ²
Sprinkler:	Ja	
Ekvivalent ISO-tid	17	min
Maksimal CRE:	40	MJ/m ²
Maksimal temp:	976	°C

Brannenergi: 80%-persentil

Simulering 3:		
Areal:	18,5	m ²
Brannenergi:	280	MJ/m ²
Sprinkler:	Nei	
Ekvivalent ISO-tid	32	min
Maksimal CRE:	113	MJ/m ²
Maksimal temp:	1080	°C

Simulering 4:		
Areal:	18,5	m ²
Brannenergi:	280	MJ/m ²
Sprinkler:	Ja	
Ekvivalent ISO-tid	20	min
Maksimal CRE:	54	MJ/m ²
Maksimal temp:	1005	°C

Brannenergi: >99%-persentil

Simulering 5:		
Areal:	18,5	m ²
Brannenergi:	400	MJ/m ²
Sprinkler:	Nei	
Ekvivalent ISO-tid	42	min
Maksimal CRE:	169	MJ/m ²
Maksimal temp:	1134	°C

Simulering 6:		
Areal:	18,5	m ²
Brannenergi:	400	MJ/m ²
Sprinkler:	Ja	
Ekvivalent ISO-tid	29	min
Maksimal CRE:	95	MJ/m ²
Maksimal temp:	1058	°C

D LCA

Mengder fra modell:

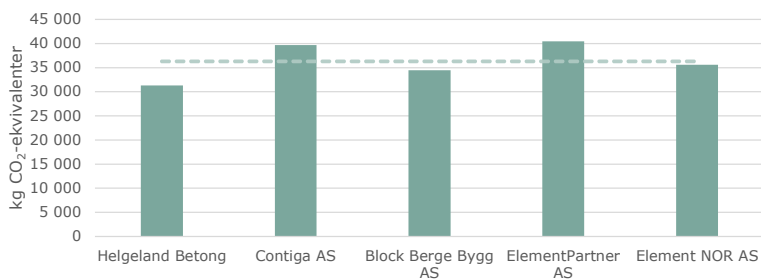
Tykkelse:	0,25	m
Total mengde betong:	127,85	m ³
Total areal:	511,40	m ²
Tonn:	319,63	tonn (2500 kg/m ³)

Seksjoneringsvegg med tykkelse 250 mm

Brannmotstand: REI120-M

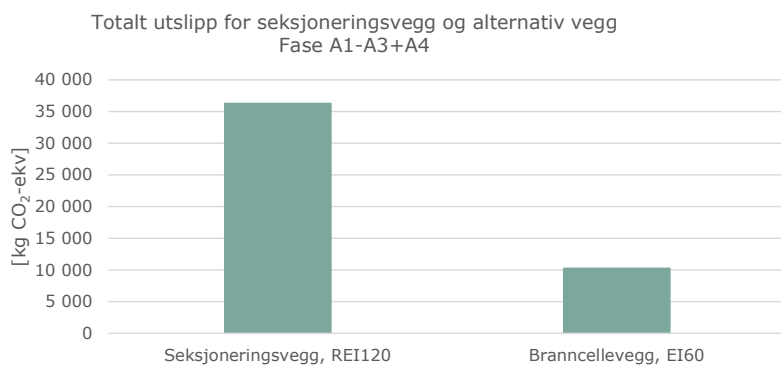
Veggtype	Produkt	Produsent	Tykkelse [mm]	Mengde	Funksjonell enhet	Produktfase	Byggefase	Totalt kg CO ₂ -ekv
						A1-A3	A4	
Plasstøpt betong, lavkarbon, 250 mm	Lavkarbonbetong kl. A B35-M45	Helgeland Betong	250	127,85	m ³	26875,35	262,09	31261,37
	Kamstål til bruk i betong	Norsk Stål AS	-	10228,00	kg	4019,60	104,33	
Prefabriert, lavkarbon A	Vegg Lavkarbon A	Contiga AS	250	319,63	Tonn	38249,52	1393,57	39643,09
Prefabriert, lavkarbon	Kompaktvegg lavkarbon	Block Berge Bygg AS	250	319,63	Tonn	31719,59	2748,78	34468,36
Prefabriert, lavkarbon B	Kompakt veggelement 250 MM B35 M45 Lavkarbon B	ElementPartner AS	250	511,40	m ²	38007,25	2444,49	40451,74
Prefabriert, lavkarbon B	Kompakt veggelement Lavkarbon B	Element NOR AS	250	319,63	Tonn	35091,63	508,20	35599,83
Gjennomsnitt (kg CO₂-ekv):								36284,88
Per kvm (kg CO₂-ekv/m²):								70,95

Utslipp for betongvegg (250 mm) fra ulike produsenter
Fase A1-A3+A4



Brannskillende vegg, stålstender							
Brannmotstand: EI60							
Oppbygning	Materiale	Tykkelse [mm]	Mengde	Funksjonell enhet	Produktfase	Byggefase	Totalt
					A1-A3	A4	kg CO ₂ -ekv
Habitogips	12.5mm Gyproc Habito	12,5	1	m ²	3,20	0,08	3,28
Gips	Norgips Standard type A	12	1	m ²	1,59	0,26	1,85
OSB	Norboard Oriented strand board (OSB)	12	0,012	m ³	-	0,40	0,40
Stenderverk, stålprofil	Norgips, stålprofil til innervegg	100	5	m	7,02	0,29	7,31
Isolasjon, stålstenderplate	Rockwool plate	100	2,97	m ² 37 mm	1,58	0,13	1,70
OSB	Norboard Oriented strand board (OSB)	12	0,012	m ³	-	0,40	0,40
Gips	Norgips Standard type A	12	1	m ²	1,59	0,26	1,85
Habitogips	12.5mm Gyproc Habito	12,5	1	m ²	3,20	0,08	3,28
Sum per kvm (kg CO₂-ekv/m²):					18,18	1,89	20,06
Totalt (kg CO₂-ekv):					9296,16	964,21	10260,37

Seksjoneringsvegg, REI120	36285 kg CO ₂ -ekv	71 kg CO ₂ -ekv/m ²
Branncellevegg, EI60	10260 kg CO ₂ -ekv	20 kg CO ₂ -ekv/m ²
Differanse:	26025 kg CO ₂ -ekv	51 kg CO ₂ -ekv/m ²
Besparelse:	72 %	
Besparelse av totalen:	0,6 %	



E Utslipp fra brannforløpet

REGNEARK - BEREGNING AV UTSLIPP FRA BRANN

Eksempelberegning fra tilfelle uten sprinkleranlegg:

(Kun de 600 første sekundene er inkludert i vedlegget. Total simuleringstid er 5400 sek (90 min))

Input i B-RISK:			
Brannenergi:	280	MJ/m ²	80%-persentilen
Peak HRR:	1000	kW	89% sanns for at en brann er innenfor dette
Brannvekstrate, α	0,01172	kW/s ²	Medium vekst

Totalt utslipp fra brann:	650 kg CO₂
----------------------------------	------------------------------

t [min]	t [s]	HRR fra B-RISK [kW]	m [g/s]	m _{CO2} [g CO ₂ /s]	Akkumulert utslipp [kg CO ₂]
0,0	0	0	0,00	0,00	
0,2	10	1,2	0,06	0,15	0,00
0,3	20	4,7	0,24	0,59	0,00
0,5	30	10,5	0,53	1,31	0,01
0,7	40	18,8	0,94	2,35	0,02
0,8	50	29,3	1,47	3,66	0,04
1,0	60	42,2	2,11	5,28	0,08
1,2	70	57,4	2,87	7,18	0,13
1,3	80	75	3,75	9,38	0,21
1,5	90	94,9	4,75	11,86	0,30
1,7	100	117,2	5,86	14,65	0,42
1,8	110	141,8	7,09	17,73	0,56
2,0	120	168,8	8,44	21,10	0,74
2,2	130	198,1	9,91	24,76	0,95
2,3	140	229,7	11,49	28,71	1,20
2,5	150	263,7	13,19	32,96	1,49
2,7	160	300	15,00	37,50	1,82
2,8	170	338,7	16,94	42,34	2,19
3,0	180	379,7	18,99	47,46	2,62
3,2	190	423,1	21,16	52,89	3,09
3,3	200	468,8	23,44	58,60	3,62
3,5	210	516,9	25,85	64,61	4,20
3,7	220	567,2	28,36	70,90	4,85
3,8	230	620	31,00	77,50	5,56
4,0	240	675,1	33,76	84,39	6,33
4,2	250	732,5	36,63	91,56	7,18
4,3	260	792,3	39,62	99,04	8,09
4,5	270	854,4	42,72	106,80	9,08
4,7	280	918,8	45,94	114,85	10,15
4,8	290	985,7	49,29	123,21	11,30
5,0	300	1000	50,00	125,00	12,53
5,2	310	1000	50,00	125,00	13,78
5,3	320	1000	50,00	125,00	15,03
5,5	330	1000	50,00	125,00	16,28
5,7	340	1000	50,00	125,00	17,53
5,8	350	1000	50,00	125,00	18,78
6,0	360	1000	50,00	125,00	20,03

RESULTATER

Peak HRR 1000 kW			
	Usprinklet	Sprinklet	
Maks T:	316,41	200,72	[°C]
T-ekvivalent	15,50	4,33	[min]
Utslipp:	650,03	38,85	kg CO ₂

Peak HRR 4750 kW			
	Usprinklet	Sprinklet	
Maks T:	870,03	200,72	[°C]
T-ekvivalent	42,83	4,33	[min]
Utslipp:	1158,15	38,85	kg CO ₂

