

Høgskolen Stord/Haugesund
Avdeling for ingeniørfag
5500 HAUGESUND
Skåregaten 105
Tlf. nr. 52 70 26 00
Faks nr. 52 70 27 00

Oppgavens tittel		Rapportnummer
L-kurvemetoden, kvantitativ risikoanalyse		
Utført av		
Magnus Haara, Thorstein Heimdal og Kjetil Melvær		
Linje		Studieretning
Brann- og Sikkerhetsteknikk		Brann, Sikkerhet
Gradering	Innlevert Dato	Veileder ved HSH
Åpen	25.04.97	Bjarne Christian Hagen
Oppdragsgiver		Kontaktperson hos oppdragsgiver
TECHNO CONSULT AS		Trygg Konradsen

I forbindelse med den forestående innføringen av funksjonsbaserte byggeforskrifter, vil byggherre, rådgiver og entreprenør stå fritt til å velge om bygningens tekniske standard skal søkes tilfredsstilt i de preaksepterte løsningene gitt i veiledningen til Teknisk forskrift 1997, eller egne løsninger som det gis anledning til i Teknisk forskrift 97.

I rapporten brukes L-kurvemetoden for å utarbeide forslag til standarder for kvantifiseringen av risikonivået for bygg oppført etter preaksepterte løsninger gitt i Byggeforskrift 1987. Dette vil kunne brukes for å sammenligne sikkerhetsnivået ved aktuelle bygg oppført etter Teknisk forskrift 97 mot preaksepterte løsninger.

Med bakgrunn i simulering og ekspertvurderinger er det utarbeidet kvantitative estimat for sikkerhetsnivået til sykehus og forsamlingslokale. De to bygningskategoriene er generisk modellert etter Byggeforskrift 87. I tillegg er det utført en praktisk analyse på Fylkessykehuset i Haugesund.

FORORD

I forbindelse med avslutningen av ingeniørstudiet ved Høgskolen Stord/Haugesund utfører studentene en selvvalgt prosjektoppgave.

Rapportens overordnede hensikt har vært å utarbeide forslag til standarder for kvantifiseringen av risikonivået ved bygg oppført i henhold til preaksepterte løsninger gitt i BF 87. Som verktøy for kvantifiseringen av sikkerhetsnivået er L-kurvemetoden benyttet.

Prosjektet er et resultat av den forestående innføringen av funksjonsbaserte byggforskrifter, der L-kurven vil kunne være egnet som dokumentasjonsverktøy i byggesaker.

Rapportens første del omhandler selve L-kurvemetoden, og er ment som en veiledning og et underlag for de L-kurve analysene som er gjort av sykehus og forsamlingslokale (kap 2). Kapitlet er gjennomillustrert for lette forståelsen for metoden. Del to består henholdsvis av evalueringer knyttet til den kvantitative analysen og estimert sikkerhetsnivå for hver bygningskategori (kap 3-5). I de enkelte avsnitt er det gjort henvisninger til andre avsnitt med relatert informasjon om det som behandles.

Rapporten er et resultat av samarbeid mellom studenter fra fagfeltene brannteknikk og sikkerhetsteknikk. En slikt samarbeid på tvers av fagretningene kan meget vel anbefales ved utarbeidelse av fremtidige prosjektoppgaver.

Det er forsøksvis valgt å innføre en faglig terminologi, derfor er det tatt med definisjoner av begreper som nyttes i rapporten. Et internt fagspråk er i seg selv ikke ønskelig, fordi det strider mot målet om at brannkunnskap bør spres mest mulig. Imidlertid er det nødvendig for de som jobber med brannfaget å kunne uttrykke seg presist.

Vi vil benytte anledningen til å takke vår interne veileder, Høgskolelektor Bjarne Christian Hagen, for velvilje og engasjement. Vi vil samtidig takke vår eksterne veileder, Branningeniør Trygg Konradsen fra TECHNO CONSULT AS for faglig gjennomgang og faglige råd.

Haugesund 25. april 1997



Magnus Haara



Thorstein Heimdal



Kjetil Melvær

SAMMENDRAG

Grunnlaget for prosjektet har vært å utarbeide forslag til standarder for kvantifiseringen av risikonivået ved bygg oppført i henhold til preaksepterte løsninger gitt i Byggeforskrift 87. Bakgrunnen er den forestående innføringen av nye funksjonsbaserte byggeforskrifter, Teknisk Forskrift 1997 (TF 97). Det er utarbeidet kvantitative estimat for sikkerhetsnivået på to ulike kategorier av bygninger. Begge bygningskategorier er generisk modellert etter krav fastsatt i Byggeforskrift 87. I tillegg er det gjort en faktisk analyse av Fylkessykehuset i Haugesund. Dette er gjort for å sikre et sammenligningsgrunnlag mellom generiske og faktiske bygg for å avdekke om sikkerhetsnivåene avviker vesentlig.

Verktøyet som er benyttet i analysen er L- kurve arbeidsboken fra FIREPRO Instituet Ltd. L-kurve metoden er en metode for analyse og dokumentasjon av brannsikkerhet. Analysene med hensyn til sannsynligheten for flammespredning bunnur ut i kvantitative estimat for sikkerheten som fremstilles grafisk. Ved analysen avdekkes også personsikkerheten, fordi forhold rundt rømning og redning må evalueres for å kunne beregne og konstruere L-kurven, og fordi personsikkerhet til en viss grad henger sammen med bygningens totale sikkerhet. L- kurven kan sammenlikne effektiviteten til forskjellige løsninger, gjenkjenne enkelte delers følsomhet, samt at bygningens sikkerhet i forhold til en brann kan presenteres grafisk.

For å sikre et kvalitativt grunnlag for antagelser er det så langt som mulig innhentet ekspertuttalelser, samt data fra litteraturen. Bakgrunnen for dette er at metoden som er benyttet er relativt ny og det eksisterer ikke noe felles kvantitativ forståelse av de forskjellige elementene og interaksjonen mellom dem.

Sammenligning av sikkerhetsnivået mellom tilgjengelig svensk brannstatistikk og resultatet av L- kurveanalysene som er gjennomført viser godt samsvar. Det gjøres oppmerksom på at sikkerhetsnivåene som er estimert i analysene viser et gjennomgående lavere sikkerhetsnivå sammenlignet med statistikk. Dette kan ha bakgrunn i de konservative evalueringene som gjennomgående er brukt i analysen. Dog er variasjonene små og av mindre betydning.

De viktigste konklusjonene av arbeidet kan oppsummeres i følgende punkter:

- L- kurvene som er utarbeidet gir et godt bilde på de modellerte bygningens sikkerhet sammenlignet med brannstatistikk på området.
- En L- kurve kan ikke direkte overføres til samme bygningskategori med forskjellig Bygningsbrannklasse.
- Det er viktig å påpeke at verdien av informasjonen innhentet fra det stedlige brannvesenet er av stor betydning ved tallfesting av sannsynligheter på M- kurven.
- Gjennomsnittlig brannbelastning må brukes på store komplekse bygninger hvor brannbelastningen kan variere mye for å få et bilde på bygningens totale sikkerhet.



INNHOLDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	4
1.1 . FORMÅL.....	4
1.2 . BAKGRUNN.....	4
1.3 . UTFØRELSE AV PROSJEKTET	5
1.4 . OPPGAVENS STRUKTUR	5
2. BESKRIVELSE AV L-KURVEMETODEN	6
2.1 . GENERELT	6
2.2 . BYGNINGER OG BRANN.....	6
2.2.1 . Begreper i brann.....	7
2.3 . ROM OG BARRIERER	8
2.4 . SANNSYNLIGHETER	8
2.5 . L- KURVE SKJEMAET	8
2.5.1 . De forskjellige elementene på L- kurve skjemaet	10
2.6 . UTFORMING AV KURVENE	11
2.7 . PUNKTENE PÅ KURVEN	11
2.8 . I- KURVEN	12
2.8.1 . Metode for å finne tallene på I-kurven.....	13
2.9 . A- KURVEN	14
2.10 . M- KURVEN	15
2.10.1 . TIC A: Oppdagelses komponenten.....	16
2.10.2 . TIC B : Utryknings komponenten.....	18
2.10.3 . TIC C: Påførings komponenten.....	19
2.10.4 . TIC D: Brannsluknings komponenten.....	21
2.11 . BARRIERE KURVEN.....	22
2.11.1 . Teori for bestemmelse av barriere kurven i henhold til metode 1 (se over).....	23
2.12 . TIDEN FØR ETABLERT BRANN (EB) TIC A OG TIC B	25
2.12.1 . Sannsynlighet for antennelse, TIC A.....	26
2.12.2 . TIC A: Forhindre utvikling av liten flamme.....	26
2.12.3 . Sannsynlighet for EB, TIC B.....	26
2.12.4 . TIC B Forhindre etablert brann EB.....	27
2.13 . BESKRIVELSE AV VERKTØY BENYTTET I ANALYSEN	28
3. L-KURVEANALYSE SYKEHUS	29
3.1 . FORUTSETNINGER.....	29
3.2 . MODELLERING AV SYKEHUS	30
3.2.1 . Beskrivelse av bygningen.	30
3.2.2 . Beskrivelse av utvalgte rom.....	30
3.2.3 . Andre data om bygningen	31
3.2.4 . Brannbelastning.....	32
3.2.5 . Brannscenarier.....	32
3.2.6 . Simulering i FASTLite.....	33
3.3 . I- KURVE SYKEHUS.....	34
3.3.1 . Kriterier for beregning av I-kurve.....	34
3.3.2 . Sannsynlighet for at brannen skal slokke av seg selv før 1.5 meter flammehøyde.....	34
3.3.3 . Sannsynlighet for at brannen skal slokke av seg selv før takhøyde.....	35
3.3.4 . Sannsynlighet for selvslokking før brannen involverer hele rommet (FRI)	35
3.3.5 . I'- kurven for rommet bak barrieren.....	36
3.4 . A- KURVE	37
3.5 . M- KURVE SYKEHUS	37
3.5.1 . Kriterier for M- kurve sykehus	37
3.5.2 . M - kurve uprofesjonelle slokkere	37
3.5.3 . M-kurven for brannvesen startbrannrommet	44
3.5.4 . M'-KURVE brannvesen korridoren bak barrieren	51
3.6 . BARRIEREANALYSE, SYKEHUS.....	53



3.6.1 . Oppholdsrom og pasientrom.....	53
3.6.2 . Barriereanalyse av etasje.....	53
3.6.3 . Barriereanalyse Bygning.....	54
3.7 . FØR ETABLERT BRANN, STEG A OG B.....	54
3.8 . BOBLEDIAGRAM SYKEHUS.....	55
3.8.1 . Boblediagram Oppholdsrom.....	55
3.8.2 . Boblediagram Pasientrom.....	56
3.9 . L- KURVER SYKEHUS.....	57
3.9.1 . L- kurve Oppholdsrom.....	57
3.9.2 . L- kurve Pasientrom.....	58
3.10 . EVALUERING AV L-KURVE SYKEHUS.....	59
4. L- KURVEANALYSE FORSAMLINGSLOKALE.....	61
4.1 . FORUTSETNINGER.....	61
4.2 . MODELLERING.....	62
4.2.1 . Beskrivelse av bygningen.....	62
4.2.2 . Beskrivelse av utvalgt rom.....	62
4.2.3 Andre data om bygningen.....	62
4.2.4 . Brannbelastning.....	63
4.2.5 . Brannscenarie.....	63
4.2.6 . Simulering i FASTLite.....	64
4.3 . I- KURVE FORSAMLINGSLOKALE.....	64
4.3.1 . Kriterier for beregning av I- kurve.....	64
4.3.2 . Sannsynlighet for at brannen slokker før 1.5 meter flammehøyde.....	65
4.3.3 . Sannsynlighet for at brannen slokker før takhøyde.....	65
4.3.4 . Sannsynlighet for at brannen slokker før brannen involverer hele rommet (FRI).....	65
4.3.5 . I'- kurve for rom bak kinosal.....	65
4.4 . A- KURVE.....	66
4.5 . M- KURVE FORSAMLINGSLOKALE.....	66
4.5.1 . Kriterier for estimeringen.....	66
4.5.2 . M- kurve uprofesjonelle.....	66
4.5.3 . M-kurven for forsamlingslokale.....	73
4.5.4 . M'- kurve rommet bak barrieren.....	78
4.6 . BARRIEREANALYSE FORSAMLINGSLOKALE.....	80
4.6.1 . Barriereanalyse Kinosal.....	80
4.6.2 . Barriereanalyse struktur, L_T	80
4.7 . FØR ETABLERT BRANN, STEG A OG B.....	81
4.8 . BOBLEDIAGRAM FORSAMLINGSLOKALE.....	81
4.9 . L- KURVE FORSAMLINGSLOKALE.....	82
4.10 . EVALUERING AV L-KURVE FORSAMLINGSLOKALE.....	83
5. L-KURVEANALYSE PRAKTISK SYKEHUS.....	84
5.1 . BESKRIVELSE FYLKESYKEHUSET I HAUGESUND.....	84
5.1.1 . Generelt om bygningen.....	84
5.1.2 . Beskrivelse av viktige detaljer.....	84
5.1.3 . Organisering ved brann.....	85
5.1.4 . Brannvesen.....	85
5.1.5 . Beregning av brannbelastning i sykehus, pasientrom.....	85
5.1.6 . Brannscenarie.....	86
5.2 . I- KURVE PASIENTROM, PRAKTISK SYKEHUS.....	87
5.2.1 . Beskrivelse av pasientrommets geometri og utforming.....	87
5.2.2 . Resultat av beregning / simulering.....	87
5.2.3 . Sannsynlighet for selvslokning før 1.5 meter flammehøyde.....	87
5.2.4 . Sannsynlighet for selv slokking før takhøyde.....	87
5.2.5 . Sannsynlighet for at brannen slokker av seg selv før FRI.....	88
5.2.6 . I'- kurve praktisk sykehus.....	88
5.2.7 . Sannsynlighet for selvslokning før brannen involverer hele rommet (FRI).....	88
5.3 . M- KURVE SYKEHUS.....	88



5.3.1 . Kriterier for M- kurve sykehus	88
5.3.2 . Estimering M - kurve uprofesjonelle slokkere.....	89
5.3.3 . M-kurven for brannvesen i rommet hvor brannen starter.....	96
5.3.4 , M'-KURVE brannvesen korridor bak barrieren.....	102
5.4 . BARRIEREANALYSE	104
5.4.1 . Pasientrom.....	104
5.4.2 . Etasje.....	105
5.5 . FØR ETABLERT BRANN, STEG A OG B	105
5.6 . BOLEDIAGRAM, PRAKTISK SYKEHUS	106
5.7 . L- KURVE PRAKTISK SYKEHUS.....	107
5.8 . EVALUERING AV L- KURVE, PRAKTISK SYKEHUS	108
6. DISKUSJON.....	109
6.1 . GENERELT	109
6.2 . DISKUSJON I- KURVE.....	110
6.3 . DISKUSJON M- KURVE.....	110
6.4 . DISKUSJON BARRIERE- KURVEN.....	110
6.5 . SAMMENLIGNING GENERISK SYKEHUS MED PRAKTISK	111
6.5.1 . Diskusjon steg A og B	111
7. KONKLUSJON.....	112
REFERANSER.....	113
DEFINISJONER.....	114
VEDLEGG.....	117

FIGURLISTE

FIGUR 2.5-1 L- KURVE METODEN.....	10
FIGUR 2.7-1 RIKTIG OG GAL L- KURVE.....	12
FIGUR 2.11-1 BARRIEREANALYSE DIAGRAM (DETTE ER KUN EN ILLUSTRASJON).....	24
FIGUR 3.5-1 SANNSYNLIGHET FOR DETEKSJON FØR FRI I OPPHOLDSROM/PASIENTROM.....	38
FIGUR 3.5-2. SANNSYNLIGHET FOR FORBEREDT SIGNAL FØR FRI I OPPHOLDSROM/PASIENTROM.....	39
FIGUR 3.5-3 SANNSYNLIGHET FOR FORBEREDT SIGNAL FØR FRI I OPPHOLDSROM/PASIENTROM.....	40
FIGUR 3.5-4 SANNSYNLIGHET FOR MOTTAK AV SIGNAL/MELDING FØR FRI I OPPHOLDSROM/ PASIENTROM.	41
FIGUR 3.5-5 SANNSYNLIGHET FOR AT MUNNSTYKKET ER INNENFOR REKKEVIDDE AV FLAMMENE FØR FRI I OPPHOLDSROM/PASIENTROM.....	42
FIGUR 3.5-6 SANNSYNLIGHET FOR FORBEREDT SIGNAL FØR FRI I OPPHOLDSROM/PASIENTROM.....	45
FIGUR 3.5-7 SANNSYNLIGHET FOR AT SIGNAL/MELDING SENDES FØR FRI I OPPHOLDSROM/PASIENTROM.	46
FIGUR 3.5-8 SANNSYNLIGHET FOR MOTTAK AV SIGNAL/MELDING FØR FRI	47
FIGUR 4.5-1 SANNSYNLIGHET FOR DETEKSJON FØR FRI I KINOSAL.....	67
FIGUR 4.5-2 SANNSYNLIGHET FOR FORBEREDT SIGNAL FØR FRI I OPPHOLDSROM/PASIENTROM.....	68
FIGUR 4.5-3 SANNSYNLIGHET FOR FORBEREDT SIGNAL FØR FRI I KINOSAL.....	69
FIGUR 4.5-4 SANNSYNLIGHET FOR MOTTAK AV SIGNAL/MELDING FØR FRI I KINOSAL.....	70
FIGUR 4.5-5 SANNSYNLIGHET FOR MUNNSTYKKET INNENFOR REKKEVIDDE AV FLAMMENE FØR FRI I KINOSAL. ..	71
FIGUR 4.5-6 SANNSYNLIGHET FOR FORBEREDT SIGNAL FØR FRI I KINOSAL.....	73
FIGUR 4.5-7 SANNSYNLIGHET FOR FORBEREDT SIGNAL FØR FRI I KINOSAL.....	74
FIGUR 4.5-8 SANNSYNLIGHET FOR MOTTAK AV SIGNAL/MELDING FØR FRI I KINOSAL.....	75
FIGUR 5.3-1 SANNSYNLIGHET FOR DETEKSJON I PASIENTROM.....	90
FIGUR 5.3-2. SANNSYNLIGHET FOR FORBEREDT SIGNAL FØR FRI I PASIENTROM.	91
FIGUR 5.3-3 SANNSYNLIGHET FOR FORBEREDT SIGNAL FØR FRI I PASIENTROM.	92
FIGUR 5.3-4 SANNSYNLIGHET FOR MOTTAK AV SIGNAL/MELDING FØR FRI I PASIENTROM.	93
FIGUR 5.3-5 SANNSYNLIGHET FOR AT MUNNSTYKKET ER INNENFOR REKKEVIDDE AV FLAMMENE FØR FRI I PASIENTROM.	94
FIGUR 5.3-6 SANNSYNLIGHET FOR FORBEREDT SIGNAL FØR FRI I PASIENTROM.	97
FIGUR 5.3-7 SANNSYNLIGHET FOR FORBEREDT SIGNAL FØR FRI I PASIENTROM.	98
FIGUR 5.3-8 SANNSYNLIGHET FOR MOTTAK AV SIGNAL/MELDING FØR FRI I PASIENTROM.	99

1. INNLEDNING

1.1. Formål

Hovedformålet med denne rapporten er å utarbeide forslag til standarder for kvantifiseringen av risikonivået ved bygg oppført etter preaksepterte løsninger gitt i Byggforskrift 87. Standardene skal kunne brukes som sammenligningsgrunnlag mellom bygninger oppført etter Byggforskrift 87 og bygninger oppført etter Teknisk Forskrift 97.

1.2. Bakgrunn

Dagens tolkning av sikkerhet i Byggforskrift 87 er i hovedsak basert på sunn fornuft, praktiske erfaringer og i noen grad tilpasning til bygningsmessige behov og byggeskikk. Denne empiriske måten å drive sikkerhetsledelse på har utvilsomt vært effektiv, idet antallet brannhendelser har sunket markant (f.eks. nedbrenningen av hele kvartaler i bybebyggelse). Konsekvensen av å bruke preskriptive løsninger er imidlertid at det er få muligheter til å vurdere kost/nytte av brannverntiltakene, samt det faktum at brannsikkerheten overdimensjoneres i forhold til den reelle brannfaren (Bukowski, 1987).

I Teknisk Forskrift 1997 har myndighetene tatt følge av det faktum at brannsikkerheten overdimensjoneres, ved at den nye forskriften bare angir overordnede funksjonskrav. Forskriftens funksjonskrav med tanke på brannvern, forteller hva som er hensikten med eller hva som søkes oppnådd med aktuelle tiltak.

På bakgrunn av den utviklingen som har skjedd og fortsatt skjer når det gjelder beregningsverktøy og metoder innen det branntekniske området, er det oppstått en situasjon der de prosjekterende i langt større grad enn tidligere har muligheten for mer analytisk brannteknisk planlegging og prosjektering.

L-kurvemetoden er et av de nye analyseverktøyene som benyttes. Metoden er evaluert av Norges byggforskningsinstitutt. De har kommet frem til at denne metoden kan ha en funksjon som dokumentasjon i byggesaker, for å illustrere sikkerhetsnivået og konsekvensene av ulike løsninger.

Teknisk Forskrift 97, heretter kalt TF 97, angir at krav til brannsikkerhet kan søkes tilfredsstillt enten ved at bygningen oppføres etter veiledningen til TF 97, eller at sikkerheten dokumenteres særskilt. Velges den siste løsningen må man kunne dokumentere at de ytelser som er valgt (brannmotstand, rømningsveier, tekniske sikringstiltak etcetra), gir minst like høyt sikkerhetsnivå for bygningen som om veiledningen ble fulgt.

Myndighetene har ikke et eksplisitt mål på brannsikkerhet. Hva som defineres som tilfredsstillende sikkerhet er ikke kvantifisert i form av sannsynlighet for omkomne i brann i en gitt bygningskategori eller lignende. Det er imidlertid et uttalt mål at dagens brannsikkerhetsnivå skal opprettholdes. I forbindelse med den forstående innføringen av TF 97, vil byggherre, rådgiver og entreprenør stå fritt til å velge om bygningenes tekniske standard skal tilfredsstillende de preaksepterte løsningene gitt i veiledningen til TF 97, eller egne løsninger som det gis anledning til i de nye funksjonsbaserte byggforskriftene. Dersom dagens omfang av omkomne

og materielle skader representerer det sikkerhetsnivået som myndighetene mener er akseptabelt, vil myndighetene erfaringsmessig søke å sammenligne de funksjonsbaserte løsninger utfra TF 97 med de preaksepterte løsningen gitt i Byggeforskrift 87. For å kunne sannsynliggjøre at sikkerhetsnivået er opprettholdt må dette kunne dokumenteres kvantitativt.

Det poengteres at det pr. i dag ikke er gjort kvantitative beregninger som illustrerer sikkerhetsnivået for de preaksepterte løsningene gitt i Byggeforskrift 87. Ved å kvantifisere sikkerhetsnivået for aktuelle bygg oppført etter de preaksepterte løsningene gitt i Byggeforskrift 87, vil det være teoretisk mulig å bruke dette som et sammenligningsverktøy ved oppføring av bygg etter den nye tekniske forskriften, TF97. Byggeforskrift 87 blir heretter omtalt ved BF 87.

1.3. Utførelse av prosjektet

Store, kompliserte byggverk vil ikke være ivaretatt av veiledningen til TF 97, og for disse må brannsikkerheten dokumenteres særskilt. Med bakgrunn i dette og utfra hensyn til oppdragsgiverens ønsker, analyseres henholdsvis sykehus og forsamlingslokale. Intensjonen er å utarbeide kvantitative estimat for sikkerhetsnivået på disse to ulike kategorier av bygninger. Begge bygningskategorier er generisk modellert etter minstekrav fastsatt i BF 87. I tillegg er det gjort en faktisk analyse av et eksisterende bygg, Fylkessykehuset i Haugesund. Dette er gjort for å avdekke om sikkerhetsnivåene avviker vesentlig mellom generiske og faktiske bygg.

Verktøyet som er benyttet i analysen er L-kurve arbeidsboken fra FIREPRO Institute Ltd [1]. L-kurve metoden er en metode for analyse og dokumentasjon av brannsikkerhet. Analysene med hensyn til sannsynligheten for flammespredning resulterer i kvantitative estimat for sikkerheten som fremstilles grafisk.

Begrensninger i analysen utspeiler seg i manglende datagrunnlag. Dette har medført til utstrakt bruk av ingeniørmessige antagelser og vurderinger. Disse antagelsene må derfor behandles på lik linje med annen usikker statistikk. I tillegg til dette er det knyttet usikkerhet til resultatene fra simuleringene. Disse er så langt det har vært mulig forsøkt å få bekreftet gjennom ekspertuttalelser.

1.4. Oppgavens struktur

Rapporten er todelt med en introduksjonsdel hvor metoden blir forklart, samt en analysedel hvor selve L- kurve analysen er utført. Denne oppbygningen er valgt fordi introduksjonsdelen, kapittel 2, skal gi en innføring i metoden. Det anbefales at denne brukes aktivt ved lesning av analysedelen.

Analysedelen i kapittel 3 til 5 er utformet stegvis hvor de forskjellige analysene omfatter I- kurven, M- kurven og til slutt barriere kurven. Sannsynlighetene fra analysen er satt inn i boblediagram for de respektive kurvene. Boblediagrammene er plassert i vedlegg. Alle utregninger og simuleringer som ligger til grunn for antagelser er plassert i vedlegg.

2. BESKRIVELSE AV L-KURVEMETODEN

2.1. Generelt

L-kurvemetoden er en metode for analyse, kommunikasjon og dokumentasjon av brannsikkerheten. L-kurven utarbeides ved å gjennomføre en analyse, primært på de materielle konsekvensene av en brann, ved at flammespredningen beregnes kvantitativt og fremstilles grafisk.

Ved analysen avdekkes også personsikkerheten, fordi forhold rundt rømning og redning må evalueres for å kunne beregne og konstruere L-kurven, og fordi personsikkerhet til en viss grad henger sammen med bygningens totale sikkerhet.

L- kurvens funksjon som et kommunikasjonsverktøy gjør at alle parter må forstå hensikten med og konsekvensene av kravene i de funksjonsbaserte forskriftene. Ved hjelp av L-kurve metoden kan den prosjekterende ingeniøren legge frem forskjellige løsninger på sikkerhets-systemet som tilfredsstillende byggherrens krav, og som gjerne faller sammen med myndighetenes krav.

En av hensiktene med L-kurve metoden er å designe bygninger på en bedre måte ved å ta hensyn til alle sider ved brannsikkerhetssystemene. L- kurven kan sammenlikne effektiviteten til forskjellige løsninger, gjenkjenne enkelte delers følsomhet, samt at bygningens sikkerhet i forhold til en brann kan presenteres grafisk.

2.2. Bygninger og brann

**Alle bygninger på jorden, opp til nå, er et brannsikkerhetssystem, bevisst eller ikke
og
Ethvert brannsikkerhetssystem kan bli estimert
derfor
Kan brann risikoen i alle bygninger måles. [1]**

I tillegg til dette er branner styrt av fysiske lover, brannene må derfor følge en bestemt rekkefølge i utviklingen fra den første antennelse til hele bygningen er ødelagt. Med andre ord, når flammen er kommet til et nivå i utviklingen vil flammens neste trinn alltid være kjent. Rekkefølgen i en brann er som følger [1]:

- | | | |
|---|---|-----------------------------|
| a) Antennelse | } | — Steg A og B (se kap 2.12) |
| b) En liten flamme | | |
| c) Etablert brann (EB) | } | — L-Kurven (se kap 2.2.1) |
| d) Takinvolvert brann | | |
| e) Overtenning (OT) | | |
| f) Brann som involverer hele rommet (FRI) | | |
| g) Spredning til neste rom | | |
| h) Spredning til neste etasje | | |
| i) Total svikt | | |

For å oppnå total svikt i en bygning på grunn av en brann, med andre ord at bygningen faller ned og eller brenner opp, så må brannen følge trinnene fra a) til i). Først må en antennelse inntreffe, og dersom den lille flammen får utvikle seg, vil den gå over til etablert brann (EB). Ved etablert brann utvikler brannen nok energi til å underholde seg selv og vil vokse i størrelse. Neste trinn er når flammene vokser til takhøyde. Dersom brannbelastningen er høy nok og ventilasjonsforholdene stemmer vil brannen nå overtenning (OT) og gi brann som involverer hele rommet (FRI).

Ved brann som involverer hele rommet vil belastninger på vegger, tak og dører, kalt barrierene være størst (se kap 2.3). Brannmotstanden til disse barrierene vil være avgjørende for om brannen vil stoppe i det rommet brannen starter i, eller spre seg til omkringliggende rom. Ved høy brannbelastning eller svake barrierer vil brannen kunne spre seg gjennom en eller flere barrierer som omhyller rommet.

Ved analyse med L- kurvemethoden antas det at brannen vil spre seg til andre rom i samme etasje dersom den sprer gjennom den første barrieren. Herfra vil brannmotstanden mellom etasjene avgjøre om brannen blir stoppet eller om den kan vokse videre og spre seg til andre etasjer. Med bakgrunn i dette kan det antas at dersom mer enn én etasje brenner vil brannen kunne spre seg til alle etasjer. Det poengteres at bygningen ikke nødvendigvis oppnår total svikt selv om alle etasjene brenner. Bygningens kollaps punkt analyseres separat.

2.2.1. Begreper i brann

Begrepet antennelse blir brukt om det stadiet brannen starter. En antennelse vil være stadiet som initierer en liten flamme. En antennelseskilde kan for eksempel være en lysbue i det elektriske anlegget. En liten flamme er stadiet rett etter en antennelse. Flammene er små og utvikler ikke nok energi til å starte pyrolyse i omkringliggende materialer. I dette stadiet er flammene veldig sårbare for eksterne påvirkninger.

Når flammene antar en høyde på ca 25 cm går brannen over til stadiet som kalles etablert brann. Etablert brann, **EB**, er det stadiet hvor strålingen fra brannen begynner å bli bestemmende for utviklingen av brannen. Energiutviklingen i brannen er høy nok til å starte pyrolyse i omkringliggende materialer. Flammene vil vokse og omfatte et større areal ettersom tiden går.

Takinvolvert brann er det stadiet hvor brannen har oppnådd en flammehøyde som tangerer takhøyden. Hastigheten til brannutviklingen vil øke når taket involveres. Dette fordi flammene brekker av langs taket og strålingen når et større areal. Temperaturen i røyklaget vil som følge av at dette bli varmere og fare for overtenning er høy.

Overtenning, **OT**, er fasen mellom voksende brann og brann som involverer hele rommet. En definisjon på overtenning er: Overgang fra lokal brann til brann som involverer alle brennbare overflater i rommet [2]. Betingelser for at overtenning skal skje: Strålefluxen nede ved gulvet ca 20 kW/m² og temperaturen i det øvre røyklaget er ca 600 °C. Overtenning kjennetegnes ofte ved at flammer slår ut av vinduer.



Brann som involverer hele rommet er stadiet etter at overtenning har inntruffet. Brann som involverer hele rommet kalles i L- kurve metoden før **FRI** av det engelske uttrykket Full Room Involvement. Brann som involverer hele rommet kan også inntreffe uten overtenning. Når brannen involverer hele rommet, utvikler den maksimalt med energi, q_{max} . Brann som involverer hele rommet indikerer at alle brennbare materialer i rommet brenner.

2.3. Rom og barrierer

Alle bygninger består av forskjellige rom, disse rommene er omsluttet av vegger og tak. Det poengteres at kontinuerlige flater som omslutter et rom er definert som en barriere [1]. Alle skillekonstruksjoner til rommet vil derfor fungere som en barriere. Dette fordi de kan hindre eller forsinke brannspredning til nærliggende rom. En bygning kan således beskrives som en serie av rom separert av forskjellige barrierer. Barrierene kan være brannklassifiserte konstruksjoner, men må nødvendigvis ikke være det. En ikke brannklassifisert barriere kan for eksempel være en skyvevegg som brukes for å dele en større lokale. Denne vil være med å forsinke brannspredningen hvis den er lukket.

For å undersøke om en brann vil spre seg fra startbrannrommet til naborom må brannens karakteristikk, samt beskaffenhet til barrieren og dimensjon være kjent. En brann kan spre seg gjennom en barriere på to måter. For det første kan barrieren få massiv svikt, med andre ord falle ned eller brenne opp. For det andre kan barrieren få en lokal svekkelse som fører til punktantennelse på den ueksponerte siden, såkalt punktsvikt.

Det er den svakeste barrieren som analyseres fordi det er her brannen med størst sannsynlighet først vil spre seg til neste rom. Det kan være en dør eller dårlig utførte gjennomføringer i barrieren.

2.4. Sannsynligheter

L- kurve metoden benytter seg av en binær sannsynlighetsmodell. En hendelse eller situasjon kan inntreffe eller ikke inntreffe. Hendelsen kan også anta grader mellom disse. Sannsynlighetene settes inn i boblediagram (se kap 2.6). Sannsynligheten varierer mellom 0,0 - 1,0.

- 0,0 = Ingen sjanse for at det vil skje.
- 0,5 = 50 % sjanse for at det vil skje.
- 1,0 = Det vil skje alle gangene.

2.5. L- Kurve skjemaet

L- kurve metoden er tredelt hvor kun den siste delen blir presentert grafisk. De to første delene evaluerer virksomheten, for å etablere en sannsynlighet om etablert brann vil oppstå. Den siste delen analyserer selve brannforløpet i bygningen, med hensyn på sannsynlighet for selvslukning, slukking av automatisk slokkesystem og slukning manuelt. Ved å sammenstille sannsynligheten for etablert brann med L- kurven finnes bygningens totale sikkerhet.

**Selve kurven**

L_R - kurven, fra EB til L_R .

Den første buete formen fra EB til L_R , er satt sammen av tre forskjellige kurver: I-, A- og M-kurvene. I- kurven angir sannsynligheten for at brannen slukker av seg selv, A- kurven angir sannsynligheten for at det automatiske slukke systemet skal slukke brannen og M- kurven angir sannsynligheten for at brannvesenet skal slukke brannen. I-, A-, og M- kurvene forklares mer i kap 2.8, 2.9 og 2.10.

Barriere kurven, fra L_R til L_{BR} .

En barriere er en vegg-, golv-, takkonstruksjon som omhyller rommet. Denne barrieren kan evalueres gjennom tre forskjellige kurver: E-, D- og T- kurvene. E- angir sannsynligheten for brannens varighet og intensitet, D- angir sannsynligheten for brannmotstanden til barrieren og T- angir sannsynligheten for barrierens evne til å motstå varme gjennomgang. Barriere kurven forklares mer i kap 2.11.

L_F - kurven, fra L_{BR} til L_F .

Den andre buete formen fra L_{BR} til L_F , er satt sammen av to forskjellige kurver: I'- og M'-kurvene. I'- kurven angir sannsynligheten for at brannen slukker av seg selv i rommet bak den første barrieren. M'- kurven angir sannsynligheten for at brannvesenet skal slukke brannen bak den første barrieren. I'- og M'- kurvene forklares mer i kap 2.8 og 2.10. Det finnes ingen A'-kurve bak barrieren. Dette kommer av at det antas at det automatiske slukkesystemet ikke virker hvis brannen har spredd seg til neste rom.

Barriere kurven, fra L_F til L_{BF} .

Denne barrieren evalueres på samme måte som den mellom rommet brannen starter i og rommet bak den første barrieren.

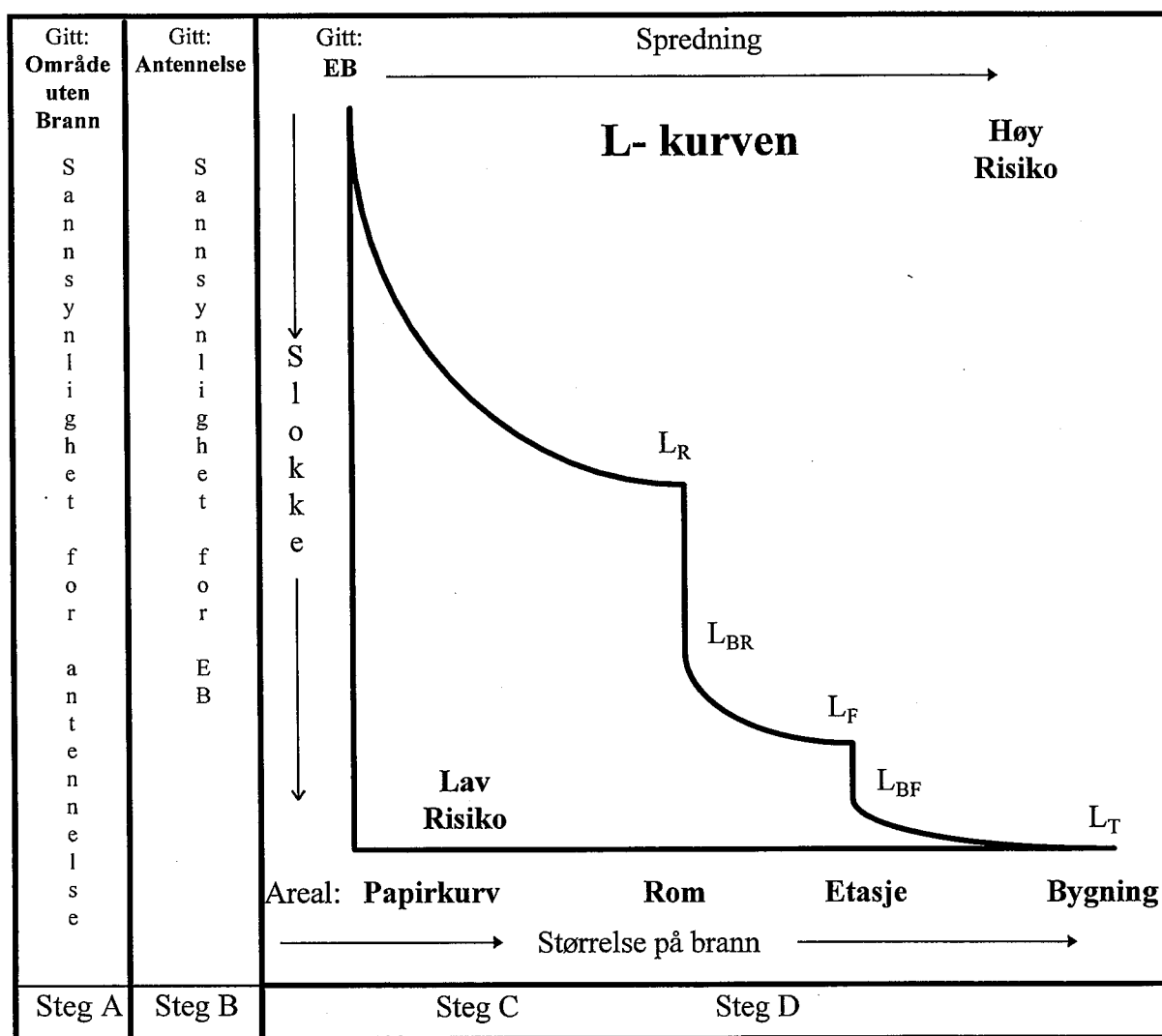
Kurvens endepunkt, L_T .

Kurven ender i et punkt kalt L_T , det er her bygningen forutsies å få en total svikt. L_T punktet sier noe om bygningens totale sikkerhet. Et høyt punkt viser en høy risiko for total svikt, mens ett lavt punkt indikerer lav risiko for total svikt i bygningen. L_T punktet kan estimeres ved hjelp av to metoder. For det første gjennom E- og D_s - kurven. E kurven, angir brannens varighet og intensitet, D_s angir bygningens evne til å motstå angrepet fra brannen. E og D_s kurvene forklares mer i kap 2.11. For det andre gjennom en analytisk vurdering av den bærende konstruksjonens brannmotstand sammenstillt med brannbelastningen til bygningen.

Resultat

Resultatet presenteres i et L-kurve diagram, se Figur 2.5-1. L-kurve diagrammet er et bilde på de enkelte bygningsdelers sikkerhet samt bygningens totale sikkerhet.

2.5.1. De forskjellige elementene på L- kurve skjemaet



Figur 2.5-1 L- kurve metoden.

På L- kurve skjemaet er det mange forskjellige begreper, disse er forklart i tabellen nedenfor og neste side.

Begrep	Forklaring
Område uten brann	Område uten noen form for overopphetning.
Antennelse	En liten flamme.
Slokke	Venstre side av skjemaet viser sannsynligheten for at flammen vil gå ut, det vil si at ethvert punkt som beveger seg nedover på L- kurven er en flamme som er på veg til å slokke.
Spredning	På toppen har vi sannsynligheten for at brannen vil spre seg. Ethvert punkt på L- kurven som beveger seg mot høyre gjenspeiler en økt sannsynlighet for at flammen skal spre seg.
Høy risiko vs lav risiko	Diagrammet viser høy risiko oppe til høyre og lav risiko nede til venstre.



Areal 1) - 4)	I bunnen har vi arealet til brannen, fra EB kalt papirkurv via rom og etasje til total bygning.
1) Papirkurv	Det er definert som det punktet hvor brannen har nådd knehøyde, og brannen produserer nok energi til å underholde seg selv.
2) Rom	Det areal som befinner seg innenfor området man definerer som tap av et (eller flere) rom.
3) Etasje	Det areal som befinner seg innenfor området man definerer som tap av en (eller flere) etasje(r)
4) Bygning	Det areal som befinner seg innenfor området man definerer som tap av hele bygningen.

Tabell 2.5-1 Begreper på L- kurve skjemaet

2.6. Utforming av kurvene

Boblediagrammene

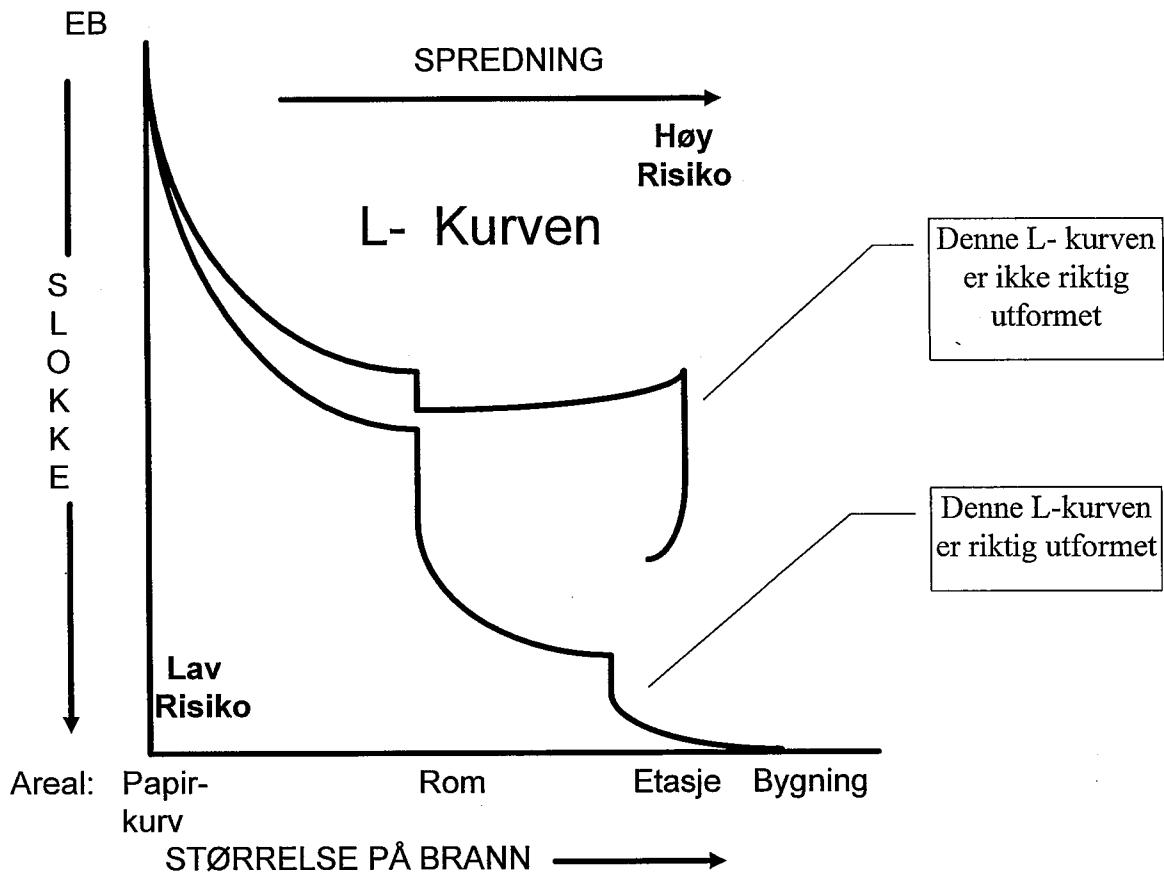
Et boblediagram er en måte å grafisk fremstille logikk, sekvenser og relasjoner mellom hendelser i systemet. Det er brukt en binær modell hvor hendelsene inntreffer eller ikke, med grader av sannsynlighet. Der hvor det ikke finnes tilstrekkelige data, må det utføres en ingeniørmessig vurdering. Det vil si å benytte tilegnet kunnskap til å komme med et estimat som er noenlunde i overensstemmelse med virkeligheten.

I- kurven finnes direkte ved å sette sannsynlighetene for selvslukning inn i et boblediagram for I-kurve. Boblediagram for punkt brukes for å finne punkter på hver av A-, M- kurvene, deretter finnes sannsynligheten for flammespredning til hver flammestørrelse. Disse settes inn i hvert sitt boblediagram for flammestørrelse som gir A- henholdsvis M- kurven. I-, A-, og M- kurven settes sammen i et boblediagram for L_R - kurven. På samme måte settes L_F - kurven sammen i et boblediagram.

Barrierene beregnes i et boblediagram for barriere. Når de forskjellige punktene er funnet settes alt sammen i et boblediagram for hele L- kurven. Boblediagrammene for ett punkt, en flammestørrelse, og for en kurve er utformet på nesten samme måte, se vedlegg 2.1.

2.7. Punktene på kurven

L- kurvens form er et resultat av at brannens areal stadig øker. Kurven beveger seg mot høyre i skjemaet. Etterhvert som brannen utvikler seg øker sannsynligheten for at brannen skal slukke, både på grunn av mindre brensel og fordi slukkeinnsatsen forverrer brannens mulighet for å utvikle seg videre. Kurven beveger seg nedover i skjemaet. Med bakgrunn i dette poengteres det at ethvert punkt på L- kurven aldri kan bevege seg til venstre eller oppover. Dette er illustrert i Figur 2.7-1.



Figur 2.7-1 Riktig og gal L- kurve

2.8. I- kurven

Sannsynlighet for at brannen skal slokke av seg selv, representert ved I-kurven, viser den naturlige forbrenningskarakteristikken til det brennbare materialet inne i rommet som studeres. I- kurven har sitt utgangspunkt i EB. Forutsatt at det ikke er iverksatt noen brannslukningstiltak foreligger følgende muligheter:

1. Flammen kan enten slokke av seg selv eller den kan fortsette.
2. Flammens evne til å vokse eller dø ut er avhengig av :
 - Brennstoffet
 - Mengde
 - Type
 - Plassering i rommet
 - Lufttilførsel
 - Blir alltid antatt å være tilstrekkelig
 - Rommets oppbygning
 - Takhøyde
 - Volum
 - Rommets geometri



Flammens evne til å slokke av seg selv er illustrert av en I- kurve.

Det beregnes en I-kurve for rommet brannen starter i og en for hvert rom/etasje etter startbrannrommet. Hvor mange rom som er gjenstand for beregning kan variere, avhengig av bygningens utforming. Hvis barrieren oppnår massiv svikt antas det at FRI inntreffer i rommet bak barrieren.

2.8.1. Metode for å finne tallene på I-kurven

I-kurven beskriver sannsynligheten for at brannen skal slokke av seg selv. Brannen antas være underventilert det vil si at brannen har tilgang til luft. Det betyr at alle eventuelle dører og vinduer er åpne. Dette for å få verst tenkbart tilfelle. En brann har som nevnt i kap. 2.2 ulike stadier. For I- kurven er det interessant at se på stegene fra etablert brann til brann som involverer hele rommet. Følgende steg evalueres:

1. Sannsynligheten for at brannen skal slokke av seg selv før den når 1.5 meter.
2. Sannsynligheten for at brannen skal slokke av seg selv før den når taket.
3. Sannsynligheten for at brannen skal slokke av seg selv før den når brann som involverer hele rommet.

Det er i dag ikke utarbeidet sannsynligheter for disse tilfellene. Disse vil trolig bli utarbeidet etterhvert som metoden blir mer anerkjent og brukt. Alternativt kan dette løses ved å se på rommets geometri (takhøyde og romvolum), fordeling og type av brennbare materialer i rommet kan sannsynlighetene estimeres med ingeniørmessige vurderinger.

De brennbare materialene kan deles inn i mobil brannbelastning (flyttbart inventar, utstyr osv.), og immobil brannbelastning (kledninger, overflater og bygningsdeler). I prosjekteringsfasen er den beste måten å finne disse brannbelastningene, å bruke tabeller med statistisk bestemte verdier. Det finnes store undersøkelser fra ulike europeiske land og USA hvor forskjellige typer bygninger og virksomheter har hvert undersøkt og brannbelastningen beregnet.

Hvis bygningstypen ikke finnes i tabell eller om det utføres beregninger på eksisterende bygningsmasse må brannbelastningene beregnes ved hjelp av formler i NS3478.

Metoden som brukes for å finne sannsynlighetene er å se på et tenkbart arnested. Videre bedømmes med bakgrunn i hva som brenner, om flammene kan nå den aktuelle flammehøyden. Med disse forutsetningene kan gode estimat på sannsynlighetene finnes for at brannen skal slokke av seg selv i de tre fasene.

Følgende er avgjørende for de forskjellige flammehøydene:

Før 1.5 meter flammehøyde:

Dette er fasen fra etablert brann (EB) til brannen har nådd 1.5 meters høyde. Det som primært bestemmer om brannen vil fortsette å brenne er hvor stor brenselmengde som er involvert, avstand, geometri og materiale i nærliggende gjenstander. Plasseringen til brannen har også



stor innvirkning. En brann i et hjørne av rommet vil ha større mulighet for å vokse enn en brann midt i rommet. Dette fordi strålingen fra brannen vil bli fire ganger større enn for en brann midt i rommet på grunn av refleksjon fra veggene. Det som er bestemmende for flammespredningen er hvor mye brannen stråler, og pyrolyse temperatur til nærliggende brannobjekt. Her er det størst sannsynlighet for at brannen skal slokke av seg selv. Dette fordi brannen ikke har utviklet så mye varme røykgasser i rommet. Pyrolysen til materialene i rommet vil ikke være så stor ennå.

Før flammene når taket:

Takhøyden er betydningsfull for om brannen skal nå taket eller ikke. Det vil være større sannsynlighet for at flammene når taket i et rom med lav takhøyde enn i et med stor takhøyde. Som i forrige fase vil brenselmengde, geometri og avstand til andre brennbare materialer også ha betydning. Ved lav takhøyde vil altså sannsynligheten for at brannen skal slokke av seg selv før flammene når taket være svært lav, mens det vil være større sannsynlighet for at flammene slokker av seg selv ved stor takhøyde. Hva som brenner har også noe å si for om flammene blir tilstrekkelig høye eller ikke.

Før flammene når full rom brann.

Hvis flammene når taket vil pyrolysen i taket øke. Flammene vil ved dette punktet ha lettere for å spre seg til andre deler av rommet. Det poengteres at materialet i tak og vegger vil ha betydning for pyrolysen der. I et rom med betong overflater vil ikke overflatene bidra med pyrolysegasser. Betongoverflaten vil derimot forsinke en eventuell overtenning ved at betongen absorberer mye av energien. I et rom med treoverflater vil pyrolysen være stor og flammene sprer seg lettere. Tiden til overtenning eller FRI vil være kortere i det siste tilfellet.

Konsentrasjon av brennsel i rommet vil også ha betydning og bidra til brannspredningen. Dersom flammehøyden blir høyere enn takhøyden vil flammen knekke til siden [2]. Dette medfører at strålingen fra selve flammen når en større del av rommet. Sammen med strålingen fra de varme røykgassene vil dette øke sannsynligheten for FRI. Grunnet den store varme-strålingen fra flammene, røykgassene og overflatene vil det være lav sannsynlighet for at brannen skal slokke av seg selv i dette stadiet.

I'-kurven i rommet bak barrieren beregnes som nevnt over dersom barrieren oppnår punktsvikt. Hvis barrieren oppnår massiv svikt antas det at rommet bak barrieren oppnår brann som involverer hele rommet, FRI.

2.9. A- kurven

Det automatiske slokkeutstyret kan bestå av spesialutstyr som kreves av et begrenset området som skal vernes, f.eks CO₂, kjemikalier, eller et vanlig sprinkleranlegg. Det automatiske slokkeanleggets evne til å slokke brannen er illustrert av en A- kurve. Når EB er inntruffet, er det antatt at alle tiltak som settes igang for å hindre EB har feilet. Det som da er igjen er det automatiske slokke systemet.



Prinsippet for analysen er som følger:

1. Er det installert et automatisk slokkesystem i bygningen?
2. Dersom et slokkesystem er installert, er det pålitelig? Med andre ord, vil systemet utløses på det tidspunkt den er satt til å gjøre?
3. Dersom systemet utløses, er plasseringen av systemet effektive nok til å undertrykke brannen? Eller vil bygningens utforming hindre slokkemiddelet å effektivt kontrollere brannen?

2.10. M- kurven

M- kurven kan finnes ved å utføre separate evalueringer ved hjelp av sjekklister. Disse sjekklister er kalt for Tic'er. Hver Tic inneholder en rekke grupper av kontrollspørsmål kalt Tac (Se kap 2.10.1). Sannsynligheten for at brannvesenet får slukket brannen før FRI kan estimeres ved ingeniørmessige vurderinger der en ser på alt fra oppdagelsestidspunkt via tilgang på telefon, brukere, brannvesenets utrykningstid, materiell og innsatstid, til brannens areal i forhold til den vannmengde som er tilgjengelig for slokning. Datagrunnlag kan også bli brukt for å finne tall til M- kurven. Det lokale brannvesenets mulighet og evne til å slokke brannen illustreres av en M- kurve. Dette punktet er avhengig av bygningens utforming og kapasitet, samt organiseringen av det lokale brannvesen.

I rommet hvor brannen starter gjøres to separate M- kurver. De to M- kurvene illustrerer henholdsvis slokkeinnsatsen fra de tilstedeværende i bygningen og brannvesenet. I tilfeller hvor brannen sprer seg til rommet bak barrieren er brannen så omfattende at kun brannvesenet antas å kunne utføre slokkeinnsats.

Det er viktig å merke seg at M- kurveanalysen som gjøres for rommet etter barrieren først begynner med evalueringer av sjekklister gitt i TAC 9. Dette betyr ikke at TAC 1-8 ikke har vært gjenstand for evaluering, men at den tiden barrieren holder igjen brannspredningen, gir brannvesenet tid til entring av bygningen før FRI oppstår i rommet bak barrieren. Det poengteres at antagelsen i dette tilfelle er gjeldende for analysen av generisk og praktisk sykehus samt forsamlingslokale senere i rapporten. Antakelsene bygger på ingeniørmessige vurderinger og ekspertuttalelser fra brannvesenet. Det gjøres oppmerksom på at en slik antakelse må gjøres eksplisitt for hvert analyseobjekt, og ikke kan antas å ha allmenn gyldighet.

I evalueringer av slokkeinnsatsen som utføres av de tilstedeværende, er TAC 5-8 utelatt. Årsaken er at personene forutsettes å befinne seg fysisk tilstede i bygningen hvor brann har oppstått, og derfor ikke deltar i noen form for utrykning.

M- kurven antar at punkt svikt antennelse (EB) har inntruffet på barriere overflaten i rommet bak barrieren. Dette forklares med at punktsvikt normalt inntreffer før massiv svikt i barrieren.

Det poengteres at i analysen er evalueringene knyttet opp til kasernert brannvesen. Det er antatt at brannvesenets personell og utstyr er oppsatt og funksjonerer i henhold til lover og forskrifter. Brannvesenets operative tilstand vil allikevel variere sett på landsbasis. For å ta høyde for disse variasjonene er verdiene i analysen satt etter en konservativ vurdering. Det poengteres at analyse av kommuner med deltidsbrannvesen vil verdiene på M- kurven være

generelt lavere. Dette skyldes i hovedsak lengre innsatstid og mindre operativ trening og erfaring. Dersom innsatstiden til brannvesen overstiger 10 minutter kan kommunestyre vurdere å gi pålegg om ytterligere sikringstiltak med hjemmel i Lov om brannvern § 25. En mulig løsning kan være å installere automatisk slokkeanlegg i sykehuset for å kompensere for brannvesenets manglende slagkraft og innsatstid. Det automatiske slokkeanlegget vil kunne kontrollere brannen til brannvesenet ankommer og begynner sin slokkeinnsats. Resultatet er at sikkerhetsnivået for bygningen kan opprettholdes eller eventuelt forbedres.

De forskjellige boblediagrammen for M- kurven presenteres i vedlegg 2.2.

2.10.1. TIC A: Oppdagelses komponenten

TAC 1: Brannen oppdages/detekteres før FRI

Sannsynligheten for at brannen oppdages/ detekteres før FRI vil være avhengig av om brannen detekteres av mennesker eller av automatiske deteksjonssystemer.

Hvorvidt brann detekteres av mennesker er særlig avhengig av aktivitetsnivået innenfor de enkelte deler av bygningen. Et høyt aktivitetsnivå i den bygningsdelen hvor brannen bryter ut vil øke sannsynligheten for deteksjon og vice versa. Aktivitetsnivået vil i de fleste tilfeller svinge mellom ulike deler av bygningen og tiden på døgnet.

Påvirkning fra nedsløvende stoffer reduserer individets oppfattelsesevne og tankegang. Dette vil påvirke både sannsynligheten for at brannen detekteres og evnen til å sende melding til brannvesenet.

Det foreligger rapport med sikre data fra 306 branner vedrørende brannens tilstand ved oppdagelse [8]. Dataene viser at 27 % av brannen ble oppdaget ved lokal brann i startbrannrommet. Kun 2 % av det totale antallet branner ble detektert med automatisk deteksjonsutstyr. Rapporten skiller ikke mellom ulike kategorier av bygninger og tidspunkt på døgnet.

Et automatisk deteksjonssystem er et viktig element i brannbeskyttelsestiltak i bygninger. Et fullgodt designet, installert, testet og vedlikeholdt brannalarmsystem kan redusere de materielle skader på eiendom og sannsynligheten for at personer omkommer.

Hvor tidlig automatisk deteksjonen av brann skjer er avhengig av typen detektorer som nyttes, hvilke materiale som brenner, romvolum, brannbelastning og type brann (ulmebrann og flammebrann). En røykdetektor vil detektere de fleste branner mye raskere enn en varme-detektor, og gir for de fleste anvendelsesområder størst grad av sikkerhet. Bygningskategoriene som er omtalt i oppgaven er normalt utstyrt med røykdetektorer. Det finnes to kategorier av røykdetektorer i markedet, den ioniske og optiske. Røykdetektorer som bruker ionisk teknologi gir noe raskere deteksjon for branner med åpen flamme og høy energi, siden disse brannene produserer et høyt antall små røykpartikler. Optiske detektorer kjennetegnes ved å gi raskere deteksjon på røyk produsert av ulmebrann, fordi denne type brann produserer større røykpartikler [3].

Generelt har de automatiske deteksjonssystemene svært høy pålitelighet. Av feil knyttet til deteksjonssystemet viser statistikk at detektorfeil utgjør over en tredjedel av det totale antall

feil. Tilgjengeligheten for det automatiske deteksjonssystemet vil være influert av vedlikeholdsfilosofien på anlegget. Et stand-by system vil normalt ha et periodisk vedlikehold der anlegget testes med jevne intervaller. Intervallengden, MTTF (Mean time to failure) og reparasjonstiden vil avgjøre den endelige tilgjengeligheten hos deteksjonssystemet. I verste fall kan et i utgangspunkt godt system få en betydelig redusert tilgjengelighet på grunn av dårlig planlagt vedlikehold.

TAC 2: Signal/Melding er forberedt før FRI

Evalueringen knytter seg til hvordan oppdageren handler, det vil si om vedkommende under den gitte situasjonen beslutter å varsle brannen, slukke, rømme varsle andre osv. Evalueringen av det automatiske anlegget er først og fremst knyttet til påliteligheten.

Den karakteristiske oppførselen til enkeltmennesker og grupper har vært evaluert i forskningsstudier hvor individer har blitt intervjuet i etterkant av branner. Studiene viser at individers oppførsel i en brannsituasjon påvirkes av hvilken bygning som brenner og hvilken tilstand brannen er i ved oppdagelse. For eksempel vil personens umiddelbare reaksjoner avhenge av om de lukter røyk, ser flammer eller om de møter en svart, røykfylt korridor. Generelt vil økende grad av trussel mot liv og helse vise seg i form av større grad av uhensiktsmessig adferd hos individer og grupper. Det bør påpekes at for de fleste branner viser individene hensiktsmessig adferd. Panikkartet adferd er i liten grad påvist og dokumentert i de undersøkelser som er gjort [5].

I en katastrofe vil hjernen fungere på den måten at den arbeider med å finne lignende erfaringer som kan brukes i den aktuelle situasjonen [6]. God opplæring og gode varslingsrutiner mm, vil være et godt grunnlag for å utføre de riktige handlingene i en brannsituasjon. Forskrift om brannforebyggende tiltak og brannsyn § 2-4 pålegger eier/bruker av sykehus å gjennomføre 2 årlige brannøvelser. Dette innebærer et godt utgangspunkt for korrekt handling i et branntilfelle.

I et utvalg på 584 personer i USA ble det funnet at de mest hyppige reaksjoner ved brann var evakuering av bygningen, bekjempelse av brannen eller varsling av andre individer eller brannvesenet. Studiet viser at 38 % varslet brannvesenet som første, andre eller tredje handling [5]. Undersøkelsen viser ikke om meldingen ble mottatt av brannvesenet, dette blir evaluert i TAC 4. Det poengteres at de 38 % gjelder for både TAC 2 og TAC 3.

Engelsk forskning gir et godt bilde av handlinger på ulike stadier gitt at brannen er oppdaget. Tendensen er at mennesket først varsler andre eller lokaliserer nærmeste familie, deretter varsles brannvesenet. Videre er det påvist forskjeller mellom kvinner og menn i deres umiddelbare handlinger ved brann. Kvinner viser tendens til å varsle brannvesenet tidligere enn menn, og i overkant av 11 % av kvinnene gjør dette som første handling ved oppdagelse av brann.

TAC 3: Signal/Melding sendes før FRI

Evalueringen av om meldingen sendes er knyttet til kommunikasjon og varsling av brannvesenet. For eksempel muligheten til å lokalisere en telefon, alarm knapp og distansen

dit. Videre vil påliteligheten til telefonen være en variabel, samt melderens evne til å få sendt melding via telefon eller brannmelder.

Dersom detektorer indikerer brann eller alarmknappen er trykket inn manuelt er det avgjørende at signalet når frem til det stedlige brannvesen. Fjernvarslingen skjer over telefonnettet i likhet med manuell varsling og oppringning. Straks en detektor melder om brann vil brannvesenet motta melding om dette på sitt edb-anlegg. Forutsetningen for dette er at alarmsentralen på stedet er knyttet opp mot brannvesenet (Fjernvarsling). Det finnes tre hovedtyper av brannalarmanlegg, konvensjonelt-, adresserbart- og analogt adresserbartsystem. Det systemet som det knyttes høyest pålitelighet til er analogt adresserbartsystem.

TAC 4: Brannvesenet mottar brannmelding før FRI

Evalueringen som gjøres knytter seg til kommunikasjonskjeden, graden av meningsinnhold og nøyaktighet i meldingen.

Hospital er regulert i Byggforskrift 1987 hvor kommunen kan kreve at fjernvarsling av brann installeres dersom bygningen inneholder mer enn 50 sengeplasser. Fjernvarslingen skjer over telefonnettet, og er knyttet til brannvesenets edb-anlegg.

Umiddelbart når melderer får kontakt med brannvesenet vil adressen til telefonapparat komme opp på en dataskjerm. Dette gir brannvesenet god mulighet for å grovlokalisere brannstedet. I brannvakten hvor telefonmeldingene kommer inn vil det være prosedyrer i form av et spørreskjema. Spørreskjemaet brukes for å få mest mulig nøyaktig informasjon fra melderer.

Erfaringsmessig er folk oppspilte når de ringer og graden av nøyaktighet av informasjonen varierer i stor grad. Spørreskjemaene som er utviklet for å sikre nøyaktigheten til innkomne meldinger kommer ikke alltid til sin rett i det mange straks legger på røret. Sistnevnte er særlig et problem i tilfeller hvor varslingen skjer over mobiltelefon, fordi lokaliseringen av telefonen ikke er mulig. En antar at meldingene i tilstrekkelig grad er nøyaktige i 90 % av tilfellene [A].

Fjernvarsling av brann over det automatiske brannalarmanlegget antas å være mer nøyaktig og pålitelig. Fra deteksjon til melding mottas hos brannvesenet skal det maksimalt gå 30 sekunder. Tidstapet fra melding sendes fra brannalarmanlegget via sentralisert alarmsentral til det mottas hos brannvesenet er normalt mindre enn de normerte 30 sekundene.

2.10.2. TIC B : Utryknings komponenten

Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen gir krav til innsatstid. Innsatstiden er definert som tiden fra innsatsstyrken er alarmert til den er i innsats på brann/skadested.

Til tettbebyggelse med særlig fare for rask og omfattende brannspredning, sykehus/sykehjem m.v., strøk med konsentrert og omfattende næringsdrift og lignende skal innsatstiden ikke



overstige 10 minutter. Til sykehus/sykehjem m.v, kan innsatstiden i særskilte tilfeller være lengre dersom det er gjennomført særskilte tiltak som kompenserer for den økte risikoen [7].

For kasernerte brannvesen i Norge brukes det forhåndstall på utrykningstid fra brannstasjon og tidsbruk ved forflytning. Fra alarmen går til brannbilen forlater garasjen er normert tid mindre enn 1 minutt. Som forflytningstid med bil regnes 1 min/km.

2.10.3. TIC C: Påførings komponenten

TAC 8: Brannvesenet kommer seg inn i bygningen før FRI

Flere variabler må evalueres for å avgjøre sannsynligheten for at brannvesenet kommer seg inn i bygningen før FRI. Disse variablene er knyttet til tilgang til bygningen, vanntilgang, og mulighet for tilkobling av slanger til hydranter og pumpeutstyr.

Forskrift om brannforebyggende tiltak og brannsyn § 6-6 regulerer atkomst for brannvesen. I henhold til forskriften er kommunestyret pliktig å påse at brannvesenet så langt det er mulig har atkomst til bygninger, samt oppstillingsmuligheter for sitt materiell i eventuelle brannsituasjoner.

Brannvernloven § 23 pålegger brannsjefen å foreta brannsyn på bygninger som reguleres av § 22 i samme lov. Den som utfører brannsyn skal foreta en fullstendig og avveid vurdering av alle forhold som kan påvirke sannsynligheten for at brann bryter ut og konsekvensen av dette.

I bygning med øverste gulv mer enn 22 m over terreng skal det i trapperommet være stigeledning for tilkopling av vann for brannslukking. Stigeledningens nedre ende skal kunne koples til brannvesenets pumper, og det skal være dobbelt uttak for brannvesenets slanger mellom annenhver etasje.

Forskrift om brannforebyggende tiltak og brannsyn § 6-5 pålegger kommunen å sikre tilstrekkelig vannforsyning til brannslukking. Hydrantene vil normalt være plassert med max 150-200 m avstand mellom uttakene og er sikret mot funksjonsstopp, (frost, rust eller lekkasje). Videre antas vanntilgangen ytterligere trygget gjennom forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesenet § 5-5. Paragrafen krever at tankvogn kjøres ut samtidig med førsteutrykningen, dersom det er nødvendig for å sikre brannvesenet tilstrekkelig slokkevann. For å oppfylle tankbilkravet forutsettes det at samlet tankkapasitet utgjør minst 8-10000 l.

Det er viktig å bemerke at tidsfaktoren er særlig avgjørende ved estimering av sannsynligheten. Således må brannvesenets responstid fortløpende evalueres i forhold til den beregnede brannutviklingen.

Innsatspersonellet antas å bruke ca 1minutt fra første mann er ute av brannbilen til første mann står med trykk på slangen klar til å entre bygningen [A].

TAC 9: Munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI

Forhold som legges til grunn for evalueringen er mulighet til lokalisering av brannen, tilgangen til etasjen det brenner i, tilgang til rommet hvor brannen startet i, tilgjengelig personell og tilkoblingsmuligheter for slanger.

Normalt vil innsatspersonellet grovlokalisere brannstedet ved å notere seg hvilke detektorer som har slått ut på hovedsentralen før entring av bygningen skjer. Forløpet fra brannvesenet entrer bygningen til brannen eventuelt lokaliseres er avhengig av adgangen til etasjen og rommet hvor det brenner. Ekspertvurderinger er gjort for den tiden som går med fra innsatspersonellet er klar til å entre bygningen til de fysisk står ved brannrommet. Tiden er estimert til å variere fra 2-4 minutter avhengig av de ovennevnte forhold samt distansen fra entringspunktet til rommet det brenner i [A].

Røyk- og varmemforholdene i bygningen vil kunne dramatisere og forverre brannmannskapenes mulighet til å ta seg frem til brannstedet. Ved evaluering av når disse forholdene eventuelt vil være betydningsfulle, kan gjøres ved å studere brannutvikling og røykproduksjon i forhold til aktive og passive brannbeskyttelsestiltak i form av brannceller og røykventilering. Brannvesenets hovedoppgave ved brann er å redde liv. Dersom ikke alle personer er evakuert fra bygningen vil dette prioriteres fremfor sløkning, dersom ikke sløkning er en forutsetning før en evakuering kan finne sted.

Analyser av 33 branner viser at ved kun 4 av disse var det snakk om redningsinnsats fra brannvesenets side [8]. Dette skyldes i første rekke at det ikke fantes personer å redde, enten fordi alle på forhånd var evakuert eller at brannen inntraff på et tidspunkt hvor folk ikke befant seg i bygningen. Det er uvisst om dette antallet har validitet for sykehus fordi et stort antall pasienter på grunn av dårlig fysisk eller psykisk tilstand er avhengig av assistert rømning. Om dette må iverksettes vil hovedsakelig avhenge av brannspredningen og om denne sannsynliggjør en trussel mot liv og helse for tilstedeværende personer. I den grad brannvesenet må assistere evakuering vil dette suksessivt gå ut over sløkkeinnsatsen.

TAC 10: Første sløkkemiddel påføres før FRI

Ved evaluering tar man hensyn til vanntilgangen, både fra brannvesenets egne pumper og eventuelle stasjonære pumper. Videre tas det hensyn til eventuelle stigerør og uttak for brannvesenets slanger. Under evalueringen vurderes også innsatspersonellens trening og erfaring.

Kommunen skal sørge for at personell i brannvesenet tilfredsstiller de krav til kvalifikasjoner som Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen § 7-1 stiller. Det skal gjennomføres praktiske og teoretiske øvelser med slik hyppighet, omfang og innhold at personellet kan løse de oppgaver det kan forventes at de blir stilt overfor.

Gitt at innsatspersonellet fysisk står ved rommet det brenner i før brann involverer hele rommet, kan sløkning begynne så snart sløkketeknikk er bestemt. Med erfarne innsatspersonell har man lite tidstap før vann påføres brannen.

2.10.4. TIC D: Brannsløknings komponenten

TAC 11: Kvantiteten på sløkkemiddel er tilstrekkelig for sløkning før FRI

Ved evaluering vurderes tilgang til vann, antall hydranter og lokalisering, tilgjengelig innsatspersonell for sløkning, utstyr og pumpekapasitet.

Hvor mye vann som kan påføres en brann er avhengig av pumpekapasitet og vanntilgangen i området. Videre er man avhengig av å ha tilgjengelige brannmannskaper som kan betjene vannslangene.

Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen § 5-2 regulerer forhold knyttet til vaktlag og støttestyrke. Et vaktlag skal minst bestå av fire personer hvorav to kan inngå i et røykdykkerlag. I støttestyrken inngår fører av tankbil og fører av snorkel-/stigebil. Forskriften setter ikke krav til at ethvert brannvesen skal ha røykdykkere. Kommunen må imidlertid etter en samlet kartlegging av kommunens bygningsmasse og risikoobjekter vurdere behovet for røykdykkertjeneste. Et røykdykkerlag antas å kunne levere vannmengde fra en 38 mm slange på anslagsvis 250-270 l/min. Under evalueringen av M- kurven forutsettes røykdykkerlag å være tilgjengelig.

Som utgangspunkt skal alle kommuner ha en samlet innsatsstyrke på minst 16 personer. Ved større branner er det en forutsetning at minst 12-14 mannskaper, skal kunne operere samlet innen en innsatstid på 10-15 minutter etter at førsteinnsats er iverksatt [7].

I veiledning til Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen er det angitt at pumpekapasiteten bør være minimum 1000 l/min. Fastmonterte pumper som drives av kjøretøyets motor har typisk en kapasitet på 2-3000 l/min. Dersom flere pumper er tilgjengelig vil brannvesenet normalt medbringe disse ved utrykning. Slik sikrer brannvesenet både redundans hvis en pumpe skulle feile samt mulighet for økt pumpekapasitet hvis behov. Under evalueringen av M- kurven forutsettes det en total pumpekapasitet på 3000 l/min.

Målet med sløkning er å bringe den fullt utviklede romsbrannen under kontroll, det vil si sløkke av rommet. Brannen i rommet vil kunne regnes å være sløkket når branngassblandingen ikke lenger er flammer og når overflaten ikke lenger kan antennes. Hvor mye sløkkemiddel som er tilstrekkelig, vil variere med brannens størrelse i forhold til rommet. Slukkekriteriet er at nedkjølingseffekten er minst 1/3 av den effekt brannen produserer, og romtemperaturen skal ned til 150 °C [9].

Det eksisterer flere teorier og anslag om hvor mye sløkkevann som trengs til å slukke brann i en overtent branncelle. Her nevnes to yttergrenser med hensyn til forventet nødvendig mengde slukkingsvann:

- Nødvendig mengde vann er det dobbelte av den mengde som går med til å balansere den utviklede energi ved brannen (100 % forbrenning). 50 % av det tilførte vannet antas med andre ord ikke å delta i energibalanseringen, det vil si det når ikke frem til brannsonen [8].

Denne mengde tilsvarer 14,6 l/min pr. MW utviklet.

-Nødvendig mengde vann er den mengde en er kommet frem til ved realistiske forsøk. Salzberg et al har i Fire Technology. Febr, 1970 presentert "Minimum water requirements for suppression of room fires". Brannmannskaper går i disse forsøkene inn i overtente rom med vanlige slanger og dyser [8].

Denne mengde tilsvarer 7,3 l/min pr. MW utviklet.

TAC-12: Kontinuerlig påføring av sløkkemiddel til slokning før FRI

Hvorvidt man kan operere med kontinuerlig påføring av sløkkemiddel vil avhenge av en rekke parametere. Av størst viktighet nevnes tilgang på sløkkemiddel, utstyr, påliteligheten til pumpeutstyret, nok innsatspersonell og at disse får drive kontinuerlig slokning uten avbrytelser. Evalueringen forutsetter at slokning av brannen har begynt.

Et tenkt scenario for mulig avbrudd er at slokningen må avbrytes på grunn av varmeforholdene. For en røykdykker i innsats vil den varmen han føler være den virkelige temperaturen han utsettes for. Han vil uvegerlig ønske å trekke seg, bli opptatt av sine egne problemer fremfor å gjøre slokkejobben, dersom han føler varmen for høy, uansett om temperaturen er relativt lav eller ikke.

En annen faktor som vil kunne hindre kontinuerlig slokning er pumpesvikt eller mangel på vann. Generelt øker faren for dette ved langvarig slokking og stor brannspredning.

TAC-13: Fullstendig slokning inntreffer før FRI

For å kunne si noe om en brann vil kunne slokkes før FRI må trening og erfaring hos brannmannskapene evalueres, samt deres kunnskap om sløkketeknikk.

Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen regulerer forhold som har med opplæring og kompetanse for innsatspersonellet. Forskriftens § 7-4 krever at røykdykker skal ha yrkesutdanning som brannkonstabel samt yrkesutdanning i røykdykking.

Kommunen skal sørge for at personell i brannvesenet tilfredsstiller de krav til kvalifikasjoner som Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen stiller. Det skal gjennomføres praktiske og teoretiske øvelser med slik hyppighet, omfang og innhold at personellet kan løse de oppgaver det kan forventes at de blir stilt overfor.

2.11. Barriere kurven

I arbeidsboken for L-kurvemetoden fra Firepro Institute [1] er det plottet barrierekurver som henspeiler instruktørens formening om ytelse til barrierene. Disse tolkningene er marginalt dokumentert og må derfor benyttes kritisk. Kurvene henspeiler perfekte laboratorie konstruksjoner, og kan ha lite med virkeligheten å gjøre. En ferdigstilt barriere bør vurderes etter kvaliteten på oppføringen og da spesielt tetning av gjennomføringer. I henhold til norsk klassifisering vil de teoretiske kurvene være konservative ved generiske beregninger, eller ved forutsetning om forskriftsmessig oppføring av barrieren. Dette fordi alle norske brannklassifiserte barrierer skal hindre brannspredning i den tiden den er klassifisert for.



En alternativ fremgangsmåte for barriere analyse er først å vurdere beskaffenhet til barrieren ved å se på konstruksjon, oppføring og gjennomføringer. Videre finnes branntid ved å beregne brannbelastningen og brannforløp. Med bakgrunn i dette gjøres en skjønnsmessig vurdering av sannsynligheten for svikt i barrieren [18]. Denne løsningen stiller store krav til kunnskap og erfaring innen brannteknisk arbeid.

Det poengteres at den første metoden som brukes for å analysere barrierene ikke tar hensyn til brannvesenets innsats for å beskytte barrieren. Dersom den alternative fremgangsmåten brukes, hvor det gjøres en skjønnsmessig vurdering, anbefales det at brannvesenets innsats for å forsvare barrierene tas med i betraktningen. Dette fordi brannmotstanden til barrieren øker ved nedkjøling.

Barriere kurven viser hvor stor sannsynligheten er for brannspredning gjennom barrieren. Barriere kurven er satt sammen av tre forskjellige kurver: E-, D-, og T- kurve.

E- kurven, E for det engelske uttrykket Energy (energi). E- kurven finnes ved enten å se i statistikk over de forskjellige bygningskategorier for å finne brannbelastning eller å se på de forskjellige materialene som befinner seg innenfor barrieren og beregne den energien pr. m² disse vil frigjøre ved en brann. Denne verdien sammenfattes med gitte verdier for brannbelastninger, for å finne ut hvor lenge brannen vil vare i test tid. Ut fra dette kan vi tegne en karakteristisk kurve for brannens varighet. Tabellen for standard branntid i forhold til brannbelastningen starter på 454 MJ/m² [1]. Om den utregnede brannbelastningen ikke finnes i tabellen, velges verdien nærmest over. Dette medfører at standard branntid for verdier under dette i virkeligheten kan være lavere enn hva tabellen tilsier. Dette gir et konservativt estimat på barriereanalysen.

D- kurven, D for det engelske uttrykket Duration (varighet). D- kurven uttrykker en barrieres evne til å bibeholde sin opprinnelige form, og dermed hindre flammespredning, til neste rom eller etasje, gjennom barrieren.

D_s- kurven uttrykker hele bygningens evne til å beholde sin opprinnelige form.

T- kurven, T for det engelske uttrykket Thermal (termisk motstand). T- kurven uttrykker en barrieres evne til å motstå varmegjennomgang, og dermed hindre temperaturer på veggen i naborom å bli så høy at materialer i dette rommet skal ta fyr.

2.11.1. Teori for bestemmelse av barriere kurven i henhold til metode 1 (se over)

Det er utarbeidet kurver for \bar{D} og \bar{T} påvirket av en standard ISO- brann. Disse er satt inn i figurer, som viser sannsynlighetene for massiv svikt i barrieren, \bar{D} - kurven, og sannsynlighet for punktsvikt i barrieren, \bar{T} - kurven med hensyn på Test Tid. Det poengteres at disse kurvene er en illustrasjon på hvordan det kan være, og at de ikke nødvendigvis stemmer med virkeligheten [1]. Se Figur 2.11-1.

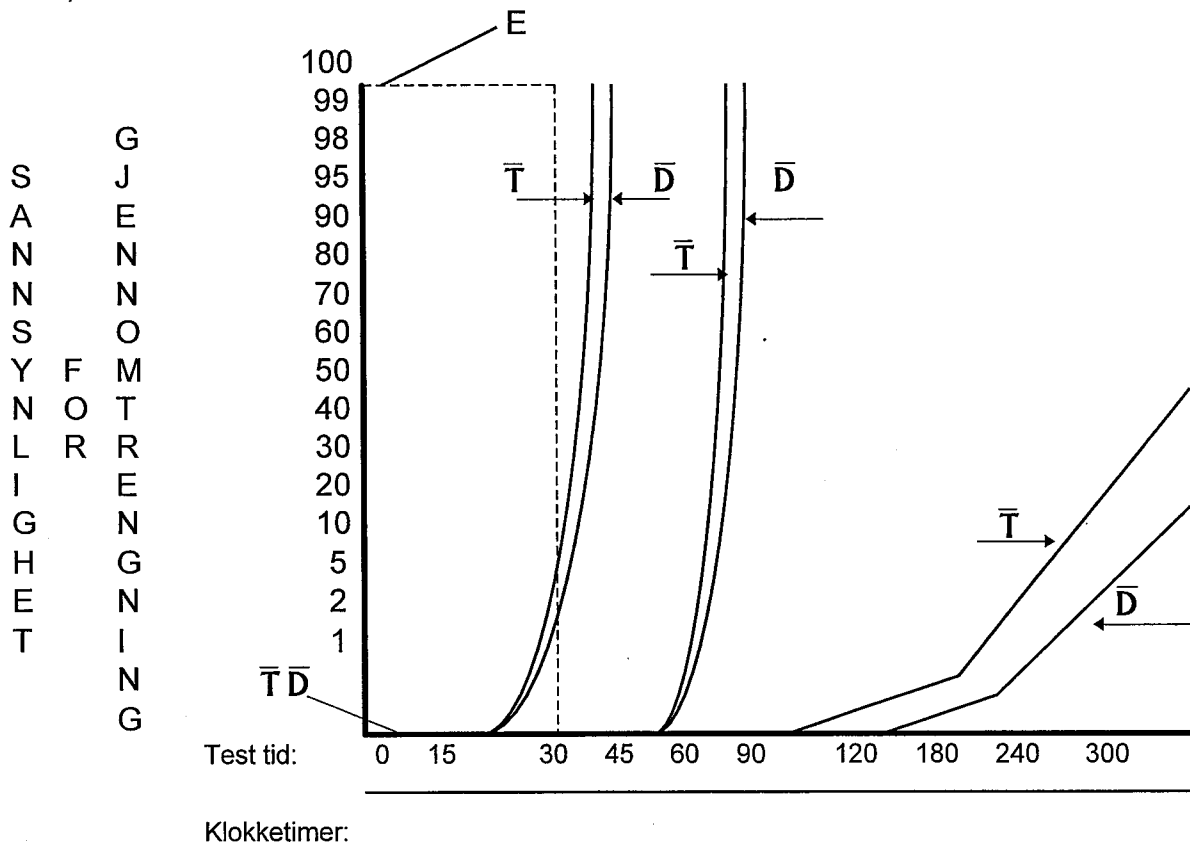
Ved å plote E- kurven for brannen inn i samme diagram som disse standard kurvene kan man lese av hvor stor sannsynlighet en gitt barriere vil motstå en brann (Figur 2.11-1).



Test Tid vs klokke tid

Det er vanskelig å anta hvor lenge en brann varer, derfor er det utarbeidet verdier på branntid i forhold til brannbelastningen. Denne tiden er beregnet i forhold til brannbelastningen og ikke på hvilke materialer som brenner og kalles derfor Test Tid. Test Tiden er ikke den samme som virkelig tid. For å sammenstille branner av forskjellige størrelser og intensitet bruker man den brannbelastningen en brann kan utvikle og sammenlikne denne med en standard ISO brannbelastning. Ut fra dette kan man finne ut hvor lenge brannen ville vart dersom det var en standard ISO brann.

Det poengteres at en A120 barriere ikke betyr at den vil motstå en reell brann i to timer. Den kan holde mye lengre eller kortere alt etter hvilke materialer som brenner. Plast materialer vil ha et mye raskere brannforløp, i klokke tid, enn tykke trematerialer. Test tid vil derfor bety den tid en gitt brann med en gitt brannbelastning ville ha vart dersom den fulgte en standard ISO- brannkurve. Derfor vil en barriere som er klassifisert til A120 motstå en standard ISO brann i to test timer.



Figur 2.11-1 Barriereanalyse diagram (dette er kun en illustrasjon)

Hvor :

E er kurven for brannen (markert med striplet linje)

\bar{D} angir sannsynlighet for at barrieren får en massiv svikt.

\bar{T} angir sannsynlighet for punktsvikt, det vil si at det blir så varmt på yttersiden av barrieren at materialer i neste rom kan antennes.



Som et eksempel kan det leses fra diagrammet:

Brannen består av brennelse som vil gi en brann som varer med full intensitet i 30 min (Test Tid). Dersom barrieren som analyseres er en B30 vegg avdekkes det at sannsynligheten for massiv svikt er på ca 2% og sannsynligheten for at en punktsvikt oppstår er på ca 9%. Dette gir en sannsynlighet for spredning til naborom gjennom barrieren på:

$$\begin{aligned}\Pr(\bar{B}) &= \Pr(\bar{D}) + \Pr(\bar{T}/D) \\ &= 0,02 + (0,09 * 0,98) = \\ &= 0,1082 \text{ ca } 11 \% \text{ sannsynlighet for at barrieren vil tillate brannen å spre seg til neste} \\ &\quad \text{rom før 30 min test tid.}\end{aligned}$$

Hvor:

$\Pr(\bar{B})$ angir sannsynlighet for svikt i barrieren

$\Pr(\bar{D})$ = sannsynlighet for at barrieren for en massiv svikt

$\Pr(\bar{T}/D)$ = sannsynlighet for punktsvikt på andre siden, gitt at barrieren ikke for en massiv svikt

Ved å trekke resultatet av $\Pr(\bar{B})$ fra 1, finner man sannsynligheten for at barrieren begrenser brannspredningen. Dette tallet gir oss en loddrett barriere linje i L- kurven. En lang barriere-linje vil indikere en sterkere barriere enn en kort linje.

2.12. Tiden før Etablert Brann (EB) TIC A og TIC B

L- kurven omfatter det som inntreffer etter at en brann er etablert. For å få en fullstendig evaluering av brannsikkerheten i en bygning, er det veldig viktig å se på hendelsene som kan sannsynliggjøre EB. En metode for å kvantifisere denne sannsynligheten er å bruke tilgjengelig statistikk på området. Direktoratet for brann og eksplosjonsvern har utarbeidet slik statistikk på bakgrunn av informasjon fra brannvesenet [12, 13]. Denne statistikken er benyttet senere i rapporten for å tallfeste sannsynligheten for EB.

En alternativ metode er å vurdere dette ved hjelp av steg A og B i "The LimitFire™ Method" [1] (se kap. 2.12.1, 2, 3 og 4). Stadiene før EB influeres i stor grad av de aktiviteter og den virksomhet som foregår i bygningen. Faktorer som påvirker muligheten for EB kan være orden, renhold, kontroll, vedlikehold generelt og opplæring av personell spesielt.

De forskjellige boblediagrammen for Steg A og B presenteres i vedlegg 2.3.

2.12.1. Sannsynlighet for antennelse, TIC A

Det man analyserer er en bygning som ikke brenner. Et eller annet sted og tidspunkt vil det oppstå en antennelse. Sannsynligheten for at dette skal skje kan bestemmes ut fra statistikk, der dette er tilgjengelig, men sannsynligheten kan også vurderes med basis i erfaring eller kunnskap om de aktuelle virksomheter/aktiviteter og brennbare materialer som finnes i den aktuelle bygningskategori.



TIC A finnes ved å utføre separate evalueringer ved hjelp av sjekklister. Disse sjekklistene er kalt for TAC. Hver TAC inneholder en rekke gruppe med kontrollspørsmål.

2.12.2. TIC A: Forhindre utvikling av liten flamme

TAC 1: Varme tilgjengelig

Forbrenningsprosessen er en meget komplisert kjemisk prosess, bestående av en kjede kjemiske reaksjoner. En grunnleggende forutsetning for at vi skal få en forbrenningsprosess er at temperaturen er høy nok.

TAC 2: Brennbart materiale tilgjengelig

Det må finnes noe som kan brenne. Det vil si at materialet eller stoffet, er slik satt sammen kjemisk at det kan reagere med oksygen (O_2) med derav følgende utvikling av varme i en eksoterm reaksjon (se definisjon).

TAC 3: Varme nært brennbart materiale

Brann kan bare oppstå dersom varmen kommer i kontakt med det brennbare materialet. For at forbrenningsprosessen skal kunne starte må materialet oppnå sin antennelsestemperatur.

Faste brennbare stoffer har en selvantennelsestemperatur på 3-400 °C, mens en ytre varmekilde oftest må ha en temperatur på 5-600 °C for å kunne starte en forbrenning. Dette kommer av at brennbare materials oksygenindeks (se definisjon) er lavere ved høye temperaturer.

Polyurethane har lav antennelsestemperatur (280 °C) som betyr at den ytre antennelseskilden ikke behøver å ha en antennelsestemperatur på mer enn omtrent 500 °C. Polyurethane er mye brukt i moderne møbler, noe som er betenkelig utfra stoffets dårlige egenskaper med henhold til brann.

2.12.3. Sannsynlighet for EB, TIC B

Dersom en antennelse har skjedd, er det neste trinn å evaluere sannsynligheten for at brannen kan utvikle seg til Etablert Brann, EB. En antennelse kan unngås på tre forskjellige måter:

1. Flammen slukker av seg selv
2. Flammen slokkes av tilstedeværende (ikke profesjonelle slokkere)
3. Flammen slokkes av automatisk punktbeskyttelse (f.eks. CO_2 eller Sprinkler)

TIC B finnes ved å utføre separate evalueringer ved hjelp av sjekklister. Disse sjekklistene er kalt for TAC. Hver TAC inneholder en rekke gruppe med kontrollspørsmål.



2.12.4. TIC B Forhindre etablert brann EB

TAC 4: Brannen dør ikke ut av seg selv:

Flere parametre må gjøres til gjenstand for vurdering for å sannsynliggjøre om hvorvidt brannen ikke vil dø ut av seg selv før den når EB. Parametrene er knyttet til forbrennings-effekten, som er den varmen som utvikles pr. tidsenhet. Forbrenningseffekten er ikke utelukkende avhengig av egenskapene til stoffet som brenner, men også avhengig av overflaten, tykkelsen, lufttilførsel og andre ytre forhold.

TAC 5: Oppdageren slukker ikke brannen

Når mennesker utsettes for noe som tolkes som en umiddelbar fare for liv og helse reagerer enkeltindividet svært forskjellig. Det er ofte en klar sammenheng mellom graden av trussel og uhensiktsmessig adferd.

Det er viktig å understreke at avgjørelser i kritiske situasjoner ofte må skje raskt, uten mulighet for en omstendelig vurderingsprosess på forhand. Studier av beslutningsprosessen i slike situasjoner [6] har vist at beslutningstakerne fungerer best når de kan kjenne igjen elementer av en situasjon og klassifiserer den riktig. Slike «intuitive» beslutningsstrategier forutsetter en bred erfarings- og treningsbakgrunn med mulighet til å håndtere reelle kritiske situasjoner, og praktiske øvelser. Med slik erfaring kan intuitive beslutningsstrategier fungerer effektivt selv under tidspress. Dersom oppdageren har den rette treningen øker sjansen for at brannen slukkes raskt. Tidstapet som er avgjørende for at slokning med håndapparat eventuelt husbrannslange skal la seg gjøre blir minimal.

Merking av brannslukkere og hvor disse er plassert øker sjansen for at brannen slukkes. Merking synes i første rekke å være verdifullt for personer som oppholder seg i bygningen uten å ha lokale kunnskaper om hvor slokkeutstyret er plassert.

TAC 6: De tilstedeværende slukker ikke brannen

Det vises til parametre gitt i TAC 5.

TAC 7: Sprinkler system slukker ikke brannen

Byggforskrift 87 stiller ingen krav til montering av sprinklersystemer i hverken sykehus eller forsamlingslokaler. Ved ikrafttredelse av funksjonsbaserte forskrifter synes slike tiltak å kunne få en større utbredelse enn i dag.

Det finnes flere varianter på markedet. Hovedskillelinjene går på om det står vanntrykk mot sprinklerhodene kontinuerlig (Vått anlegg) eller om det er gass (Tørt anlegg). Generelt vil et vått anlegg reagere raskere fordi man ikke har noe tidstap for vanntransport fram mot sprinklerhodene.

Den statistikken som finnes tilgjengelig for sprinklersystem omfatter i hovedsak våte anlegg, da denne typen dominerer markedet (ca 80%). Sprinkleranleggene viser å ha stor virknings-

grad. Den europeiske forsikringskomité operer med statistikk fra 1988, hvor sprinkleranleggene viser å utløse ved brann i 94% av tilfellene.

2.13. Beskrivelse av verktøy benyttet i analysen

I rapporten er dataprogrammet FASTLite [20] brukt ved simulering av brann og evakuering. FASTLite er et verktøy ment for beregning av brannspredning i rom. Programmet karakteriseres som tosonemodell. En tosonemodell deler opp rommet i to soner, en kald og en varm sone. FASTLite inneholder en rekke ligninger for beregning av blant annet energi og massestrøm i brannen. Beregningene skjer hvert sekund og for begge sonene. Resultatene presenteres i regneark og diagrammer for videre analyse. I tillegg til tosonemodellen inneholder også programmet forskjellige verktøy for å gjøre andre enkle branntekniske beregninger. I rapporten er det blant annet blitt brukt simulering av rømning og simulering av stråling fra en brennende gjenstand til en annen.

Programmet krever god kjennskap til brannfysikk og brannkjemi for å kunne brukes korrekt. Kompliserte geometrier må forenkles for å kunne brukes i tosoner programmet. Program av denne typen har flere begrensninger og må brukes kritisk. Nedenfor nevnes to eksempler på begrensninger for slike program, eksemplene er hentet fra [19].

For det første må nødvendigvis ikke en liten brann i et stort romvolum lede til en tosoner situasjon. En svak brann i et stort romvolum kan medføre at branngassene samles midt under taket. Dette innebærer at takventilasjonen ikke virker. Tosoner modellen sender branngassene opp under taket og antar at branngassene umiddelbart spredes jevnt under hele taket. Dette medfører at brannsituasjonen som vises i modellen er mindre farlig enn hva som er tilfelle i virkeligheten.

For det andre så leder heller ikke en stor brann i et lite romvolum til en tosoner situasjon. Brannens størrelse og hastighet leder til turbulens og rommet får kun én, blandet sone.

Påliteligheten av de presenterte resultatene er i stor grad verifisert opp mot fullskalaforsøk [19]. Ved disse sammenligningene er det dokumentert høy grad av overensstemmelse mellom simulering og virkelighet. Det er viktig å være klar over at personene som har utført forsøkene er eksperter innen ovennevnte områder og vet hvordan kompliserte geometrier forenkles.

3. L-KURVEANALYSE SYKEHUS

3.1. Forutsetninger

I dette kapittelet brukes et sykehus som eksempel. Dette er tenkt bygget etter BF 87. Ved modellering av sykehuset er det tatt utgangspunkt i minstekrav gitt i BF 87. Ofte er det sammenheng mellom prosjektering utfra økonomiske hensyn og kunnskap om brannvern. Å bygge brannsikket koster, og når man velger å prosjektere etter minstekravene i BF 87, velger man samtidig den minst brannsikre løsningen. Dette er imidlertid svært vanlig. Derfor velges dette som eksempel her. Områder det er lagt spesiell vekt på i modelleringsarbeidet er: bygningens konstruksjon, rommenes geometri, valg av material og møblering. Dette er alle områder som er viktige for kvantifiseringen av I-kurven. Videre forutsettes det at entreprenøren utfører oppdraget i henhold til fastsatte krav i BF 87. Det vil si at alle gjennomføringer er tette, valg av materialer følger gitte standarder, osv.

For geometrisk utforming av plantegning (vedlegg 3.1) er det brukt plantegning over fylkessykehuset i Haugesund. Plantegningen er kun brukt for den geometriske utformningen, ikke den bygningstekniske.

Ved beregning av dimensjonerende brannforløp er det brukt statistiske data på brannbelastning fra europeiske undersøkelser. Verdiene stammer fra undersøkelser på 70-tallet og vil trolig i dag være høyere.

Det generiske sykehuset er tenkt lokalisert i tettsted med mer enn 20000 innbyggere. Beredskapen er organisert i lag av heltidspersonell med kasernert vakt. Brannvesenet er dimensjonert etter Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen. Vaktlag og støttestyrke disponerer pumper, tankbil og stigebil. Avstanden fra brannstasjonen til sykehuset er 1.5 kilometer.

Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen overlater vurderingen om behovet for røykdykkere til kommunen. Med bakgrunn i innbyggertallet og at kommunene inneholder fylkessykehus, antas det at hvert vaktlag og støttestyrke er oppsatt med et røykdykkerlag.

Veiledning til Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen anbefaler at en styrke på minst 12-14 mannskaper skal kunne operere samlet innen en innsatstid på 10-15 minutter etter at førsteinnsats er iverksatt. Det forutsettes at støttestyrken har ankommet brannstedet og er klare til innsats når første punktsvikt oppstår i barrieren.

Med bakgrunn av at det pr. i dag ikke finnes tilstrekkelig med underlagsdata for å estimere sannsynligheter på I-kurven, brukes i denne rapporten fagkyndig skjønn for å finne sannsynligheter til I-kurven. For sannsynligheter knyttet til M-kurven er i tillegg til fagkyndig skjønn brukt litteratur og ekspertvurderinger fra brannvesenet.

Ved estimering av sannsynligheter for I-kurven forutsettes det at brannen er underventilert. Begrunnelsen for å legge en slikt forutsetning til grunn er å konstruere en situasjon med det værste tenkelige utgangspunkt. Med bakgrunn av disse forutsetningene er alle utregninger og simuleringer gjort med alle dører åpne inn til branncellene.

Ved analyse av barrierene er det en forutsetning at alle dører er stengt. Årsaken til dette er at barriere er definert som kontinuerlig flate rundt rommet.

3.2. Modellering av sykehus

3.2.1. Beskrivelse av bygningen.

Bygningen består av fem plan. Hvert plan har et samlet areal på 1550 m² og er delt i to av en brannvegg med to selvlukkende dører. Bygningen er utført i plasstøpt dekkekonstruksjon, betongsøyler og betongbjelker. Det tas utgangspunkt i det fjerde planet som inneholder avdeling for allmenn medisin. Derfra vil brannen kunne spre seg horisontalt og vertikalt til andre plan. Plan fire inneholder syv pasientrom med fire senger og to rom med to senger. Planet inneholder i tillegg et antall legekontorer, vaktrom, røyke/oppholdsrom, diverse undersøkelsesrom og lager.

3.2.2. Beskrivelse av utvalgte rom.

De to kategoriene av rom som er valgt ut for evaluering, er valgt med begrunnelse i brannscenariene beskrevet senere i kapitlet.

Rombeskrivelse av oppholdsrom:

Hele bruksenheten er en branncelle (BF87 37:3) med areal 86 m² og takhøyde 3 meter. Bruksenheten består av to like rom, skilt med enkle gipsvegger som innervegg. I veggen er det en dør uten klassifisering. Et av rommene er tiltenkt røykere (rom 1a) og et rom for ikke røykere (rom 1b). Hvert rom har et areal på 42 m². Videre i rapporten hvor oppholdsrom blir nevnt tenkes det på røykerommet.

Rommene er likt møblerte og inneholder følgende møbler (se tegning, vedlegg 3.1):

- Salong, 1 bord, 4 stoler og 1 TV(likt i rom 1a og rom 1b)

Rombeskrivelse av pasientrom:

Pasientrommene regnes som bodel og utgjør egen branncelle (BF 87 37:3). Totalt areal av branncellen er 49 m² og takhøyden er 3 meter. I pasientrommene finnes en toalett og et stellerom. Innerveggene er enkle gipsvegger med tykkelse 70 mm.

Rommene er møblert med (se tegning, vedlegg 3.1):

- 4 senger (stålramme med madrass, pute og dyne)
- 4 skjermer mellom sengene
- 4 stoler
- 4 nattbord
- 2 garderobeskap
- Draperi til toalett/stelle delen

3.2.3. Andre data om bygningen

- Bygningen er over fire etasjer. Dette medfører rangering under Bygnings Brannklasse 1 (BF87 37:2)
- Bruttoarealet per etasje er større enn 1200 m², hvilket medfører at etasjen må oppdeles i to, med en brannvegg som er utført i A 120 (BF87 37:2), og med to selvlukkende dører utført i A60S.
- BBK 1 medfører (BF 87 30:41):
 - ◆ bærende hovedsystem utført i A 90
 - ◆ sekundære bærende deler, etasjeskiller som ikke er stabiliserende utført i A 60
 - ◆ branncellebegrensende bygningsdel (unntatt yttervegg) utført i A 60
 - ◆ bygningsdel som omgir trapperom eller heisesjakt, som forbinder flere brannceller utført i A 60
 - ◆ trappeløp utført i A 30
 - ◆ dører i branncellebegrensende vegger skal minst ha halvparten av veggens brannmotstand
- Bygningen har to lukkede trapperom (BF 87 37:6)
- Dører i lukket trapperom utført i B30S (BF 87 30:75)
- Kledningenes og overflatenes branntekniske klasse (BF 87 30:42):
 - ◆ innvendig overflate utføres i In 1
 - ◆ utvendig overflate utføres i Ut 1
 - ◆ kledning utføres i K1
 - ◆ gulvbelegg utføres i G
 - ◆ innvendig overflate rømningsveg utføres i In 1
 - ◆ innvendig kledning i rømningsveg utføres i K1-A
- Gjennomføringer av rør, kabler og kanaler utføres slik at bygningsdelens brannskillende funksjon opprettholdes (BF 87 30:621)
- Hver etasje har en brannslange med tilstrekkelig lengde ved hvert trapperom, dvs to brannslanger i modellen. (BF 87 37:7)
- Fjernalarmeringutstyr er installert, alarmanlegget er utført slik at brann lett kan lokaliseres. (BF 87 37:8)
- Vaktrom finnes på hver etasje (BF 87 37:9)

Konstruksjonsdel	Klasse	Bredde / tykkelse	Materiale
Brannvegg	A120	200mm	Betong
Branndekke	A90	150mm	Betong
Søyler	A90		Betong
Bjelker	A90		Betong
Vegger i branncelle	A60	126mm	Gips, metallstender
Dører i branncelle	B30		
Dører i brannvegg	A60S		

Tabell 3.2-1 Materialvalg i konstruksjonen

Kledning/ overflate	Klasse	Materialvalg
Innvendig overflate	In 1	Malt betong/ papir tapet
Kledning	K 1	Gips
Innvendig overflate rømningsveg	In 1	Malt betong/ papir tapet
Innvendig kledning rømningsveg	K 1 - A	Gips

Tabell 3.2-2 Materialvalg i kledninger og overflater

3.2.4. Brannbelastning

Brannbelastning som er brukt i beregningene er 230 MJ/m^2 gulvareal [11]. Tallet er en gjennomsnittsverdi fra nederlandske undersøkelser av sykehus.

3.2.5. Brannscenarier

Verst tenkbart tidspunkt brannen kan oppstå er om natten. Da er det lav bemanning på sykehuset og lite folk i sirkulasjon. Sykepleierne på nattvakt sitter i vaktrommet og pasientene sover. Dette medfører lavere sannsynlighet for at brannen oppdages av mennesker.

Teknisk avdeling, som tar hånd om kontroll, første innsats og organisering ved brannalarm om dagen, vil være tilstede.

Mulige brannscenarier:

1. Brannen starter i sofaen i salongen i oppholdsrommet.
2. Brannen starter i en seng i pasientrommet.

Av disse to scenarier er det størst sannsynlighet at brannen oppdages av menneske i tilfelle nummer to. Dette kommer av at det finnes pasienter til stede. I det første scenariet er det mindre sannsynlighet for at brannen skal oppdages av mennesker, fordi oppholdsrommet ikke brukes nattetid.

De brennbare materialene i oppholdsrommet er mer konsentrert enn i pasientrommet, noe som medfører at en etablert brann i salongen i oppholdsrommet vil ha stor mulighet til å nå overtenning (FRI) raskt. Flammen i seg selv medfører ikke direkte fare for pasientene i oppholdsrommet, men røykspredning og eventuell brannspredning til nærliggende rom vil utgjøre en trussel.

I pasientrommet er de brennbare materialene spredd over et større areal, noe som medfører at tid til en eventuell FRI vil være lenger enn i oppholdsrommet. Sannsynligheten for overtenning vil også være lavere. Her vil det være størst trussel for de av pasientene som ligger i rommet, men også pasientene i naborommene trues av røyk og brannspredning.

En eventuell brannspredning fra branncellene vil mest sannsynlig skje ved gjennombrenning av dørene fra branncelle til korridor. Siden korridoren er rømningsvei antas det at den ikke inneholder noe brennbare gjenstander.

Hvis ikke brannvesenet klarer å slokke brannen i korridoren, antas det at hele etasjen frem til brannveggen er tapt.

Brannspredningen mellom etasjene vil med størst sannsynlighet skje via trapperommet. Bakgrunnen for den antakelsen bygger på at dørene til det lukkede trapperommet har den laveste brannmotstanden av bygningsdelene som omslutter etasjene.

L-kurve for scenario 1 og 2 beregnes separat. Dette for å se om L-kurvene avviker vesentlig fra hverandre.

3.2.6. Simulering i FASTLite

Det ble utført fire simuleringer:

1. Brann i hele oppholdsrommet
2. Brann i sofa av "California foam" i oppholdsrom
3. Brann i hele pasientrommet
4. Brann i seng i pasientrommet

Felles inngangsparametre for simuleringene i oppholdsrom er følgende:

- Rommets geometri: 7 m lengde, 6 m bredde og 3 meter høyde
- Gips i vegger, betong i gulv og tak
- 1 dør, $B = 1$ m og $H = 2.13$ m

Felles inngangsparametre for simuleringene i pasientrom er følgende:

- Rommets geometri: 7 m lengde, 7 m bredde og 3 meter høyde
- Gips i vegger, betong i gulv og tak
- 1 dør, $B = 1$ m og $H = 2.13$ m

Øvrige inngangsparametre for simulering 1:

- Rask brann (Fast) i henhold til NKB definisjon [11]
- Brannvekst periode : 342 s (beregning 3, vedlegg 3.2)
- Brannvarighet: 1984 s (beregning 5, vedlegg 3.2)

Resultater: Se Vedlegg 3.3 diagram 1a, 1b, 1c og 1d

Øvrige inngangsparametre for simulering 2:

- For definert brann, sofa av "California foam"

Resultater: Se Vedlegg 3.3 diagram 2a, 2b, 2c og 2d

Øvrige inngangsparametre for simulering 3

- Rask brann (Fast) i henhold til NKB definisjon [11]
- Brannvekst periode : 355 s (beregning 4, vedlegg 3.2)
- Brannvarighet: 2126 s (beregning 6, vedlegg 3.2)

Resultater: Se Vedlegg 3.3 diagram 3a, 3b, 3c og 3d

Øvrige inngangsparametre for simulering 2:

- Brann i seng hentet fra NIST hjemmeside på internett

Resultater: Se Vedlegg 3.3 diagram 4a, 4b, 4c og 4d

3.3. I- kurve Sykehus

3.3.1. Kriterier for beregning av I-kurve

I- kurven for sykehus beregnes utfra fremgangsmåten beskrevet i kapittel 2.8. Det vil si romgeometrien og type materiale i overflater, geometri og type material i møbler beskrevet i kapittel 3.2. Alle beregninger som ligger til grunn for antakelser i dette kapitlet finnes i vedlegg 3.2 og 3.3. Tegning over sykehuset finnes i vedlegg 3.1.

Oppholdsrommet er utformet som følger:

- Lite areal, 42 m²
- Lav takhøyde, 3 m
- Enkel geometri, dvs rektangulært formet rom
- 2 rom i branncellen
- Gipsvegg mellom de to rommene
- Konsentrert brensel i området der brannen starter
- Brannbelastning 230 MJ/m² gulvareal
- Brannen starter i tre seters sofa

Et pasientrom er utformet som følger:

- Lite areal, 49 m²
- Lav takhøyde, 3 m
- Enkel geometri, dvs rektangulært formet rom
- 1.5 meter mellom sengene i rommets halvdel
- 2.5 meter mellom halvdelene
- Brannbelastning 230 MJ/m² gulvareal
- Brannen starter i en seng

3.3.2. Sannsynlighet for at brannen skal slukke av seg selv før 1.5 meter flammehøyde

Oppholdsrom:

Antennelse skjer i en 3 seters sofa i salongen (se tegning, vedlegg 3.1). Det er kort avstand, ca 0.5m, fra sofaen til nærliggende to seters sofa, lenestol og bord. Simulering av brannforløp i FASTLite gir en maksimal branneeffekt på 3 MW ved brann i en sofa av "California foam" med tre ramme (diagram 2, Vedlegg 3.4). Ved å anta et horisontalt areal til sofaen på ca 2 m² og bruke Heskestads formel for flammehøyde (vedlegg 3.3, formel 1 a) oppnås en flammehøyde på 1.5 meter ved ca 0.6 MW (beregning 1, vedlegg 3.3). Brannspredningen i sofaen skjer både horisontalt og vertikalt. Med bakgrunn i dette antas sannsynligheten å være $\Pr(BI_1)=0.20$ for at brannen ikke skal nå 1.5 meters flammehøyde. Arealet som antas være involvert i brannen er 2 m².

Pasientrom:

Brannen starter i en pasientseng. Ved simulering oppnås en maksimal branneffekt på 800 kW fra madrassen (diagram 4, vedlegg 3.4). Ved å anta et horisontalt areal på 2 m² til sengen, oppnås en maksimal flammehøyde på 1.7 meter (beregning 2, vedlegg 3.3). Brannspredningen skjer horisontalt i sengen, hvilket medfører en vanskeligere spredning. Med bakgrunn i dette gjøres en antakelse for sannsynligheten til $\Pr(BI_1) = 0.30$ for at brannen ikke skal nå 1.5 meters flammehøyde. Arealet som antas være involvert i brannen er 2 m².

3.3.3. Sannsynlighet for at brannen skal slukke av seg selv før takhøydeOppholdsrom:

Beregninger viser at en fullt utviklet brann i sofaen kan antenne gjenstander på 1.8 meters avstand (beregning 3, vedlegg 3.3) gjennom stråling. Forsøk viser at det største avstand en brensel pakke kan antenne en annen gjennom stråling er ca. 1 meter [2]. Avstanden fra sofaen til andre gjenstander er som nevnt over kortere, dette medfører at lenestolene og bordet med stor sannsynlighet vil involveres i brannen. Hvis lenestolene og bordet involveres vil de bidra til varmeutviklingen. Siden takhøyden er 3 meter, settes sannsynligheten til $\Pr(BI_2) = 0.15$ for at brannen ikke skal nå takhøyde. Arealet som involveres i brannen antas å være hele salongen, 8 m².

Pasientrom:

En madrass utvikler 800 kW når den står mot én vegg. Dette medfører som tidligere nevnt en flammehøyde på 1.7 meter. Siden sengen er 1 meter høy, vil flammene fra sengen med bidrag fra andre brennende objekter kunne nå taket. Nattbordet som står 10 cm fra sengen og en skjerm 0.5 meter fra sengen vil også kunne involveres i brannen. Beregning 4 (vedlegg 3.3), viser at 134 kW må til for å antenne skjermbrettet på siden av sengen. Mens beregning 5 (vedlegg 3.3) gir en branneffekt på 237 kW for å antenne nattbord. Nattbord og skjermbrettet vil kunne spre flammene til neste seng. Derfor antas en sannsynlighet på $\Pr(BI_2) = 0.20$ for at flammene ikke vil nå taket. Arealet som er involvert i brannen antas å være sengen, skjermbrettet og nattbordet, 8 m².

3.3.4. Sannsynlighet for selvsløkking før brannen involverer hele rommet (FRI)Oppholdsrom:

Brannen i sofaen medfører at de varme røykgassene i taket når en temperatur på ca 500°C (diagram 2b, vedlegg 3.4), da er kun sofaen og overflater i rommet medregnet. Når brannen i sofaen er størst, er effekten 3 MW. Dette medfører en flammehøyde på omkring 4 meter (beregning 6, vedlegg 3.3). Flammen vil da brenne av langs taket og gi stråling på et større område [2]. I tillegg vil øvrige møbler bidra til brannen. De vinduer som finnes i rommet dekker hele vegg lengden (se tegning, vedlegg 3.1) og høyden er 1.6 m. Den store ventilasjonsåpningen vil øke sannsynligheten for overtenning (FRI). Sannsynligheten settes med bakgrunn av dette til $\Pr(BI_3) = 0.10$ for at brannen skal dø av seg selv før FRI. Arealet ved FRI er 42 m².

Pasientrom:

Når flammene når takhøyde vil pyrolysen i taket øke. Spredningen av brensel i rommet er større enn i oppholdsrommet og ingen av gjenstandene i rommet kan alene skape overtenning (FRI). Altså må brannen involvere flere gjenstander for å gå over til overtenning (FRI). Gjenstander i én halvdel av rommet vil trolig ikke være nok til å skape overtenning, fordi forbrenningseffekten ikke er stor nok. Derfor må begge sider involveres for å få FRI. Avstanden mellom de to halvdelene er 2.5 meter (se tegning vedlegg 3.1). Beregning 7 (vedlegg 3.3), viser at en brann på 4 MW må til for å antenne gjenstandene på motsatt side av rommet gjennom stråling. Men forsøk viser at den største avstand en brenselpakke kan antenne en annen gjennom stråling er ca. 1.2 meter [2]. Simulering i FASTLite (diagram 5, Vedlegg 3.3) viser at maksimal forbrenningseffekt blir 3.5 kW (ved FRI) og høyest temperatur i røyklaget akkurat før avtagende brann blir 600 °C. Altså vil ikke de brennende gjenstandene kunne antenne de på motsatt side ved direkte stråling, men de varme røykgassene i taket vil bidra til pyrolysen i tak og vegger. Termoplaster fra instrument kan smelte og flyte over gulvet. Disse kan skape brennende pøler som kan antenne andre brennbare ting. Det vil være sannsynlig at flammene sprer seg til motsatt side via omhylningsflaten. Sannsynligheten for at brannen ikke skal nå FRI settes til $\Pr(BI_3) = 0.15$. Arealet ved FRI er 49 m².

3.3.5. I' - kurven for rommet bak barrieren

Kriterier for I' - kurven

- Barrieren mellom oppholdsrom og korridoren får massiv svikt
- Barrieren mellom pasientrom og korridoren får massiv svikt

Korridoren bak oppholdsrom

Begrensningen for flammespredning til rommet bak barrieren er om barrieren vil stå mot brannen eller ikke. Type barrieresvikt vil påvirke flammespredningen i rommet bak barrieren. Massiv svikt av barrieren vil med stor sikkerhet lede til at det blir FRI i rommet bak barrieren. Mens en punktsvikt, det vil si lokal svekkelse i barrieren, vil føre til punkt antennelse i rommet. Antennelsen vil påvirkes av de samme betingelsene som tidligere nevnes (se I-kurven, kap 2.8). Når barrieren kollapser vil FRI inntreffe i korridoren uansett om det finnes lite brennbare material eller ikke. I et rom med lite brennbart materiale vil flammene kunne spre seg langs vegger/gulv/tak til neste barriere. Den svakeste delen av barrieren mellom oppholdsrom og korridoren er døren, som er klassifisert til B30. Barrieren mellom oppholdsrom og korridoren vil få en total kollaps etter ca 30 minutt testtid. Dette medfører at sannsynligheten for at brannen skal selvslukke settes til $\Pr(BI'_n) = 0.00$ for hele I-kurven.

Korridoren bak pasientrom

Gitt at FRI har inntruffet i pasientrommet, og barrieren mellom pasientrommet og korridoren får massiv svikt, antar man at FRI automatisk inntreffer i korridoren (se over). Dette medfører at sannsynligheten for at flammen slokker av seg selv i korridoren har en suksess $\Pr(BI'_n) = 0.00$.

3.4. A- kurve

I Byggforskrift 87 stilles ingen krav til installasjon av automatiske slokningsanlegg på sykehus. Sannsynligheten settes med bakgrunn i det til $\Pr(A) = 0.00$ for hele kurven. Dette medfører at A- kurven ikke får noen innvirkning på L-kurven for det modellerte sykehuset.

3.5. M- kurve sykehus

3.5.1. Kriterier for M- kurve sykehus

Ved estimering av brannvesenets innsatstider og slokkemuligheter er det gjort ekspertvurderinger i samarbeid med Haugesund Brannvesen [A]. Videre henvises det til 2.10. for parametere som inngår i evalueringen.

Alle tall på varmeutvikling, temperaturer i røyklag, tider og høyde til røyklag er hentet fra simuleringer i FASTLite (vedlegg 3.4).

Det antas at brannalarmanlegget er et analogt adresserbart system. Et slikt system gir detaljert informasjon om eventuelle detektorfeil til teknisk avdeling. I analysen av det automatiske brannalarmanlegget benyttes samme sannsynlighet for detektorer, signal forberedt og alarm sendes [15]. Rapporten det refereres til angir den samlede tilgjengeligheten for brannalarmanlegg. Ved å operere med denne sannsynligheten for alarmanleggets enkelte deloppgaver oppnås et konservativt estimat.

3.5.2. M - kurve uprofesjonelle slokkere

TIC A: Oppdagelses komponenten

TAC 1: Brannen oppdages/detekteres før FRI

Evaluering av TAC 1

Automatisk deteksjon

Simulering viser at det vil være utviklet nok røyk i oppholdsrommet og pasientrommet til å utløse detektorene etter 30 sekunder (for samlet tid se Tabell 3.5-1).

Sannsynligheten for at detektorene fungerer vurderes konservativt med henvisning til litteratur til $\Pr(d_{mn1}) = 0.999955$ [15]. Sannsynligheten gjelder uavhengig av tid på døgnet og bygningsdel.

Menneskelig deteksjon

Sykehus er spesielle i den forstand at det oppholder seg mennesker i bygningen døgnet gjennom hele året. På kvelds og nattetid vil hovedvekten av de tilstedeværende være pasienter. Øvrig personale vil være sterkt redusert, noe som medfører at det om natten vil være liten eller ingen aktivitet i større deler av sykehuset. Hvor tidlig, og om deteksjon



skjer, vil variere med personalets aktivitet i tillegg til pasientenes fysiske og mentale tilstand. Variasjonene i pasientenes tilstand svinger med tid på døgnet, mellom de enkelte avdelingene og fra rom til rom. Med bakgrunn i dette antas sannsynligheten for menneskelig deteksjon å være redusert på natten i forhold til på dagtid.

Oppholdsrom

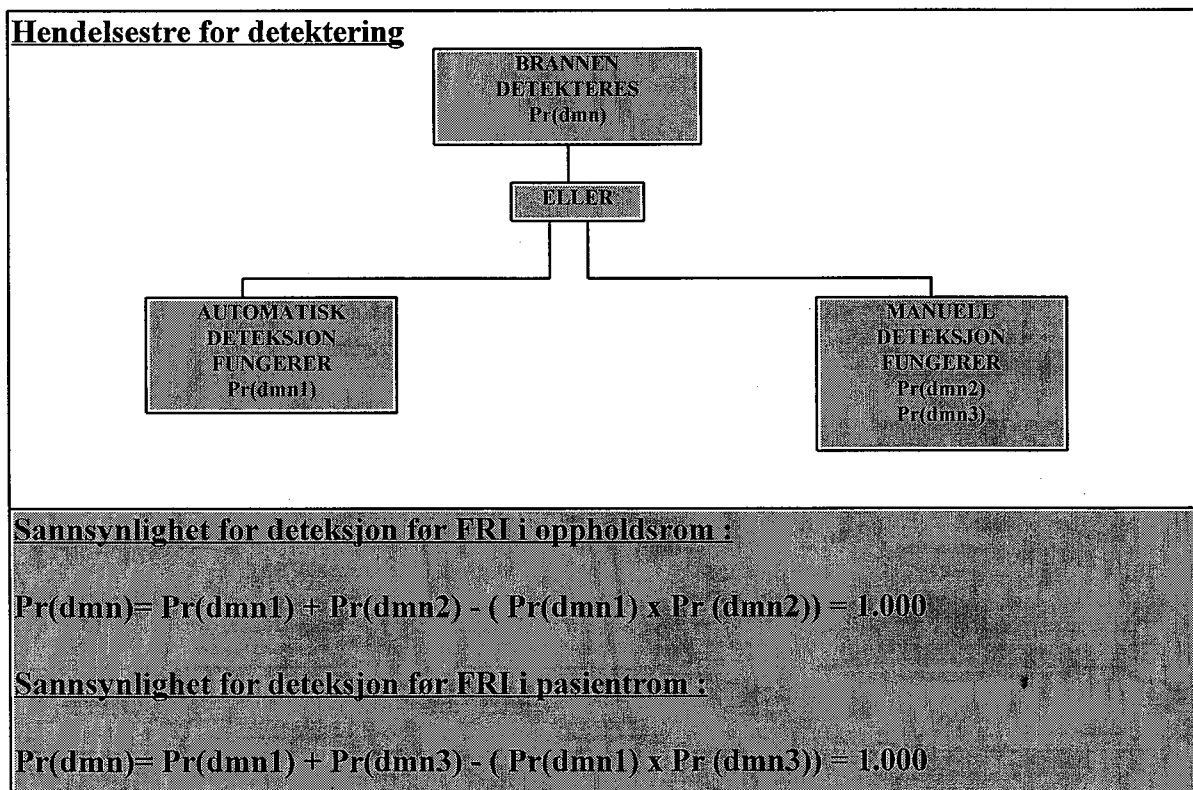
Oppholdsrommet vil være mye benyttet på dag og kveldstid. En brann som oppstår i dette tidsrommet vil derfor med stor sannsynlighet oppdages av enten pasienter eller ansatte før brannen har vokst til brann som involverer hele rommet (FRI). En brann som starter om natten vil, med bakgrunn i antakelser gjort ovenfor, ha adskillig mindre sannsynlighet for å bli oppdaget før FRI.

Sannsynligheten for oppdagelse i oppholdsrommet om natten synes å være svært lav på grunn av lav eller ingen aktivitet. Det er gjort en konservativ antagelse om oppdagelse satt til $\Pr(\text{dmn2}) = 0.10$.

Pasientrom

Med bakgrunn i antakelser gjort ovenfor om menneskelig aktivitet om natten og med henvisning til litteratur antas sannsynlighet for menneskelig deteksjon i pasientrom om natten til $\Pr(\text{dmn3})=0.60$ [5].

Den samlede sannsynligheten for deteksjon er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 3.5-1 Sannsynlighet for deteksjon før FRI i oppholdsrom/pasientrom

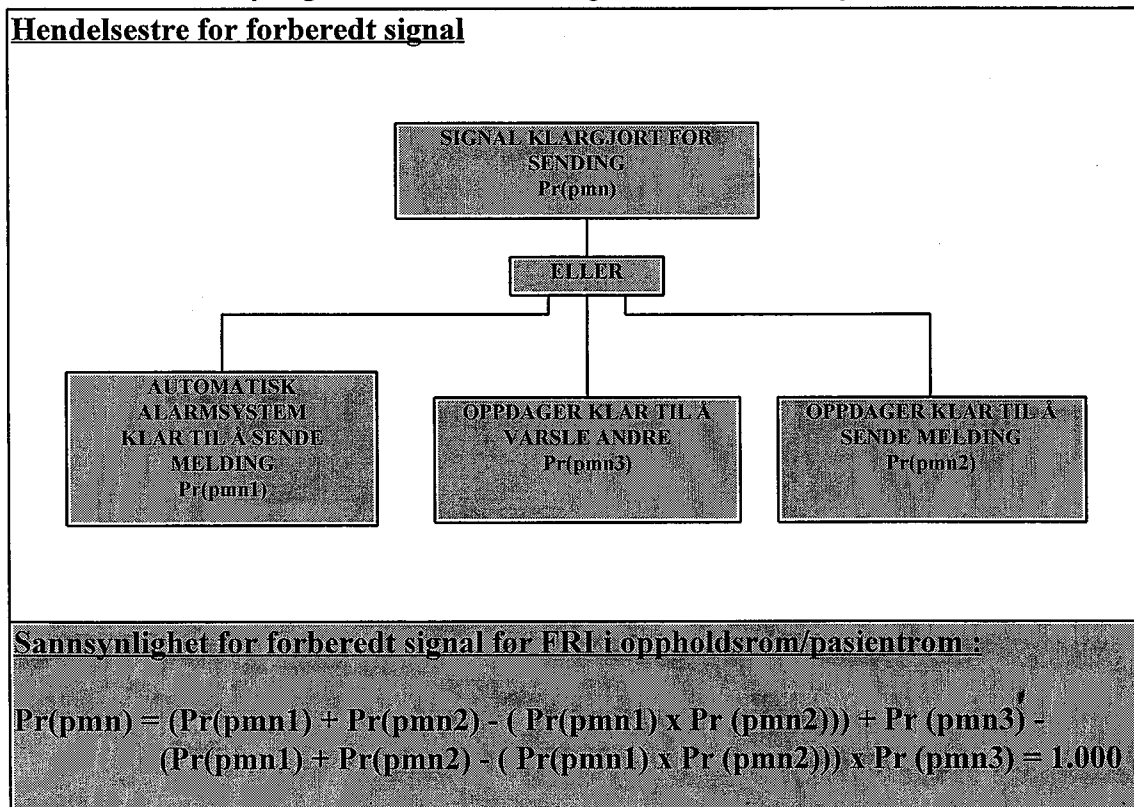
TAC 2: Signal/Melding er forberedt før FRI
Evaluering av TAC 2
Oppholdsrom og Pasientrom

Den totale tilgjengeligheten til brannalarmanlegget settes til $\Pr(\text{pmn1}) = 0.999955$ [15]. Dette gjelder både pasient- og oppholdsrom, da anlegget på disse to stedene er det samme.

Sannsynligheten for at oppdageren handler rasjonelt på den måten at han beslutter å varsle om brannen før brannen involverer hele rommet (FRI), er vurdert konservativt og verifisert i litteraturen. Sannsynligheten er satt til $\Pr(\text{pmn2}) = 0.60$ [5]. Estimatet antas å ha gyldighet innenfor hele døgnet og uavhengig av sted. Det er viktig å bemerke at forutsetningen for estimatet er at brannen allerede er oppdaget.

I et studie av 952 branner og 2193 individer intervjuet av brannvesenet på brannstedet i Storbritannia ble det funnet at de mest hyppige reaksjoner ved brann involverte evakuering av bygningen, bekjempelse av brannen eller varsling av andre individer eller brannvesenet. Studiet viser at ca 30 % varslet andre som første, andre eller tredje handling. Med bakgrunn i dette antas konservativt sannsynligheten for at mennesket bestemmer seg for å varsle til $\Pr(\text{pmn3}) = 0.33$ [5].

Den samlede sannsynligheten for forberedt signal er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 3.5-2. Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i oppholdsrom/pasientrom

TAC 3: Signal/Melding sendes før FRI

Evaluering av TAC 3

Ved sykehusene er brannmeldere plassert ved hver rømningsvei. Forutsatt at brannen oppdages av de tilstedeværende på et tidlig tidspunkt av brannforløpet er det liten sannsynlighet for at internlinjene er brutt..

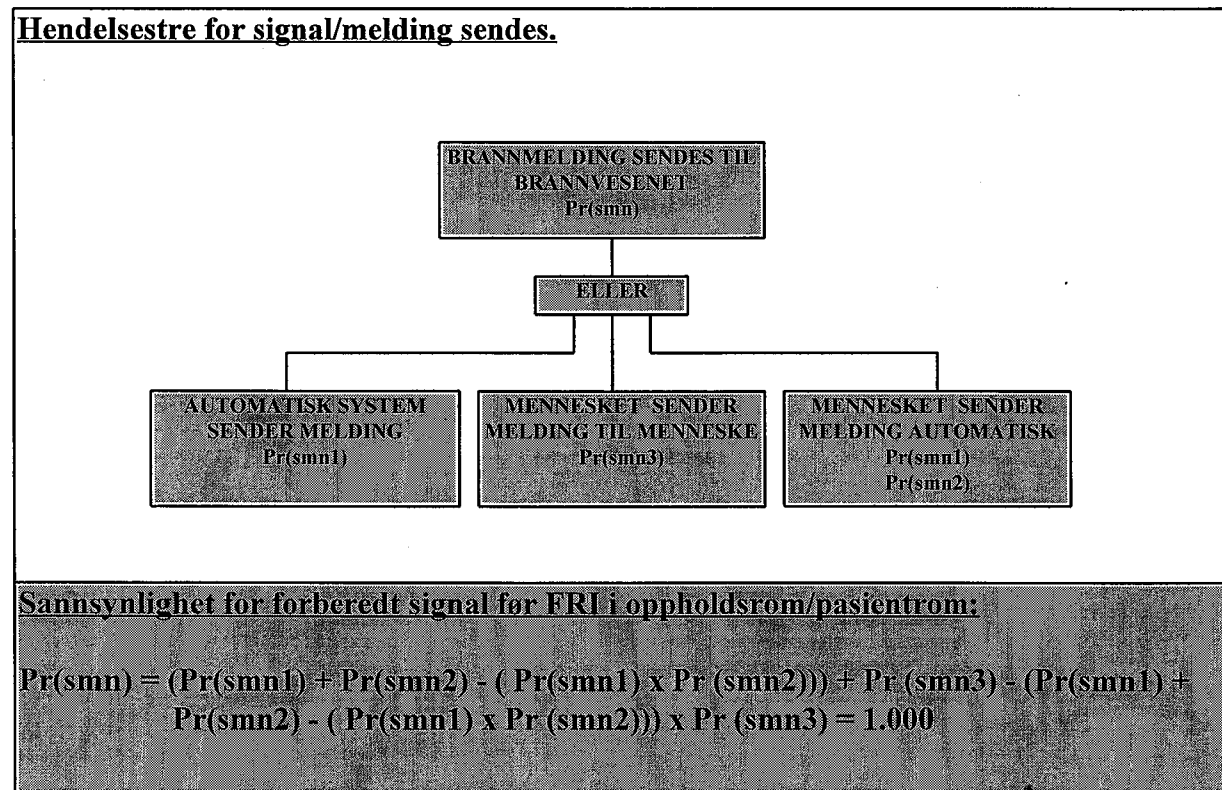
Oppholdsrom og Pasientrom

Påliteligheten til manuell brannmelder og detektorer er satt til $Pr(smn1)=0.999955$ [15].

Med utgangspunkt i litteratur settes sannsynligheten for å lokalisere alarmknapp samt evne til å sende meldingen før FRI til $Pr(smn2)=0.60$ [5].

Brannen kan også varsles manuelt ved anrop. Melderens mulighet til å sende melding vil i så måte være god. Gitt at beskjeden er forberedt og avgjørelsen om å varsle andre er tatt, antas graden av suksess til å være $Pr (smn3) = 0.90$.

Den samlede sannsynligheten for melding sendes før FRI er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 3.5-3 Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i oppholdsrom/pasientrom

TAC 4: Uprofesjonelle slökkere mottar melding før FRI

Oppholdsrom og pasientrom

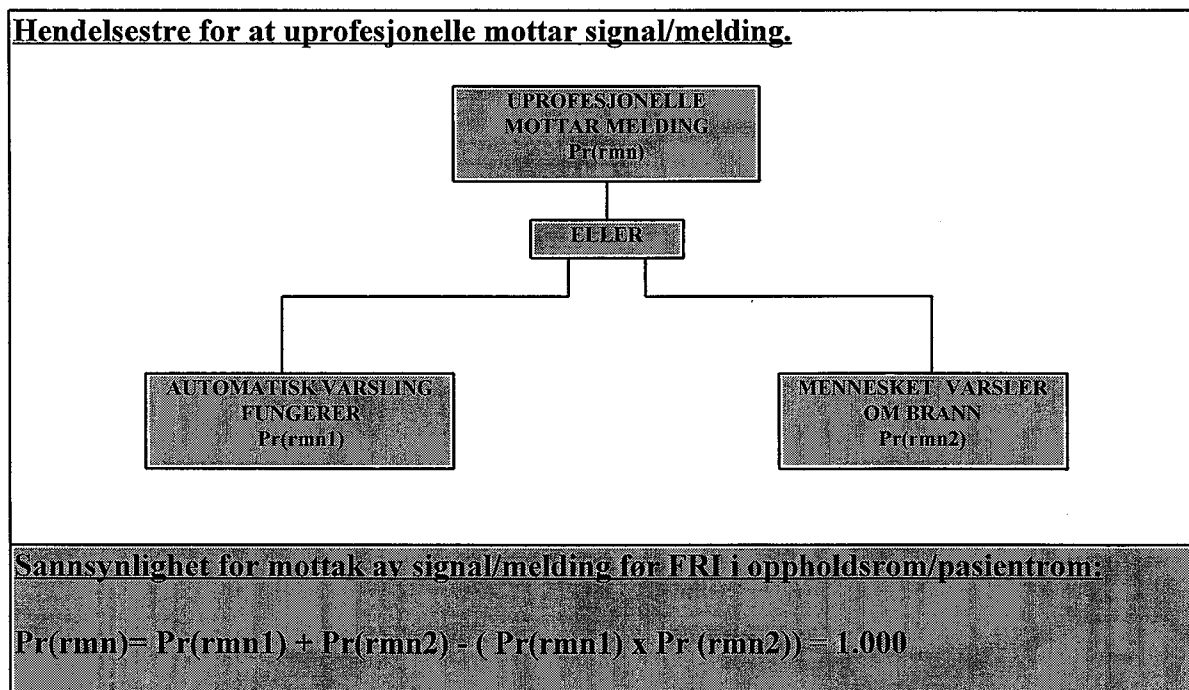
Mennesker

Ved manuell varsling av brann vil påliteligheten og nøyaktigheten til meldingen variere. Videre antas sannsynligheten for at varslingen av brann er størst i området i umiddelbar nærhet av arnestedet. Det er gjort en antagelse om sannsynligheten for at melding om brann mottas av mennesker gitt at melder varsler. Denne er satt til $\Pr(rmn2) = 0.80$.

Automatisk

Varsling av brann med alarmklokkene antas å være mer nøyaktig og mer pålitelig enn manuell varsling. Tiden fra deteksjonssystemet slår ut til melding mottas antas å være neglisjerbar. På grunn av rask respons hos det automatiske anlegget er sannsynligheten for at melding mottas før FRI høy. Med støtte i litteratur settes sannsynligheten til $\Pr(rmn1) = 0.999955$ [15].

Den samlede sannsynligheten for at uprofesjonelle mottar signal/melding er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 3.5-4 Sannsynlighet for mottak av signal/melding før FRI i oppholdsrom/pasientrom.

TIC C: PÅFØRINGS KOMPONENTEN

TAC 9: Munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI

De stasjonære brannslangene er et viktig supplement for slokning av brann. Slangene er fortrinnsvis montert for bruk av uprofesjonelle slökkere. Fast monterte slanger i forsamlingslokalet er et viktig fortrinn av å kunne starte slokkeinnsatsen tidlig.

Sannsynligheten for at uprofesjonelle slokkere kan være innen rekkevidde av flammen med munnstykket innen FRI antas som høy, på grunn av kort innsatstid. Det antas at personellet vil kunne stå med munnstykket innen rekkevidde av flammen etter 2 minutter (Se Tabell 3.5-1 for total tid). Kriteriet for at slokkeinnsats starter er at det foreligger en beslutning om dette. Et engelsk studie av individenes oppførsel og handling i en brannsituasjon viser at 36 % besluttet å utføre slokkeinnsats. Med bakgrunn i dette er sannsynligheten for slokkeinnsats satt til $\Pr(fma^2_1) = 0.36$ [5].

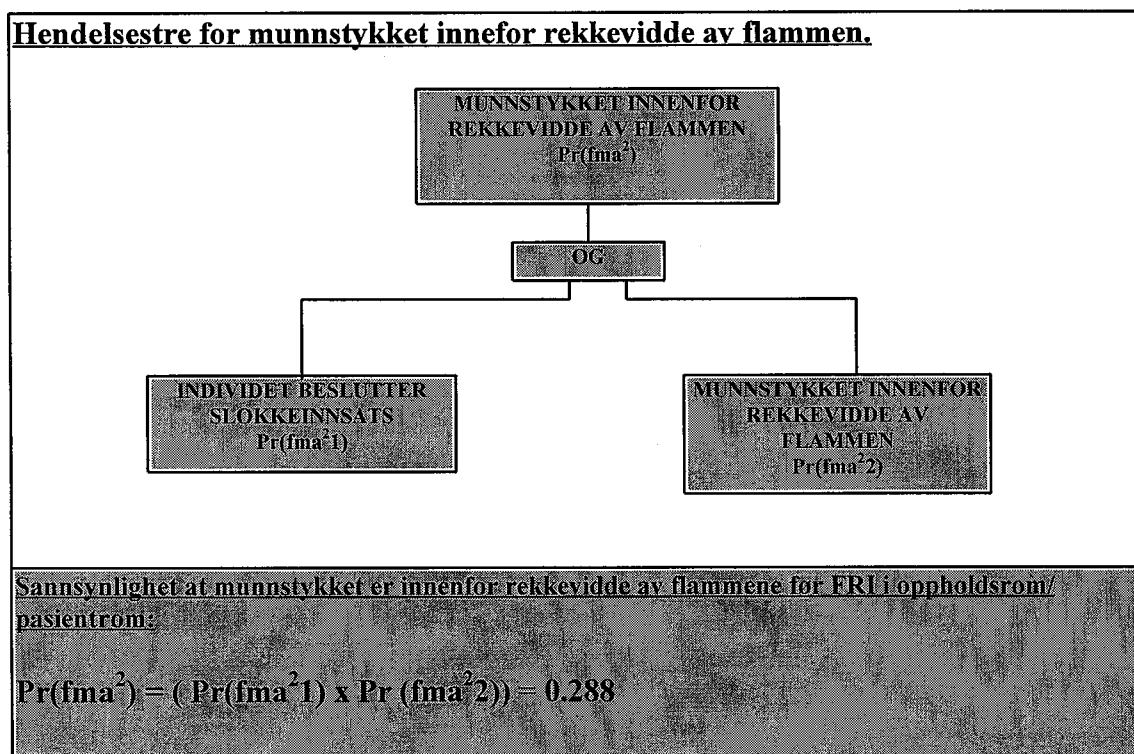
Evaluering av TAC 9

Temperaturen i det nedre røyklaget etter 2 minutter er ca 25 °C, i en høyde av 1.6 meter. Denne temperaturen vil ikke skape fysiske problemer for innsats. Dette gjelder for begge rommene.

Oppholdsrom og pasientrom

Det er gjort en konservativ antagelse av muligheten for at munnstykket er innen rekkevidde av flammene før FRI. Sannsynligheten er satt til $\Pr(fma^2_2) = 0.80$.

Den samlede sannsynligheten for at munnstykket er innenfor rekkevidde av flammen før FRI, er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 3.5-5 Sannsynlighet for at munnstykket er innenfor rekkevidde av flammene før FRI i oppholdsrom/pasientrom.

TAC 10: Første slökkemiddel påføres før FRI

Det er forutsatt at første slökkemiddel kan påføres brannen av personellet etter 2 minutter, gitt at de er innenfor rekkevidde av flammene. Det betyr at personellet har mulighet til å begynne slokning før FRI har inntruffet i oppholdsrommet. Begrunnelsen ligger i at tidstapet før slokning kan starte er minimalt gitt at munnstykket er innen rekkevidde av brannen.

Evaluering av TAC 10

Oppholdsrom og Pasientrom

Etter 8.5 minutter respektive 9 minutter vil brannen involvere hele rommet (FRI). Sannsynligheten for påføring slökkemiddel før FRI i startbrannrommet gitt at munnstykket er innen rekkevidde av flammen antas $\Pr(a^2ma^2) = 0.90$. Dette begrunnes med at de uprofesjonelle er på plass 2 minutter etter etablert brann.

TIC D: BRANNSLOKNINGS KOMPONENTEN

TAC 11: Kvantiteten på slökkemiddel er tilstrekkelig for slokning før FRI

Uprofesjonell slokkeinnsats antas å kunne starte etter 2 minutter. Brannen avgir da en effekt på 680 KW (vedlegg 3.4). Det forutsettes at slangene gir 50 l/min, videre antas det at 50 % av det tilførte vannet ikke deltar i energibalanseringen [8]. Brannen krever derfor en påføringsrate på 10 l/min. Sammenholdt med tilgjengelig påføringsrate vurderes kvantiteten av slökkemiddel å være tilstrekkelig

Evaluering av TAC 11

Oppholdsrom og Pasientrom

Med bakgrunn i antagelser gjort ovenfor er det gjort et konservativt anslag. Sannsynligheten for at tilstrekkelig slökkemiddel er tilgjengelig er satt til $\Pr(eme) = 0.95$.

TAC-12: Kontinuerlig påføring av slökkemiddel til slokning før FRI

Evaluering av TAC 12

Oppholdsrom

Sannsynligheten for brudd i slanger eller andre kutt i vanntilførselen anses å være neglisjerbart. Temperaturforholdene i oppholdsrommet utgjør ingen trusselen for at slokningen må avbrytes. Det er gjort anslag vedrørende sannsynligheten for at kontinuerlig slokning kan drives. Denne er konservativt vurdert til $\Pr(cme) = 0.70$.

Pasientrom

Temperaturforholdene i pasientrommet er moderate i likhet oppholdsrommet. Beskjeden temperatur er en viktig forutsetning for at kontinuerlig slokning kan utføres.

Det er gjort et konservativt anslag vedrørende sannsynligheten for at kontinuerlig slokning kan drives. Denne er vurdert til $\Pr(cme) = 0.80$.

TAC-13: Fullstendig slokning inntreffer før FRI
Evaluering av TAC 13
Oppholdsrom og pasientrom

Uprofesjonelle slokkes trening og erfaring vurderes til å være mangelfull. Med den beskjedne brannstørrelsen, er nødvendig vannmengde minimal. Imidlertid vil begge brannen være slokkes teknisk noe utfordrende slik at slokning ikke alltid kan påregnes. Med bakgrunn i dette gjøres det en antagelse om sannsynligheten for slokning før FRI. Denne er satt til **Pr(fme) = 0.70**.

TIC	TAC	Hendelse	Tid	Total tid
A	1	Detektert	0.5	0.5
A	4	Mottatt	0.0	0.5
B	5-7	Innsatstid	1.0	1.5
C	9	Ved flammen	0.5	2.0

Tabell 3.5-1 Total tid før slokkeinnsats

3.5.3. M-kurven for brannvesen startbrannrommet
TIC A: OPPDAGELSESPONENTEN
TAC 1: Brannen oppdages/detekteres før FRI
Evaluering av TAC 1

Se evaluering TAC 1 uprofesjonelle slokkere, se kapittel 3.5.2.

Oppholdsrom:

Pr (dmn) = 1.000

Pasientrom:

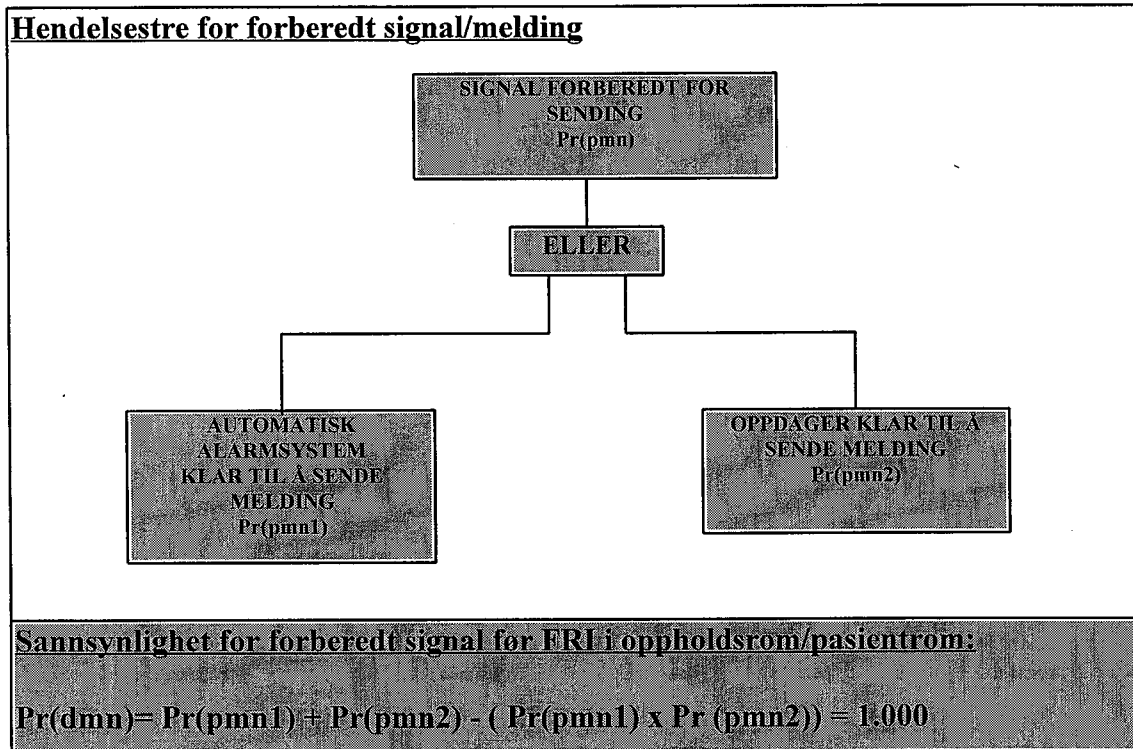
Pr (dmn) = 1.000

TAC 2: Signal/Melding er forberedt før FRI
Evaluering av TAC 2
Oppholdsrom/Pasientrom

Med bakgrunn i litteratur settes tilgjengeligheten for det automatiske deteksjonssystemet satt til **P(pmn1) = 0.999955 [15]**.

Sannsynligheten for at oppdageren handler rasjonelt på den måten at han beslutter å varsle om brannen settes med henvisning i litteraturen til $\Pr(\text{pmn2}) = 0.60$ [5]. Det er viktig å bemerke at forutsetningen for estimatet er at brannen allerede er oppdaget.

Den samlede sannsynligheten for forberedt signal/melding er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 3.5-6 Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i oppholdsrom/pasientrom.

TAC 3: Signal/Melding sendes før FRI

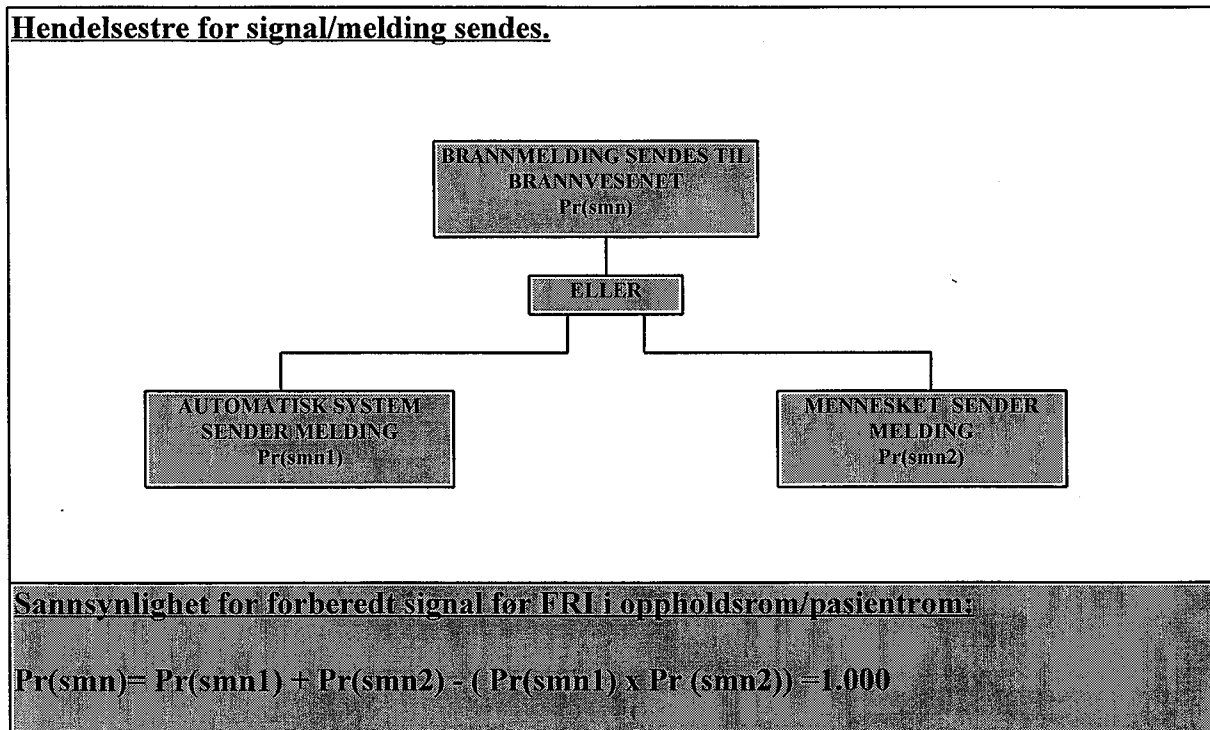
Evaluering av TAC 3

Oppholdsrom og pasientrom

Med bakgrunn i litteratur settes sannsynligheten for at det automatiske brannalarmanlegget sender melding til $\Pr(\text{smn1}) = 0.999955$ [15].

Med utgangspunkt i en konservativ vurdering og med støtte i litteraturen antas sannsynligheten for å lokalisere telefonen/alarmknapp, samt evne for å sende meldingen før FRI til $\Pr(\text{smn2}) = 0.60$ [5].

Den samlede sannsynligheten for at Signal/Melding sendes før FRI er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 3.5-7 Sannsynlighet for at signal/melding sendes før FRI i oppholdsrom/pasientrom.

TAC 4: Brannvesenet mottar brannmelding før FRI

Evaluering av TAC 4

Mennesker

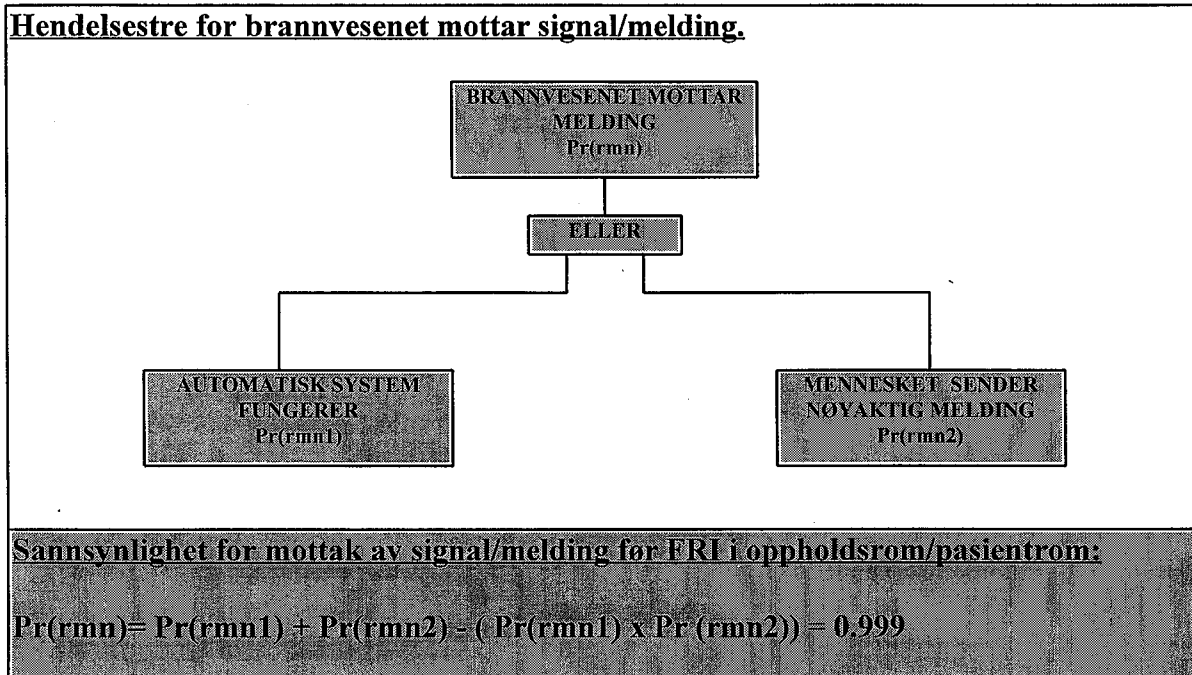
Det er gjort en antakelse, med bakgrunn av ekspertuttalelser, om at meldingene i tilstrekkelig grad er nøyaktige i 90% av tilfellene. $\Pr(rmn2) = 0.90$ [A].

Automatisk

Fjernvarsling av brann over det automatiske brannalarm anlegget antas å være mer nøyaktig og mer pålitelig. Fra brannalarmen slår ut til melding mottas hos brannvesenet skal det maksimalt gå 30 sekunder [B] (Se Tabell 3.5-2 for total tid). Tidstapet er normalt mindre enn de normerte 30 sekundene, og sannsynligheten for at melding mottas før FRI synes høy. Telelinjen hvor meldingen sendes over har en tilgjengelighet på 99.1% [16]. Det er gjort en ingeniørmessig vurdering av tilgjengeligheten for brannvesenets alarmsentral.⁷

Tilgjengeligheten antas å være 99.9955%. Den samlede tilgjengeligheten for alarmsentral og telelinjer er $\Pr(rmn1) = 0.991$.

Den samlede sannsynligheten for at brannvesenet mottar signal/melding er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 3.5-8 Sannsynlighet for mottak av signal/melding før FRI

TIC B : Utryknings komponenten

Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen gir krav til innsatstid. Innsatstiden er definert som tiden fra innsatsstyrken er alarmert til den er i innsats på brann/skadested.

«Til tettbebyggelse med særlig fare for rask og omfattende brannspredning, sykehus/sykehjem m.v., strøk med konsentrert og omfattende næringsdrift og lignende skal innsatstiden ikke overstige 10 minutter. Til sykehus/sykehjem m.v., kan innsatstiden i særskilte tilfeller være lengre dersom det er gjennomført særskilte tiltak som kompenserer for den økte risikoen.» [17].

Evaluering av TIC B

For kasernerte brannvesen i Norge brukes det forhåndstall på utrykningstid fra brannstasjon og tidsbruk ved forflytning. Fra alarmen går til første hjul er utenfor garasjen skal det gå mindre enn 1 minutt. Som forflytningstid med bil regnes 1 min/km. Det vil si at brannvesenet når det generiske sykehuset etter rundt 3 minutter og 30 sekunder etter at alarmen er utløst på sykehuset (Se Tabell 3.5-2 for total tid). Det er knyttet høy grad av pålitelighet til kasernert brannvesen i Norge. Gitt at melding om brann er mottatt antas sannsynligheten for suksess for brannvesenets utrykning til $\Pr(Ma) = 1.00$.

TIC C: PÅFØRINGS KOMPONENTEN

TAC 8: Brannvesenet kommer seg inn i bygningen før FRI

Med støtte i Forskrift om brannforebyggende tiltak og brannsyn § 6-6 sannsynliggjøres det at adgangen til bygningen samt oppstilling av materiell og utstyr ikke hindres i den grad at det hemmer mulighetene for kontinuerlig framdrift under innsatsen. §§ 5-5, 6-5 i samme forskrift sannsynliggjør at mengde og tilgjengelighet av slokkevann er fullstendig dekket. Med forutsetning om 1 minutts klargjøringstid før innsatspersonellet entrer bygningen er 4 minutter og 30 sekunder medgått på dette trinnet [A] (Se Tabell 3.5-2 for total tid).

Evaluering av TAC 8

Oppholdsrom

Overtenning i pasientrommet inntreffer etter 8.5 minutter, noe som medfører at innsatspersonellet ankommer sykehuset 4 minutter før simulert overtenning. Sammenholdt med evalueringene av tilgangen til vann og adgangen til bygningen gir dette stor sannsynlighet for entring av bygning før brannen involverer hele rommet (FRI). Sannsynligheten er estimert på bakgrunn av ekspertvurderinger og satt til $\Pr(\text{ema}^2) = 0.95$ [A]. På grunn av at FASTLite ikke tar hensyn til spredning av brensel i pasientrommets antas denne verdien å være konservativ.

Pasientrom

Overtenning i oppholdsrommet inntreffer etter 9 minutter, noe som medfører at innsatspersonellet ankommer 4 minutter og 30 sekunder før simulert overtenning. Sammenholdt med evalueringene av tilgangen til vann og adgangen til bygningen gir det stor sannsynlighet for entring av bygning før brannen involverer hele rommet. Sannsynligheten er estimert på bakgrunn av ekspertvurderinger og satt til $\Pr(\text{ema}^2) = 0.96$ [A].

TAC 9: Munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI

Adgangen til brannkilden er i stor grad bestemt av de arkitektoniske løsningene. Sykehuset er bygget over flere plan, og adgang og kapasitet gjennom lukkede trapperom blir en viktig adkomstvei til brannkilden. Beliggenheten til brannstedet i forhold til trapperommet og hvilken etasje som er involvert regulerer tiden som går med før innsatspersonellet fysisk står ved brannkilden klare til å starte slokkearbeidet.

Med bakgrunn i forhåndstall for brannvesenet og ekspertvurderinger vil brannvesenet kunne være klar til slokning i oppholdsrommet etter 6,5-7,5 minutter (Se Tabell 3.5-2 for total tid). Det antas da at 2-3 minutter brukes fra bygningen entres til innsatspersonellet fysisk står ved startbrannrommet [A]. Barrieren som omgir branncelle antas først å svikte etter 35 minutter (se kap.3.6). Brannspredningen vil på dette tidspunktet være beskjedent. Brannen vurderes derfor ikke å utgjøre noen betydelig trussel for tilstedeværende personer utenfor branncellen ved dette tidspunktet. Med bakgrunn i dette antas det at brannvesenet ikke assisterer rømning.

Det er ikke grunn til å anta at røyk og varmekorholdene vil kunne dramatisere og forverre brannmannskapenes mulighet til å ta seg frem til etasjen brannen er lokalisert. Derimot vil tilgangen til startbrannrommet være begrenset. Dette på grunn av at i det tidsrommet innsats-



personellet kan nå startbrannrommet er høyden til røyklaget er relativt lav og temperaturen relativt høy. Det presiseres at slokning kan utføres uten innsatspersonellet fysisk står i startbrannrommet.

Evaluering av TAC 9

Oppholdsrom

På grunn av temperaturer mellom 220 og 240 °C i nedre røyklag vil tilgangen til oppholdsrommet være begrenset. Med bakgrunn i antakelser gjort ovenfor sammenstilt med tid til overtenning, antas brannkilden på bakgrunn av ekspertvurderinger å være nådd og innsatspersonellet klar til å slokke med suksess før FRI $\Pr(\mathbf{fma}^2) = 0.75$.

Pasientrommet

Estimert tid til FRI er 9 minutter, noe som medfører at innsatspersonellet med moderat grad av sannsynlighet kan være ved brannstedet før overtenning. Derimot vil tilgangen til pasientrommet være begrenset på grunn av temperaturer mellom 225 og 240 °C.

Med utgangspunkt i ekspertvurdering antas brannkilden å være nådd, og innsatspersonellet klar til å slokke før FRI med sannsynlighet $\Pr(\mathbf{fma}^2) = 0.80$ [A].

TAC 10: Første slokkemiddel påføres før FRI

Første slokkemiddel vil normalt kunne påføres umiddelbart etter at brannstedet er nådd.

Evaluering av TAC 10

Oppholdsrom

Overtenning i oppholdsrommet inntreffer etter 8.5 minutter (se vedlegg 3.4). Det betyr at innsatspersonellet har mulighet til å begynne slokking før FRI har inntruffet.

Sannsynligheten for påføring slokkemiddel før FRI i startbrannrommet gitt at munnstykket er innen rekkevidde av flammen antas på bakgrunn av ekspertvurderinger å være $\Pr(\mathbf{a}^2\mathbf{ma}^2) = 0.90$ [A].

Pasientrom

Overtenning i pasientrommet inntreffer etter 9 minutter. Det betyr at brannvesenet har mulighet til å begynne slokning før FRI har inntruffet i pasientrommet. Begrunnelsen ligger i at tidstapet før slokning kan starte er minimalt gitt at munnstykket er innen rekkevidde av brannen.

Sannsynligheten for påføring slokkemiddel før FRI i startbrannrommet gitt at munnstykket er innen rekkevidde av flammen antas på bakgrunn av ekspertvurderinger å være $\Pr(\mathbf{a}^2\mathbf{ma}^2) = 0.90$ [A].

TIC D: BRANNSLOKNINGS KOMPONENTEN
TAC 11: Kvantiteten på slökkemiddel er tilstrekkelig for slokning før FRI
Evaluering av TAC 11
Oppholdsrom

Varmeutviklingen ved dette tidspunktet, 6,5 - 7,5 min, er ca 5.4 MW. For slokning kreves er påføringsrate på 40 l/min etter slokkekriteriene [9]. Dersom innsatspersonellet er plassert utenfor rommet det brenner i antas det at 50% av det tilførte vannet ikke deltar i energibalanseringen, det vil si at vannet ikke når frem til brannsonen [8]. Dette gir en påføringsrate på 80 l/min (se vedlegg 3.5). Dersom slökkemiddel påføres i mindre mengder pr. tidsenhet enn dette, vil brannen ikke slokne uansett hvor mye slökkemiddel som tilføres. Ved påføring fra et røykdykkerlag med kapasitet 250-270 l/min er påføringsraten større enn slokkekriteriene. Innsatspersonellets mulige påføringsrate målt opp mot den nødvendige påføringsraten sannsynliggjør slokningen. Sannsynligheten for at det er nok slokkevann er vurdert av eksperter og på bakgrunn av dette satt til $\Pr(\text{eme})=0.95$ [A].

Pasientrom

Branneffekten ved dette tidspunktet, 6,5 - 7,5 min, er ca 5.8 MW. For slokking kreves det påføringsrate på 43 l/min etter slokkekriteriene [9]. Forutsetningen er å bruke dette estimatet er at røykdykkere påfører vann direkte i brannsonen. Dersom innsatspersonellet er plassert utenfor rommet det brenner i antas det at 50% av det tilførte vannet ikke deltar i energibalanseringen, det vil si at vannet ikke når frem til brannsonen [8]. Dette gir en påføringsrate på 86 l/min (se vedlegg 3.5). Innsatspersonellets mulige påføringsrate målt opp mot den nødvendige påføringsraten sannsynliggjør slokningen. Sannsynligheten for at det er nok slokkevann er vurdert av eksperter og på bakgrunn av dette satt til $\Pr(\text{eme})=0.95$ [A].

TAC-12: Kontinuerlig påføring av slökkemiddel til slokning før FRI
Evaluering av TAC 12
Oppholdsrom og Pasientrom

Sannsynligheten for at innsatspersonellet kan drive kontinuerlig slokning vil være avhengig av påliteligheten til pumpeutstyret, samt eventuelle brudd i slanger eller tilkoblinger. Med antakelser gode vedlikeholdsrutiner hos det stedlige brannvesen antas brudd i vanntilførselen å være lav. Imidlertid kan varmemeforholdene i begge rommene være den utslagsgivende faktor ved at innsatspersonellet må trekke seg tilbake på grunn av fysisk ubehag fra varmen.

Muligheten for at kontinuerlig slokning kan drives er satt på bakgrunn av ekspertuttalelser. Sannsynligheten for at kontinuerlig slokning kan pågå utfra de gitte forhold er satt til $\Pr(\text{cme})=0.90$ [A]. Estimater gjelder uavhengig av de to brannscenariene.

**TAC-13: Fullstendig slokning inntreffer før FRI****Evaluering av TAC 13**Oppholdsrom og Pasientrom

Innsatspersonellens trening og erfaring vurderes og være sikret gjennom forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen. Brannen som har oppstått i rommet vil være noe utfordrende rent slokketeknisk for mannskapene. Med bakgrunn i dette settes sannsynligheten for slokking før FRI til $\Pr(fme) = 0.80$ [A].

TIC	TAC	Hendelse	Tid	Total tid
A	1	Detektert	0.5	0.5
A	4	Mottatt	0.5	1.0
B	5-7	Innsatstid	2.5	3.5
C	8	Entring	1.0	4.5
C	9	Ved flammen	2-3	6.5-7.5

Tabell 3.5-2 Total tid før slokkeinnsats

3.5.4. M'-KURVE brannvesen korridoren bak barrieren

Det poengteres at M-kurven for rommet etter barrieren begynner ved TAC 9, dette fordi sannsynligheten for TIC A og TIC B er ivaretatt i M-kurven for startbrannrommet. TAC 8 settes til 1.00 fordi brannvesenet er på plassen før FRI i rommet bak barrieren. Videre henvises det til 2.10. for parametere som inngår i evalueringen. Tidsintervallet fra antennelse til brann som involverer hele rommet (FRI) i startrommet gir brannvesenet ekstra tid før antennelse i rommet bak barrieren. Det er gitt at innsatspersonellet starter slokkeinnsatsen i rommet bak barrieren etter at FRI har inntruffet i startbrannrommet. M-kurven antar at punktsvikt antennelse (EB) har inntruffet på barriere overflaten i rommet bak barrieren, dette fordi punktsvikt inntreffer før massiv svikt i barrieren.

TIC C: PÅFØRINGS KOMPONENTEN**TAC-9: Munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI****Evaluering av TAC 9**Oppholdsrom og Pasientrom

Barrieren som skiller rommene fra korridoren inneholder en dør som svakeste punkt. Døren antas å få massiv svikt etter 30 minutter (kap3.6). Dette gir innsatspersonellet tilsvarende tid til å forberede seg for slokning av korridoren bak barrieren av rommet brannen starter i. Det er ikke grunn til å anta at overtenningen i startbrannrommet vil kunne dramatisere og forverre brannmannskapenes mulighet til å ta seg frem til etasjen brannen er lokalisert. Videre vil varme- og røykforholdene i rommet bak barrieren, hvor slokkeinnsatsen settes inn, ikke hindre innsatspersonellet fysisk. Tiden brannvesenet har til rådighet før barrieren sett i forhold til når de kan stå i rommet bak barrieren sannsynliggjør at de kan være tilstede før FRI.



Sannsynligheten bygger på ekspertuttalelser og er satt til $\Pr(fma^2) = 0.95$. Verdien gjelder for både oppholdsrommet og pasientrommet.

TAC 10: Første slökkemiddel påføres før FRI

Evaluering av TAC 10

Oppholdsrom og Pasientrom

Tidstapet før slokning kan starte er minimalt gitt at munnstykket er innen rekkevidde av brannen. Med bakgrunn av dette settes sannsynligheten for suksess til $\Pr(a^2ma^2) = 0.95$ for begge rommene [A].

TIC D: BRANNSLOKNINGS KOMPONENTEN

TAC 11: Kvantiteten på slökkemiddel tilstrekkelig for slokning før FRI

Evaluering av TAC 11

Oppholdsrom og Pasientrom

Innsatspersonellet vil være klare for slokning umiddelbart etter etablert brann i korridoren bak barrieren. En etablert brann (EB) utvikler 5 kW effekt [1]. For slokning av brann av såpass beskjeden størrelse vil kvantiteten på slökkemiddel være tilstrekkelig for fullstendig slokning. Sannsynligheten for at det er tilstrekkelig slokkevann er på bakgrunn av ingeniørmessige vurderinger satt til $\Pr(eme) = 0.95$.

TAC 12: Kontinuerlig påføring av slökkemiddel til slokking før FRI

Evaluering av TAC 12

Oppholdsrom og Pasientrom

Sannsynligheten for at innsatspersonellet kan drive kontinuerlig slokning vil være avhengig av påliteligheten til pumpeutstyret, samt eventuelle brudd i slanger eller tilkoblinger. Med antakelser gode vedlikeholdsrutiner hos det stedlige brannvesen antas brudd i vanntilførselen å være lav. Røyk og varmekorholdene vil ikke være en begrensende faktor.

Sannsynligheten for at kontinuerlig slokning kan drives vurderes på av bakgrunn av ekspertuttalelser til $\Pr(cme) = 0.95$ [A].

TAC 13: Fullstendig slokning inntreffer før FRI

Evaluering av TAC 13

Oppholdsrom og Pasientrom

Innsatspersonellens trening og erfaring vurderes og være sikret gjennom forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen. Den etablerte brannen som har oppstått i korridoren bak barrieren er slokkes teknisk ingen utfordring for mannskapene. Med den

beskjedne brannstørrelsen, vil nødvendig vannmengde og slokketid være minimal, og det er stor sannsynlighet for at brannen slukkes. Med bakgrunn i dette settes sannsynligheten for slokning før FRI til $\Pr(\text{fme}) = 0.99$ [A].

Alle sannsynligheter på I- og M- kurvene er satt inn i boblediagram i vedlegg 3.6.

3.6. Barriereanalyse, sykehus

Den aktuelle brannspredningen som analyseres, vil skje fra rommet brannen starter i via etasjen til resten av bygningen. Brannspredningen fra startbrannrommet og ut i etasjen vil kunne skje gjennom døren da denne er den svakeste delen av barrieren rundt rommet. Fra etasjen vil brannen kunne spre seg til resten av bygget via trapperom. Dette forklares med at døren inn til trapperommet har halvparten av veggens brannmotstand. Herifra analyseres brannmotstanden i bygningens bærende konstruksjon. Det poengteres at valg av barrierer også er gjort med hensyn til personsikkerheten.

For å evaluere tiden barrieren blir utsatt for brann, benyttes [1]. Tabellen i L-kurve permen for standard branntid i forhold til brannbelastningen starter på 454 MJ/m^2 . Brannbelastningen i rommet er satt til 230 MJ/m^2 gulvareal [11]. Dersom den utregnede brannbelastningen ikke finnes i tabellen, velges verdien nærmest over. Brannbelastningen på 230 MJ/m^2 er hentet fra Sveitsisk statistikk. Denne verdien er ikke oppført i tabellen i [1]. Dette vil medføre at standard branntid blir satt til å tilsvare 454 MJ/m^2 . Dette gir en brann med standard varighet på 30 minutter. Barriereanalysen vil derfor være konservativ for en brannbelastning under 454 MJ/m^2 . Se modellering for ytterligere informasjon om materialer i barrierene og rommet, kap 3.2.

3.6.1. Oppholdsrom og pasientrom.

Sannsynlighet for svikt i barrieren blir:

$$\Pr(\bar{B}) = 0,108 \text{ ca } 11 \%$$

Se vedlegg 3.6 for detaljer om utregningen.

3.6.2. Barriereanalyse av etasje

Sannsynlighet for svikt i barrieren blir:

$$\Pr(\bar{B}_F) = 0.108 \text{ ca } 11 \%$$

Se vedlegg 3.6 for detaljer om utregningen.

3.6.3. Barriereanalyse Bygning.

Sannsynlighet for svikt i barrieren blir:

$$\Pr(\bar{B}) = 0.00 = 0\%$$

Se Vedlegg 3.6 for detaljer om utregningen.

3.7. Før etablert brann, steg A og B

Sannsynligheten for etablert brann er funnet i statistikk utarbeidet av DBE [12]. Statistikken viser sannsynligheten for at brann skal oppstå i ulike typer virksomheter. De statistiske verdiene er uavhengig av om bygningen er bygget etter BF 87, eller eldre byggeforskrifter. Tallmaterialet som ligger til grunn for statistikken er hentet fra brannvesenets rapporter, og gir oversikt over etablerte branner.

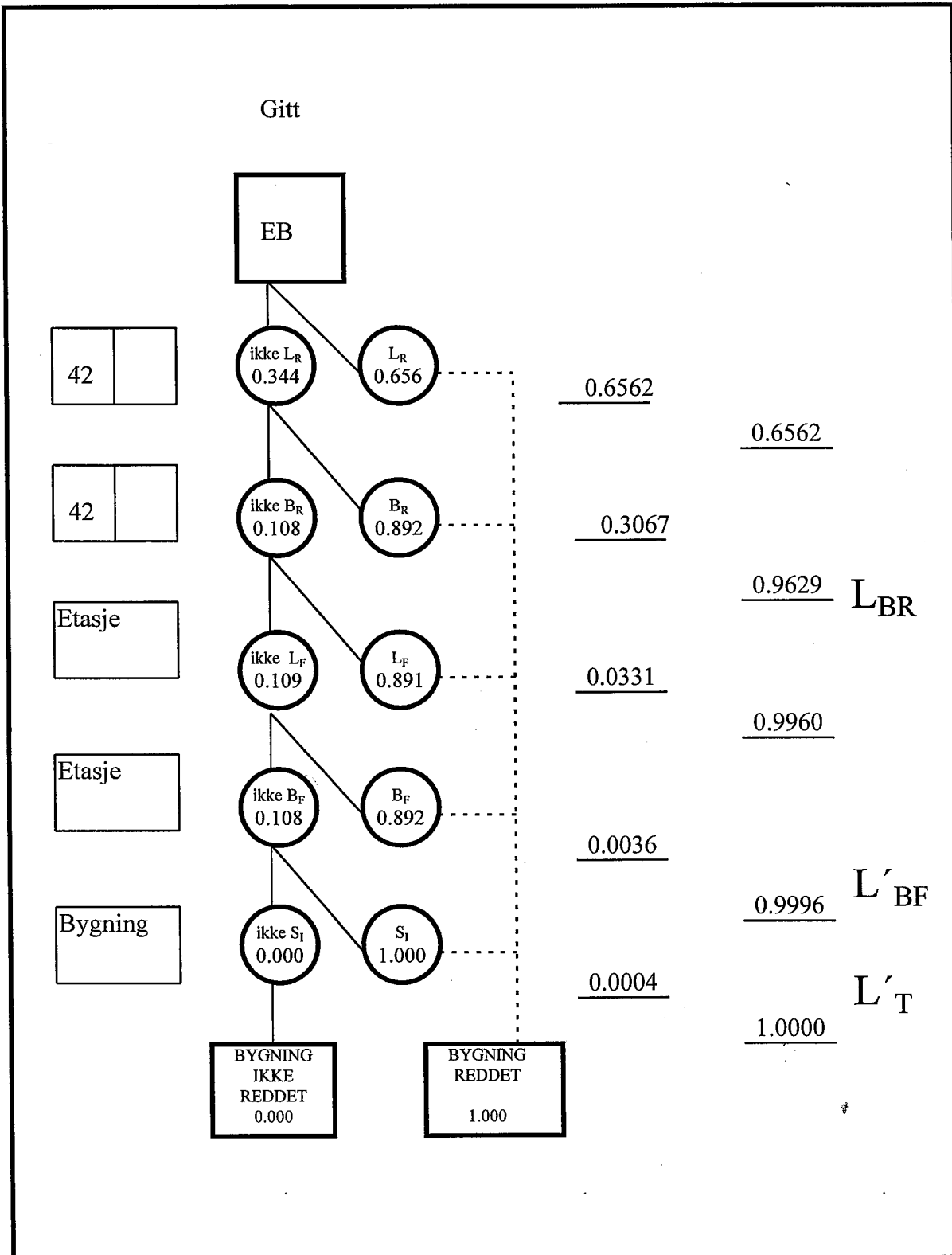
Pr(EB) = 0.0087 ganger /år [13].

Denne verdien dekker både steg A og steg B og vil gi et godt estimat på sannsynligheten for at etablert brann skal oppstå. Det poengteres for det første at denne verdien bygger på brannstatistikk i den relativt korte perioden fra 1986 til 1994 og vil med dette være noe usikker. For det andre er statistikk grunnlaget hentet fra forskjellige kategorier helseinstitusjoner, dette for å oppnå et større statistisk grunnlag.



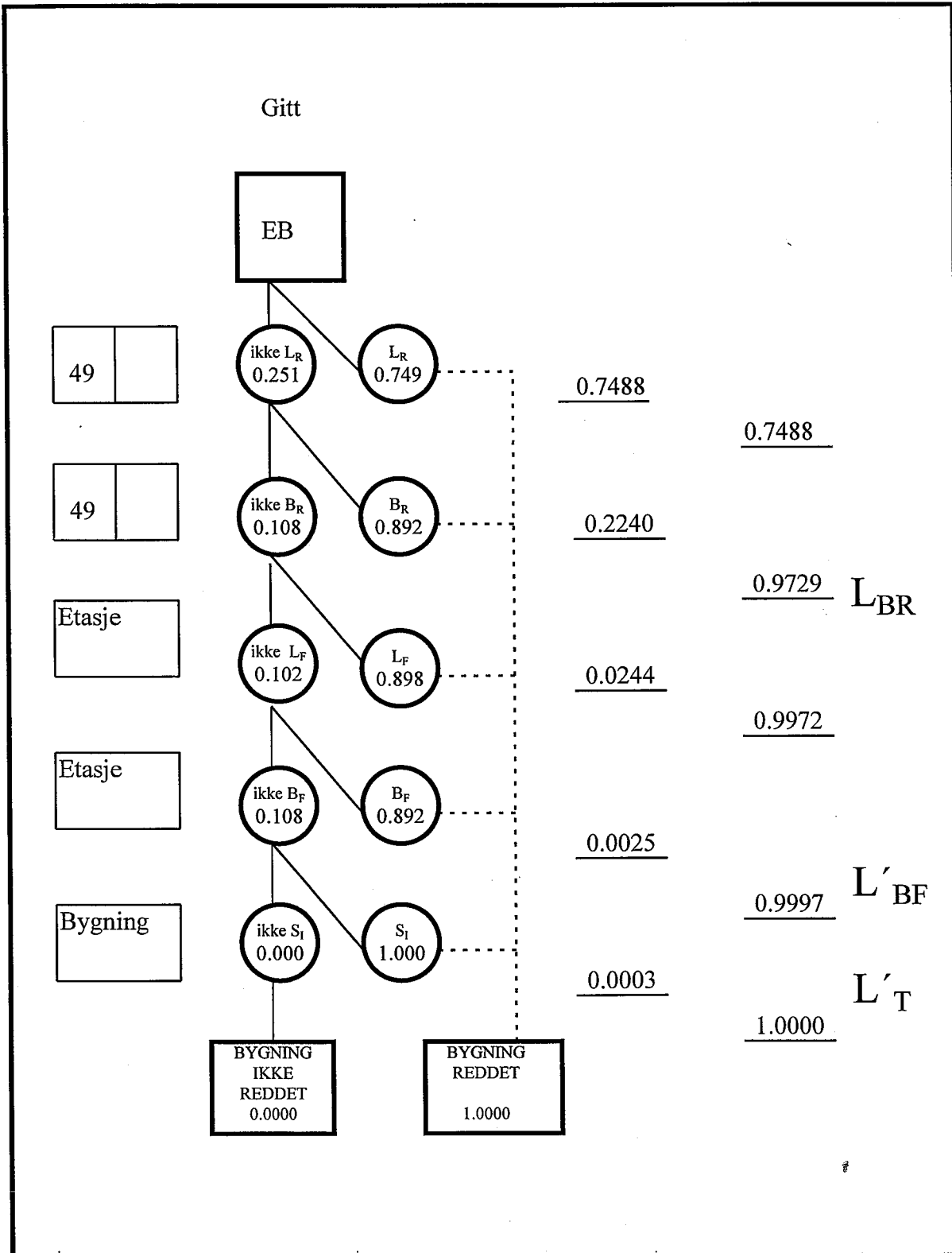
3.8. Boblediagram sykehus

3.8.1. Boblediagram Oppholdsrom



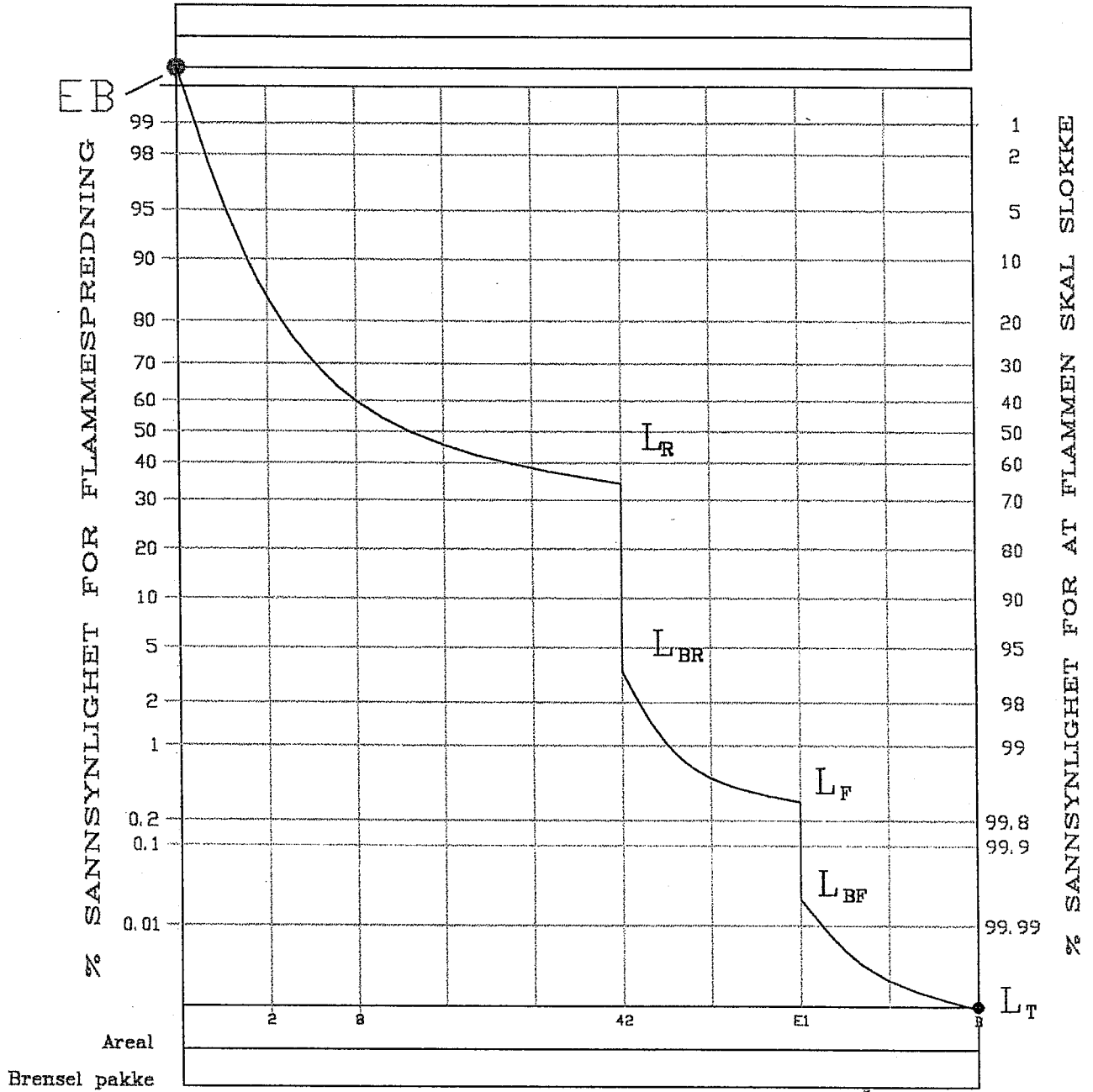


3.8.2. Boblediagram Pasientrom



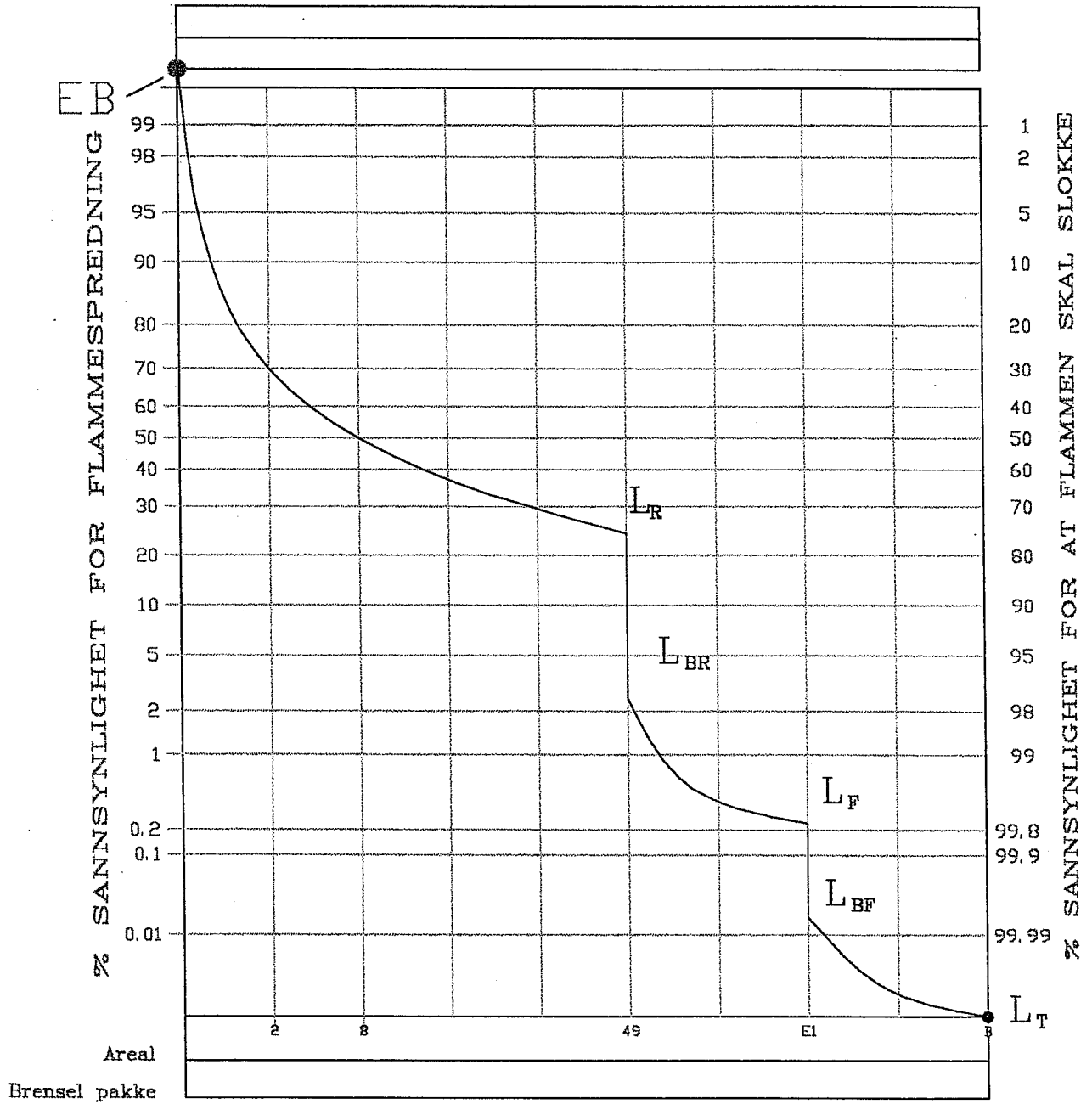
3.9. L- kurver Sykehus

3.9.1. L- kurve Oppholdsrom





3.9.2. L- kurve Pasientrom



3.10. Evaluering av L-kurve sykehus

Det er utarbeidet to L-kurve diagrammer med utgangspunkt i henholdsvis oppholdsrom og pasientrom. Hvert av rommene har lik brannbelastning men forskjellig konsentrasjon av brensel. På grunn av høyere konsentrasjon av brensel i oppholdsrommet, vil brannforløpet skje noe hurtigere her enn i pasientrom. Konsentrasjon av brensel er kun en faktor ved evaluering av sannsynligheten for at brannen skal dø ut av seg selv. Programmet FASTLite tar ikke hensyn til konsentrasjon av brensel, men kun til brannbelastningen. Dette medfører at tid til overtenning kan være noe lavere i virkeligheten.

Først og fremst er konsentrasjonen av brensel årsaken til det noe lavere sikkerhetsnivå i oppholdsrommet sett i forhold til pasientrommet. Konsentrasjonen av brensel og gode forutsetninger for flammespredning i inventaret. Dette minker brannvesenets sløkke-muligheter før brannen involverer hele rommet, og resulterer i ca 7.6 % lavere sikkerhetsnivå for oppholdsrommet sett i forhold til pasientrommet.

Sett i forhold til den relativt store forskjellen i sikkerhetsnivå på oppholdsrom og pasientrom, 7.6 %, resulterer barrieren i en forskjell i sikkerhetsnivå på 0.8 %. Dette viser at konsentrasjon av brensel og tid til overtenning influerer lite på den sikkerheten mot brannspredning barrierene representerer.

Sikkerhetsnivået er henholdsvis for 65.6 % og 74.9 % for oppholdsrom og pasientrom. Statistikk over branner i sykehus viser at sikkerhetsnivået ligger på 74.5 % for at brannen begrenses til startbrannrommet [14]. Bakgrunnen for forskjellen i sikkerhetsnivåene kan være at det er antatt konservative verdier i analysen.

I analysen er det brukt en gjennomsnittlig brannbelastning på 230 MJ/m^2 . Erfaringsmessig kan brannbelastningen varierer mye innenfor sykehusets ulike bygningsdeler. Et eventuelt vaskeri eller lintøylager har typisk en brannbelastning som er det dobbelte eller tredobbelte av den brannbelastningen som er brukt i analysen. Dette vil influere lokalt på brannens intensitet og varighet. Høy brannbelastning øker sannsynligheten for svikt i barrieren.

Sannsynligheten for at barrieren begrense brannen til oppholdsrommet og pasientrommet er henholdsvis 96.0 % og 96.8 %. Dette nivået ligger noe lavere sammenholdt med statistikk på området, som sier 98.8 % [14]. Årsaken til differansen i sikkerhetsnivå kan skyldes en mangelfull metode for barriereanalyse.

Sannsynligheten for at brannen begrenses til etasjen ligger på 99.96 % dersom brannen starter i oppholdsrommet, og 99.97 % dersom brannen starter i pasientrom. Sammenholdt med sannsynligheten for at etablert brann skal oppstå som ligger på 0.0087 ggr/år indikerer dette en høy sikkerhet mot at brannen skal involvere hele etasjen [13]. Dette gir en sannsynlighet på 3.48×10^{-6} per år for at en etasje skal gå tapt.

Sannsynligheten for at bygningen ikke kollapser totalt er 100.0 % i henhold til analysen. Verdien synes å være høy. En mulig feilkilde kan være at sannsynligheten er utarbeidet med bakgrunn i gjennomsnittlig brannbelastning. Det er ikke tatt hensyn til at det lokalt i sykehuset kan være høyere brannbelastning og høyere belastning på konstruksjonen. En annen feilkilde kan være den svake metoden for å analysere barrierer.



Analysen av brannvesenets innsats har basert seg på kasernert brannvesen med relativ kort innsatstid. Det poengteres at dersom brannvesenet består av frivillige mannskaper, vil tiden før første slokkeinnsats kan iverksettes øke. Dette kan føre til at brannvesenet kommer frem til brannstedet etter at overtenning er inntruffet.

4. L- KURVEANALYSE FORSAMLINGSLOKALE

4.1. Forutsetninger

I dette kapitlet brukes et forsamlingslokale som eksempel. Dette er tenkt bygget etter BF 87. Ved modellering av forsamlingslokalet er det tatt utgangspunkt i minstekrav gitt i BF 87. Bakgrunnen er at minstekrav i BF 87 ofte brukes ved prosjektering ut fra økonomiske hensyn og dårlige kunnskaper om brannvern. Områder det er lagt spesiell vekt på i modelleringsarbeidet er geometri til innredningen og geometri til selve salen, samt materialvalg i konstruksjon og innredning. Dette er alle områder som er viktige for kvantifiseringen av I-kurven. Videre forutsettes det at entreprenøren utfører oppdraget i henhold til fastsatte krav i BF 87. Det vil si at alle gjennomføringer er tette, valg av materialer følger gitte lover og forskrifter.

For geometrisk utforming av plantegning (vedlegg 4.1) er det brukt plantegning over Edda Kino i Haugesund. Plantegningen er kun brukt for den geometriske utformningen, ikke den bygningstekniske.

Ved beregning av dimensjonerende brannforløp er det brukt statistiske data på brannbelastning fra Sveitsiske undersøkelser. Brannbelastningen gjelder for kinosal, verdien er sammenlignbar med andre typer forsamlingslokale [11].

Det generiske forsamlingslokalet er tenkt lokalisert i tettsted med mer enn 20000 innbyggere. Beredskapen er organisert i lag av heltidspersonell med kasernert vakt. Brannvesenet er dimensjonert etter Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen. Vaktlag og støttestyrke disponerer pumper, tankbil og stigebil. Avstanden fra brannstasjonen til forsamlingslokalet er 0.5 kilometer.

Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen overlater vurderingen om behovet for røykdykkere til kommunen. Med bakgrunn i innbyggertallet og ved å anta at kommunen inneholder fylkessykehus antas det at hvert vaktlag og støttestyrke er oppsatt med ett røykdykkerlag.

Veiledning til Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen anbefaler at en styrke på minst 12-14 mannskaper skal kunne operere samlet innen en innsatstid på 10-15 minutter etter at førsteinnsats er iverksatt.

Med bakgrunn av at det til dags dato ikke finnes nok med underlagsdata for sannsynligheter på I-kurven, brukes fagkyndig skjønn fra forfatterne for å finne sannsynligheter til I-kurven. For sannsynligheter knyttet til M-kurven er det brukt litteratur og ekspert vurderinger fra brannvesenet.

Ved estimering av sannsynligheter for I-kurven forutsettes det at brannen er underventilert. Begrunnelsen for å legge en slikt forutsetning til grunn er å konstruere en situasjon med det verst tenkelige utgangspunkt. Med bakgrunn av disse forutsetningene er alle utregninger og simuleringer gjort med alle dører åpne inn til branncellene.

Ved analyse av barrierene er det en forutsetning at alle dører er stengt. Begrunnelse for dette er at barriere er definert som kontinuerlig flate rundt rommet.

4.2. Modellering

4.2.1. Beskrivelse av bygningen.

Bygningen består av to etasjer. En kinosal med areal på 561 m² går over begge etasjene. Øvrige rom har et samlet areal på 250 m² pr. etasje. I første etasjen finnes kiosk, billettsalg, toaletter, venteplasser ol. Etasje to inneholder rom for de ansatte på kinoen (se tegning, vedlegg 4.1). Det tas utgangspunkt i en brann i kinosalen. Derfra vil brannen kunne spre seg horisontalt til både etasje 1 og etasje 2. Bygningen er utført i plasstøpt dekkekonstruksjon og vegger i betong. Alle innervegger som ikke er betong er ført opp med gipsplater og stender i tre.

4.2.2. Beskrivelse av utvalgt rom.

Rombeskrivelse av kinosal:

Hele salen er en branncelle (BF87 33:3) med areal 561 m². Salen består av et stort rom med takhøyde på 5 meter. I veggene som omslutter rommet er det fire dører. Veggene er oppført i betong. Fra kinosalen leder tre dører til første etasje og én til andre etasje.

Rommet inneholder følgende møbler:

- 563 stoler
- Diverse elektronikk, som lysarmatur og høyttalere, samt lerret og forheng.

4.2.3 Andre data om bygningen

- Bygningen har to etasjer, hvilket medfører rangering under Bygnings Brannklasse 2 (BF87 33:2)
- Bruttoarealet per etasje er mindre enn 1800 m²
- BBK 2 medfører (BF87 30:41):
 - ◆ bærende hovedsystem utført i A 60
 - ◆ sekundære bærende deler, etasjeskiller som ikke er stabiliserende utført i B 60
 - ◆ branncellebegrensende bygningsdel (unntatt yttervegg) utført i B 60
 - ◆ bygningsdel som omgir trapperom eller heisesjakt, som forbinder flere brannceller utført i A 60
 - ◆ trappeløp utført i A 30
 - ◆ dører i branncellebegrensende vegger skal minst ha halvparten av veggens brannmotstand
- Dør til og i rømningsvei utført i B30S (BF87 30:75).
- Kledningers og overflaters branntekniske klasse (BF 87 30:42):
 - ◆ innvendig overflate utføres i In 2
 - ◆ utvendig overflate utføres i Ut 1



- ◆ kledning utføres i K1
 - ◆ gulvbelegg utføres i G
 - ◆ innvendig overflate rømningsveg utføres i In 1
 - ◆ innvendig kledning i rømningsveg utføres i K1-A
- Gjennomføringer av rør, kabler og kanaler utføres slik at bygningsdelens brannskillende funksjon opprettholdes (BF 87 30:621)

Konstruksjonsdel	Klasse	Bredde / tykkelse	Materiale
Vegger	A60	150 mm	Betong
Dekke	A60	150	Betong
Vegger i branncelle	B60	150mm	Betong
Dører	B30		

Tabell 4.2-1 Materialvalg i konstruksjonen

Kledning/ overflate	Klasse	Material valg
Innvendig overflate	In 2	Malt betong/ papir tapet
Kledning	K 1	Gips
Innvendig overflate rømningsveg	In 1	Malt betong/ papir tapet
Innvendig kledning rømningsveg	K 1 - A	Gips

Tabell 4.2-2 Materialvalg i kledninger og overflater

4.2.4. Brannbelastning

Brannbelastning som er brukt i beregningene er 300 MJ/m^2 gulvareal. Tallet er en gjennomsnittsverdi fra sveitsiske undersøkelser [11].

4.2.5. Brannscenarie

Verst tenkbart tidspunkt brannen kan oppstå, er under en forestilling. En brann ved dette tidspunktet medfører høy sannsynlighet for tap av menneskeliv.

Brannscenarie:

- Brannen starter i en stol langt bak i forsamlingslokalet. Dette medfører lavere sannsynlighet for tidlig oppdagelse, fordi publikum har fokus mot lerret.

siden dørene har lavest brannmotstand vil brannen med størst sannsynlighet spre seg gjennom disse. Om brannen sprer seg gjennom dørene vil det være mulig at både etasje 1 og 2 involveres i brannen. Dette fordi kinosalen har dører til begge etasjene. Hvis ikke brannvesenet klarer å stoppe brannen i rommet bak barrieren antas bygningen å være tapt.

4.2.6. Simulering i FASTLite

Det ble utført simuleringer for brann i hele kinosalen, samt brann i én kinostol. Inngangsparametere for begge simuleringene er følgende:

- Lokalets geometri: 30 m lengde, 18 m bredde og 5 meter høyde
- Betong i vegger, gulv og tak
- 3 dører som er rømningsveier og 1 dør til personellrom, geometri 2 m bredde og 2.1 m høyde

Øvrige inngangsparametre for simulering 1:

- Meget rask brann (Ultra fast) i henhold til NKB's definisjon [11].
- Brannvekstperiode : 444s (beregning 2, vedlegg 4.2).
Brannvarighet: 5025 s (beregning 3, vedlegg 4.2).

Resultater:

- Overtenning etter 2477 s.
- Maksimal varmeutvikling: 36.8 MW i en varighet av ca 4100 s (vedlegg 4.3, diagram 1a).
- Maksimal temperatur i øvre røyklag: 708 °C etter 4590 s (vedlegg 4.3, diagram 1b).
- Maksimal temperatur i nedre røyklag: 223 °C etter 4590 s (vedlegg 4.3, diagram 1c).
- Lavest høyde på røyklag: 1.36 m fra gulvet etter ca 400 s (vedlegg 4.3, diagram 1d).

Øvrige inngangsparametre for simulering 2:

- Forhåndsdefinert brann, lenestol av tre, polyurethane skum og polyester/bomull.

Resultater:

- Maksimal varmeutvikling fra en lenestol: 900 kW.

Simulering av rømning:

- Total tid for å rømme kinosalen for 560 personer: 290 s (vedlegg 4.3).

4.3. I- kurve forsamlingslokale

4.3.1. Kriterier for beregning av I- kurve

I-kurven for forsamlingslokaler beregnes ut fra de gitte forutsetningene i kapittel 2.8. Det vil si romgeometrien, geometri til, og type materiale i møbler. Brannbelastningen er spredd over gulvet. Brannen antas å starte i et hjørne lengst bak i salen. Alle beregninger presenteres i vedlegg 4.2.

Kinosalen er utformet slik:

- Stort areal (ca 561 m² for hele branncellen)
- Stor takhøyde (5 m)
- Totalt volum ca 2800 m³
- Kort avstand mellom stolene, dvs. brannen kan spre seg fra stol til stol.
- Kinostolene antas å være av materiale som ikke er brannhemmende.

Brannen starter i en kinostol i et hjørne bakerst i salen.

4.3.2. Sannsynlighet for at brannen slukker før 1.5 meter flammehøyde

Ved simulering i FASTLite oppnås en maksimal effekt på 900 kW (diagram 2a, vedlegg 4.3) for en kinostol etter 10 minutter. Dette medfører en flammehøyde på ca 2.5 meter (beregning 1, vedlegg 4.2). Strålingen fra flammen kan antenne andre materialer i en avstand av 52 cm (beregning 2, vedlegg 4.2). Den brennende stolen har vanskelig for å antenne stolene foran og bak på grunn av avstanden. Stolene på hver side er lettere å antenne. En eller flere stoler medfører en flammehøyde på over 1.5 meter. Sannsynligheten for at brannen skal slukke av seg selv før flammene når 1.5 meter settes til $\Pr(BI_1) = 0.2$. Ved denne flammestørrelsen vil 2 m^2 være involvert i brannen.

4.3.3. Sannsynlighet for at brannen slukker før takhøyde

De brennbare gjenstandene i rommet er spredd jevnt og i lav høyde over gulvet. Takhøyden er relativt stor. Det medfører at brannen må involvere et stort areal for at flammene skal nå taket. Den korte avstandene mellom stolradene vil medføre gode muligheter for flammespredning. Sannsynligheten for at brannen skal slukke før flammene når takhøyde settes med bakgrunn av dette til $\Pr(BI_2) = 0.3$. Arealet som involveres i brannen ved denne flammehøyden antas å være 10 m^2 .

4.3.4. Sannsynlighet for at brannen slukker før brannen involverer hele rommet (FRI)

På grunn av rommets store volum ($>1000 \text{ m}^3$) vil geometrien og størrelsen på ventilasjonsåpningene være avgjørende for om det blir FRI med eller uten overtenning [2]. Simulering i FASTLite gir overtenning etter ca 40 minutter (se diagram 1a vedlegg 4.3). Den store mengden, og den jevne spredningen av brensel i rommet, vil medføre at det er liten sannsynlighet for at flammene skal slukke av seg selv før FRI. Sannsynligheten for at brannen slukker av seg selv før FRI settes til $\Pr(BI_3) = 0.1$. Arealet som involveres i brannen ved FRI er 561 m^2 .

4.3.5. I'- kurve for rom bak kinosal

Barrieren får massiv svikt (se kap. 4.6), noe som medfører at brann som involverer hele rommet antas å inntreffe i rommet bak barrieren. Sannsynligheten for at brannen skal slukke av seg selv blir med bakgrunn i dette $\Pr(BI'_n) = 0.000$.

4.4. A- kurve

I Byggforskrift 87 stilles det ingen krav til installasjon av automatiske slokningsanlegg i forsamlingslokaler. Sannsynligheten settes med bakgrunn i dette til $\Pr(A) = 0.00$ for hele kurven. Dette medfører at A- kurven ikke får noen innvirkning på L-kurven.

4.5. M- kurve forsamlingslokale

4.5.1. Kriterier for estimeringen

Alle tall vedrørende varmeutvikling, temperaturer i røyklag, tider og høyde til røyklag er hentet fra simuleringer i FASTLite (vedlegg 4.3). Ved estimering av brannvesenets innsatstider og slokkeinnsats er det gjort ekspertvurderinger i samarbeid med Haugesund Brannvesen [A]. Videre henvises det til 2.10.1. for parametere som inngår i evalueringen

Det antas at brannalarmanlegget er et Analogt adresserbart system. Et slikt system gir detaljert informasjon om eventuelle detektorfeil til teknisk avdeling. I analysen av det automatiske brannalarmanlegget benyttes samme sannsynlighet for detektorer, signal forberedt og alarm sendes [15]. Rapporten det refereres til angir den samlede tilgjengeligheten for brannalarmanlegg. Ved å operere med denne sannsynligheten for alarmanleggets enkelte deloppgaver oppnås et konservativt estimat.

4.5.2. M- kurve uprofesjonelle

TIC A: OPPDAGELSES KOMPONENTEN

TAC 1: Brannen oppdages/detekteres før FRI

Evaluering av TAC 1

Automatisk deteksjon

Sannsynligheten for at detektorene fungerer kan estimeres ved å regne ut den iboende tilgjengeligheten til detektorene. Forutsetningen for estimering av den iboende tilgjengeligheten er at detektoren straks repareres når den feiler. En slik forutsetning vurderes å ha validitet, fordi det automatiske alarmanlegget er analogt adresserbart. Det vil si at sentralen umiddelbart gir melding dersom det skulle oppstå feil på anlegget.

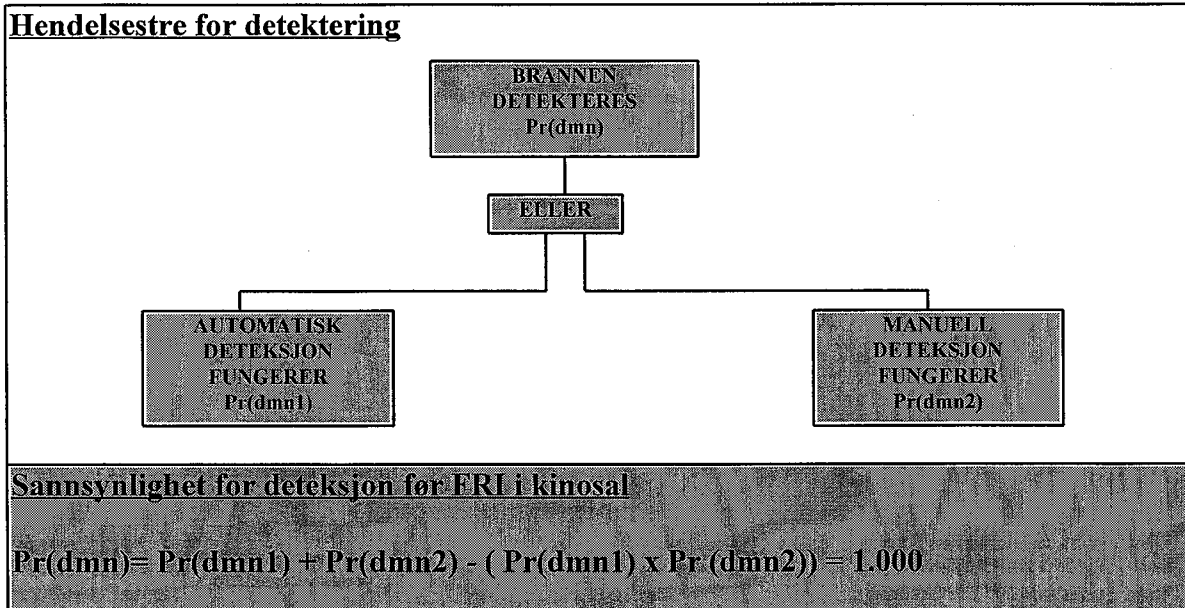
Det vil være utviklet nok røyk i kinosalen til å utløse detektorene i rommet etter 30 sekunder (Se Tabell 4.5-1).

Tilgjengeligheten til detektorene er vurdert ut fra rapport gjort på automatiske brannalarmanlegg. Sannsynligheten for at detektorene fungerer vurderes til $\Pr(\text{dmn1}) = 0.999955$ [15]. Sannsynligheten gjelder uavhengig av tid på døgnet og bygningsdel.

Menneskelig deteksjon

Kinosalen vil fortrinnsvis være benyttet på kveldstid. En brann som oppstår under en forestilling vil med stor sannsynlighet oppdages av publikum før brannen har vokst til brann som involverer hele rommet (FRI). Sannsynlighet for at mennesker skal oppdage brannen før FRI i kinosalen under en forestilling vurderes som høy. Det er gjort en konservativ antagelse om oppdagelse satt til $\Pr(\text{dmn2}) = 0.99$.

Den samlede sannsynligheten for deteksjon er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 4.5-1 Sannsynlighet for deteksjon før FRI i kinosal

TAC 2: Signal/Melding er forberedt før FRI

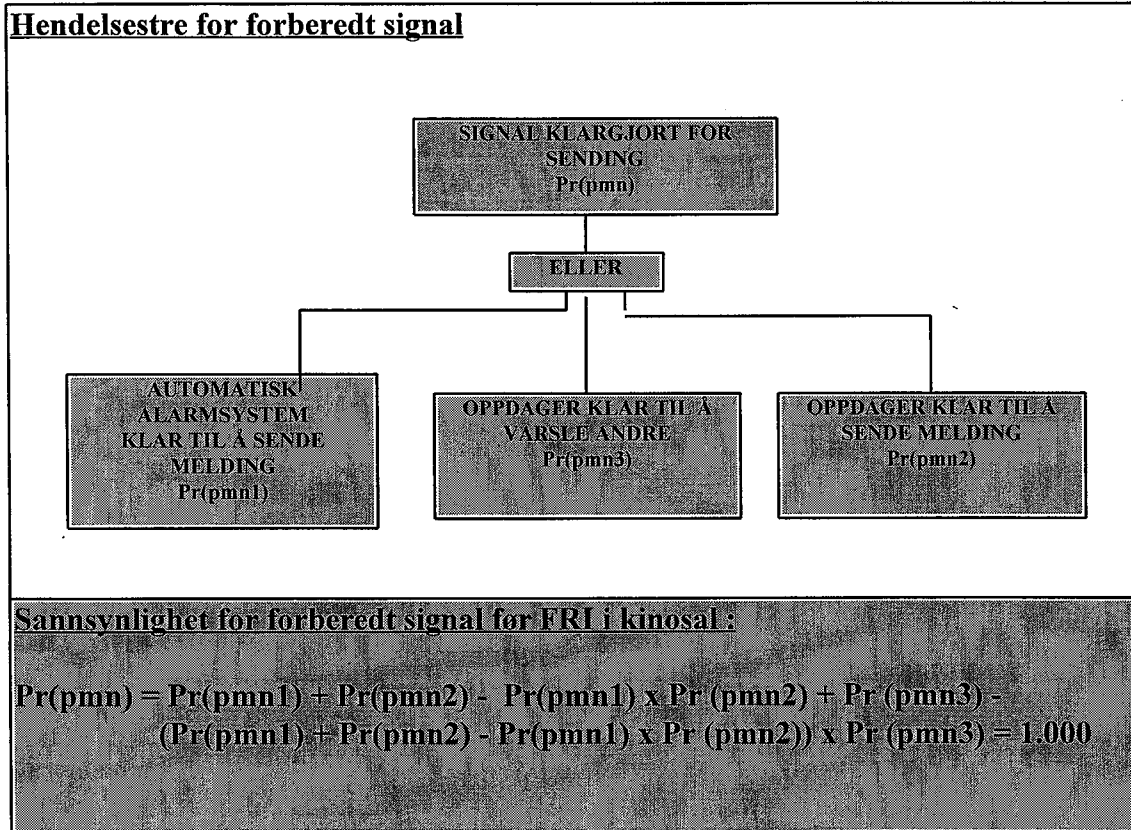
Evaluering av TAC 2

Med bakgrunn i rapport, er tilgjengeligheten til det automatiske brannalarmanlegget satt til $P(Pr(pmn1)) = 0.999955$ [15].

Sannsynligheten for at oppdageren handler rasjonelt på den måten at han beslutter å varsle brannen ved hjelp av brannmelder, antas med suksess $Pr(pmn2) = 0.60$ [5]. Det er viktig å bemerke at forutsetningen for estimatet er at brannen allerede er oppdaget.

I et studie av 952 branner ble 2193 individer intervjuet av brannvesenet på brannstedet i Storbritannia. Det ble funnet at de mest hyppige reaksjonene ved brann omfattet evakuering av bygningen, bekjempelse av brannen eller varsling av andre individer eller brannvesenet. Studiet viser at 30 % varslet andre som første, andre eller tredje handling [5]. Med bakgrunn i dette antas sannsynligheten for at mennesket bestemmer seg for å varsle til $Pr(pmn3) = 0.33$ [5].

Den samlede sannsynligheten for signal/ melding forberedt før FRI er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 4.5-2 Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i oppholdsrom/pasientrom

TAC 3: Signal/Melding sendes før FRI

Evaluering av TAC 3

Tidsperspektivet for hvor tidlig melding kan sendes til brannvesenet er interessant i det varsling kun skjer manuelt. Dette fordi fjernvarsling ikke kreves installert i forsamlingslokaler etter Byggforskrift 1987. Det sannsynliggjøres at kinopersonalet vil varsle om brann, men først etter at brannalarmen er utløst. Prosedyren vil normalt være at kinopersonalet verifiserer om det virkelig brenner. Dette kan ta tid i det kaoset som kan oppstå i det publikum evakuerer kinosalen. 3 minutter etter at brannalarmen er utløst i lokalet antas meldingen å kunne sendes til brannvesenet (Se Tabell 4.5-1).

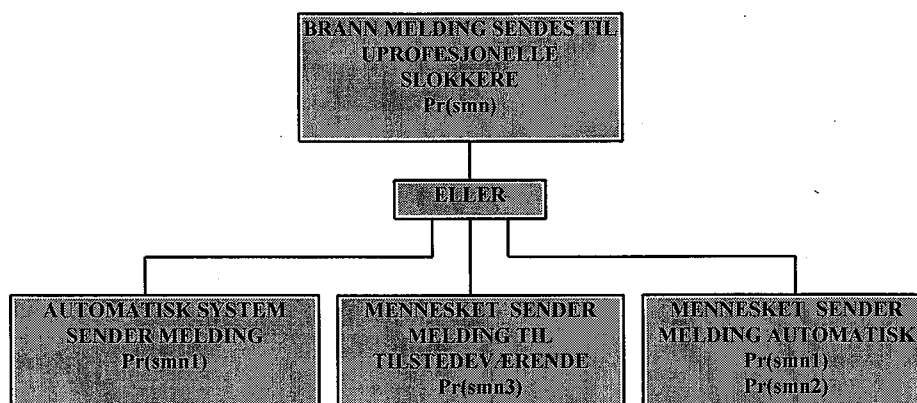
Påliteligheten til alarmsystemet er med henvisning til rapport satt til $\Pr(\text{smn1}) = 0.999955$ [15].

Med utgangspunkt i en konservativ vurdering antas sannsynligheten for å lokalisere manuell brannmelder samt evne til å sende meldingen før FRI til $\Pr(\text{smn2}) = 0.60$ [5].

Brannen kan også varsles manuelt ved anrop. Melderens mulighet til å sende melding vil i så måte være god. Gitt at beskjednen er forberedt og avgjørelsen om å varsle andre er tatt, antas graden av suksess å være $\Pr(\text{smn3}) = 0.90$.

Den samlede sannsynligheten for signal/melding sendes før FRI er visualisert og utregnet nedenfor.

Hendelsestre for signal/melding sendes.



Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i kinosal:

$$\Pr(smn) = (\Pr(smn1) + \Pr(smn2) - (\Pr(smn1) \times \Pr(smn2))) + \Pr(smn3) - (\Pr(smn1) + \Pr(smn2) - (\Pr(smn1) \times \Pr(smn2))) \times \Pr(smn3) = 1.000$$

Figur 4.5-3 Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i kinosal

TAC 4: Uprofesjonelle slokkere mottar melding før FRI i kinosal

Tidstapet fra detektorene slår ut til brannalarmen går antas å være neglisjerbart.

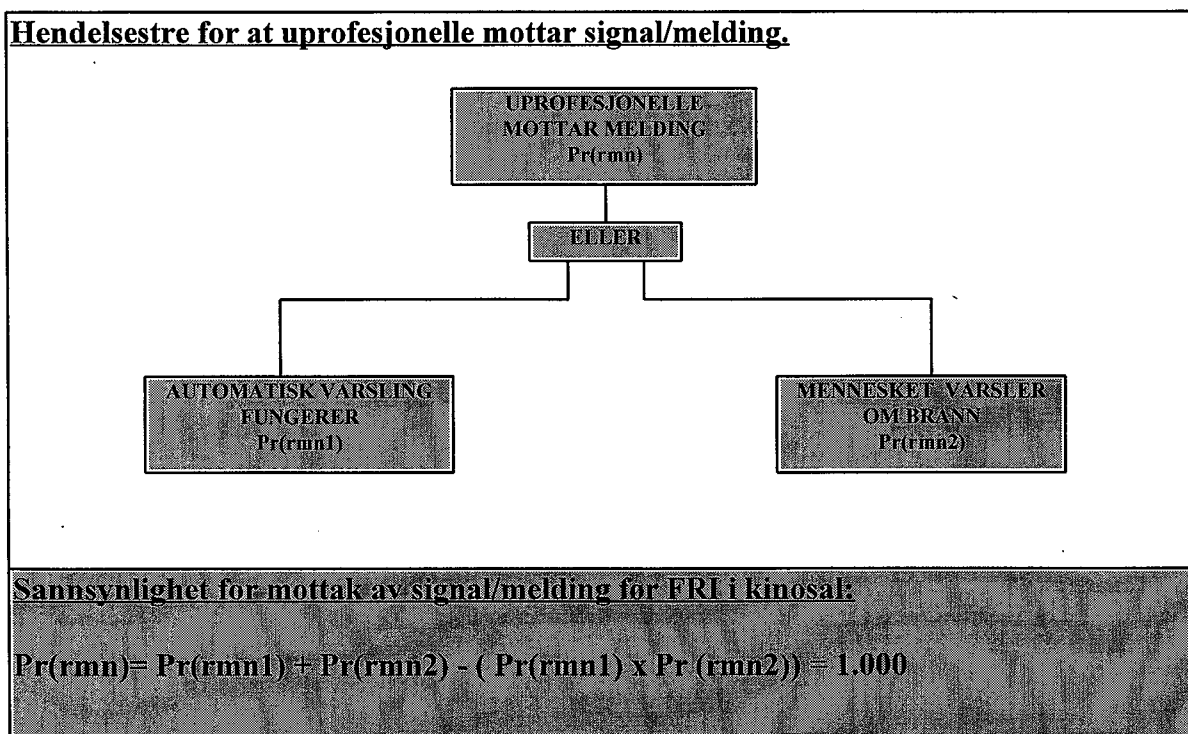
Mennesker

Under en forestilling er personene samlet i et sal av begrenset størrelse. Når brannen oppdages er det stor sannsynlighet at teknisk personell blir varslet ved tilrop av publikum, og videre at varslingen når alle tilstedeværende i salen. Det forutsettes at publikum begynner evakuering av salen så snart meldingen er oppfattet. Det er gjort en konservativ antagelse hvor sannsynlighet for Uprofesjonelle slokkere mottar melding er satt til **Pr(rmn2) = 0.95**.

Automatisk

Varsling av brann med alarmklokkene antas å være mer nøyaktig og mer pålitelig enn varsling ved anrop. Tiden fra alarmsystemet slår ut til melding mottas antas å være neglisjerbar. på bakgrunn av dette antas sannsynligheten for at melding mottas før FRI å være høy. Det er gjort en ingeniørmessig vurdering, hvor sannsynligheten for suksess satt til **Pr(rmn1) = 0.999955** [15].

Den samlede sannsynligheten for uprofesjonelle mottar melding før FRI er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 4.5-4 Sannsynlighet for mottak av signal/melding før FRI i kinosal

TIC C: PÅFØRINGS KOMPONENTEN

TAC 9: Munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI

De stasjonære brannslangene er et viktig supplement for sløkning av brann. Slangene er fortrinnsvis montert for bruk av uprofesjonelle slökkere. Fast monterte slanger i forsamlingslokalet er et viktig fortrinn av å kunne starte sløkkeinnsatsen tidlig. Sannsynligheten for at uprofesjonelle slökkere kan være innen rekkevidde av flammen med munnstykket innen FRI antas som høy, på grunn av kort innsatstid. Det antas at personellet vil kunne stå med munnstykket innen rekkevidde av flammen etter 3 minutter (Se Tabell 4.5-1 for total tid).

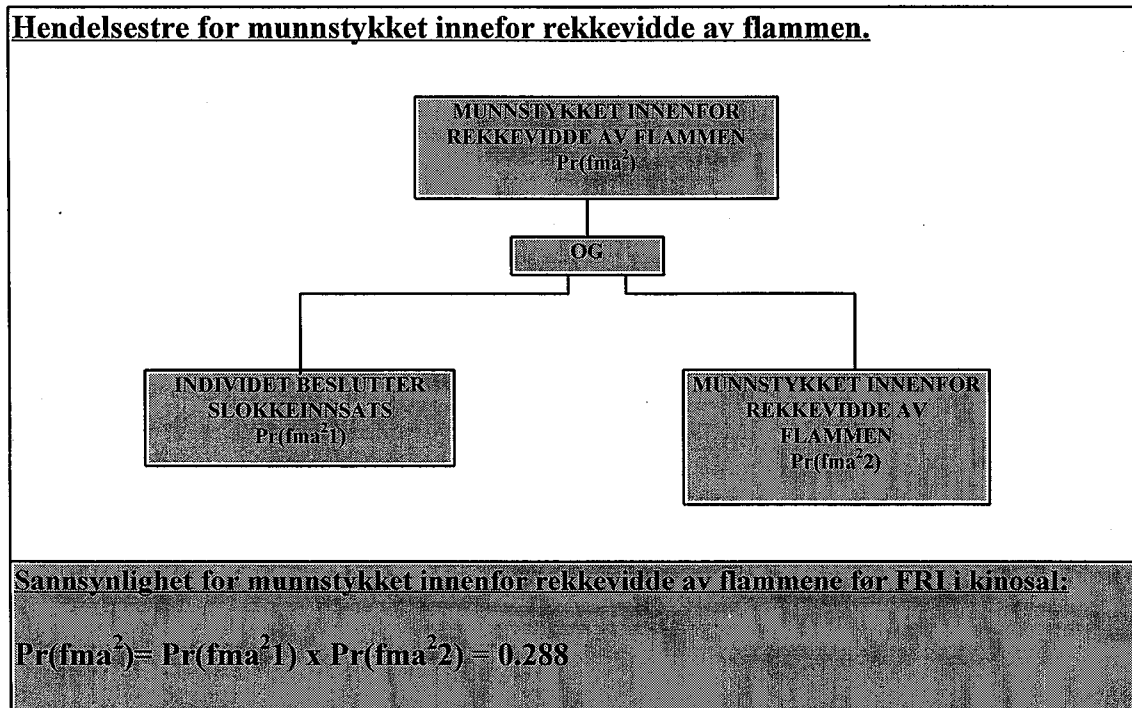
Kriteriet for at sløkkeinnsats starter er at det foreligger en beslutning om dette. Et engelsk studie av individenes oppførsel og handling i en brannsituasjon viser at 36 % besluttet å utføre sløkkeinnsats. Med bakgrunn i dette er sannsynligheten for sløkkeinnsats satt til $\Pr(fma^21) = 0.36$ [5].

Evaluering av TAC 9

Sannsynligheten for at uprofesjonelle slökkere kan være innen rekkevidde av flammen med munnstykket innen FRI antas som god på grunn av kort innsatstid. Det antas at de ansatte starter sløkkeinnsats raskt. Dette fordi disse normalt vil kjenne til plasseringen av husbrannslangen og har tilstrekkelig opplæring. Adgangen til kinosalen kan være begrenset i

det et stort antall mennesker evakueres. Simulering viser at evakuering av kinosalen vil være fullført etter 4 minutter og 30 sekunder. Tidligste tidspunkt munnstykket kan være innenfor rekkevidde av flammen antas å være 3 minutter etter etablert brann (EB). Temperaturen i nedre røyklag vil være 22 °C etter 3 minutter. Sammenholdt med at røyklaget på dette tidspunktet befinner seg 3.3 m over gulvnivå sannsynliggjør i høy grad mulighet for å ta seg frem til flammene. Det er gjort en konservativ antagelse av muligheten for at munnstykket er innen rekkevidde av flammene før FRI. Sannsynligheten er satt til $\Pr(fma^2) = 0.80$.

Den samlede sannsynligheten for at munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 4.5-5 Sannsynlighet for munnstykket innefor rekkevidde av flammene før FRI i kinosal.

TAC 10: Første slokkemiddel påføres før FRI

Evaluering av TAC 10

Det er forutsatt at første slokkemiddel kan påføres brannen etter 3 minutter. Det medfører at personellet har mulighet til å begynne slokking før FRI har inntruffet i kinosalen. Begrunnelsen ligger i at tidstapet før slokking kan starte er minimalt gitt at munnstykket er innen rekkevidde av brannen.

Sannsynligheten for påføring av slokkemiddel før FRI i startbrannrommet gitt at munnstykket er innen rekkevidde av flammen antas å være $\Pr(a^2ma^2) = 0.90$.

TIC D: BRANNSLOKNINGS KOMPONENTEN
TAC 11: Kvantiteten på sløkkemiddel er tilstrekkelig for sløkning før FRI
Evaluering av TAC 11

Etter tre minutter avgir brannen en effekt på 6.2 MW. Det forutsettes at dersom sløkkeinnsats utføres av uprofesjonelle, uten kjennskap til riktig sløkketeknikk, vil 50 % av det tilførte vannet ikke delta i energibalanseringen. Det er to slanger tilgjengelige for sløkkeinnsats, hver av dem leverer 50 l/min. Dette gir en effektiv påføringsrate på 50 l/min. Behovet for sløkevann er 45 l/min for en brann på denne størrelsen. Det er gjort et konservativt anslag med bakgrunn i den marginale tilgangen på sløkevann og den hurtige brannutviklingen. Sannsynligheten for suksess er satt til **Pr(eme)= 0.50**.

TAC-12: Kontinuerlig påføring av sløkkemiddel til sløkning før FRI
Evaluering av TAC 12

Påliteligheten til utstyret vurderes som god, sannsynligheten for brudd i slanger eller andre kutt i vanntilførselen anses som neglisjerbart. Med bakgrunn i dette settes sannsynligheten for kontinuerlig sløkning til **Pr(cme) = 0.90**.

TAC-13: Fullstendig sløkning inntreffer før FRI
Evaluering av TAC 13

Uprofesjonelle sløkkeres trening og erfaring vurderes som å være mangelfull. Den relativt store brannen vil kreve betydelig dyktighet av personellet. Med bakgrunn i dette gjøres det en konservativ antagelse om sannsynligheten for sløkning før FRI. Denne er satt til **Pr(fme)= 0.20**.

TIC	TAC	Hendelse	Tid	Total tid
A	1	Detektert	0.5	0.5
A	4	Mottatt	0.0	0.5
B	5-7	Innsattstid	2.0	2.5
C	9	Ved flammen	0.5	3.0

Tabell 4.5-1 Total tid før sløkkeinnsats.

4.5.3. M-kurven for forsamlingslokale

TIC A: OPPDAGELSE KOMPONENTEN

TAC 1: Brannen oppdages/detekteres før FRI

Evaluering av TAC 1

Se evaluering TAC 1 uprofesjonelle slokkere, kapittel 4.5.2

$$\Pr(dmn) = 1.00$$

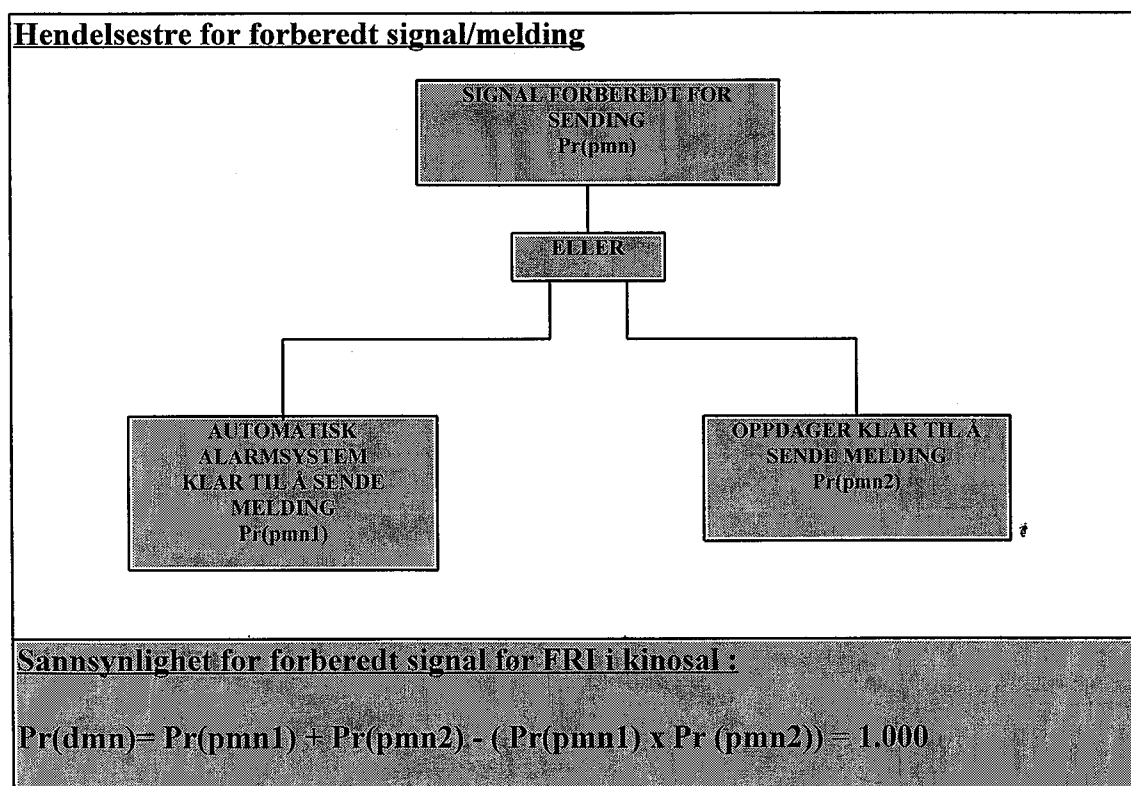
TAC 2: Signal/Melding er forberedt før FRI

Evaluering av TAC 2

Med bakgrunn i rapport er tilgjengeligheten for det automatisk alarmanlegget satt til $\Pr(pmn1) = 0.999955$ [15].

Sannsynligheten for at oppdageren handler rasjonelt på den måten at han beslutter å varsle om brannen antas det å være $\Pr(pmn2) = 0.60$ [5]. Det er viktig å bemerke at forutsetningen for estimatet er at brannen allerede er oppdaget.

Den samlede sannsynligheten for forberedt signal/melding er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 4.5-6 Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i kinosal.

TAC 3: Signal/Melding sendes før FRI

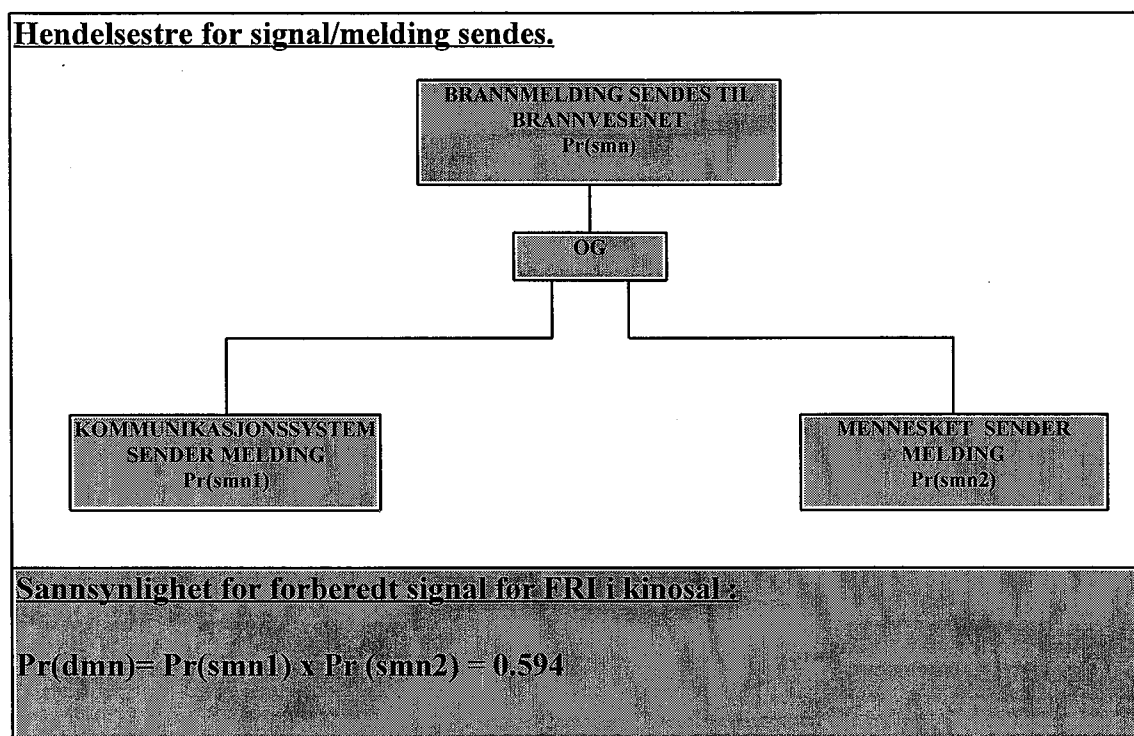
Det antas at tiden fra deteksjon til melding sendes er 2.5 minutter (se Tabell 4.5-2)

Evaluering av TAC 3

Påliteligheten til telefonapparater gitt at FRI ikke har inntruffet antas å være på $\Pr(\text{smn1})=0.99$ [16].

Med utgangspunkt i litteratur antas sannsynligheten for å lokalisere telefonen/alarmknapp samt evne til å sende meldingen før FRI til $\Pr(\text{smn2})=0.60$ [5].

Den samlede sannsynligheten for Signal/Melding sendes før FRI er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 4.5-7 Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i kinosal.

TAC 4: Brannvesenet mottar brannmelding før FRI

Evaluering av TAC 4

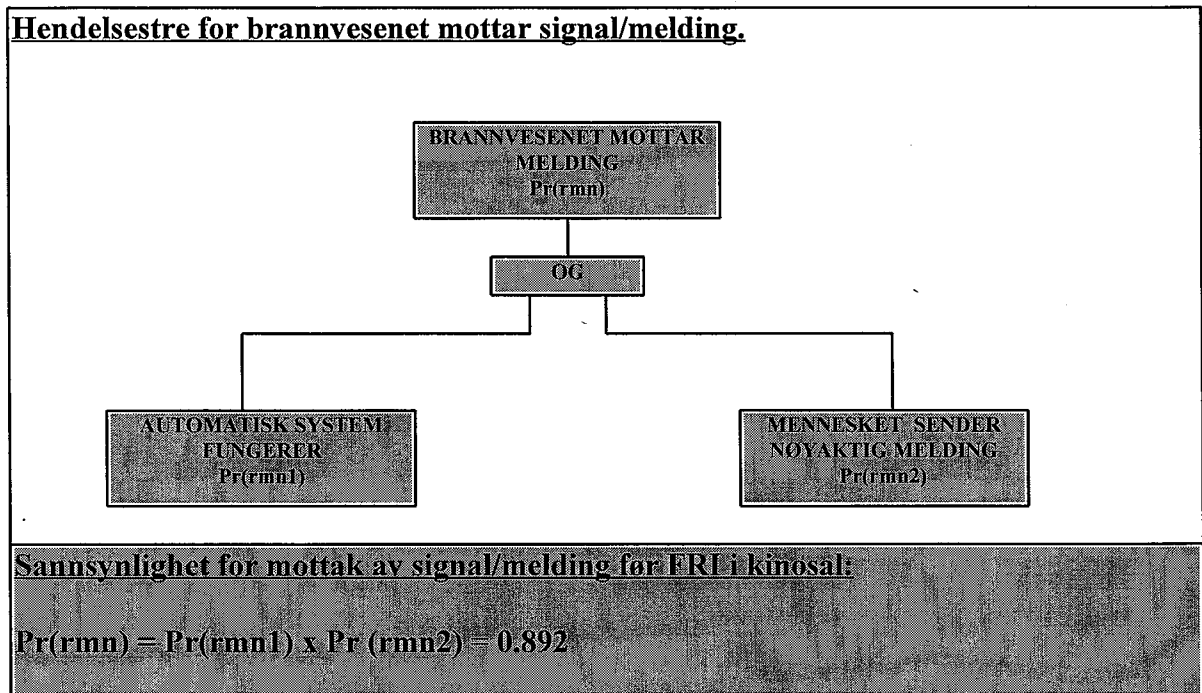
Mennesker

Det er gjort en antakelse på bakgrunn av ekspertuttalelser. Meldingen vurderes å være tilstrekkelig nøyaktige i 90% av tilfellene. $\Pr(\text{rmn2})= 0.90$ [A].

Kommunikasjonskjeden

Varsling av brann skjer over telenettet. Med bakgrunn i dette og henvisning til driftsavdelingen til Telenor settes sannsynligheten for suksess til $\Pr(\text{rmn1})= 0.991$ [16].

Den samlede sannsynligheten for brannvesenet mottar signal/melding før FRI er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 4.5-8 Sannsynlighet for mottak av signal/melding før FRI i kinosal.

TIC B : UTRYKNINGS KOMPONENTEN

For kasernerte brannvesen i Norge brukes det forhåndstall på utrykningstid fra brannstasjon og tidsbruk ved forflytning. Fra alarmen går til første hjul er utenfor garasjen skal det gå mindre enn 1 minutt. Som forflytningstid med bil regnes 1 min/km. Det vil si at brannvesenet når det generiske forsamlingslokalet 5 minutter etter at alarmen er utløst i forsamlingslokalet. [11] (Se tabell 5.4.5-1).

Evaluering av TIC B

Det er knyttet høy grad av reabilitet til kasernert brannvesen i Norge. Gitt at melding om brann er mottatt settes sannsynligheten for suksess for brannvesenets utrykning til $\Pr(Ma) = 1.0$.

TIC C: PÅFØRINGS KOMPONENTEN

TAC 8: Brannvesenet kommer seg inn i bygningen før FRI

Evaluering av TAC 8

Med bakgrunn i regelverk, beskrevet i kapittel 2.10, sannsynliggjøres det at adgangen til bygningen, oppstilling av materiell og utstyr ikke hindres i den grad at det hemmer

mulighetene for kontinuerlig framdrift under innsatsen. Samme forskrift sannsynliggjør at mengde og tilgjengelig slokkevann er fullstendig dekket.

Med forutsetning om 1 minutt klargjøringstid før innsatspersonellet entrer bygningen er 6 minutter medgått på dette trinnet [A] (Se tabell 5.4.5-1). Simulering gir overtenning i kinosalen etter ca 40 minutter, altså kan innsatspersonellet entre bygningen 34 minutter før overtenning. Sammenholdt med evalueringene av tilgangen til vann og adgangen til bygningen gir det stor sannsynlighet for entring av bygning før brannen involverer hele rommet $\Pr(ema^2) = 0.99$.

TAC 9: Munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI

Evaluering av TAC 9

Det er grunn til å anta at publikumsmassen som strømmer ut av rømningsveiene vil kunne forverre brannmannskapenes mulighet til å ta seg frem til kinosalen hvor brannen er lokalisert. Gitt at salen inneholder 530 personer vil rømning ut gjennom rømningsveiene i henhold til simulering med FASTLite/FPEtools ta ca 4 minutter og 30 sekunder (se vedlegg 4.3). Dersom publikum blir stående i lobbyen utenfor kinosalen, og ikke trekker helt ut av bygningen, vil ansamlingen av publikum kunne forhindre innsatspersonellens framrykning mot brannstedet. Videre vil tilgangen til kinosalen være begrenset på grunn av at røyklaget ligger 1,5 meter over gulvnivå. Temperaturen i det nedre røyklaget vil i den ovennevnte tidsperioden være mellom 78-93 °C. Denne temperaturen skaper imidlertid ikke problemer for røykdykkerne.

Med bakgrunn i forhåndstall for brannvesenet og ekspertvurderinger vil brannvesenet kunne være klar til slokning i kinosalen etter 8-10 minutter [A] (Se tabell 5.4.5-1). Simulert tid til overtenning er 40 minutter, hvilket medfører at innsatspersonellet med høy grad av sannsynlighet kan være ved brannstedet 30 minutter før overtenning.

Ved konservativ vurdering av ovennevnte informasjon antas brannkilden å være nådd, og innsatspersonellet klar til å slokke før FRI med sannsynligheten $\Pr(fma^2) = 0.90$.

TAC 10: Første slokkemiddel påføres før FRI

Evaluering av TAC 10

Det forutsettes at brannmannskapenes trening er i henhold til gjeldende forskrift [17], og at det finnes vann tilgjengelig.

Med bakgrunn i dette antas det at første slokkemiddel kan påføres brannen etter 8-10 minutter [A] (Se tabell 5.4.5-1). Gitt at munnstykket er på plass vil brannvesenet ha mulighet til å begynne slokning ca 30 minutter før FRI har inntruffet. Begrunnelsen er at tidstapet fra munnstykket er innen rekkevidde av brannen til slokning kan starte er minimalt.

Sannsynligheten for påføring slokkemiddel før FRI i startbrannrommet antas med bakgrunn i ekspertvurderinger til $\Pr(a^2ma^2) = 0.95$ [A].

TIC D: BRANNSLOKNINGS KOMPONENTEN
TAC 11: Kvantiteten på slökkemiddel er tilstrekkelig for slokning før FRI
Evaluering av TAC 11

Simulering viser at brannen etter 8-10 minutter avgir en effekt på 37,5 MW. For slokning av en brann som avgir en effekt på 37,5 MW kreves det påføringsrate på 275 l/min etter sløkke-kriteriene [9] (se vedlegg 4.4). Forutsetningen for dette estimatet er at røykdykkere påfører vann direkte i brannsonen. Ved slokning utført av et røykdykkerlag, med kapasitet 270 l/min, antas hele påføringsraten å medgå til energibalanseringen. Med bakgrunn i brannens størrelse og energiproduksjonen vil ikke røykdykkerne med sløkke kapasitet på 270 l/min være tilstrekkelig. Gitt brannvesenets begrensede antall røykdykkere vil et ekstra slangeutlegget måtte betjenes fra utsiden av bygningen. Dette vil kunne redusere mulighetene for angrep av brannen på den mest effektive måten. Det antas at 50% av sløkkevannet deltar i energi-balanseringen dersom innsatspersonellet er plassert utenfor, det vil si at 50 % av vannet ikke når frem til brannsonen [8]. Dersom slökkemiddel påføres i mindre mengder enn 275 liter per minutt, vil brannen ikke sløkke uansett hvor mye slökkemiddel som tilføres. Dersom brannen har vart i ca 10 minutter før innsatspersonellet begynner sløkkearbeidet vil påføringsraten være noe over behovet i forhold til sløkketkriteriene, forutsatt ett røykdykkerlag inne i bygningen og ett lag utenfor uten røykdykkerstatus.

Innsatspersonellets mulige påføringsrate målt opp mot den nødvendige påføringsraten i henhold til sløkketkriteriene sannsynliggjør slokkingen før FRI til $\Pr(\text{cme}) = 0.70$.

TAC-12: Kontinuerlig påføring av slökkemiddel til slokning før FRI
Evaluering av TAC 12

Sannsynligheten for at innsatspersonellet kan drive kontinuerlig slokking vil være avhengig av påliteligheten til pumpeutstyret, samt eventuelle brudd i slanger eller tilkoblinger. Med antakelser gode vedlikeholdsrutiner hos det stedlige brannvesen antas brudd i vanntilførselen å være lav.

Varmeforholdene i kinosalen etter 8-10 minutter vil ikke føre til vanskeligheter for innsatspersonellets sløkkeinnsats. Dersom påføringsraten er for liten i henhold til sløkketkriteriene, vil en fortsatt brannspredning kunne forverre varmekorholdene og føre til at innsatspersonellet må trekke seg tilbake.

Allerede 8 minutter etter at brannen startet vil røyklaget stå 1,4 meter over gulvnivå. Dette vil kunne redusere bevegeligheten i rommet og resultere i et midlertidig avbrett i sløkkeinnsatsen inntil innsatspersonellet har fått trukket seg tilbake til områder hvor sikten er bedre og fortsette slokkingen herifra.

Med bakgrunn i ekspertvurderinger settes sannsynligheten til $\Pr(\text{cme}) = 0.90$ [A].

**TAC-13: Fullstendig slokning inntreffer før FRI****Evaluering av TAC 13**

Innsatspersonellet trening og erfaring vurderes og være sikret gjennom forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen. Den brannen som har oppstått i kinosalen på det tidspunktet hvor innsatspersonellet ankommer vil utgjøre en stor utfordring for mannskapene. For å få kontroll over flammene kreves det god kjennskap til slokketeknikk og at disse blir brukt riktig for å få størst mulig slokkeeffekt av det vannet som påføres. Med bakgrunn i dette settes sannsynligheten for slokning før FRI til $\Pr(\text{fme}) = 0.90$ [A].

TIC	TAC	Hendelse	Tid	Total tid
A	1	Detektert	0.5	0.5
A	3	Sendt	2.5	3.0
A	4	Mottatt	0.5	3.5
B	5-7	Innsatstid	1.5	5.0
C	8	Entring	1.0	6.0
C	9	Ved flammen	1-3	7-9

Tabell 4.5-2 Total tid før slokkeinnsats.**4.5.4. M'- kurve rommet bak barrieren****KRITERIER FOR ESTIMERINGEN**

Det poengteres at M-kurven for rommet etter barrieren begynner ved TAC 9, dette fordi sannsynligheten for TIC A og TIC B er ivaretatt i M- kurven for startbrannrommet. TAC 8 settes til 1.00 fordi brannvesenet er på plassen før FRI i rommet bak barrieren. Videre henvises det til kap 2.10 for parametere som inngår i evalueringen. Tidsintervallet fra antennelse til brann som involverer hele rommet (FRI) i startrommet gir brannvesenet ekstra tid før antennelse i rommet bak barrieren. Det er gitt at innsatspersonellet starter slokkeinnsatsen i rommet bak barrieren etter at FRI har inntruffet i startbrannrommet. M-kurven antar at punkt svikt antennelse (EB) har inntruffet på barriere overflaten i rommet bak barrieren.

TIC C: PÅFØRINGS KOMPONENTEN**TAC 9: Munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI****Evaluering av TAC 9**

Røyklåget vil ligge 1.4 meter over gulvet i kinosalen, og det antas at røykspredning vil kunne redusere bevegeligheten og orienteringsevnen til innsatspersonellet i rommet bak barrieren. Ser man de 30 minuttene i forhold til vurdert tid før innsatspersonellet kan stå ved rommet bak barrieren, gir det innsatspersonellet gode muligheter til å lokalisere brannen før FRI



oppstår i rommet utenfor branncellen. Sannsynligheten for at munnstykket er innen rekkevidde av flammen antas med støtte i ekspertvurderinger til $\Pr(\text{fma}^2) = 0.95$ [A].

TAC 10: Første slökkemiddel påføres før FRI

Evaluering av TAC 10

Det henvises til kriteriene for evalueringen i TAC 10 for rommet brannen starter i, kap 4.5.3. Med bakgrunn av dette settes sannsynligheten for suksess til $\Pr(\text{a}^2 \text{ma}^2) = 0.95$ [A].

TIC D: BRANNSLOKNINGS KOMPONENTEN

TAC 11: Kvantiteten på slökkemiddel tilstrekkelig for slokning før FRI

Evaluering av TAC 11

Innsatspersonellet vil være klare for slokning umiddelbart etter etablert brann i rommet bak barrieren. En etablert brann utvikler 5 kW effekt. For slokning av brann av såpass beskjedne størrelse vil kvantiteten på slökkemiddel være tilstrekkelig for fullstendig slokning.

Sannsynligheten for at kontinuerlig slokning kan drives vurderes med støtte i ekspertvurderinger til $\Pr(\text{eme}) = 0.99$ [A].

TAC 12: Kontinuerlig påføring av slökkemiddel til slokning før FRI

Evaluering av TAC 12

Sannsynligheten for at innsatspersonellet kan drive kontinuerlig slokning vil være avhengig av påliteligheten til utstyret og tilgangen til personell. Sannsynlighet for brudd i slanger eller ved tilkoblinger antas å være lav.

Det forutsettes at reservestyrken er på plass og alle tre dørene kan beskyttes. Sannsynligheten for kontinuerlig slokking i rommet bak barrieren før FRI vurderes til $\Pr(\text{cme}) = 0.80$ [A].

TAC 13: Fullstendig slokning inntreffer før FRI

Evaluering av TAC 13

Innsatspersonellet trening og erfaring vurderes og være sikret gjennom forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen. Den etablerte brannen som har oppstått i rommet bak barrieren er slokketeknisk ingen utfordring for mannskapene. Med den beskjedne brannstørrelsen er nødvendig vannmengde og slokketid minimal og det er stor sannsynlighet for at brannen slukkes. Med hensyn til at brannspredningen kan skje gjennom tre dører settes sannsynligheten for slokning før FRI til $\Pr(\text{fme1}) = 0.95$.

Alle sannsynligheter på I- og M- kurvene er satt inn i boblediagram på diskett i vedlegg 6.

4.6. Barriereanalyse forsamlingslokale

Den aktuelle brannspredningen som analyseres, vil være fra kinosal via omkringliggende rom til resten av bygningen. dørene er de svakeste delene av barrieren rundt rommet, og brannspredningen fra rommet brannen starter i vil kunne skje gjennom en eller flere av disse. Herfra vil brannen kunne spre seg til resten av bygningen via trapperom og andre åpne arealer. Siste delen av analysen tar for seg brannmotstanden i bygningens bærende konstruksjon. Det poengteres at valg av barrierer også er tatt ut i fra hensyn til personsikkerheten.

For å evaluere tiden barrieren blir utsatt for brann, benyttes [1]. Tabellen i [1] for standard branntid i forhold til brannbelastningen starter på 454 MJ/m^2 .

Brannbelastningen i rommet er satt til 300 MJ/m^2 gulvareal [11]. Dersom den utregnede brannbelastningen ikke finnes i tabellen, velges verdien nærmest over. Brannbelastningen på 300 MJ/m^2 er hentet fra Sveitsisk statistikk. Denne verdien er ikke oppført i tabellen i [1]. Dette vil medfører at standard branntid blir satt til å tilsvare 454 MJ/m^2 . Dette gir en standard brann varighet på 30 minutter. Barriereanalysen vil derfor være konservativ for en brannbelastning under 454 MJ/m^2 .

Se modellering for ytterligere informasjon om barrierene og rommet, kap 4.2.

4.6.1. Barriereanalyse Kinosal

Sannsynlighet for svikt i barrieren blir:

$$\Pr(\bar{B}) = 0.108$$

Se Vedlegg 4.5.1 for detaljer om utregningen.

4.6.2. Barriereanalyse struktur, L_T .

Sannsynlighet for svikt i barrieren blir:

$$\Pr(\bar{B}) = 0.00$$

Se Vedlegg 4.5.2 for detaljer om utregningen.

4.7. Før etablert brann, steg A og B

Sannsynligheten for etablert brann er funnet i statistikk utarbeidet av DBE [12]. Statistikken viser sannsynligheten for at brann skal oppstå i ulike typer virksomheter. De statistiske verdiene er uavhengig av om bygningen er bygget etter BF 87, eller eldre byggeforskrifter. Tallmaterialet som ligger til grunn for statistikken er hentet fra brannvesenets rapporter, og gir en oversikt over etablerte branner.

Sannsynligheten for etablert brann i kinosal er $\Pr(EB) = 0.0036$ [13].

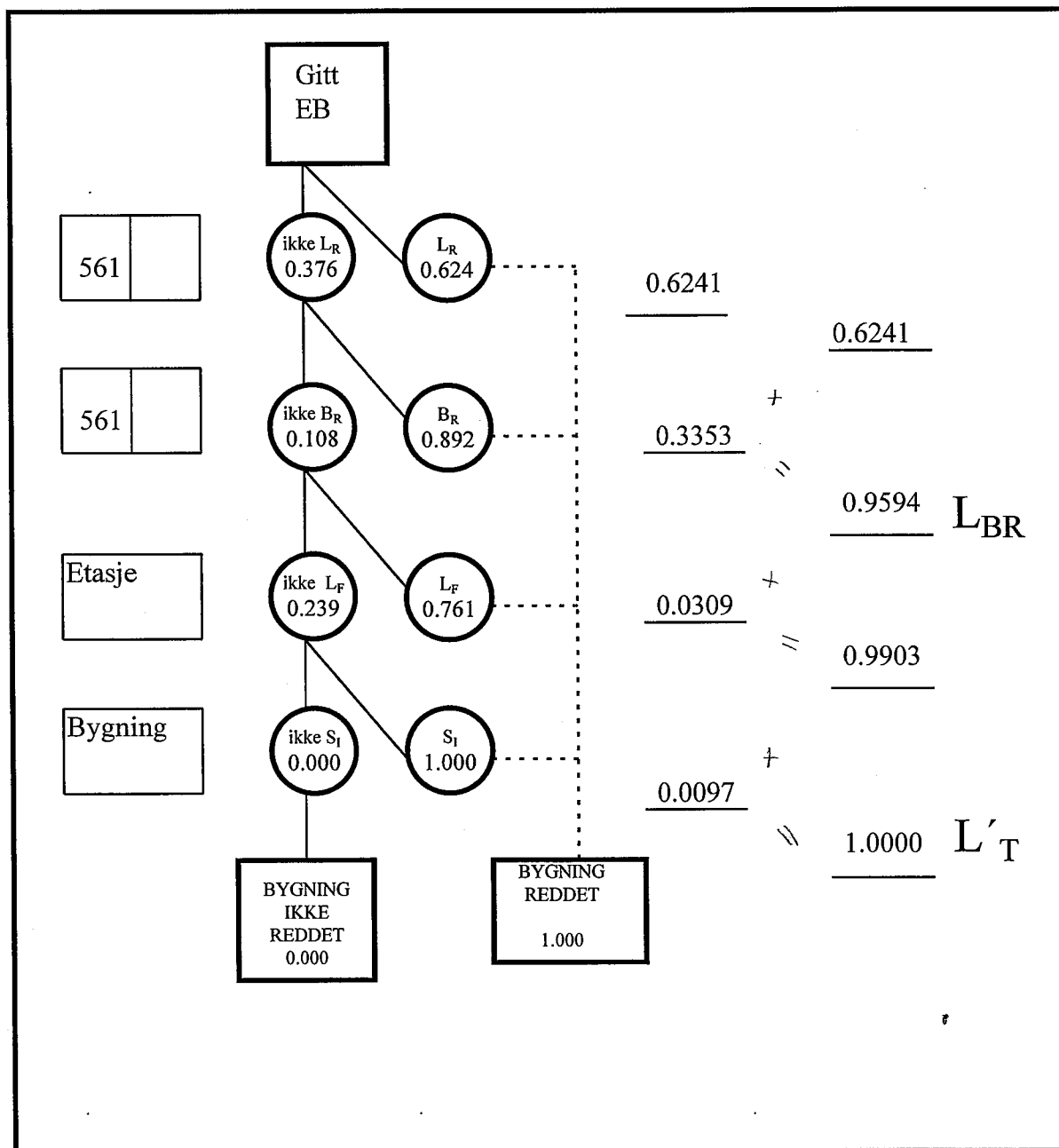
Denne verdien dekker både steg A og steg B og vil gi et godt estimat på sannsynligheten for at etablert brann skal oppstå. Det poengteres for det første at denne verdien bygger på



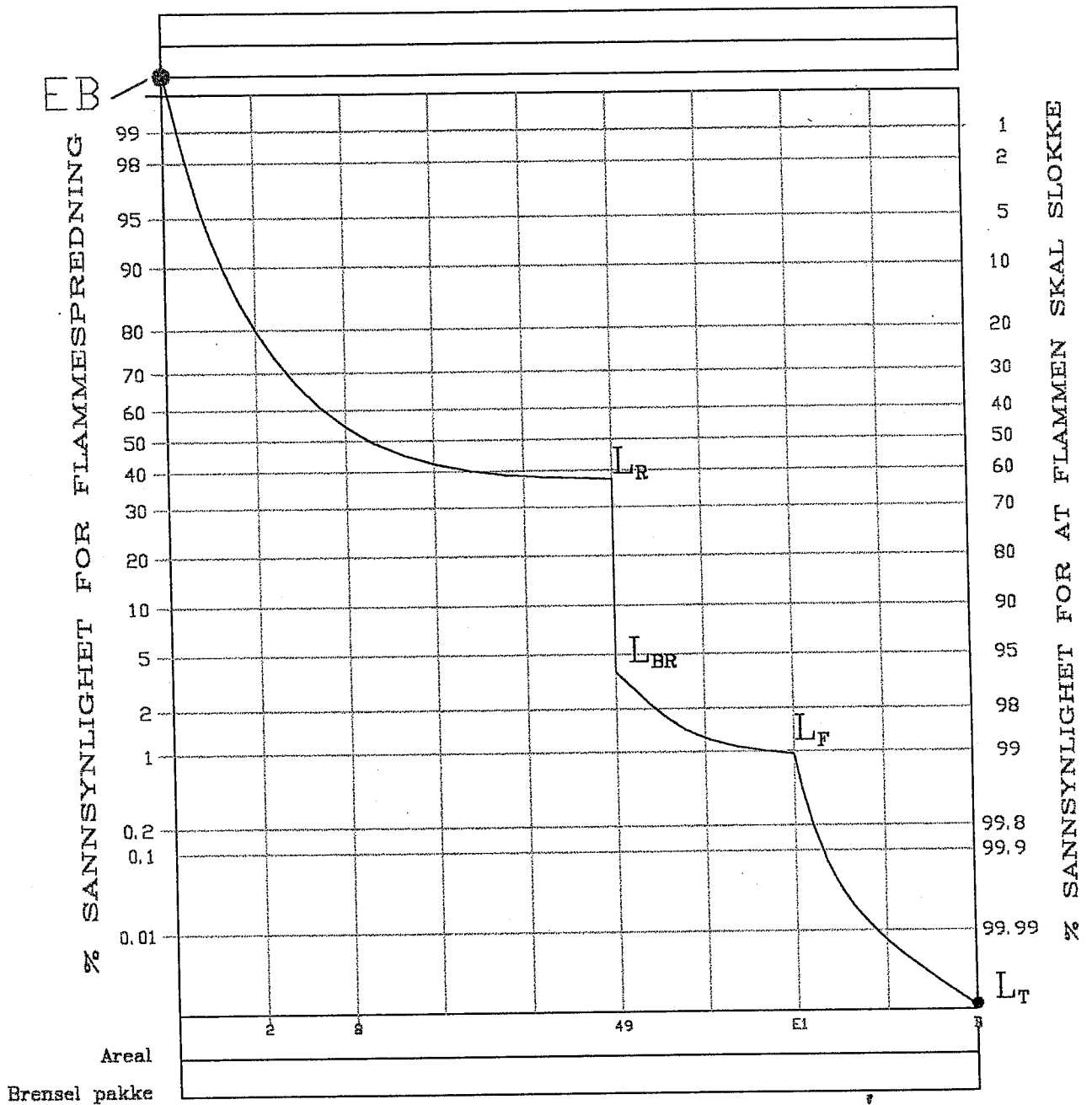
brannstatistikk i den relativt korte perioden fra 1986 til 1994 og vil med dette være noe usikker. For det andre er statistikk grunnlaget hentet fra forskjellige kategori virksomheter innen film, kringkasting og kunstnerisk tjenesteyting, dette for å oppnå et større statistisk grunnlag.

L-kurve Forsamlingslokale

4.8. Boblediagram forsamlingslokale



4.9. L- kurve forsamlingslokale



4.10. Evaluering av L-kurve forsamlingslokale

Det er utarbeidet et L-kurve diagram med utgangspunkt i en kinosal. Konsentrasjonen av brenselet fordeler seg jevnt utover og i lav høyde over gulvet. På grunn av det jevnt fordelte brenselet vil brannen kunne vokse til å omfatte hele salen. Programmet FASTLite tar ikke hensyn til konsentrasjonen av brenselet, men kun til brannbelastningen. Utfra dette antas det at simuleringen gir et godt bilde i forhold til virkeligheten med hensyn til spredning av brensel.

Sannsynligheten for at brannen skal begrense seg til kinosalen er 62.4 %. Statistikk over branner i "Hotell, reklam och underhållning" viser at sannsynligheten for at brannen begrenses til startbrannrommet ligger på 46.9 % [14]. Forskjellen i sikkerhetsnivåene kan være at hotell og lokaler for reklame er medregnet i statistikken. Disse rommene har normalt kortere tid til overtenning. Dette kan skyldes mindre romvolum og flere brennbare gjenstander [14]. Med basis i den relativt kortere tiden til overtenning, vil brannvesenets muligheter for sløkkeinnsats før FRI være begrenset. I et stort lokale, for eksempel et teater/kino, er brannforløpet annerledes. Interaksjonen mellom tak, varme branngasser under taket, flammer og det brennbare materialet er da ikke like sterk noe som medfører at brannspredningen skjer langsommere med kaldere branngasser som følge [14].

Det som påvirker en barrieres motstandsevne er rommets totale brannbelastning. Høy brannbelastning øker sannsynligheten for svikt i barrieren. I analysen er det brukt en gjennomsnittlig brannbelastning på 300 MJ/m^2 [11]. Erfaringsmessig kan brannbelastningen varierer mye innenfor forsamlingslokalets ulike bygningsdeler. Dette vil influere lokalt på brannens intensitet og varighet som er de to viktigste parameterne for barrierens motstandsevne.

I analysen ble det funnet at sannsynligheten for at brannen ikke skal spre seg til en av etasjene i forsamlingslokalet er 95.9 %. Dette nivået ligger noe høyere sammenholdt med statistikk på området, som viser 90 % [14]. En mulig feilkilde kan være at det forutsatt at barrierene er forskriftsmessig oppført. Dette er sjelden tilfelle i virkeligheten. I bygningens livsløp vil penetreringer gjøres i barrieren, noe som fører til svekkelse av motstandsevnen.

Sannsynligheten for at bygningen ikke kollapser totalt er 100.0 %. Tradisjonelt har det vært stilt høye krav til brannmotstand for bærende konstruksjoner. Dette skyldes at det skal være mulig å rømme bygningen samt å forhindre at den skader andre bygninger ved kollaps. Med bakgrunn i dette antas verdien å være adekvat.

Analysen av brannvesenets innsats har basert seg på kasernert brannvesen med relativ kort innsatstid. Det poengteres at dersom brannvesenet består av frivillige mannskaper, vil tiden før første sløkkeinnsats kan iverksettes øke. Dette kan føre til at brannvesenet kommer frem til brannstedet etter at overtenning er inntruffet.

5. L-KURVEANALYSE PRAKTISK SYKEHUS.

5.1. Beskrivelse Fylkessykehuset i Haugesund

5.1.1. Generelt om bygningen

Fylkessykehuset i Haugesund gjennomgår for tiden en total oppgradering av barrierene. Tidligere har det vært åpne hulerom mellom himling og etasjeskiller i hver etasje. Det poengteres at det oppgraderte bygget legges til grunn for analysen. I analysen tas det utgangspunkt i midtblokken, etasje 3. Analysen dekker brannstart i pasientrom, som har lav brannbelastning. Brannspredningen fra pasientrommet vil være vanskeligere enn fra et rom med høyere brannbelastning og annerledes geometri. Det er gjort antakelse om veggens og dørenes brannmotstand. Dette fordi klassifiseringen som gjelder i dag ikke gjaldt da sykehuset ble bygd. Antakelsene er gjort med bakgrunn av uttalelser av Frank Fluvåg, Teknisk sjef ved Fylkessykehuset, og ved iakttagelser på Fylkessykehuset.

5.1.2. Beskrivelse av viktige detaljer

Bygningen:

- Bygningen går over 6 etasjer
- Bærende konstruksjon: betongdekke, betongsøyler og betongbjelker
- Etasjen deles i to deler av en brannvegg, klasse A120, med to A60S dører
- To lukkede trapperom pr. etasje med dører utført i A60S.
- 1 brannhydrant pr. annen hver etasje
- 2 husbrannslanger pr. etasje, ved hvert trapperom
- Analogt adresserbart brannalarmanlegg
- 1 brannalarm tavle pr. etasje

Branncelle:

- Branncellebegrensende vegger: doble gipsplater med metallstender, tilsvarende A60
- Dører i branncelle: B30. Det er ca 1 centimeter åpning mellom dør og dørstokk.
- Areal 147 m²
- Tre pasientrom pr. branncelle
- Over himlingen i pasientrommene er det et stort hulrom som går over hele branncellen
- Total takhøyde fra gulv pasientrom til etasjeskiller: 4.0 m

Pasientrom:

- Areal 49 m²
- Himlingshøyde: 2.7 m
- Vinduet går over hele veggen, totalt 7 meter bredde
- 4 pasienter pr. rom

5.1.3. Organisering ved brann

Personell tilstede om natten

- Sykepleiere og hjelpepleiere som går nattvakt
- 1 person ved teknisk avdeling
- 2 portører

Ved brann om natten er pleiernes hovedoppgave å evakuere pasienter. Personen som er på vakt fra teknisk avdeling og de to portørene, vil om mulig utføre første slokke innsats. Tid fra brannalarmen går til de er på plass for å slokke brannen er ca 2 minutter hvis to detektorer utløses. Hvis kun én detektor utløser har de fem minutter på seg for å sjekke en eventuell detektor feil eller starte slokkeinnsats.

5.1.4. Brannvesen

Haugesund Brannvesen er lokalisert sentralt i Haugesund sentrum, ca 1.5 km fra Fylkessykehuset i Haugesund. Brannvesenet blir dimensjonert blant annet etter en kartlegging av risikoobjekter [12]. Dimensjoneringen spesifiserer behov for slanger, pumper og personell. Brannvesenet er organisert i lag av heltidspersonell med kasernert vakt. Hvert lag består av fem personer hvorav 4 utgjør to røykdykkerlag. I tillegg kommer støttestyrken hvor fører av tankbil og snorkel/stigebil inngår. Videre er brannvesenet forsynt med tre pumper, med samlet kapasitet på 9800 l/min. Tankbilen kan medbringe totalt 13000 l.

Reservestyrken skal være på plass 8 minutter etter at førsteinnsats er iverksatt. Den totale innsatsstyrken vil da utgjøre 20-25 mannskaper.

5.1.5. Beregning av brannbelastning i sykehus, pasientrom

Bakgrunnen for beregning av brannbelastning i sykehus er innsamlede data ved befaring utført ved Fylkessykehuset i Haugesund og ekspertuttalelser hos Svelland AS. Det er kun den mobile brannbelastningen som brukes. Dette fordi den immobile brannbelastningen er materialer som absorberer varme ved brann. Likninger benyttet ved beregning er hentet fra NS 3478. Alle beregninger presenteres i vedlegg 5.5.

Følgende brennbar inventar ble observert:

- 4 stk madrasser 2.0m x 1.0m, polyester
- 4 stk puter, polyester
- 4 sett sengetøy, bomull
- 4 stk dyner, polyester
- 4 stk nattbord, tre
- 4 stk stoler, tre og polyester
- 2 stk skjerm Brett, bomull
- 1 stk bord, tre
- 1 sett gardiner, bomull

Total mengde material, mobil brannbelastning:

- Polyester: 43.3 kg
- Bomull: 7.8 kg
- Tre: 100.1 kg

$$q_b = \frac{\sum k \times H_v \times m}{A_t} = \frac{3430.82}{49} \cong 70 \text{ MJ/m}^2 \text{ gulvareal (beregning, se vedlegg 5.5).}$$

5.1.6. Brannscenarie

Natten er det verst tenkbart tidspunkt en brann kan oppstå. Da er det lav bemanning på sykehuset og lite folk i sirkulasjon. Pleierne på nattvakt sitter hovedsakelig i vaktrommet og pasientene sover. Dette medfører lavere sannsynlighet for at brannen oppdages av mennesker.

Brannscenarie:

Brannen starter i en seng i pasientrommet, rom 1.

Himlingen i pasientrommet er gjennomhullet som følge av montering av lysarmatur. Røyken vil kunne spre seg gjennom åpningene i himlingen til de to nærliggende pasientrommene gjennom den store åpningene over himlingen. Om røyken blir tilstrekkelig varm vil den kunne antenne rom 2 og 3. Pasientene i rommene antas å kunne trues av både røyken og flammene. Fra branncellen vil brannen kunne spre seg ut i korridor. Det er høyst sannsynlig at en eventuell brann-spredning fra branncellen vil skje gjennom døren som skiller pasientrom fra korridor. Dette forklares med at døren har halvparten av veggens brannmotstand. Det som ligger til grunn for valget av denne spredningsveien er at det er her det er forbundet med størst fare for andre tilstedeværende. Brann i korridoren vil kunne føre til at brannen smitter inn i andre omkring-liggende pasientrom. Fra korridoren vil brannen kunne spre seg til resten av bygget via trapperom og inn i andre etasjer. Men det er lite trolig grunnet den lave gjennomsnittlige brannbelastningen. Det laveste brannmotstanden til neste etasje er i dører til lukket trapperom og i brannveggen. Disse er utført i A60S. Gjennomføringene i etasjeskillere og brannvegger er oppgraderte av et brannteknisk firma, og antas å være tette. I den siste delen av analysen blir byggets bærende konstruksjoner vurdert for å kvantifisere bygningens totale sikkerhet med hensyn på brann.

5.2. I- kurve Pasientrom, praktisk sykehus

5.2.1. Beskrivelse av pasientrommets geometri og utforming

- Geometri: 7 m x 7 m gulvareal, 3 m takhøyde \Rightarrow Volum = 147 m³
- En dør ut i rømningsvei, B30, B x H = 1 m x 2.13 med 1 cm åpning ved terskel
- Vinduer langs hele ytterveggen, B x H = 7 m x 1.5 m
- Overflater: gips i vegger og tak, linoleum på betonggulv.

For øvrige opplysninger se kapittel 5.1.

5.2.2. Resultat av beregning / simulering

Det ble utført to simuleringer i FASTLite. Den første simuleringen er brann i en seng i et rom med samme geometri som pasientrommet. Data om brannen er hentet fra virkelige forsøk på NIST, National Institute of Standards and Technology [3]. Den andre simuleringen bygger på data om brannbelastningen og geometrien til et pasientrom. Brannbelastningen antas jevnt fordelt over gulvet. Simulering nummer én resulterte i en maksimal branneffekt på 726 kW og varighet på ca 300 s. Simulering nummer to resulterte i maksimal branneffekt på 3.25 MW med en varighet på 720 s. Overtenning inntreffer ikke etter FASTLites kriterier under simuleringen. Men etter ca 11 minutter er strålingen 20 kW/m^2 mot gulvet. Dette settes i henhold til andre definisjoner som et kriterium for overtenning [2]. Det antas at brannen involverer hele rommet uten overtenning ved dette tidspunktet. Total branntid er beregnet til 1263 s. En dør og et vindu på $B = 2 \text{ m}$ og $H = 1.5 \text{ m}$ er åpne. FASTLite tar det ikke hensyn til geometrien og plassering til det brennbare materialet. Alle resultat og diagram fra simuleringer finnes i vedlegg 5.3.

5.2.3. Sannsynlighet for selvslukning før 1.5 meter flammehøyde

En brann som starter i en seng vil kunne få en høyde på 1.6 meter (beregning 1 vedlegg 5.2) og vedvare i ca 60 sekunder (diagram 1 vedlegg 5.3). Dette vil inntreffe hvis brannen vokser og oppnår maksimal effekt i henhold til simulering. De brennbare materialene i sengen (se kap. 5.1) danner en horisontal overflate av relativt lettantennelige stoffer. Den horisontale overflaten medfører at brannen vil ha vanskeligere for å spre seg i forhold til om overflaten hadde vært vertikal. Materialene i sengen medfører at brannen vil ha det lettere for å spre seg i forhold til om materialene hadde vært tre. Med bakgrunn i det som er nevnt i det foregående antas sannsynligheten for at flammene skal slokke av seg selv til $\Pr(BI_1) = 0.30$, før flammene når 1.5 meter flammehøyde. Arealet som involveres ved flammehøyde 1.5 meter antas å være 2 m^2 (hele sengen).

5.2.4. Sannsynlighet for selv slokking før takhøyde

Når brannen i pasientrommet har nådd maksimal effekt, 3.25 MW, vil flammehøyden være ca 5 meter (beregning 2, vedlegg 5.2). Det er altså mulig at brannen når taket hvis flere gjenstander i rommet involveres. Høyden på sengene er 1.2 meter, og brann i én seng vil derfor ikke nå taket. Flere gjenstander må involveres for oppnå flammer som rekker opp i taket. Inntil sengen står et nattbord som vil kunne involveres i brannen. Avstanden mellom sengene i en halvdel av rommet er ca 1.5 meter. Det er lite trolig at brannen i en seng vil kunne spre seg direkte til neste. Altså må brannen spre seg via andre gjenstander i rommet. Mellom sengene står et skjerm Brett av bomull. Dette vil kunne antennes og eventuelt spre flammene videre til neste seng. Hvis sengen, nattbordet og skjerm Brettet involveres i brannen, antas det at den vil nå taket. Med bakgrunn i det som er sagt i det foregående antas sannsynligheten for at flammene skal slokke av seg selv til $\Pr(BI_2) = 0.30$ før flammene nå taket. Arealet som involveres ved flammehøyde 1.5 meter antas å være 8 m^2 .

5.2.5. Sannsynlighet for at brannen slukker av seg selv før FRI

Ved simulering oppnås ingen overtenning i rommet. Den maksimale temperaturen i øvre røyklaget er 525 °C, dette fordi temperaturen i øvre røykklag ved overtenning er ca 600 °C [2]. Den store avstanden mellom sengene og de ubrennbare overflatene i rommet medfører at det er liten sannsynlighet for brann som involverer hele rommet. En seng produserer energi som gir en temperatur på 200 °C i øvre røyklaget i løpet av ca 60 sekunder. Dette vil medføre at brannen ikke sprer seg langs taket med kun en seng involvert i brannen. Om brannen sprer seg til hele halvdel, det vil si to senger, to nattbord, to stoler og et skjerm Brett, vil det fortsatt være vanskelig å få involvert resterende gjenstander i rommet. Med bakgrunn i det som er sagt i det foregående settes sannsynligheten for at flammene skal slukke før de involverer hele rommet til $\Pr (BI_3) = 0.30$. Arealet som involveres ved FRI er 49m².

5.2.6. I'- kurve praktisk sykehus

Sannsynligheten for at brannen slukker av seg selv i rommet bak barrieren, er illustrert ved I'-kurven. Rommet det er aktuelt å analysere er korridoren. Dette fordi barrieren som omhyller pasientrommet har svikt i døren ut mot korridoren (se kap 5.4). Korridoren har funksjon som rømningsvei med tilhørende ubrennbar kledning (se kap 5.1.). Videre er brannbelastningen i korridoren lav (se kapittel 5.1.).

5.2.7. Sannsynlighet for selvslokning før brannen involverer hele rommet (FRI)

Med bakgrunn i den ovennevnte informasjonen antas sannsynligheten for at flammene skal slukke av seg selv før FRI til $\Pr (BI') = 0.95$.

5.3. M- kurve sykehus

5.3.1. Kriterier for M- kurve sykehus

Ved estimering av brannvesenets innsattstider og slokkemuligheter er det gjort ekspertvurderinger i samarbeid med Haugesund Brannvesen [A]. Videre henvises det til 2.10. for parametere som inngår i evalueringen.

Alle tall på varmeutvikling, temperaturer i røykklag, tider og høyde til røykklag er hentet fra simuleringer i FASTLite (vedlegg 5.3).

Det antas at brannalarmanlegget er et Analogt adresserbart system. Et slikt system gir detaljert informasjon om eventuelle detektorfeil til teknisk avdeling. I analysen av det automatiske brannalarmanlegget benyttes samme sannsynlighet for detektorer, signal forberedt og alarm sendes [15]. Rapporten det refereres til angir den samlede tilgjengeligheten for brannalarmanlegg. Ved å operere med denne sannsynligheten for alarmanleggets enkelte deloppgaver oppnås et konservativt estimat.

5.3.2. Estimering M - kurve uprofesjonelle slokkere

TIC A: Oppdagelses komponenten

TAC 1: Brannen oppdages/detekteres før FRI

Evaluerer av TAC 1

Automatisk deteksjon

Simulering viser at det vil være utviklet nok røyk i pasientrommet til å utløse detektorene etter ca 30 sekunder (for samlet tid se Tabell 3.5-1).

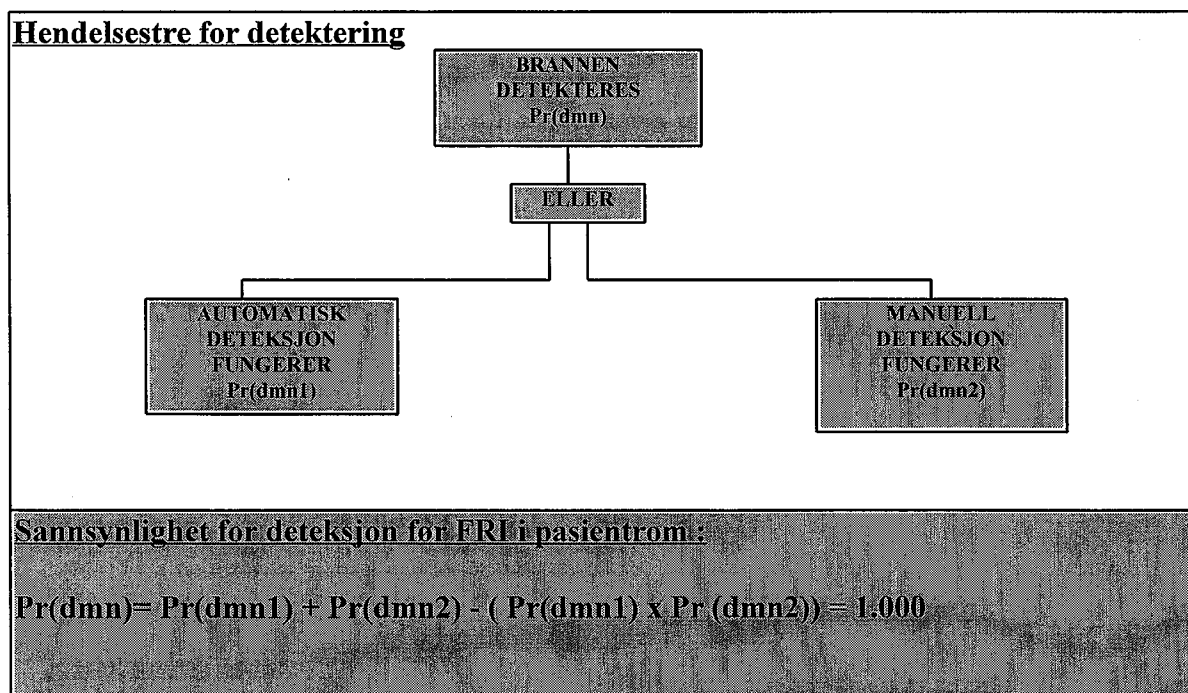
Tilgjengeligheten til detektorene er vurdert utfra rapport gjort på automatiske brannalarm-anlegg. Sannsynligheten for at detektorene fungerer vurderes til $\Pr(\text{dmn1}) = 0.999955$ [15]. Sannsynligheten gjelder uavhengig av tid på døgnet og bygningsdel.

Menneskelig deteksjon

Sykehus er spesielle i den forstand at det oppholder seg mennesker i bygningen døgn-kontinuerlig gjennom hele året. På kvelds og nattetid vil hovedvekten av de tilstedeværende være pasienter. Øvrig personale vil være sterkt redusert (se kap 5.1), noe som medfører at det vil være liten eller ingen aktivitet i større deler av sykehuset om natten. Hvor tidlig, og om deteksjon skjer, vil variere med personalets aktivitet i tillegg til pasientenes fysiske og mentale tilstand. Variasjonene i pasientenes tilstand til svinger med tid på døgnet, mellom de enkelte avdelingene og fra rom til rom. Med bakgrunn i dette antas sannsynligheten for menneskelig deteksjon å være redusert om natten i forhold til på dagtid.

Med bakgrunn i antakelser gjort ovenfor om menneskelig aktivitet om natten, og med henvisning til litteratur, antas sannsynlighet for menneskelig deteksjon i pasientrom til $\Pr(\text{dmn3})=0.60$ [5].

Den samlede sannsynligheten for deteksjon er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 5.3-1 Sannsynlighet for deteksjon i pasientrom

TAC 2: Signal/Melding er forberedt før FRI

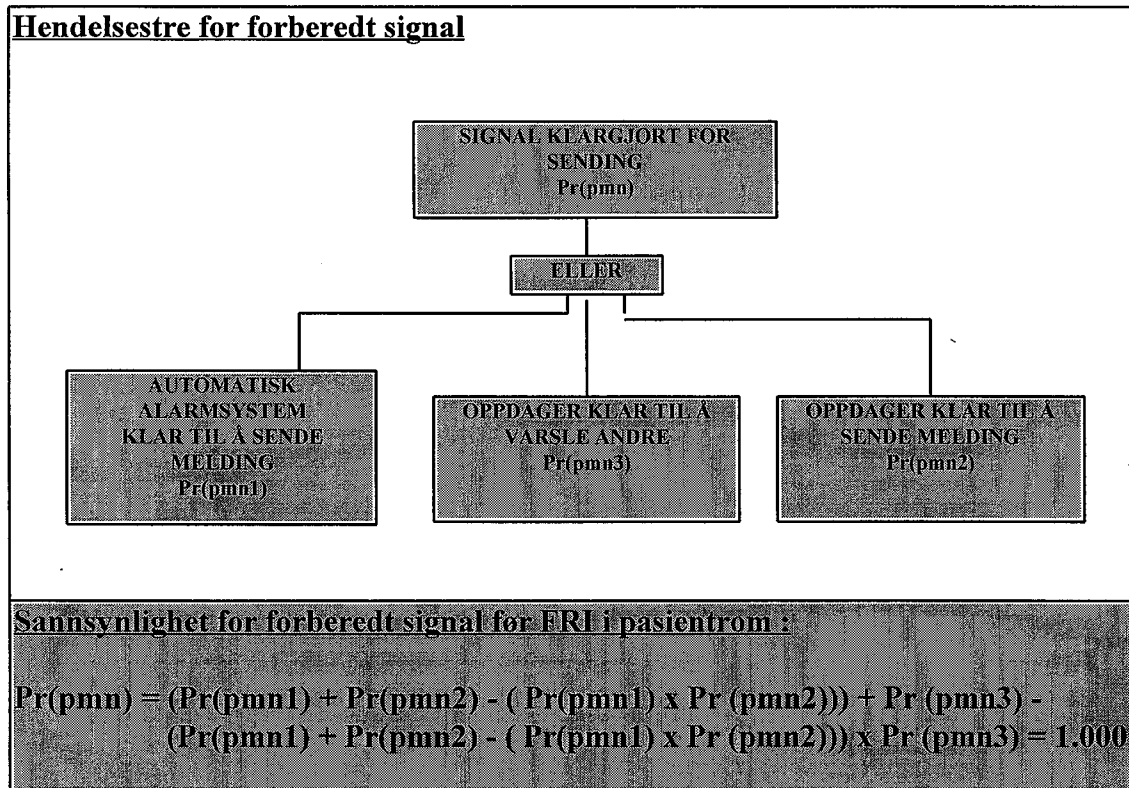
Evaluering av TAC 2

Muligheten for at brannalarmanlegget sender signal er vurdert utfra studier av tilgjengelighet gjort for automatiske brannalarmanlegg. Sannsynligheten for at brannalarmanlegget fungerer vurderes til $\Pr(pmn1) = 0.999955$ [15].

Sannsynligheten for at oppdageren handler rasjonelt på den måten at han beslutter å varsle om brannen før brannen involverer hele rommet (FRI), er vurdert konservativt og verifisert i litteraturen. Sannsynligheten er satt til $\Pr(pmn2) = 0.60$ [5]. Estimaten antas å ha gyldighet innenfor hele døgnet. Det er viktig å bemerke at forutsetningen for estimaten er at brannen allerede er oppdaget.

I et studie av 952 branner ble 2193 individer intervjuet av brannvesenet på brannstedet i Storbritannia. Det ble funnet at de mest hyppige reaksjonene ved brann omfattet evakuering av bygningen, bekjempelse av brannen eller varsling av andre individer eller brannvesenet. Studiet viser at ca 30 % varslet andre som første, andre eller tredje handling [5]. Med bakgrunn i dette antas sannsynligheten for at mennesket bestemmer seg for å varsle til $\Pr(pmn3) = 0.33$ [5].

Den samlede sannsynligheten for forberedt signal er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 5.3-2. Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i pasientrom.

TAC 3: Signal/Melding sendes før FRI

Evaluering av TAC 3

Ved sykehusene er brannmeldere plassert ved hver rømningsvei. Forutsatt at brannen oppdages av de tilstedeværende på et tidlig tidspunkt av brannforløpet er det liten sannsynlighet for at internlinjene er brutt..

Tilgjengeligheten til brannalarmanlegget er vurdert utfra rapport gjort på automatiske brannalarmanlegg. Sannsynligheten for at detektorene fungerer vurderes til $\Pr(dmn1) = 0.999955$ [15].

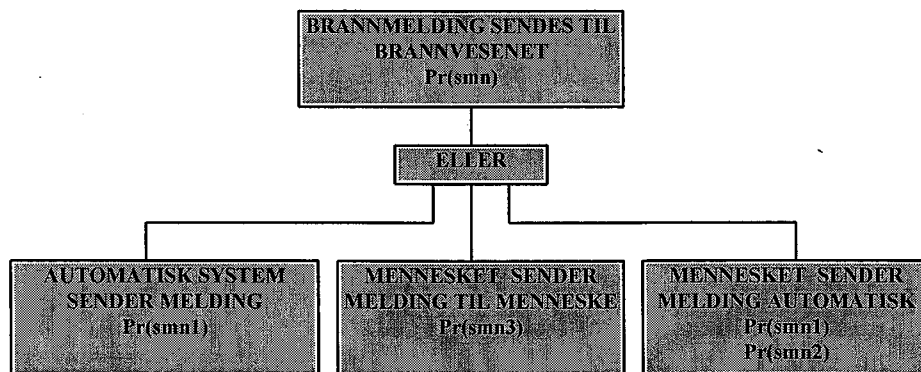
Med utgangspunkt i litteratur på området antas sannsynligheten for å lokalisere alarmknapp samt evne til å sende meldingen før FRI til $\Pr(smn2)=0.60$ [5].

Brannen kan også varsles manuelt ved anrop. Melderens mulighet til å sende melding vil i så måte være god. Gitt at beskjeden er forberedt og avgjørelsen om å varsle andre er tatt, antas graden av suksess til å være $\Pr(smn3) = 0.90$.



Den samlede sannsynligheten for at melding sendes før FRI er visualisert og utregnet nedenfor.

Hendelsestre for signal/melding sendes.



Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i pasientrom:

$$\Pr(smn) = (\Pr(smn1) + \Pr(smn2) - (\Pr(smn1) \times \Pr(smn2))) + \Pr(smn3) - (\Pr(smn1) + \Pr(smn2) - (\Pr(smn1) \times \Pr(smn2))) \times \Pr(smn3) = 1.000$$

Figur 5.3-3 Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i pasientrom.

TAC 4: Uprofesjonelle sløkkere mottar melding før FRI

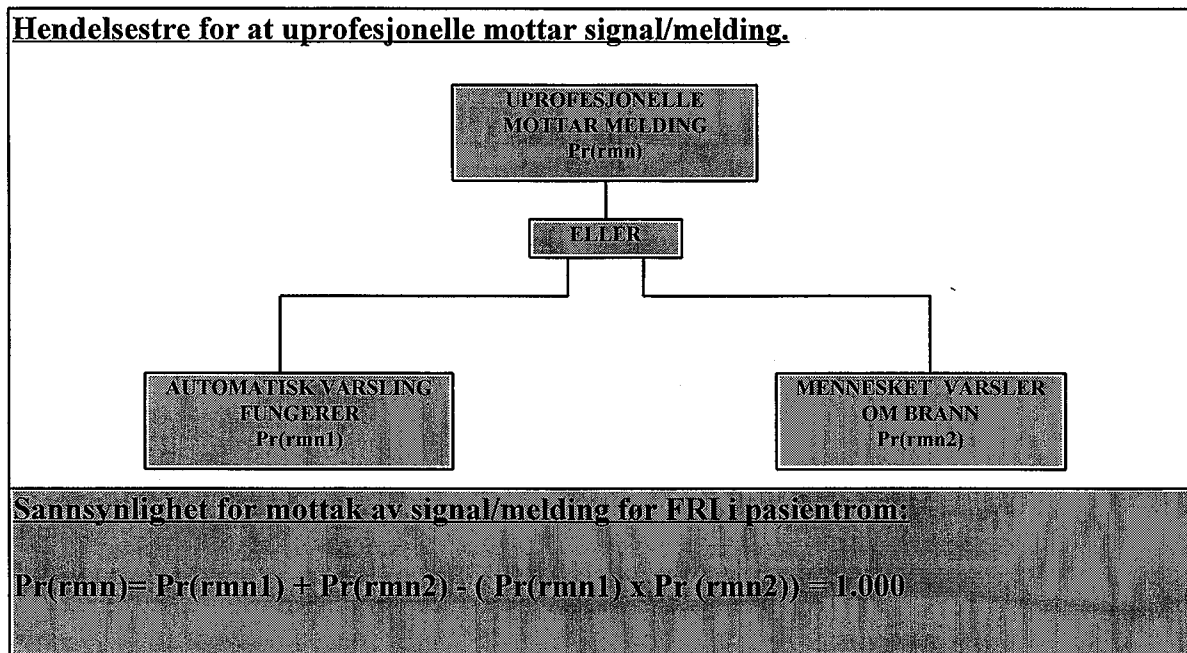
Mennesker

Ved manuell varsling av brann vil påliteligheten og nøyaktigheten til meldingen variere. Videre antas muligheten for varsling av brann er størst i områder i umiddelbar nærhet av arnestedet. Det er gjort et anslag om sannsynligheten for at melding om brann mottas av mennesker. Denne er satt til $\Pr(rmn2) = 0.80$.

Automatisk

Varsling av brann med alarmklokkene antas å være mer nøyaktig og mer pålitelig enn manuell varsling. Tiden fra deteksjonssystemet slår ut til melding mottas antas å være neglisjerbar. På bakgrunn av dette antas sannsynligheten for at melding mottas før FRI å være høy. Med henvisning til litteratur settes sannsynligheten til $\Pr(rmn1) = 0.999955$ [15].

Den samlede sannsynligheten for at uprofesjonelle mottar signal/melding før FRI er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 5.3-4 Sannsynlighet for mottak av signal/melding før FRI i pasientrom.

TIC C: PÅFØRINGS KOMPONENTEN

TAC 9: Munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI

De stasjonære brannslangene er et viktig supplement for slokning av brann. Slangene er fortrinnsvis montert for bruk av uprofesjonelle slokkere. Fast monterte slanger i forsamlingslokalet er et viktig fortrinn av å kunne starte slokkeinnsatsen tidlig. Sannsynligheten for at uprofesjonelle slokkere kan være innen rekkevidde av flammen med munnstykket innen FRI antas som høy, på grunn av kort innsatstid. Det antas at personellet vil kunne stå med munnstykket innen rekkevidde av flammen etter 2 minutter[B] (se Tabell 3.5-1 for total tid).

Personale fra teknisk avdeling har klare instruksjoner å forholde seg til ved branntilfeller. Høyeste prioriterte oppgave er å bekjempe brannen med de slokkemidler som er tilgjengelig. Det faktum at klare prosedyrer og ansvarlinjer er etablert for branntilfeller vil påvirke personellens handlemåte. På bakgrunn av dette sannsynliggjøres det at munnstykket er innenfor rekkevidde før FRI $Pr(fma^2_1) = 0.90$.

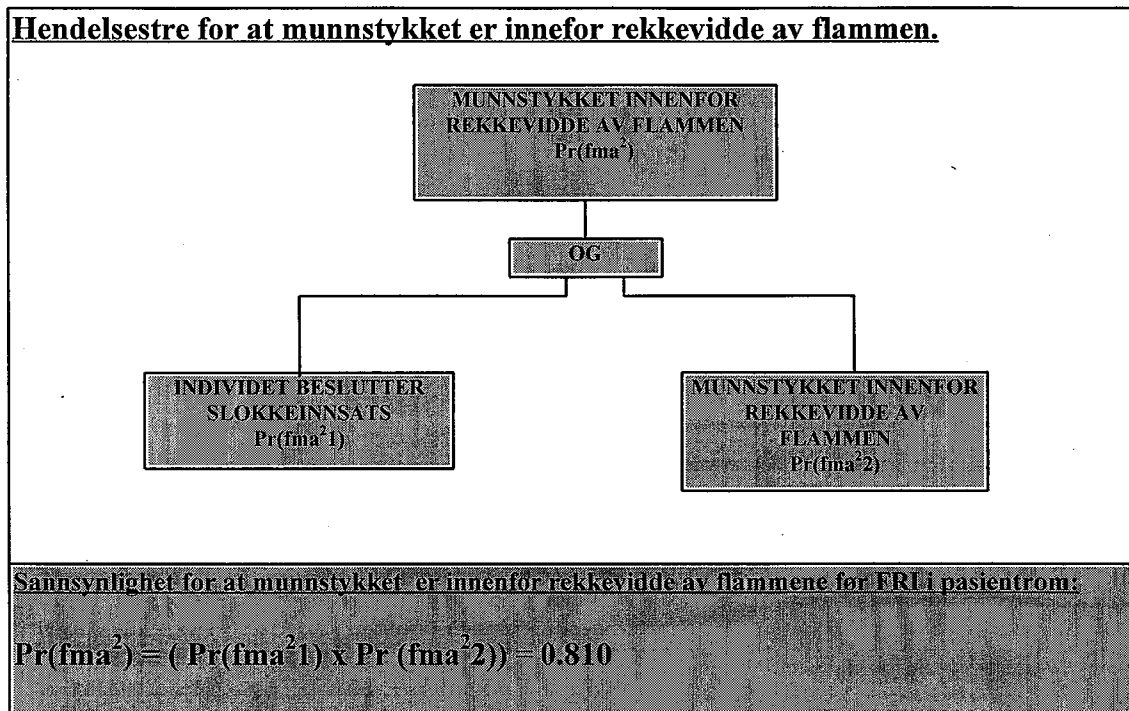
Evaluering av TAC 9

Kriteriet for at slokkeinnsats er at det foreligger en beslutning om dette. Teknisk avdeling har som oppgave å utføre første slokkeinnsats ved brann.

Temperaturen i det nedre røyklaget etter 2 minutter er ca 25 °C og befinner seg i en høyde av 1.6 meter over gulvet. Denne temperaturen vil ikke skape fysiske problemer for innsats.

Det er gjort en konservativ antagelse av muligheten for at munnstykket er innen rekkevidde av flammene før FRI. Sannsynligheten er satt til $\Pr(fma^2) = 0.90$.

Den samlede sannsynligheten for at munnstykket er innefor rekkevidde av flammen er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 5.3-5 Sannsynlighet for at munnstykket er innefor rekkevidde av flammene før FRI i pasientrom.

TAC 10: Første slokkemiddel påføres før FRI

Det er forutsatt at første slokkemiddel kan påføres brannen av personellet etter 2 minutter. Det betyr at personellet har mulighet til å begynne slokking før FRI har inntruffet i oppholdsrommet. Begrunnelsen ligger i at tidstapet før slokking kan starte er minimalt gitt at munnstykket er innen rekkevidde av brannen.

Evaluering av TAC 10

Pasientrom

Etter 11 minutter vil brannen involvere hele rommet (FRI). Sannsynligheten for påføring av slokkemiddel før FRI i startbrannrommet antas skjønsmessig til $\Pr(a^2ma^2) = 0.90$. Dette begrunnes med at det uprofesjonelle innsatspersonellet fra teknisk avdeling er på plass 2 minutter etter etablert brann (EB), og at tidstapet fra personellet er på plass til slokking iverksettes er minimal.

TIC D: BRANNSLOKNINGS KOMPONENTEN
TAC 11: Kvantiteten på slökkemiddel er tilstrekkelig for slokning før FRI
Evaluering av TAC 11

Etter 2 minutter avgir brannen en effekt på 680 KW (se vedlegg 5.3). Det antas at 50 % av det tilførte vannet ikke deltar i energibalanseringen [8]. Dersom 50% av det tilførte vannet ikke går med i energibalanseringen vil det være nødvendig med en påføringsrate på 10 l/min i henhold til slökkriteriene. Med bakgrunn i tilgjengelig og nødvendig sløkkevann sannsynliggjøres tilstrekkelig kvantitet av slökkemiddel. Med utgangspunkt i antagelser gjort over er sannsynligheten på bakgrunn av faglig skjønn satt til **Pr(cme)= 0.95**.

TAC-12: Kontinuerlig påføring av slökkemiddel til slokking før FRI
Evaluering av TAC 12

Temperaturforholdene i pasientrommet er moderate. Dette minsker usikkerhetsmomentet rundt varmekorholdene betraktelig, og sannsynliggjør høy grad at kontinuerlig slokking kan utføres. Sannsynligheten for brudd i slanger eller andre kutt i vanntilførselen ansees i denne sammenheng som neglisjerbart.

Det er gjort anslag vedrørende sannsynligheten for at kontinuerlig slokking kan drives. Denne er konservativt vurdert til **Pr(cme)=0.80**.

TAC-13: Fullstendig slokning inntreffer før FRI
Evaluering av TAC 13

Uprofesjonelle slokkes trening og erfaring vurderes og være tilstrekkelig ivaretatt gjennom organisering av brannvern. Imidlertid påpekes det at det uprofesjonelle innsatspersonellet har klare begrensninger med tanke på hva de kan utrette. Nødvendig vannmengde er minimal ved denne beskjedene brannstørrelsen. Imidlertid vil brannen være sløkketeknisk noe utfordrende slik at slokning ikke alltid kan påregnes. Med bakgrunn i dette gjøres det en antagelse om sannsynligheten for slokning før FRI. Denne er satt til **Pr(fme)= 0.70**.

TIC	TAC	Hendelse	Tid	Total tid
A	1	Detektert	0.5	0.5
A	4	Mottatt	0.0	0.5
B	5-7	Innsatstid	1.0	1.5
C	9	Ved flammen	0.5	2.0

Tabell 5.3-1 Total tid før sløkkeinnsats.

**5.3.3. M-kurven for brannvesen i rommet hvor brannen starter.****TIC A: OPPDAGELSE KOMPONENTEN****TAC 1: Brannen oppdages/detekteres før FRI****Evaluering av TAC 1**

Se evaluering TAC 1 uprofesjonelle slokkere, kap 5.3.2.

Pasientrom:

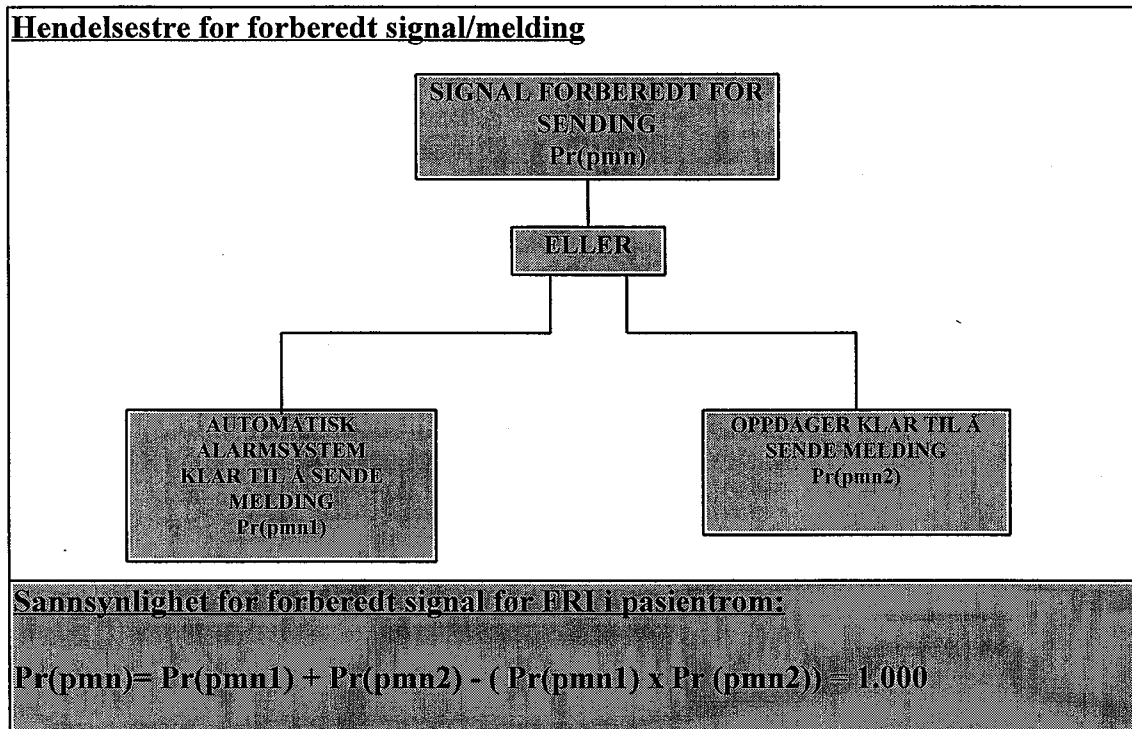
Pr (dmn) = 1.000

TAC 2: Signal/Melding er forberedt før FRI**Evaluering av TAC 2**

Muligheten for at brannalarmanlegget sender signal er vurdert ut fra studier av tilgjengelighet gjort for automatiske brannalarmanlegg. Sannsynligheten for at brannalarmanlegget fungerer vurderes til **Pr(pmn1) = 0.999955** [15].

Sannsynligheten for at oppdageren handler rasjonelt på den måten at han beslutter å varsle om brannen antas med suksess **Pr(pmn2)= 0.60** [5]. Det er viktig å bemerke at forutsetningen for estimatet er at brannen allerede er oppdaget.

Den samlede sannsynligheten for forberedt signal/melding er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 5.3-6 Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i pasientrom.

TAC 3: Signal/Melding sendes før FRI

Evaluering av TAC 3

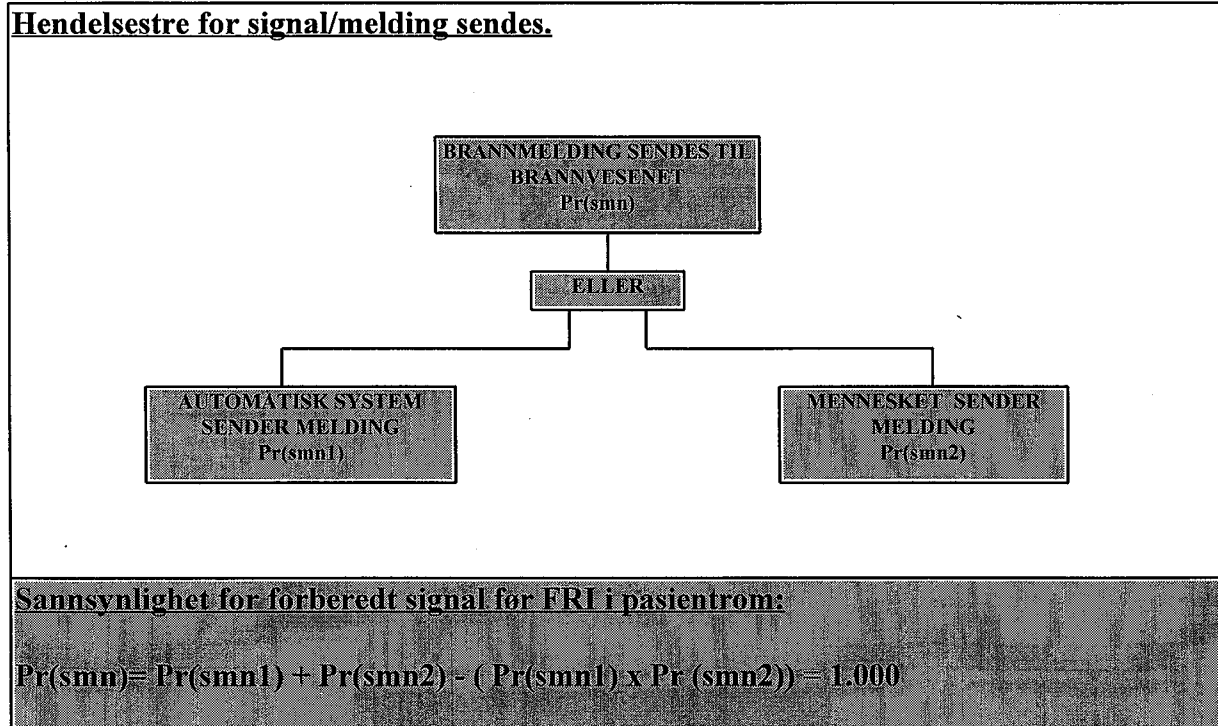
Ved sykehusene er tettheten høy av både vakttelefoner og brannmeldere. Avstanden til nærmeste telefon/brannmelder overstiger ikke 25 meter uansett hvor melderer befinner seg på Fylkessykehuset. Forutsatt at brannen oppdages av de tilstedeværende på et tidlig tidspunkt av brannforløpet er det liten sannsynlighet for at linjene er brutt som følge av brannen. Meldereens mulighet til å sende melding vil i så måte være god.

Pasientrom

Med utgangspunkt i litteratur antas sannsynligheten for å lokalisere telefonen/alarmknapp samt evne til å sende meldingen før FRI til $\Pr(smn2)=0.60$ [5]. Estimater gjelder for pasientrommet uavhengig av tid på døgnet.

Sannsynligheten for at det automatiske brannalarmanlegget sender melding er evaluert med bakgrunn i studier av tilgjengelighet til automatiske brannalarmanlegg. Tilgjengeligheten er satt til $\Pr(smn1)=0.999955$ [15].

Den samlede sannsynligheten for deteksjon er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 5.3-7 Sannsynlighet for forberedt signal før FRI i pasientrom.

TAC 4: Brannvesenet mottar brannmelding før FRI

Evaluering av TAC 4

Mennesker

Det er gjort en antakelse, med bakgrunn av ekspertuttalelser, om at meldingene i tilstrekkelig grad er nøyaktige i 90% av tilfellene. $\Pr(rmn2) = 0.90$ [A].

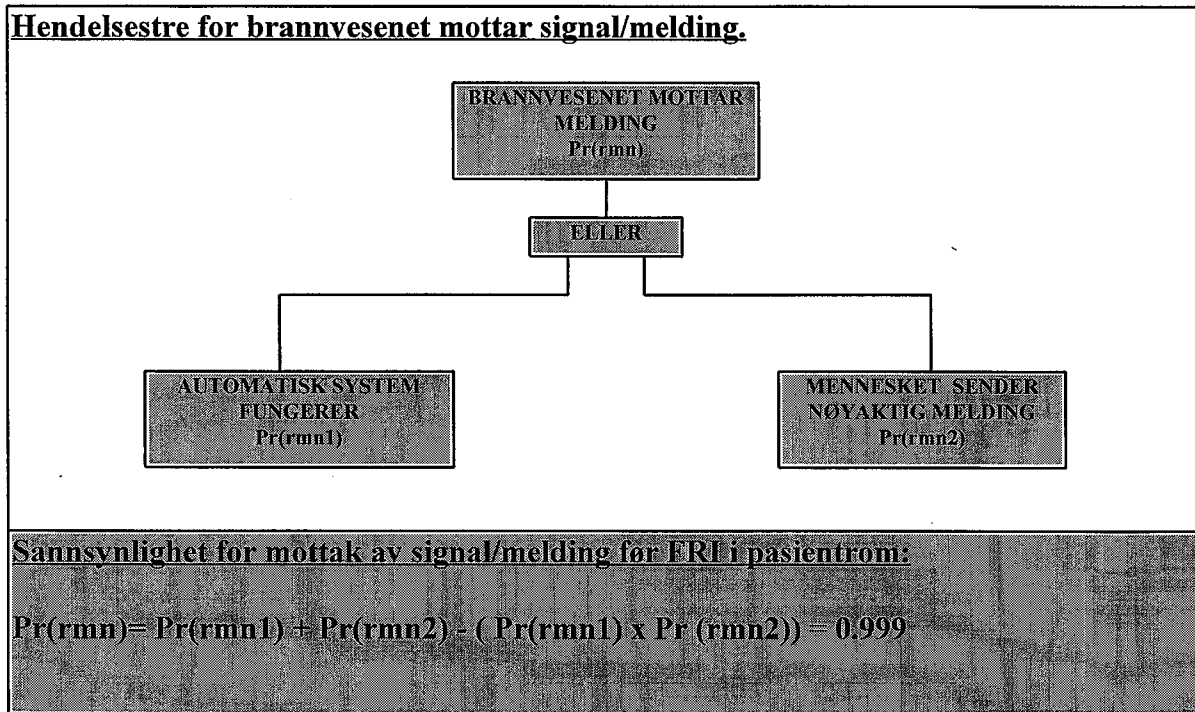
Automatisk

Fjernvarsling av brann over det automatiske brannalarmanlegget antas å være både mer nøyaktig og mer pålitelig. Fra brannalarmen slår ut til melding mottas hos brannvesenet skal det maksimalt gå 30 sekunder [B] (se Tabell 3.5-2 for total tid). Tidstapet fra melding sendes fra FIH via alarmsentralen i Bergen, til den mottas hos brannvesenet er normalt mindre enn de normerte 30 sekundene og sannsynligheten for at melding mottas før FRI synes høy.

Telelinjen hvor meldingen sendes over har en tilgjengelighet på 99,1% [16]. Det er gjort en ingeniørmessig vurdering av tilgjengeligheten for brannvesenets alarmsentral.†

Tilgjengeligheten antas å være 99.9955%. Den samlede tilgjengeligheten for alarmsentral og telelinjer er med bakgrunn i det ovennevnte estimert til $\Pr(rmn1) = 0.991$.

Den samlede sannsynligheten for brannvesenet mottar signal/melding er visualisert og utregnet nedenfor.



Figur 5.3-8 Sannsynlighet for mottak av signal/melding før FRI i pasientrom.

TIC B : Utryknings komponenten

Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen fastsetter krav til innsatstid. Innsatstiden er definert som tiden fra innsatsstyrken er alarmert til den er i innsats på brann/skadedest.

Evaluering av TIC B

For kasernerte brannvesen i Norge brukes det forhåndstall på utrykningstid fra brannstasjon og tidsbruk ved forflytning. Fra alarmen går til første hjul er utenfor garasjen skal det gå mindre enn 1 minutt. Som forflytningstid med bil regnes 1 min/km. Det vil si at brannvesenet når Fylkessykehuset etter rundt 2 minutter og 30 sekunder etter at alarmen er utløst på sykehuset (Se Tabell 3.5-2 for total tid). Gitt at melding om brann er mottatt settes sannsynligheten for suksess for brannvesenets utrykning til $Pr(Ma) = 1.000$.

TIC C: PÅFØRINGS KOMPONENTEN

TAC 8: Brannvesenet kommer seg inn i bygningen før FRI

FIH har fire angrepsveier som kan nyttes alt etter hvor brannen er lokalisert. Veinettet som fører til oppstillingsplasser for materiell og utstyr, er akseptable med hensyn til bredde og styrke. Oppstillingsplassene er utformet for å kunne ta imot de kjøretøy og det materiell som brannvesenet medbringer ved utrykning.

Det er plassert brannkummer ved angrepsvei nord og sør. Disse står i forbindelse med det offentlige vann nettet. Med basis i uttalelser, beskrives vanntilgangen som spesielt god i området, både med hensyn til mengde og trykk [A]. Angrepsveien fra syd er utstyrt med stasjonær pumpe som er ment for forsyning av stigerør. I tillegg medbringer brannvesenet mengdepumpe og trykkpumpe. Adkomsten inn i bygningen skjer gjennom dører dimensjonert for rømning, noe som gir brannvesenet gode muligheter for å ta seg inn.

Med forutsetning om 1 minutt klargjøringstid før innsatspersonellet entrer bygningen er 3 minutter og 30 sekunder medgått på dette trinnet [A] (Se Tabell 3.5-2 for total tid).

Evaluering av TAC 8

Brann som involverer hele pasientrommet, FRI, inntreffer etter 11 minutter, noe som medfører at innsatspersonellet ankommer 7 minutter og 30 sekunder før simulert FRI. Sammenholdt med evalueringene av tilgangen til vann og adgangen til bygningen sannsynliggjøres entring av bygningen før brannen involverer hele rommet. Sannsynligheten er estimert på bakgrunn av ekspertvurderinger og satt til $\Pr(\text{ema}^2) = 0.98$ [A].

TAC 9: Munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI

Adgangen til brannkilden er i stor grad bestemt av de arkitektoniske løsningene. Sykehuset er bygget over 6 plan, og adgang og kapasitet gjennom lukket trapperom blir eneste adkomstvei til brannkilden. Dette fordi driften av heisene stenges ned automatisk av brannalarmanlegget. Beliggenheten til brannstedet i forhold til trapperommet og hvilken etasje som er involvert regulerer tiden som går med før innsatspersonellet fysisk står ved brannkilden klare til å starte sløkkearbeidet.

Grovlokaliseringen av brannen skjer allerede idet brannvesenet mottar melding over fjernvarslingssystemet. Grovlokaliseringen angir gateadressen og sonen i bygningen hvor brann er detektert. Ved ankomst vil utrykningsleder møtes av en representant fra Teknisk avdeling ved Fylkessykehuset i Haugesund for finlokalisering av brannen.

Reservestyrken, som teller 20-25 mannskaper, vil være på plass etter 8 minutter etter at førsteinnsatsen er iverksatt.

Evaluering

Med bakgrunn i forhåndstall for brannvesenet og ekspertvurderinger, vil brannvesenet kunne være klar til slokning i oppholdsrommet etter 6.5-7.5 minutter (Se Tabell 5.3-2 for total tid). Estimert tid til FRI er 11 minutter, hvilket medfører at innsatspersonellet med høy grad av sannsynlighet kan være ved brannstedet før brannen involverer hele rommet (FRI). Det antas da at 2-3 minutter brukes fra bygningen entres til innsatspersonellet fysisk står ved startbrannrommet [A] (Tabell 5.3-2). Brannspredningen vil på dette tidspunktet være beskjeden, da barrieren som omgir branncelle først antas å svikte etter 30 minutter. Brannen vurderes derfor ikke å utgjøre noen betydelig trussel for tilstedeværende personer utenfor branncellen ved dette tidspunktet. Med bakgrunn i dette antas det at brannvesenet ikke assisterer rømning, med mindre personer er stengt inne av brannen og avskåret fra rømning.



Det er ikke grunn til å anta at røyk og varmekorholdene vil kunne dramatisere og forverre brannmannskapenes mulighet til å ta seg frem til etasjen brannen er lokalisert. Derimot vil lokaliseringen av brannen være begrenset. Dette på grunn av at høyden til røyklaget er relativt lavt, 0.86 m, og temperaturen i det nedre røyklaget ligger i størrelsesorden 120-140°C, i det tidsrommet innsatspersonellet kan nå startbrannrommet. Det presiseres at slokning kan utføres uten innsatspersonellet fysisk står i startbrannrommet. Med støtte i ekspertvurdering antas brannkilden å være nådd og innsatspersonellet klar til å slokke med suksess før FRI $\Pr(fma^2) = 0.90 [A]$.

TAC 10: Første slokkemiddel påføres før FRI

Evaluering av TAC 10

Brann som involverer hele pasientrommet inntreffer etter 11 minutter. Det betyr at brannvesenet har mulighet til å begynne slokning før FRI har inntruffet i pasientrommet. Begrunnelsen ligger i at tidstapet før slokning kan starte er minimalt gitt at munnstykket er innen rekkevidde av brannen. Videre henvises det til TAC 8 når det gjelder evaluering av tilgang på pumper.

Sannsynligheten for påføring av slokkemiddel før FRI i startbrannrommet gitt at munnstykket er innen rekkevidde av flammen antas $\Pr(a^2ma^2) = 0.95$.

TIC D: BRANNSLOKNINGS KOMPONENTEN

TAC 11: Kvantiteten på slokkemiddel er tilstrekkelig for slokning før FRI

I tillegg til kummer som nevnt i TAC 8, er brannvesenet i Haugesund er oppsatt med tre tankbiler, hver av dem med 4300 liter og pumpekapasitet på 3200 l/min. Som supplement til brannvesenets pumper er Fylkessykehuset utstyrt med stasjonære pumper knyttet til stigerør ved den sydlige angrepsveien.

Innsatspersonellet som først tar seg inn i bygningen er to røykdykkerlag. Disse medbringer hvert sitt slangeutlegg med total vannføring på 540 l/min.

Evaluering av TAC 11

Branneffekten ved dette tidspunktet, 6.5-7.5 min, er ca 3.25 MW. For slokking kreves det påføringsrate på 24 l/min etter slokketekriteriene [9]. Forutsetningen for å bruke dette estimatet er at røykdykkere påfører vann direkte i brannsonen. Dersom innsatspersonellet er plassert utenfor antas det at 50% av det tilførte vannet ikke deltar i energibalanseringen, det vil si at vannet ikke når frem til brannsonen [8]. Dersom 50% av det påførte slokkevannet ikke bidrar i energibalanseringen vil denne brannstørrelsen kreve en påføringsrate på 48 l/min. (se vedlegg 5.4). Innsatspersonellets mulige påføringsrate målt opp mot den nødvendige påføringsraten sannsynliggjør slokningen til $\Pr(eme) = 0.97 [9]$.

TAC-12: Kontinuerlig påføring av slökkemiddel til slokking før FRI
Evaluering av TAC 12

Sannsynligheten for at innsatspersonellet kan drive kontinuerlig slokking vil først og fremst være avhengig av tilgjengeligheten til pumpeutstyret. Eventuelle brudd i slanger eller tilkoblinger, antas å være uvesentlig. Dette fordi brannvesenet medbringer to slangeutlegg som hver har tilstrekkelig kapasitet.

Røyk og varmekorholdene hindrer ikke brannvesenet i å fysisk utføre slokkesjenereste. Det poengteres at slokkesjenereste av en brann på denne størrelsen er såpass kort at sannsynligheten for gjennomslag av varme gjennom innsatspersonellens utrustning er liten.

Sannsynligheten for at kontinuerlig slokking kan drives vurderes til suksess $\Pr(\text{cme})=0,95$ [9].

TAC-13: Fullstendig slokking inntreffer før FRI
Evaluering av TAC 13

Innsatspersonellens trening og erfaring vurderes og være sikret gjennom forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen. På det tidspunktet brannvesenet starter slokking av brannen i pasientrommet er det ca 3 minutter igjen til simulert FRI. Med bakgrunn i dette og med støtte i brannvesenets vurdering settes sannsynligheten for slokking før FRI til $\Pr(\text{fme})= 0.90$ [A].

TIC	TAC	Hendelse	Tid	Total tid
A	1	Detektert	0.5	0.5
A	4	Mottatt	0.5	1.0
B	5-7	Innsatstid	2.5	3.5
C	8	Entring	1.0	4.5
C	9	Ved flammen	2-3	6.5-7.5

Tabell 5.3-2 Total tid før slokkeinnsats.

5.3.4, M'-KURVE brannvesen korridor bak barrieren

Det poengteres at M-kurven for rommet etter barrieren begynner ved TAC 9, dette fordi sannsynligheten for TIC A og TIC B er ivarettatt i M- kurven for startbrannrommet. TAC 8 settes til 1.00 fordi brannvesenet er på plassen før FRI i rommet bak barrieren. Videre henvises det til 2.10. for parametere som inngår i evalueringen. Tidsintervallet fra antennelse til brann som involverer hele rommet (FRI) i startrommet gir brannvesenet ekstra tid før antennelse i rommet bak barrieren. Det er gitt at innsatspersonellet starter slokkeinnsatsen i



rommet bak barrieren etter at FRI har inntruffet i startbrannrommet. M-kurven antar at punkt svikt antennelse (EB) har inntruffet på barriere overflaten i rommet bak barrieren.

TIC C: PÅFØRINGS KOMPONENTEN

TAC-9: Munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI

Evaluering av TAC 9

Barrieren som skiller rommene fra korridoren inneholder en dør som svakeste del, og punktsvikt antas å inntreffer i døren etter 11 minutter. Det er ikke grunn til å anta at brannen vil kunne dramatisere og forverre brannmannskapenes mulighet til å ta seg frem til etasjen brannen er lokalisert, med hensyn på røyk og varmekorhold. Videre vil varme- og røykforholdene i korridoren hvor slukkeinnsatsen settes inn ikke hindre innsatspersonellet fysisk. Ser man tiden fra FRI inntreffer i startbrannrommet i forhold til tiden før FRI inntreffer i korridoren, antas sannsynligheten med støte i ekspertvurderinger til $\Pr(fma^2) = 0.97$.

TAC 10: Første slökkemiddel påføres før FRI

Evaluering av TAC 10

Tidstapet før slokning kan starte er minimalt gitt at munnstykket er innen rekkevidde av brannen. Videre henvises det til TAC 8, for startbrannrommet, når det gjelder evaluering av tilgang på pumper. Med bakgrunn i dette settes sannsynligheten for at første slökkemiddel påføres før FRI til $\Pr(a^2ma^2) = 0.95$.

TIC D: BRANNSLOKNINGS KOMPONENTEN

TAC 11: Kvantiteten på slökkemiddel tilstrekkelig for slokking før FRI

Se TAC 11, startbrannrommet, for parametere som inngår i evalueringen.

Evaluering av TAC 11

Innsatspersonellet vil være klare for slokking umiddelbart etter etablert brann i korridoren bak barrieren. En etablert brann (EB) utvikler 5 kW effekt. For slokking av brann av såpass beskjedne størrelse vil kvantiteten på slökkemiddel være tilstrekkelig for fullstendig slokning. $\Pr(eme) = 0.95$ [A].

TAC 12: Kontinuerlig påføring av slökkemiddel til slokking før FRI

Evaluering av TAC 12

Sannsynligheten for at innsatspersonellet kan drive kontinuerlig slokking vil være avhengig av påliteligheten til pumpeutstyret. Eventuelle brudd i koblinger og slanger antas å være

neglisjerbare. Begrunnelsen er at forholdene med tanke på branngasser og varme ikke vil innebære begrensninger ved at slukningen må avbrytes, i det brannen er såpass beskjedne. Sannsynlighet for brudd i slangen eller ved tilkoblingen antas å være neglisjerbar.

Sannsynligheten for at kontinuerlig slukking kan drives antas på bakgrunn av ekspertuttalelser til suksess $\Pr(\text{cme})=0.95$ [A].

TAC 13: Fullstendig slukning inntreffer før FRI

Evaluerings av TAC 13

Innsatspersonellet trening og erfaring vurderes og være sikret gjennom forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen. Den etablerte brannen som har oppstått i korridoren bak barrieren er slokketeknisk ingen utfordring for mannskapene. Med den beskjedne brannstørrelsen er nødvendig vannmengde og slokketid minimal og det er stor sannsynlighet for at brannen slukkes. Med bakgrunn i dette og med støtte i ekspertuttalelser antas sannsynligheten for slukning før FRI til $\Pr(\text{fme1})= 0.99$ [A].

Alle sannsynligheter på I- og M- kurvene er satt inn i boblediagram på diskett i vedlegg 6.

5.4. Barriereanalyse

Barriere analysen er utført ved å vurdere beskaffenheten til barrieren med hensyn på konstruksjon, oppføring og gjennomføringer. Videre fastslås branntid ved å beregne brannbelastningen i de respektive rommene (se vedlegg 5.5). Med bakgrunn i dette gjøres en skjønsmessig vurdering av sannsynligheten for svikt i barrieren (se kap. 2.11). Barrieren antas å få en punktsvikt dersom den har en åpning på ca 50 cm^2 [1]. Det er viktig å ta med i betraktningen innsatsen til brannvesenet for å forsvare barrierene. Dette fordi brannmotstanden til barrieren øker ved nedkjøling.

Basis for evaluering av barrierene er data innhentet ved befaring ved Fylkessykehuset i Haugesund. Videre henvises det til beskrivelse av bygningen (kapittel 5.1) for informasjon om materialer i barrieren og i rommene, samt vedlegg 5.5 for beregning av brannbelastning.

5.4.1. Pasientrom.

Med antakelser gjort over vil den aktuelle brannspredningen som analyseres, skje ved spredning gjennom en eller flere av de tre dørene som skiller pasientrommene i branncellen fra korridoren. Valget av spredningsvei baserer seg på at døren er den svakeste delen av barrieren som skiller et pasientrom fra korridoren. I tillegg vil brannspredning ut i korridoren være det verst tenkbart scenario, med tanke på at brannen kan smitte inn i andre omkringliggende rom og videre til andre etasjer. Døren har en åpning på 1.5 cm ved terskelen og bredden er 1 m. Arealet på åpningen er 150 cm^2 hvilket vil gi en punktsvikt i rommet bak barrieren. Øvrige deler av barrieren er utført i A60. Brannbelastningen i rommet er beregnet til



70 MJ/m² gulvareal (se vedlegg 5.2). Se modellering for ytterligere informasjon om materialer i barrierene og rommet.

Med basis i de to røykdykkerlagene som er tilgjengelig for å forsvare barrieren, og antall dører som skiller branncellen fra korridoren antas konservativt sannsynligheten for brannspredning gjennom barrieren til $\Pr(\bar{B}) = 0.10$.

5.4.2. Etasje.

Den aktuelle brannspredningen som analyseres, vil være spredning mellom etasjene via lukket trapperom. Barrieren som det er aktuelt se på er døren som skiller korridoren og trapperommet. Denne har brannmotstand A60. Brannbelastningen i korridoren er lav, ved befaringen ble det kun observert en matvogn samt noen stoler. Med bakgrunn i dette sammenstilt med tilgang på innsatspersonell, antas sannsynligheten for brannspredning gjennom barrieren til $\Pr(\bar{B}) = 0.00$.

5.5. Før etablert brann, steg A og B

Sannsynligheten for etablert brann er hentet i statistikk utarbeidet av DBE. Statistikken viser sannsynligheten for at brann skal oppstå i ulike typer virksomheter. De statistiske verdiene er uavhengig av om bygningen er bygget etter BF 87, eller eldre byggeforskrifter. Tallmaterialet som ligger til grunn for statistikken er hentet fra brannvesenets rapporter, og gir oversikt over etablerte branner.

$$\Pr(EB) = 0.0087 [13].$$

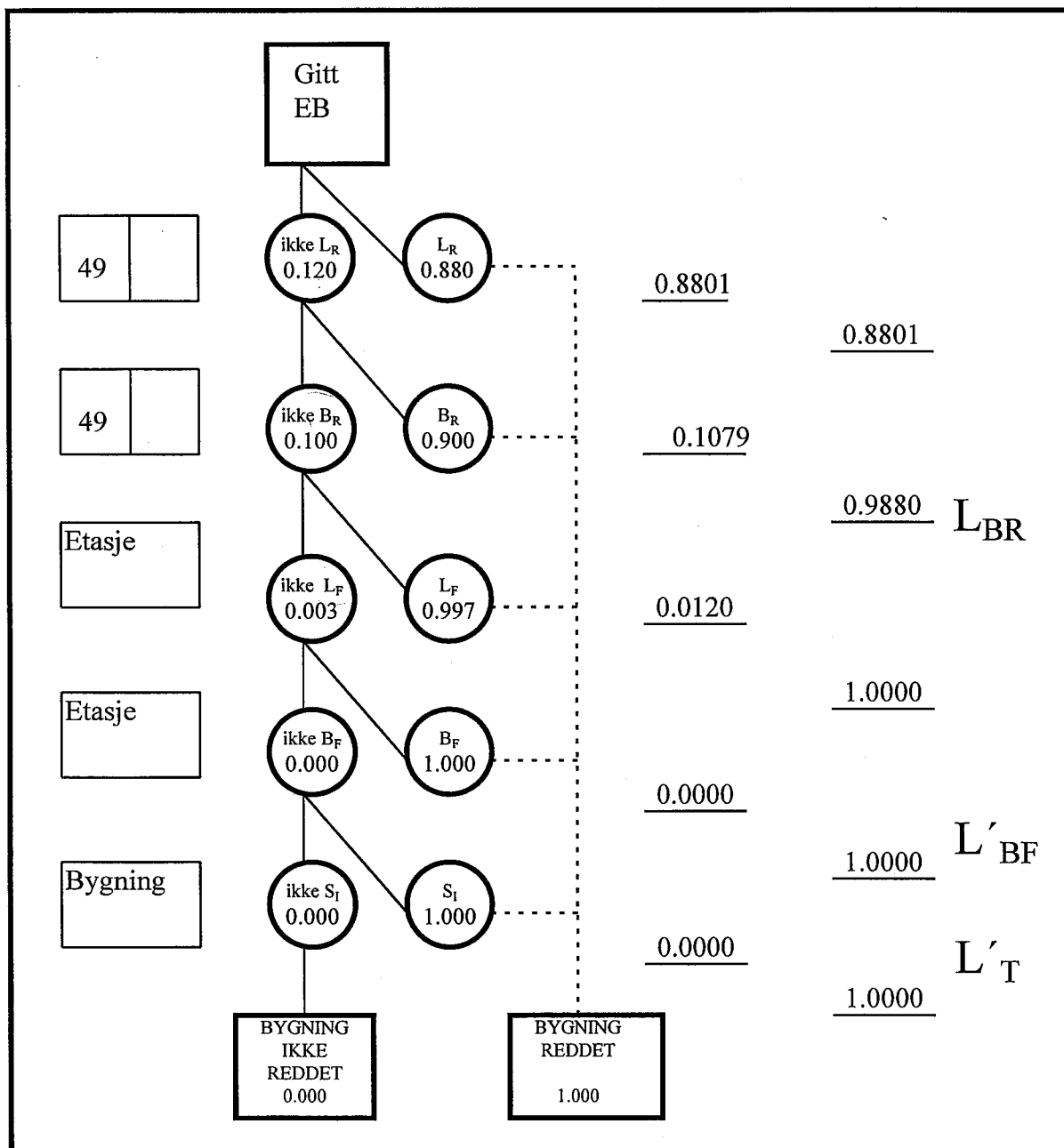
Denne verdien dekker både steg A og steg B og vil gi et godt estimat på sannsynligheten for at etablert brann skal oppstå. Det poengteres for det første at denne verdien bygger på brannstatistikk i den relativt korte perioden fra 1986 til 1994 og vil med dette være noe usikker. For det andre er statistikk grunnlaget hentet fra forskjellige kategorier helseinstitusjoner, dette for å oppnå et større statistisk grunnlag.

Merk at sannsynligheten for etablert brann bygger på statistikk fra flere ulike helseinstitusjoner. Den kan være noe lavere eller høyere avhengig av organiseringen av Fylkessykehuset.



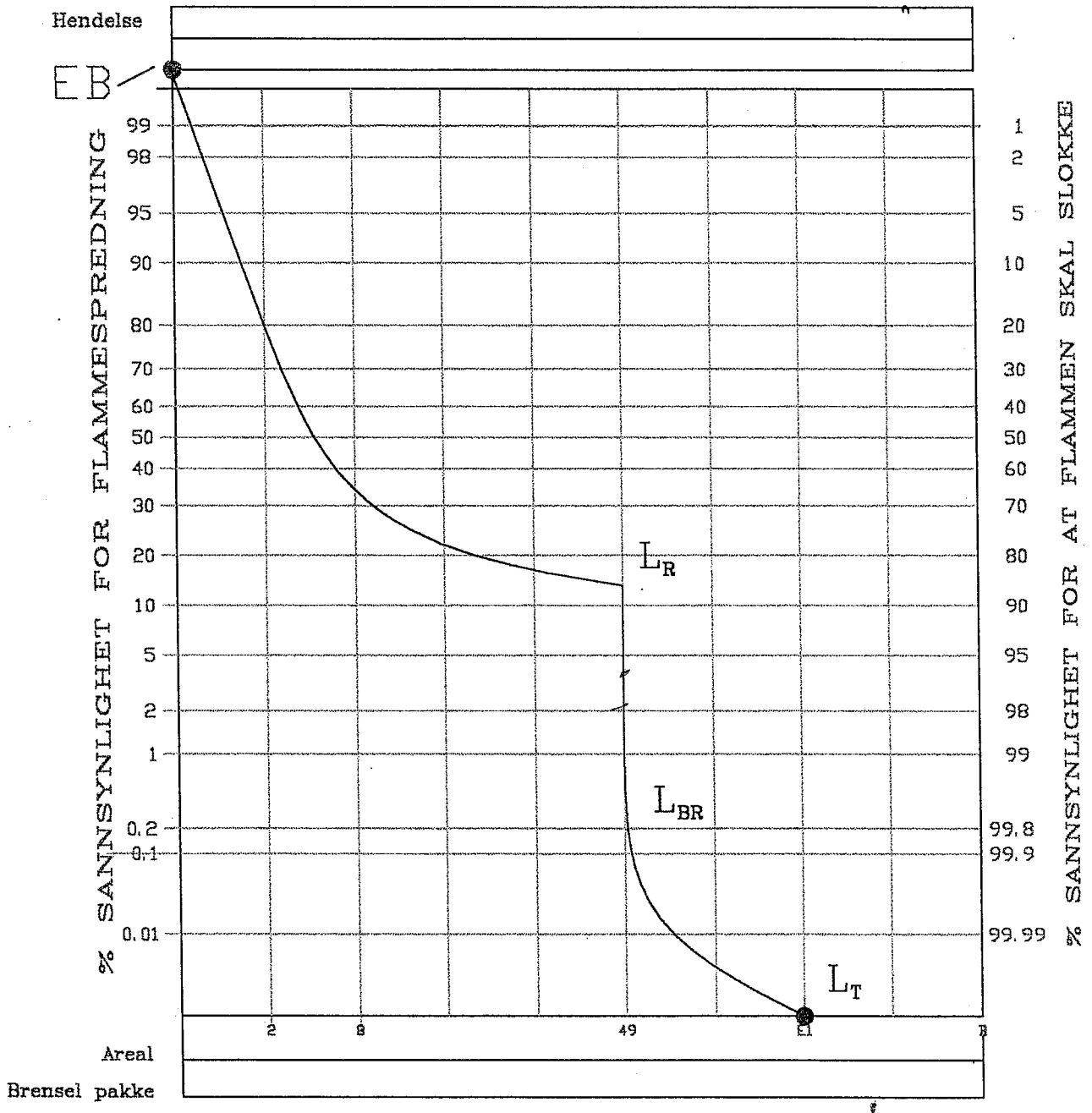
5.6. Boblediagram, praktisk sykehus

L-kurve Sykehus (praktisk pasient)





5.7. L- kurve praktisk sykehus



5.8. Evaluering av L- kurve, praktisk sykehus

Det er utarbeidet et L- kurve diagram med utgangspunkt i pasientrom (se kap. 5.7). Pasientrommet inneholder kun mobilt brensel. Konsentrasjon av brensel er lav. Det presiseres at konsentrasjonen av brensel kun er en faktor ved evaluering av sannsynligheten for at brannen skal slokke av seg selv på I- kurven. Programmet FASTLite tar ikke hensyn til konsentrasjonen til brenselet, men kun til brannbelastningen. Dette medfører at tid til overtenning kan være noe lavere i virkeligheten om konsentrasjon av brensel er stor, eller noe høyere i omvendt tilfelle.

Sannsynligheten for at brannen ikke skal sprer seg til hele pasientrommet er 88.0 %. Statistikk over branner i sykehus viser at sikkerhetsnivået ligger på 73.3 % [14]. Bakgrunnen for forskjellen i sikkerhetsnivåene kan være at statistikken er utarbeidet for branner i sykehus uavhengig av type rom og brannbelastning, mens analysen som er gjennomført gjelder for brann i pasientrom med relativt lav brannbelastning.

I analysen er det brukt en beregnet brannbelastning på 70 MJ/m^2 for pasientrommet. Erfaringsmessig kan brannbelastningen varierer mye innenfor sykehusets ulike bygningsdeler. Som tidligere nevnt (kap 3.8) kan brannbelastningen variere innenfor bygningen. Dette kan føre til store variasjoner i brannbelastningen og intensiteten til brannen. Høy brannbelastning øker sannsynligheten for svikt i barrieren. Sannsynligheten for at brann begrenses til pasientrom er 98.8 %. Dette nivået sammenfaller med statistikk på området, som også viser 98.8 % [14].

Sannsynligheten for at brannen begrenser seg til etasjen er 100.0 %. Denne sannsynligheten bygger gjennomsnittlig brannbelastning. Det er ikke tatt hensyn til at sykehuset lokalt kan ha høyere brannbelastning med følgende høyere belastning på bygningskonstruksjonen.

Analysen av brannvesenets innsats har basert seg på Haugesund brannvesen med kasernert vakt og relativ kort innsatstid. Det poengteres at dersom brannvesenet består av frivillige mannskaper, vil tiden før første slokkeinnsats kan iverksettes øke. Dette kan føre til at brannvesenet kommer frem til brannsted etter at overtenning er inntruffet.

Sannsynligheten for etablert brann (kap.5.5) baserer seg på statistikk over branntilløp ved Helse- og veterinærtjenester [13]. Denne verdien gir et bilde av sannsynligheten for at brann skal oppstå. Ved å multiplisere denne verdien med sannsynligheten for de ulike bygningsdelene kan sannsynligheten for den valgte bygningsdelen estimeres. Det vil med andre ord være $0.0087 \times (1-0.880) = 0.001 = 0.10 \%$ sannsynlighet for FRI i et pasientrom på Fylkessykehuset hvert år.

6. DISKUSJON

6.1. Generelt

I arbeidet med analyse av sykehus og forsamlingslokale, modellert etter minstekrav i BF 87, ble sikkerhetsnivået funnet å ligge innenfor akseptabel margin sammenlignet med brannstatistikk på området [14]. De presenterte sikkerhetsnivåene viser at analyse av preaksepterte løsninger utført etter BF 87, med L- kurve metoden gir et godt estimat på bygningenes totale sikkerhet. Mulige feilkilder som kan ha ført til variasjonene i sikkerhetsnivå er diskutert nedenfor.

I tilfeller hvor evalueringene baserer seg på mangelfulle data, for eksempel der hvor statistikken er for generell eller at forutsetningene er uklare eller fraviker fra rapportens forutsetninger, er det gjort ingeniørmessige vurderinger opp mot forutsetningene analysen bygger på. I de tilfeller hvor statistikken fremstiller klare verdier har dette vært et mindre problem. Ut fra det som er sagt i det foregående, er det søkt å gjøre kritiske ingeniørmessige vurderingene der hvor datagrunnlaget har vært mangelfullt. Dette er gjort for å ta høyde for og å begrense de uheldige konsekvensene som usikre data kan medføre.

En del av sannsynlighetene i analysen baserer seg på resultater fra simuleringer i FASTLite [10]. Her nevnes brannspredning og brannutvikling som to viktige parametere. Det knyttes en del usikkerhet rundt verdiene presentert fra simuleringen. De største usikkerhetsmomentene er knyttet til simuleringer av branner i store rom. En liten brann i et stort romvolum kan medføre at branngassene samles midt under taket. Tosone modellen sender branngassene opp under taket og antar at branngassene umiddelbart spres jevnt under hele taket. Dette medfører at brannsituasjonen som vises i modellen er mindre farlig enn hva som er tilfelle i virkeligheten. Verdiene presentert fra simuleringen er derfor forsøksvis benyttet kritisk, så langt dette har vært mulig.

Sikkerhetsnivået presentert som en L-kurve er et resultat av de verdiene som settes inn i analysen. I de tilfeller hvor analysen bygger på uriktige verdier vil sluttresultatet gi et galt bilde av bygningens sikkerhetsnivå. For å unngå dette vil det være fordelaktig om en felles akseptert norm for å tallfeste sannsynligheter hadde vært utarbeidet. For det første unngås det at økonomisk motiver får innvirkning på evalueringen av sannsynligheten. For det andre kan direkte feilaktige analyser av bygninger unngås. For det tredje vil det bli lettere å kontrollere validiteten til analysen. Så lenge en slik norm ikke er etablert bør det stilles krav om dokumentasjon av inngangsparametere som er benyttet i analysen.

Det poengteres at de presenterte L- kurvene er et resultat som gjelder for de valgte bygningskategorier som ble analysert. I analyse av bygninger i samme kategori, men med en annen Bygningsbrannklasse, for eksempel et sykehus i Bygningsbrannklasse 2, må analysen utføres på ny. Med andre ord kan ikke L- kurvene overføres til andre bygninger med forskjellig Bygningsbrannklasse.

6.2. Diskusjon I- kurve

Estimeringen av sannsynligheter på I- kurven baserer seg i hovedsak på ingeniørmessige vurderinger av resultater framkommet ved simuleringer i FASTLite. Det er viktig å kjenne til konsentrasjonen av brenselet i tillegg til brannbelastningen for å kunne anta fullgode sannsynligheter. Høyere brensel konsentrasjon øker sannsynligheten for flammespredning i inventaret, med dertil lavere sannsynlighet for at brannen skal slokke av seg selv. I tillegg vil det være naturlig å anta et raskere brannforløp. Med bakgrunn i usikkerheten rundt simuleringprogrammet har det vært gjort et forsøk på å være kritisk til de presenterte resultatene.

6.3. Diskusjon M- kurve

For å evaluere sannsynligheter på M- kurven er det innhentet data fra eksperter og i fra litteraturen. Ved konklusjoner trukket på bakgrunn av ekspertuttalelser kan disse ha vært gjenstand for konservative tolkninger. Ved uttalelser fra brannvesenet er disse konservative tolkningene gjort med hensikt, for å ta høyde for eventuelle subjektive oppfatninger hos brannvesenet. Dette kan føre til at det totale sikkerhetsnivået ligger noe lavere, sammenlignet med hva det faktisk kan være i virkeligheten. Det poengteres at samarbeidet med det stedlige brannvesenet er viktig for å tallfeste verdiene på M- kurven.

I analysen er evalueringen knyttet til kasernert brannvesen. Det er antatt at brannvesenets personell og utstyr er oppsatt og funksjonerer i henhold til lover og forskrifter. De kasernerte brannvesenets operative tilstand antas likevel å kunne variere noe sett på landsbasis. For å ta høyde for disse variasjonene er verdiene i analysen vurdert konservativ. Det poengteres at analyse av kommuner med deltidsbrannvesen vil verdiene på M-kurven være generelt lavere. Dette skyldes i hovedsak lengre innsatstid og mindre operativ trening og erfaring. Dersom innsatstiden til brannvesenet overstiger 10 minutter kan kommunestyret vurdere å gi pålegg om ytterligere sikringstiltak med hjemmel i brannvernloven § 25.

Ved evaluering av handlingsmønsteret i krisesituasjoner, er det hentet data fra utenlandske forhold i mangel av statistisk materiale utarbeidet i Norge. Handlingsmønsteret i Norge vil nødvendigvis ikke være likt sammenlignet med andre land. Handlingsmønsteret vil være betinget av kulturen og miljøet i de respektive landene. Som eksempel kan det nevnes at statistikk fra England og USA over handlingsmønster ved brann, viser hele 13.8 % forskjell i antall personer som startet slokningsinnsats [5].

6.4. Diskusjon Barriere- kurven

Det finnes i hovedsak to metoder for å analysere barrierene. For det første er det mulig å innhente data om barrierene og brannbelastningen i bygningen som analyseres, samt brannvesenets muligheter for å beskytte barrieren. Deretter utføres en analytisk vurdering av brannmotstanden til barrieren. Denne metoden er mest hensiktsmessig ved dokumentasjon av faktiske bygninger. For det andre er det mulig å benytte FIREPRO Institute sin mal, hvor man finner branntiden i Test Tid og sammenstiller dette med karakteristiske kurver for barrierene. Det poengteres at dersom metoden fra FIREPRO Institute benyttes, forutsettes det at

barrierene er forskriftsmessig oppført og at det ikke er oppstått noen svekkelse i barrieren som kan redusere dennes brannmotstand. Med andre ord er denne metoden mest hensiktsmessig i en prosjekteringsfase.

Verdiene på brannbelastningene kan variere lokalt innenfor bygningen som analyseres. Dette vil influere lokalt på brannens intensitet og varighet som er de to viktigste parameterne for motstandsevnen til barrieren. Med bakgrunn i dette vil en brann som starter i et rom med høy brannbelastning utøve en barrierene enn et rom med lav brannbelastning, og sannsynligheten for brannspredning vil på bakgrunn av dette øke. Det er viktig å påpeke at brannbelastningen måles opp mot brannmotstanden til barrieren.

6.5. Sammenligning generisk sykehus med praktisk

L- kurve analysen på praktisk sykehus og generisk sykehus viser et avvik på 13 % i sikkerhet mellom rommene hvor brannen starter. Etter den første barrieren er avviket i sikkerhet nede i 1 %. Forskjellen mellom de to bygningene skyldes i stor grad brannbelastningen, da romgeometrien er forutsatt å være lik. Forskjellen på brannbelastning i de to rommene medfører at sannsynlighet for brannspredningen er forskjellig (I- kurve), belastningen på barrierene er forskjellig (barriere kurven) og brannvesenets forutsetninger er forskjellige.

Ved å beregne eller å anta en statistisk gjennomsnittlig brannbelastning i analysen oppnås det et bedre bilde på bygningens sikkerhet. Dette fordi analysen bør bygge på en dimensjonerende brann som gjenspeiler hele bygningens brannbelastning. Ved å beregne brannbelastningen i rommet hvor brannen starter oppnås et bilde på bygningens totale sikkerhet ved startbrann i dette rommet. Med andre ord er det sikkerhetsnivået som ble avdekket i den praktiske analysen ikke et bilde av bygningens totale sikkerhet, men sikkerhetsnivået ved startbrann i et pasientrom.

Det poengteres at det ble avdekket relativt små forskjeller i sikkerhetsnivået ved analysen av rommet bak barrieren, uavhengig av beregnet eller statistisk gjennomsnittlig brannbelastning.

6.5.1. Diskusjon steg A og B

Metoden for å tallfeste sannsynligheten for etablert brann i analysen kan gi et godt estimat for generiske bygninger. Ved analyse av praktiske bygninger er det viktig å vurdere de organisatoriske forholdene ved institusjonen for å ta hensyn til spesielle lokale forhold. Denne analyse er ikke utført på Fylkessykehuset på grunn av at hensikten med analysen var å sammenligne L- kurvene for generisk og praktisk sykehus.

7. KONKLUSJON

- L- kurvene som er utarbeidet gir et godt bilde på de modellerte bygningenes sikkerhet, sammenlignet med brannstatistikk på området.
- En L- kurve kan ikke direkte overføres til samme bygningskategori med forskjellig Bygningsbrannklasse.
- Det er viktig å påpeke at verdien av informasjonen innhentet fra det stedlige brannvesenet er av stor betydning ved tallfesting av sannsynligheter på M- kurven.
- Gjennomsnittlig brannbelastning må brukes på store komplekse bygninger hvor brannbelastningen kan variere mye for å få et bilde på bygningens totale sikkerhet.
- Det er nødvendig å utføre kvalifiserte ingeniørmessige vurderinger i de tilfeller hvor informasjonsgrunnlaget er mangelfullt.
- Det er behov for videreutvikling av simuleringsprogrammene.
- Det bør utvikles en felles akseptert norm for fastsetting av sannsynligheter.
- Ved å benytte L- kurve metoden ovenfor myndigheter bør det stilles krav til god dokumentasjon av inngangsparametere i analysen.
- Ved konstruksjon av en L- kurve er det viktig å registrere hvor en startbrann har størst sannsynlighet for å oppstå, samt hvor den kan føre til størst skade.

REFERANSER

- [1] The Measurement of Building Firesafety, Workbook Version 2.6, FIREPRO@Institute.Ltd., 1996
- [2] Drysdale, D: An Introduction to Fire Dynamics, John Wiley and Sons Ltd 1985
- [3] National Institute of Standards and Technology, hjemmeside på internett
<http://flame.cfr.nist.gov/fire/fires/fires.html>
- [4] Moore W D: Balanced design concepts workshop editor Bukowski RW, NISTIR 5264, Gaitersburg, Maryland, USA, September 1993
- [5] Arthur, E.: Fire protection Handbook , Seventh Edition, NFPA 1992
- [6] Dyregrov Atle: Katastrofepsykologi, Ad Notam Gyldendal 1993
- [7] Veiledning til Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesenet, Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern
- [8] Schmidt Pedersen Kjell: Data om brannvesenets innsats fra analyse av inntrufne branner, SINTEF STF25 A88047
- [9] Liebe, G.:Brannfysikk, Norsk Brannvern Forening 1995
- [10] R. Portier, R. Peacock, P.Reneke: FASTLite: Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Smoke Transport, Special Publication 899, NIST 1996.
- [11] NKB, Nordiska kommitén för byggbestämmelser, 1994:07
- [12] Håndbok i kartlegging av brannrisiko i kommunene, Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern.
- [13] Detaljert tabell fra [12], Anders Arnhus , Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern.
- [14] Brandskyddslaget og LTH-Brandteknikk: Brand skydd, 1994
- [15] BS-100 FIRE ALARM SYSTEM, Reability Analysis, Autronica, Utført av Dovre Safetec Juli 1996
- [16] Brev fra Telenors Databank
- [17] Veiledning til Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesenet, Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern.
- [18] Vidar Stenstad: Rapport om evaluering av L-kurve metoden, NBI, 1997
- [19] Karlsson Magnusson och Frantzich: Dimensionering utifrån funktionsbaserade regler, Rapport 3075, LTH 1996

- [A] Skarsgård, Per Øyvind, Brannmester Brigade D, Haugesund Brannvesen
- [B] Frank Fluvåg, Teknisk sjef Fylkessykehuset i Haugesund



DEFINISJONER OG BEGREPER

Adresserbart alarmanlegg

Automatisk brannalarmanlegg med branndetektorer, hvor sentralen kan angi fra hvilken detektor alarmen er gitt.

Antennelsestemperatur

Den laveste temperaturen som et materiale kan antennes ved, og oppnå vedvarende forbrenning.

Alarm

Et signal som informerer om hendelser eller tilstandsendringer, for eksempel brann som krever øyeblikkelig handling.

Barriere

En barriere er en kontinuerlig flate som omslutter et rom. Alle skillekonstruksjoner som kan hindre eller forsinke brannspredning til nærliggende rom inngår i en barriere. Dette betyr at en vegg er (del av) en barriere selv om den ikke er brannklassifisert.

Brann som involverer hele rommet (FRI)

Brann som involverer hele rommet (FRI - Full Room Involvement) er definert som det øyeblikket alle brennbare materialer/flater i rommet deltar i brannen (produserer brennbare gasser). FRI kan inntreffe som resultat av overtenning eller flammespredning uten overtenning.

Brannalarmanlegg

Anlegg for deteksjon og for alarm av brann bestående av brannalarmsentral, branndetektorer, brannmeldere, alarmgivere, orienteringstablå, ledningsopplegg og kraftforsyning.

Brannbelastning

Den varmemengde som frigjøres ved en forbrenning av brennbart materiale, både det som inngår i bygningens deler, fast innredning og det som oppbevares i bygningen.

Branncelle

Avgrenset del av en bygning hvor en brann fritt kan utvikle seg uten å spre seg til andre deler av bygningen i løpet av en fastsatt tid.

Branndetektorer

Felles betegnelse på forskjellige detektorer som benyttes for automatisk oppdaging av brann.

Brannmeldere

Trykknapp som ved manuell betjening utløser alarmen.

Brannmotstand

Den tid angitt i minutter som en bygningsdel motstår opphetning med bibehold av de branntekniske egenskaper som kreves av den.

Brannscenario

Et brannscenario er en beskrivelse av hvor en brann starter, hvilken type brann det er og forhold som har betydning for brannforløpet (f eks brannsikkerhetstiltak, antall personer i bygningen, tid på døgnet etc).

Brannsikkerhet

Brannsikkerheten er et uttrykk for i hvilken grad man unngår skader på mennesker, miljø og materielle skader på grunn av brann.

Branntid

Den tid i minutter en brann vil kunne påvirke bygningens forskjellige konstruksjoner.

Brannvegg

Stabil vegg minst A120 på fundament med minst samme brannmotstand. Ved spesifikk brannbelastning over 400 MJ/m^2 kreve høyere brannmotstand, slik at veggene bibeholder de egenskaper som kreves av den under brann.

Brennbart materiale

Materiale som ved prøving ikke fyller kravene til ubrennbart materiale.

Detektor

Teknisk installasjon som har til hensikt å oppdage brann eller branntilløp.

Etablert brann (EB)

Tre forutsetninger kreves oppfylt for at en etablert brann (EB) skal ha oppstått:

1. Strålingsenergien kontrollerer forbrenningen, det vil si at tilbakestrålingen til brenseloverflaten er tilstrekkelig til at det kontinuerlig avgis brennbare gasser (og brannen dermed vedlikeholder seg selv). Dette skjer vanligvis ved en flammehøyde på ca. 25 cm. Hvis EB har inntruffet vil brannen ikke slokke av seg selv uten at tilgangen på brennbart materiale opphører eller oksygeninnholdet i lufta blir så lavt at for brenning er umulig.
2. Tilstedeværende personer (som forutsettes å ikke være spesielt trent for brannsløkking), har ikke klart å slokke brannen.
3. Brannen er utenfor kontroll av eventuelle spesielle/lokale slokkesystemer som CO_2 -anlegg eller annen punktsikring/objektsikring.

Fjernalarm

Alarmsignal overføres til et sted utenfor det området som er overvåket, for eksempel til brannvesenet eller annet hjelpepersonell.

Innsatstid

Den tid det tar fra brannvesenet mottar melding om brann til brannmannskapene er på plassen, klare til å slokke.

*Overtenning*

Rask overgang under brann, til en tilstand der alle overflater på brennbare materialer i et rom deltar i brannen. Kritiske verdier er 20 kW/m^2 strålevarme ved gulv, og/eller temperatur ca $600 \text{ }^\circ\text{C}$ i røyklaget.

Pyrolyse

Pyrolyse er en prosess hvor organiske materialer blir dekomponert termisk. Prosessen er en irreversibel kjemisk spalting av et materiale under påvirkning av varme.

Påføringsrate

Mengde slokkemiddel påført brannen pr. tidsenhet.

Pålitelighet

Et systems pålitelighet angir et systems kvaliteter med hensyn på evnen til å fungere problemfritt under definerte ytre miljø- og driftsbetingelser. Påliteligheten avhenger både av det tekniske systemets egenskaper og vedlikeholdets effektivitet og kvalitet.

Sikkerhet

Sikkerhet uttrykker i hvilken grad man unngår skader på mennesker, miljø og materielle verdier på grunn av ulykker, uhell og kriminelle handlinger.

Slokkekriterier

Beskrivelse av nødvendige fysiske tilstander eller vilkår, for at en brann skal kunne slokke.

Spesifikk brannbelastning

Brannbelastning i en branncelle eller bygning fordelt på arealet av omgivende (begrensende) bygningsdeler.

Standard brann, ISO brann

Brannutvikling som følger en temperatur/tid kurve i henhold til internasjonal standard (NS 3478, ISO 834).

Stråleflux

Stråleflux er en prosess der varmeoverføringen skjer ved hjelp av elektromagnetiske bølger.

Tilgjengelighet

Tilgjengeligheten beskriver sannsynligheten for at en komponent, et system eller et anlegg er funksjonsdyktig ved tiden t , og defineres vanligvis som forholdet mellom den tid komponenten, systemet eller anlegget er i stand til å operere 100% funksjonsdyktig.

Underventilert brann

Brukt om brannutvikling der lufttilførselen er mindre enn brannens behov.

Varsling

Et signal som informerer om hendelser eller tilstandsendringer, hvor øyeblikkelig handling ikke er påkrevet. (Signalet f eks varsel om feil, varslingssignal, har lavere prioritet enn alarmsignal).

VEDLEGG

Vedlegg 2: Vedlegg for: kap 2

Vedlegg 3: Vedlegg for: kap 3

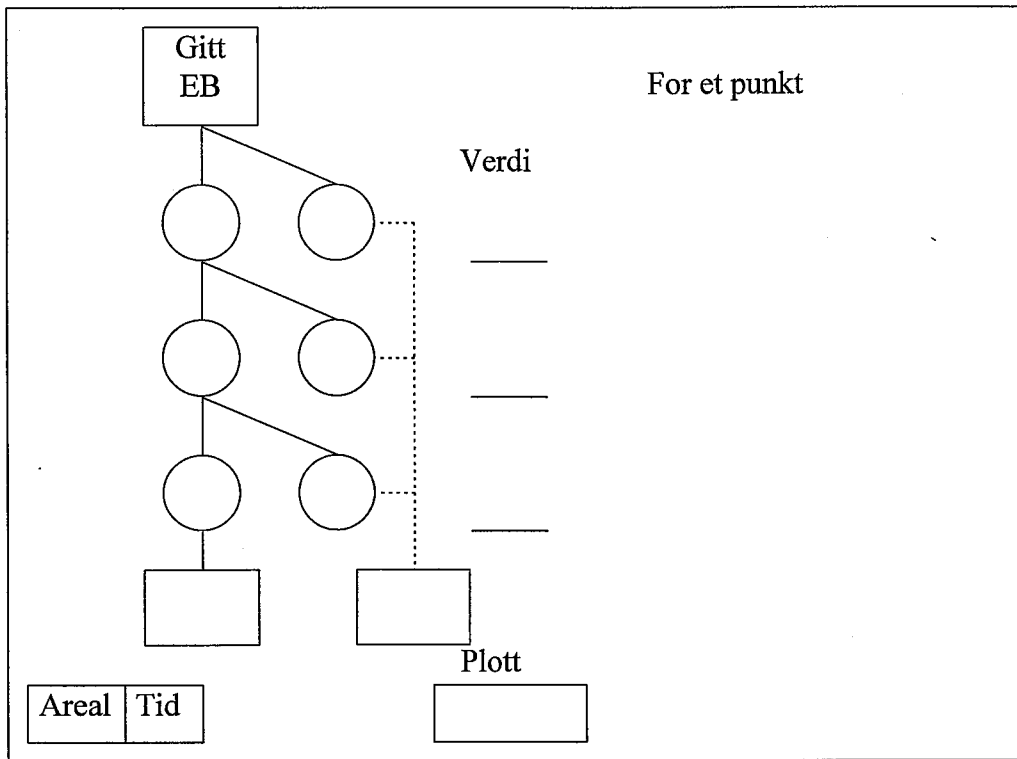
Vedlegg 4: Vedlegg for: kap 4

Vedlegg 5: Vedlegg for: kap 5

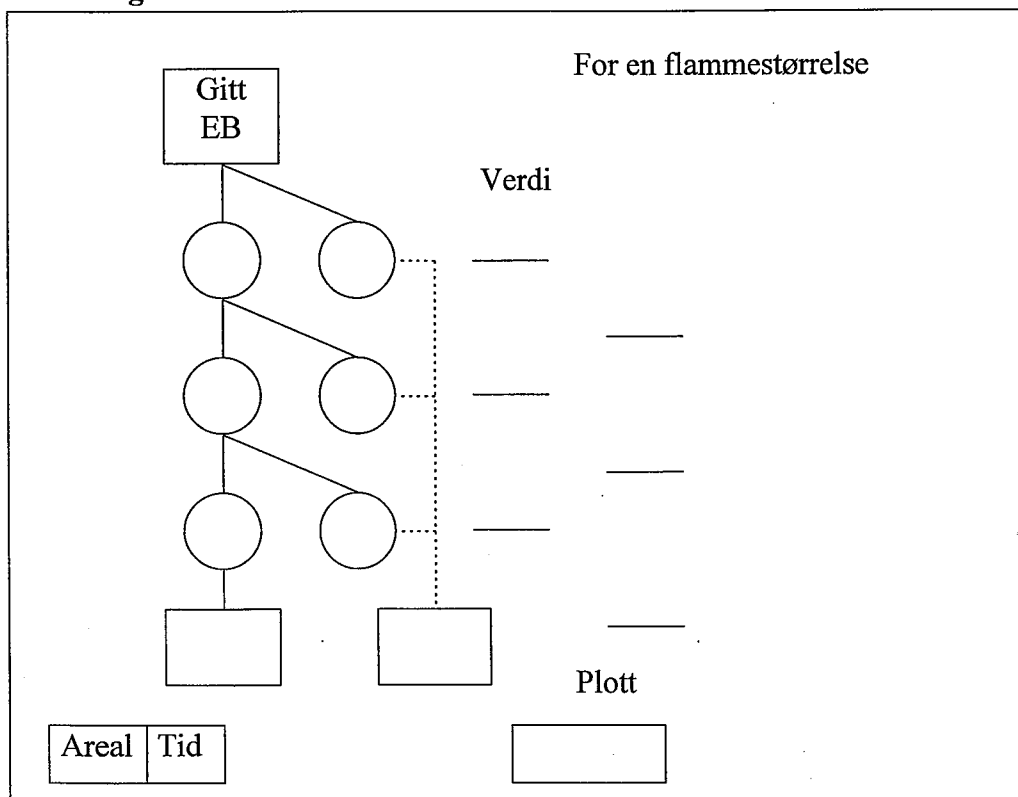
Vedlegg 6: Diskett med boblediagram for kap 3-5

VEDLEGG 2.1

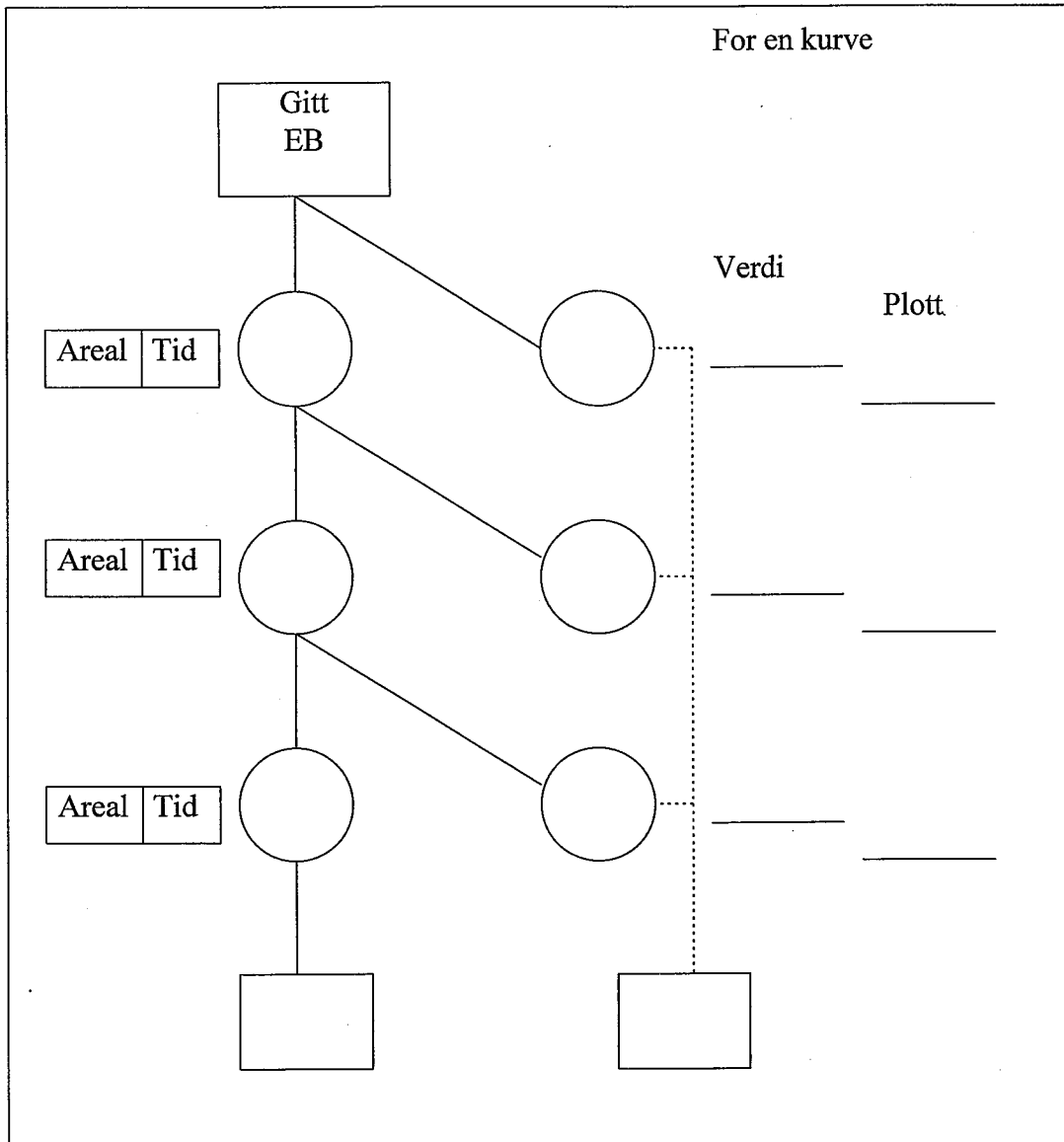
Boblediagram Punkt



Boblediagram Flammestørrelse

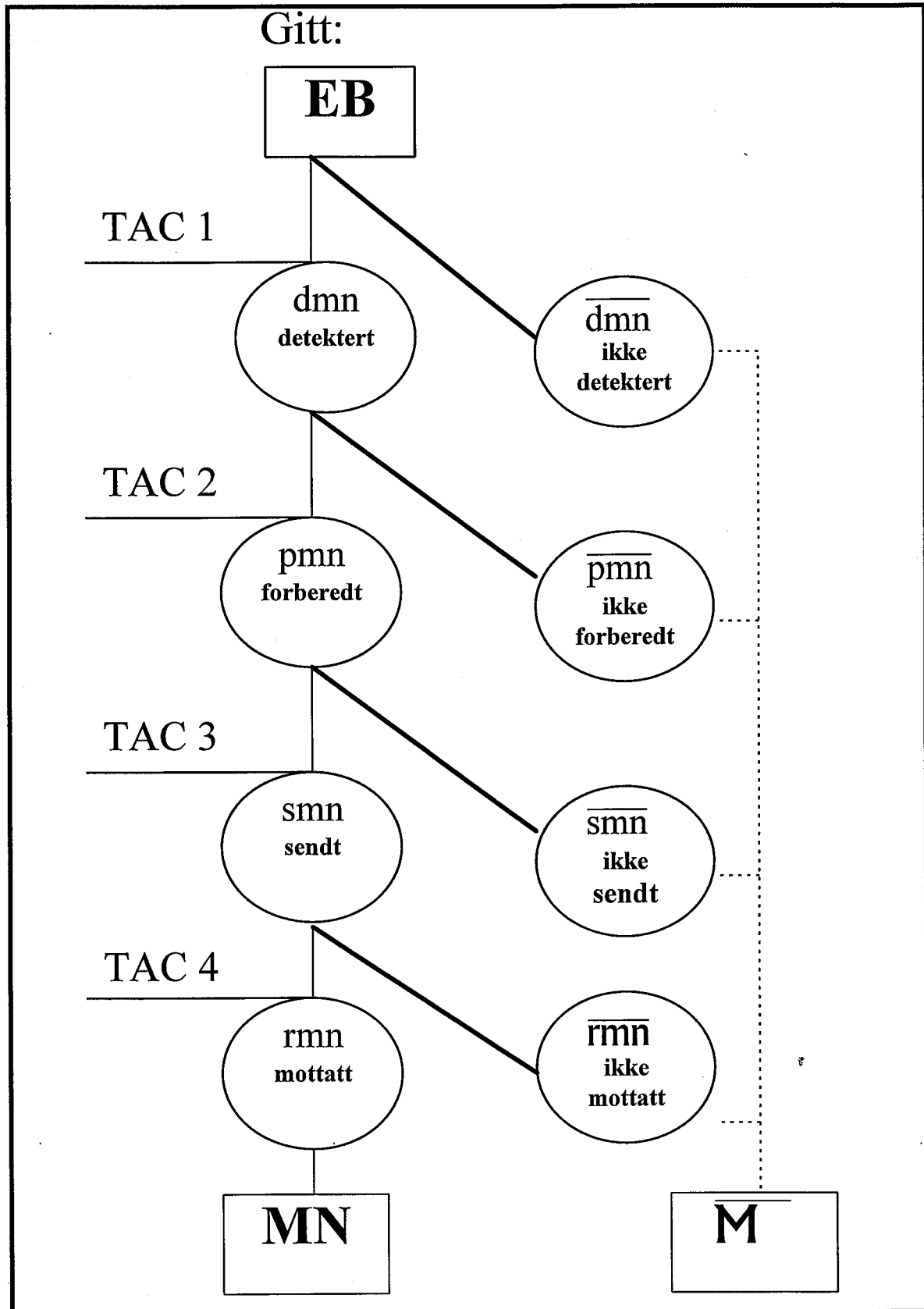


Boblediagram Kurve

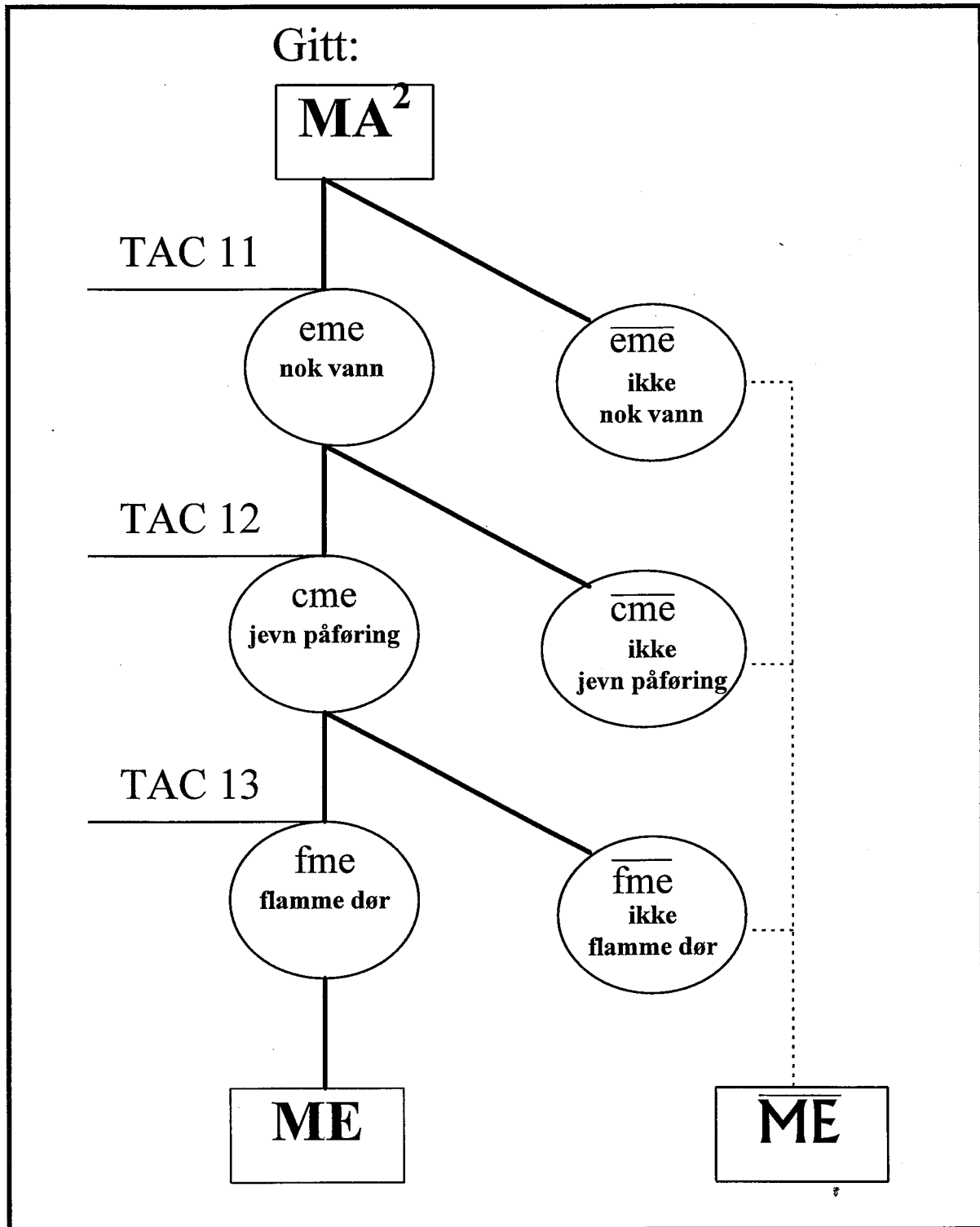


VEDLEGG 2.2

TIC A : OPPDAGELSE KOMPONENTEN

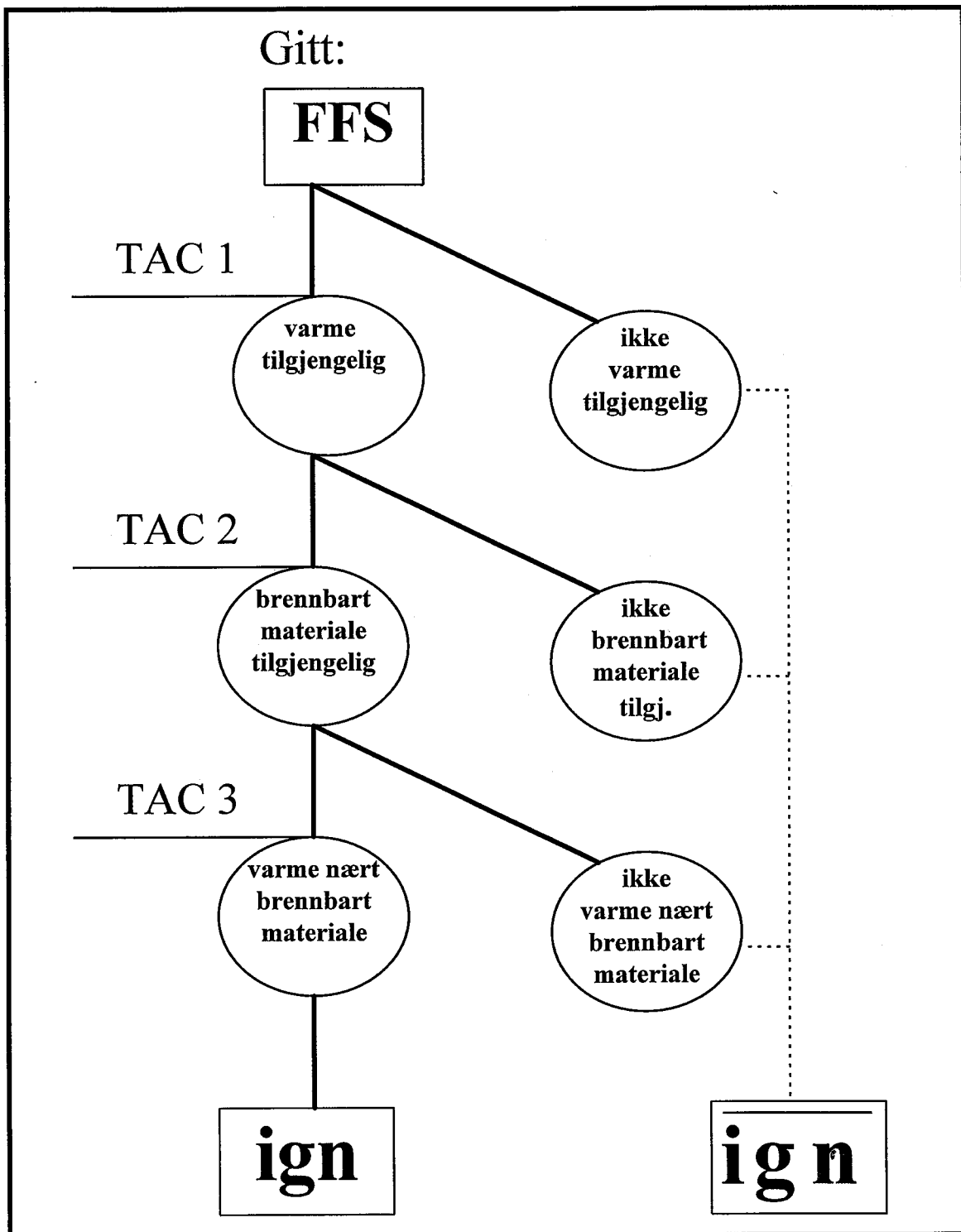


TAC D : BRANNSLOKNINGSKOMponentEN

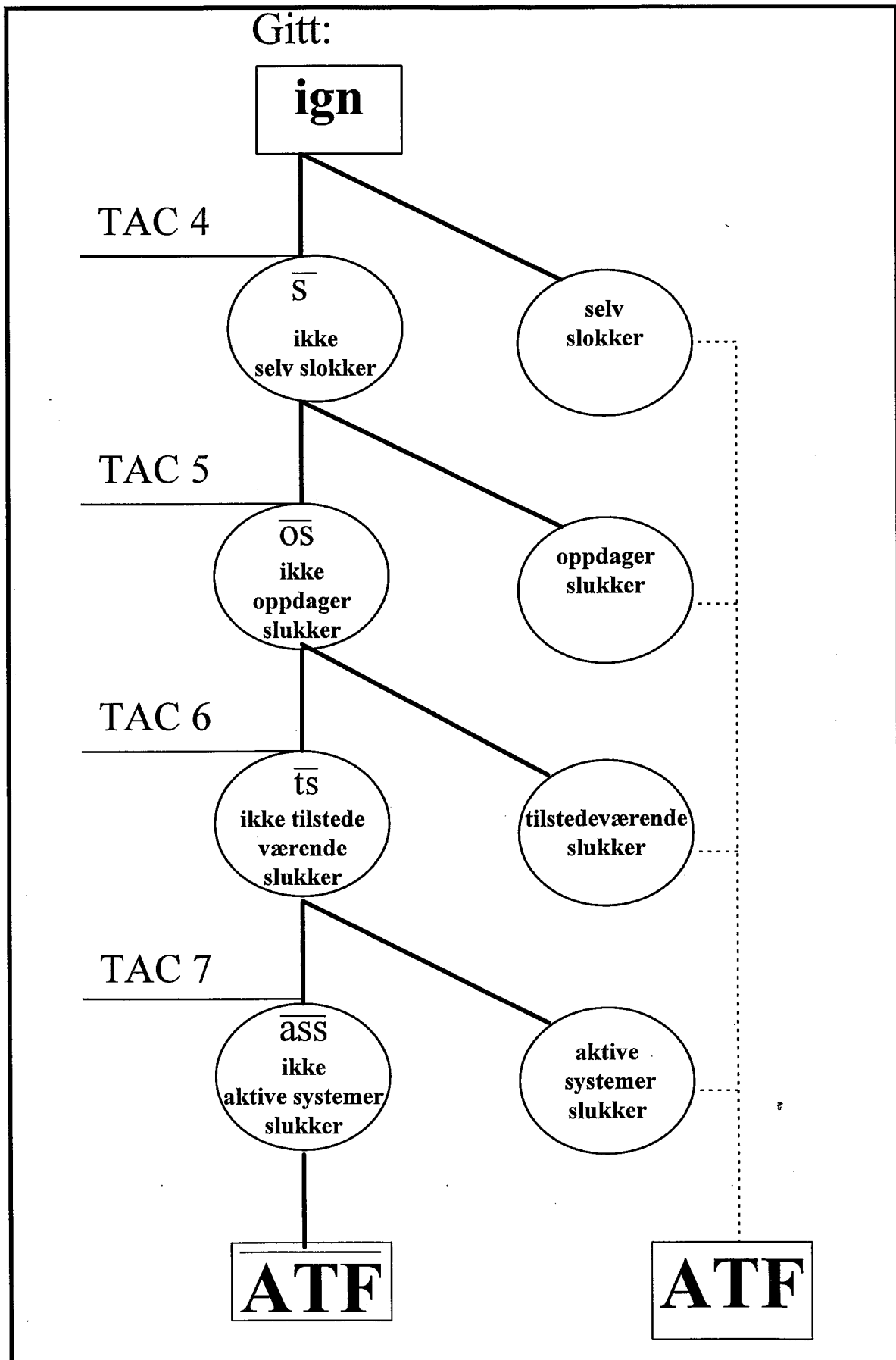


VEDLEGG 2.3

Før etablert brann Steg A

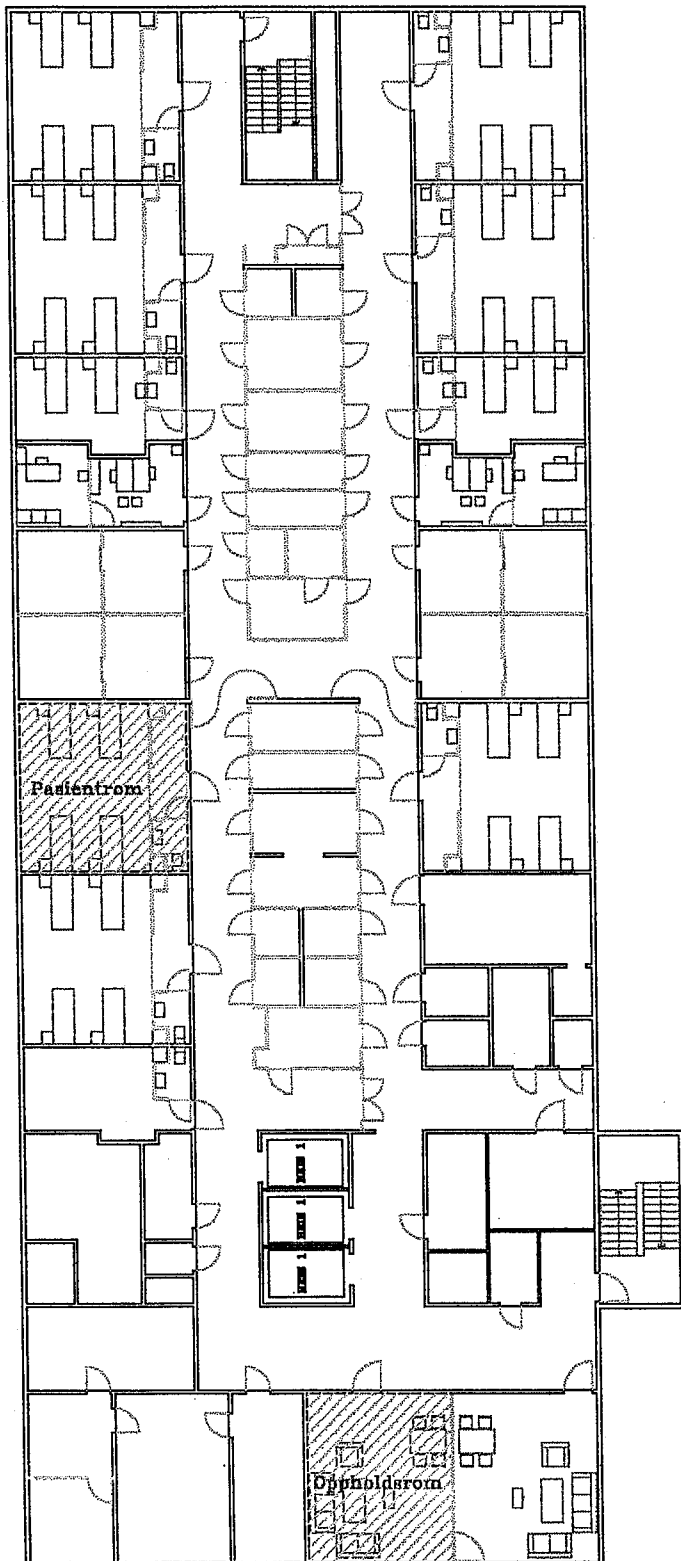


Før etablert brann Steg B



VEDLEGG 3.1.

Tegning, generisk sykehus



Generisk sykehus
ETASJE 3

VEDLEGG 3.2

Beregninger for simulering i FASTlite:

Oppholdsrom (1) og Pasientrom (2)

Inngangsdata:

$$A_1 = 42 \text{ m}^2, A_2 = 49 \text{ m}^2,$$

Felles:

$$h = 3.0 \text{ m}, \alpha = 50 \text{ W/s}^2 \text{ (for kategori 1 og bygningskategori B, [11])},$$

Brannbelastning, $q_d = 230 \text{ MJ/m}^2$ (gulvareal) (Europeiske sykehus, [11])
(se kap.3.2) og $\tau = 200 \text{ s}$ (tabell 3.11.4, [11])

For å finne **maksimal forbrenningseffekt** brukes den forenklete formelen:

$$q_{\max} = 300 \times h \times \sqrt{A} \text{ [kW]}$$

Dette gir:

$$q_{\max 1} = 300 \times 3.0 \times \sqrt{42} = \underline{5832 \text{ MW}} \quad (1)$$

$$q_{\max 2} = 300 \times 3.0 \times \sqrt{49} = \underline{6300 \text{ MW}} \quad (2)$$

For å finne hvilken tid maksimal forbrenningseffekt inntreffer brukes formelen:

$$q(t)_d = \alpha \times t^2 \text{ [W]}$$

Dette gir:

$$t_1 = \sqrt{\frac{5832 \text{ kW}}{0.05 \text{ kW/s}^2}} = \underline{342 \text{ s}} \quad (3)$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{6300 \text{ kW}}{0.05 \text{ kW/s}^2}} = \underline{355 \text{ s}} \quad (4)$$

Total branntid beregnes utfra:

$$t_c = \frac{\chi \times q_d \times A}{q_{\max}} + \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{q_{\max}}{\alpha}} + \frac{\tau}{2}$$

Dette gir:

$$t_{c1} = \frac{1.0 \times 230 \text{ MJ/m}^2 \times 42 \text{ m}^2}{5832 \text{ MW}} + \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{5832 \text{ kW}}{0.05 \text{ kW/s}^2}} + \frac{200}{2} = \underline{1984 \text{ s}} \quad (5)$$

$$t_{c2} = \frac{1.0 \times 230 \text{ MJ/m}^2 \times 49 \text{ m}^2}{6.300 \text{ MW}} + \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{6300 \text{ kW}}{0.05 \text{ kW/s}^2}} + \frac{200}{2} = \underline{2126 \text{ s}} \quad (6)$$

Disse tallene settes inn i FASTlite for å simulere brannforløpet. Resultatet presenteres i Vedlegg 3.4, diagram 1 a, 1 b, 1 c og 1 d for oppholdsrom og 3 a, 3 b, 3 c og 3 d for pasientrom.

VEDLEGG 3.3

Brukte formler og beregningsmetoder for flammehøyde og stråling:

- Formel for flammehøyde $l = 0.23 \times (Q_c)^{2/5} - 1.02 \times D$ [m] (Heskestad, fra [2]) (1a)
Hvor Q_c er branneffekt i kW og D er diameter til brannen i meter.

$$\text{Formel for å beregne } Q_c: Q_c = \left(\frac{l + 1.02 \times D}{0.23} \right)^{5/2} \quad (1b)$$

- Formel for beregning av diameter: $D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}$, A = areal til

brennende objekt. (2)

- Q_c er beregnet ved hjelp av FASTlite og håndberegning
- Formler for å finne stråling fra brennende til ikke brennende objekt:
 - Lettantennelige brensel (gardiner, draperier, etc):

$$\dot{Q}_c = 30 \cdot 10^{\left(\frac{\text{Distanse} + 0.08}{0.89} \right)} \quad (\text{Babrauskas, V 1982 fra [20]}) \quad (3a)$$

$$\text{Distanse} = \left(\frac{\ln \frac{\dot{Q}_c}{30}}{\ln 10} \right) \times 0.89 - 0.08 \quad (3b)$$

- Normal motstand mot antennelse (møbler med stor masse men lav termisk treghet ($k\rho c_p$)):

$$\dot{Q}_c = 30 \cdot \left(\frac{\text{Distanse} + 0.05}{0.019} \right) \quad (\text{Babrauskas, V 1982 fra [10]}) \quad (4a)$$

$$\text{Distanse} = \frac{\dot{Q}_c \times 0.019}{30} - 0.05 \quad (4b)$$

- Stor motstand mot antennelse (hærdeplaster, tykke materialer, etc):

$$\dot{Q}_c = 30 \cdot \left(\frac{\text{Distanse} + 0.02}{0.0092} \right) \quad (\text{Babrauskas, V 1982 fra [10]}) \quad (5a)$$

$$\text{Distanse} = \frac{\dot{Q}_c \times 0.0092}{30} - 0.02 \quad (5b)$$

Beregninger for I-kurve sykehus:

1.5 meter flammehøyde, oppholdsrom:

Beregning 1:

Areal av sofa = 2m^2

$$D = \sqrt{\frac{A*4}{\pi}} = \sqrt{\frac{2 \times 4}{\pi}} = 1.6m \text{ (formel 2)}$$

$$Q_c = \left(\frac{l + 1.02 \times D}{0.23} \right)^{5/2} = \left(\frac{1.5 + 1.02 \times 1.6}{0.23} \right)^{5/2} = \underline{0.7 MW} \text{ (formel 1b)}$$

1.5 meter flammehøyde, pasientrom:

Beregning 2:

Areal seng = 2m², Q_c=800 kW (diagram 1 a)

$$l = 0.23 \times (Q_c)^{2/5} - 1.02 \times D = 0.23 \times (800)^{2/5} - 1.02 \times 1.6 = \underline{1.7m} \text{ (formel 1a)}$$

Takhøyde, oppholdsrom:

Beregning 3:

Q_c=800 kW (diagram 1 a), normal antenneleg

$$\text{Distanse} = \frac{\dot{Q}_c \times 0.019}{30} - 0.05 = \frac{3000 \times 0.019}{30} - 0.05 = \underline{1.85m} \text{ (formel 4b)}$$

Takhøyde, pasientrom:

Beregning 4:

Distanse = 0.5 m, lettantenneleg

$$\dot{Q}_c = 30 * 10^{\left(\frac{\text{Distanse} + 0.08}{0.89} \right)} = 30 * 10^{\left(\frac{0.5 + 0.08}{0.89} \right)} = \underline{134kW} \text{ (formel 3a)}$$

Beregning 5:

Distanse = 0.1 m, normal antenneleg

$$\dot{Q}_c = 30 * \left(\frac{\text{Distanse} + 0.05}{0.019} \right) = 30 * \left(\frac{0.1 + 0.05}{0.019} \right) = \underline{237kW} \text{ (formel 4a)}$$

Beregning 6:

Q_c=3000 kW, D = 1.6 m (se over)

$$l = 0.23 \times (Q_c)^{2/5} - 1.02 \times D = 0.23 \times (3000)^{2/5} - 1.02 \times 1.6 = \underline{4.0m} \text{ (formel 1a)}$$

Beregning 7:

Distanse = 2.5 m, normal antenneleg

$$\dot{Q}_c = 30 * \left(\frac{\text{Distanse} + 0.05}{0.019} \right) = 30 * \left(\frac{2.5 + 0.05}{0.019} \right) = \underline{4.0 MW} \text{ (formel 4a)}$$

VEDLEGG 3.4

Simuleringer

Diagram 1a

Brannutvikling i oppholdsrom

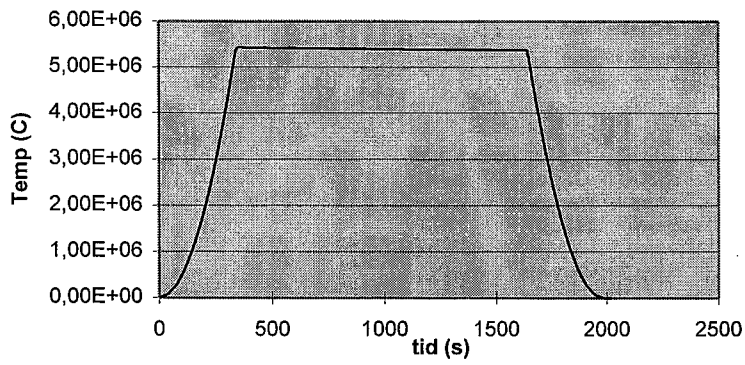


Diagram 1b

Temperatur øvrerøyklag oppholdsrom

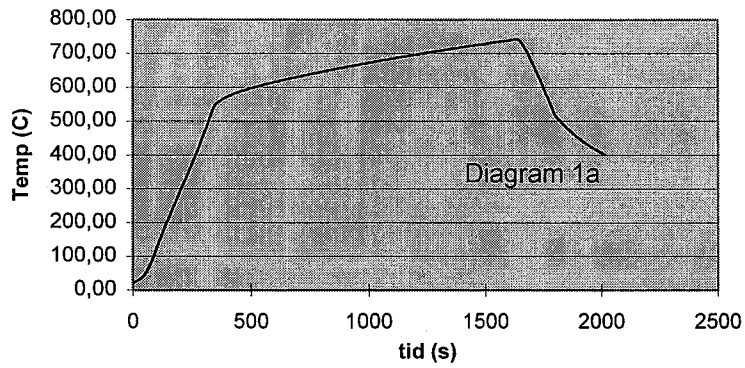


Diagram 1c

Temperatur i nedre røyklag oppholdsrom

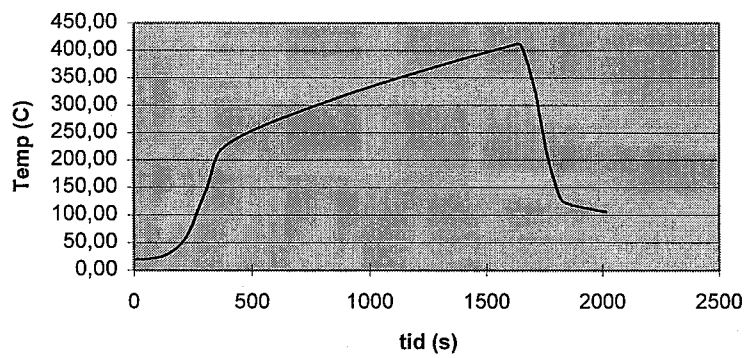


Diagram 1d

Høyde røyklag i oppholdsrom

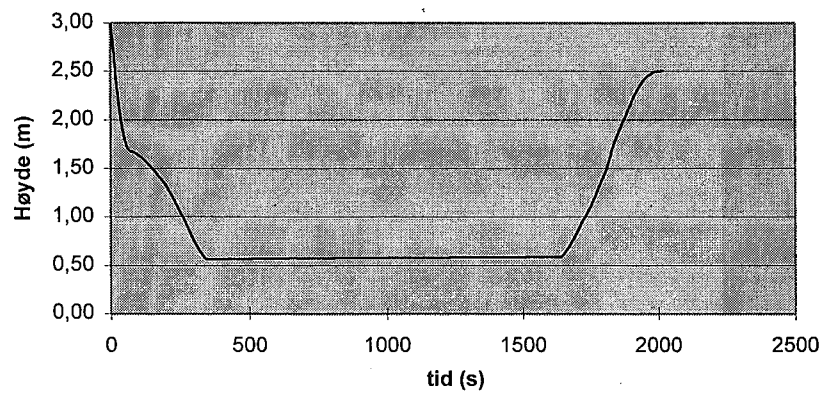


Diagram 2a

Brann i sofa

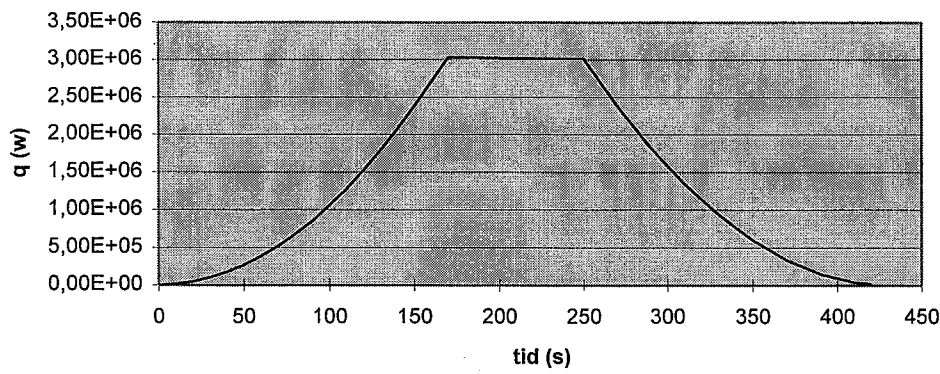


Diagram 2b

Temperatur øvre røyklag

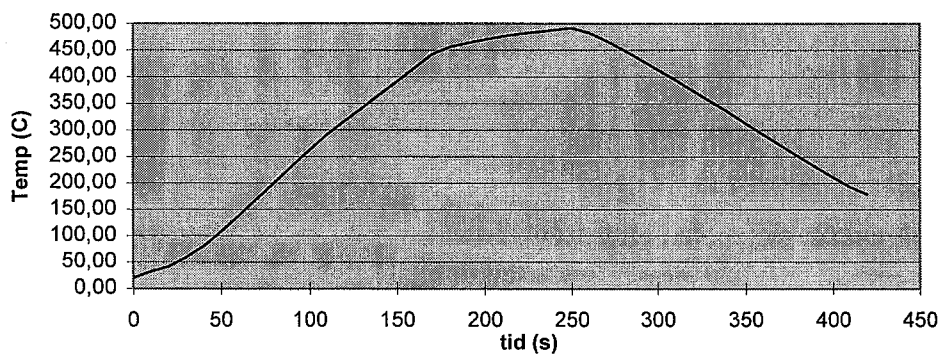


Diagram 2c

Temperatur nedre røyklag

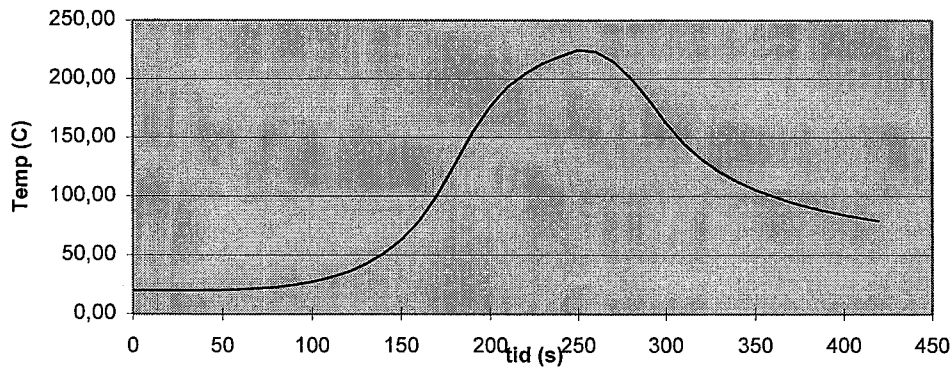


Diagram 2d

Høyde røyklag

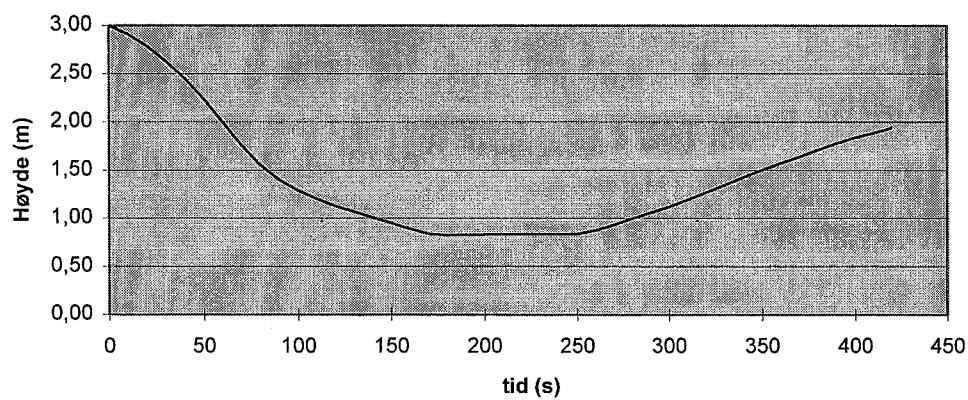


Diagram 3a

Brann i pasientrom

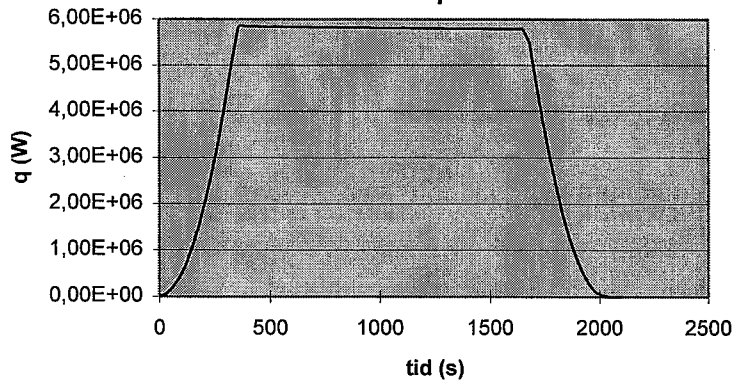


Diagram 3b

Temperatur øvrerøyklag, pasientrom

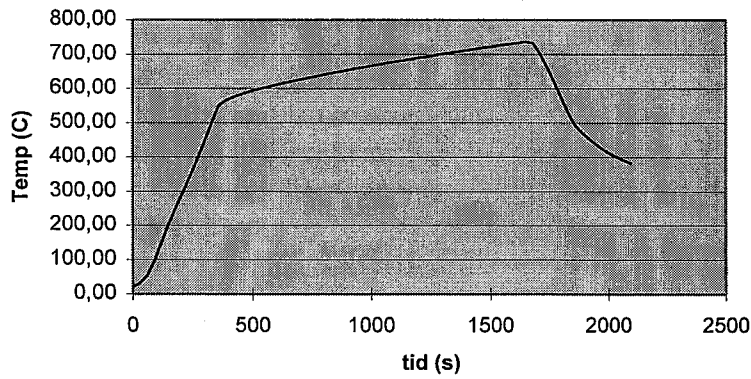


Diagram 3c

Temperatur nedre røyklag pasientrom

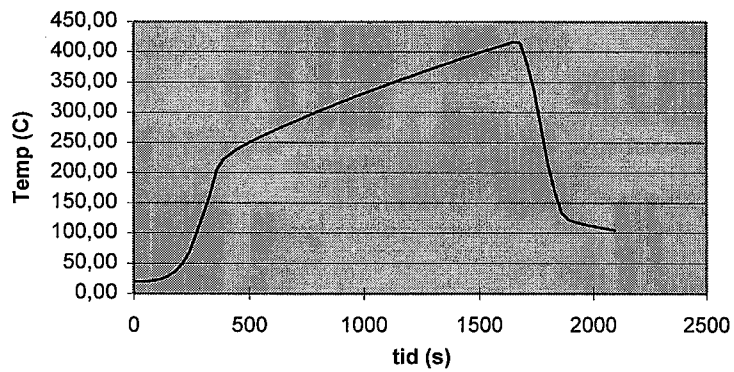


Diagram 3d

Høyde røyklag pasientrom

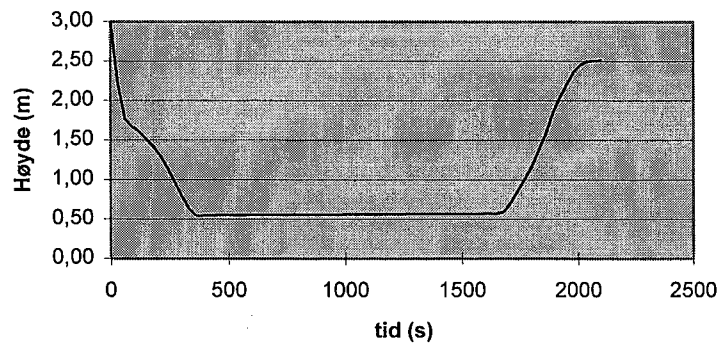
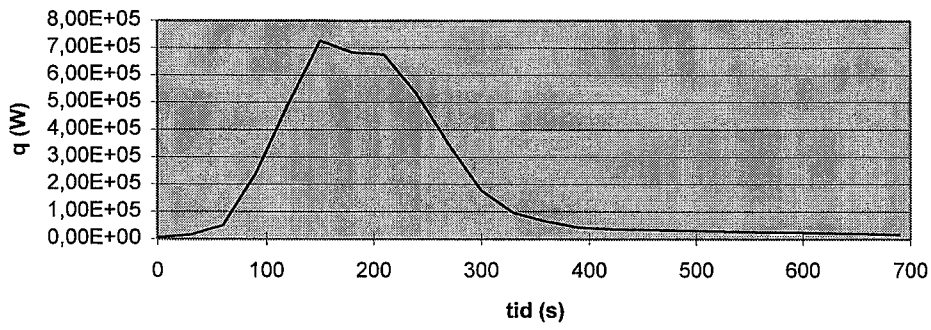


Diagram
4a

Brann i seng



Diagram

Temperatur øvre røyklag

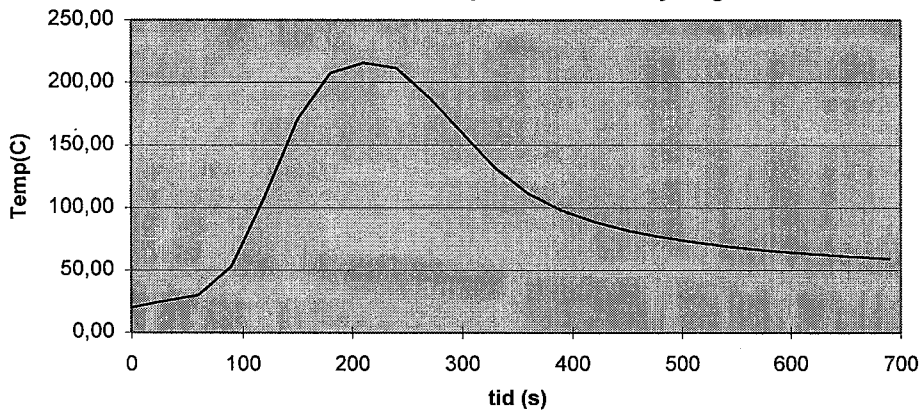


Diagram 4c

Temperatur nedre røyklag

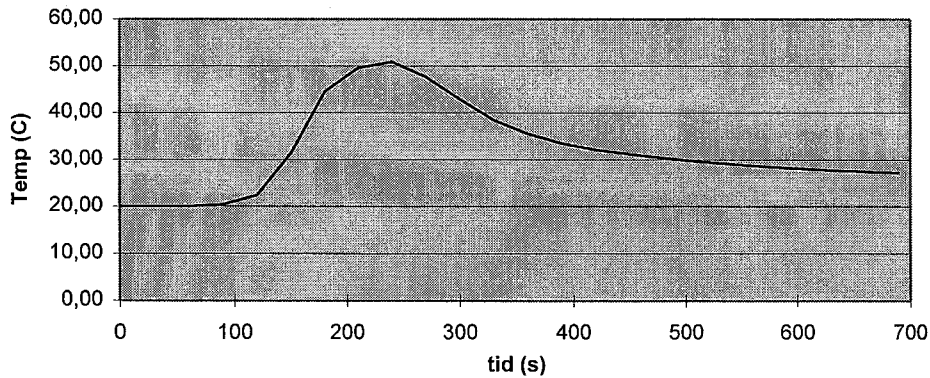
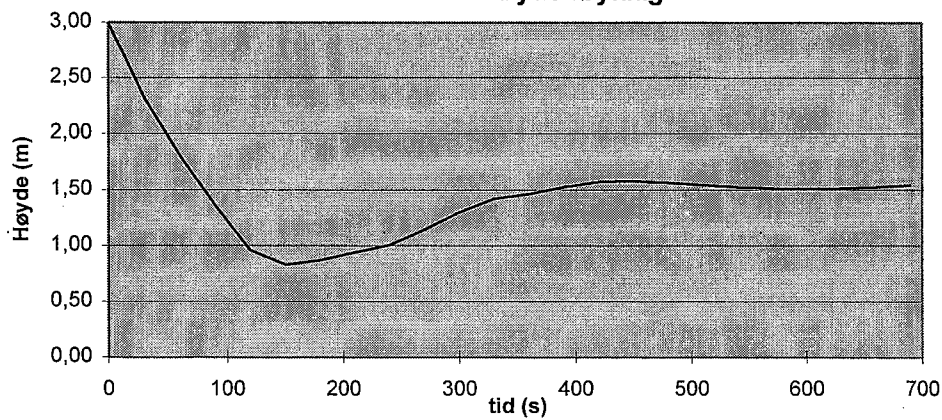


Diagram 4d

Høyde røyklag



VEDLEGG 3.5

Sannsynlighetsberegning for M-kurvene

Sannsynlighetene for hver enkelt hendelse er evaluert og estimert sannsynligheter for i kapittel 3.5

Uprofesjonelle slokkere

TAC 1: Utregnet sannsynlighet for at brannen oppdages/detekteres før FRI:

Oppholdsrom

$$\Pr(\text{dmn}) = \Pr(\text{dmn1}) + \Pr(\text{dmn2}) - (\Pr(\text{dmn1}) \times \Pr(\text{dmn2})) =$$

$$\Pr(\text{dmn}) = 0.999955 + 0.10 - (0.999955 \times 0.10) = \underline{\underline{1.000}}$$

Pasientrom

$$\Pr(\text{dmn}) = \Pr(\text{dmn1}) + \Pr(\text{dmn2}) - (\Pr(\text{dmn1}) \times \Pr(\text{dmn2})) =$$

$$\Pr(\text{dmn}) = 0.999955 + 0.60 - (0.999955 \times 0.60) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 2: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding er forberedt før FRI:

Oppholdsrom og Pasientrom

$$\Pr(\text{pmn}) = (\Pr(\text{pmn1}) + \Pr(\text{pmn2}) - (\Pr(\text{pmn1}) \times \Pr(\text{pmn2}))) + \Pr(\text{pmn3}) - (\Pr(\text{pmn1}) + \Pr(\text{pmn2}) - (\Pr(\text{pmn1}) \times \Pr(\text{pmn2}))) \times \Pr(\text{pmn3}) =$$

$$\Pr(\text{pmn}) = ((0.999955) + (0.60) - ((0.999955) \times (0.60))) + (0.33) - ((0.999955) + (0.60) - (0.999955) \times (0.60)) \times (0.33) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 3: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding sendes før FRI:

Oppholdsrom og Pasientrom

$$\Pr(\text{smn}) = (\Pr(\text{smn1}) + \Pr(\text{smn2}) - (\Pr(\text{smn1}) \times \Pr(\text{smn2}))) + \Pr(\text{smn3}) - (\Pr(\text{smn1}) + \Pr(\text{smn2}) - (\Pr(\text{smn1}) \times \Pr(\text{smn2}))) \times \Pr(\text{smn3}) =$$

$$\Pr(\text{smn}) = ((0.999955) + (0.60) - ((0.999955) \times (0.60))) + (0.90) - ((0.999955) + (0.60) - (0.999955) \times (0.60)) \times (0.90) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 4: Utregning av sannsynlighet for at uprofesjonelle slokkere mottar melding før FRI:

Oppholdsrom/Pasientrom

$$\Pr(\text{rmn}) = \Pr(\text{rmn1}) + \Pr(\text{rmn2}) - (\Pr(\text{rmn1}) \times \Pr(\text{rmn2})) =$$

$$\Pr(\text{rmn}) = 0.999955 + 0.80 - (0.999955 \times 0.80) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 9: Utregning av sannsynlighet for at munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI:

Oppholdsrom/Pasientrom

$$\Pr(\text{fma}^2) = (\Pr(\text{fma}^2_1) \times \Pr(\text{fma}^2_2)) = 0.288$$

$$\Pr(\text{fma}^2) = 0.36 \times 0.80 = \underline{\underline{0.288}}$$

TAC 11: Utregning av påføringsrate uprofesjonelle, oppholdsrom og pasientrom:

Vanntemperatur:	10 °C
Vannets kokepunktL:	100 °C
Vannets varmekapasitet:	C = 4,18 kJ/kg °C
Fordampningsvarme:	C _f = 2253 kJ/kg
Dampens varmekap:	C = 2 kJ/kg °C

Brannens effekt: Q = 680kW

Slokkekriterium er:

Vannet skal fjerne 1/3 av brannens effekt [9]

Romtemperaturen skal ned til 150 °C

Minste nedkjølingseffekt: Q_v = 227 kW

Dette oppnås ved oppvarming av vannet og ved fordampning:

Oppvarming av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times (100 - 10) \text{ °C} \times 4,18 \text{ kJ/kg °C} = V [\text{kg/s}] \times 376 \text{ kJ/kg}$$

Fordampning av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times 2253 \text{ kJ/kg}$$

Oppvarming av dampen:

$$V[\text{kg/s}] \times (150 - 100) \text{ °C} \times 2 \text{ kJ/kg °C} = V [\text{kg/s}] \times 100 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Sum: } V [\text{kg/s}] \times 2730 \text{ kJ/kg (avrundet)}$$

Nødvendig påføringsrate:

$$Q_v = V \times 2730 \text{ kJ/kg} \Rightarrow$$

$$V = 227 \text{ kW} / 2730 \text{ kJ/kg} = 0.083 \text{ kg/s} = 4.99 \text{ l/min}$$

Nødvendig påføringsrate dersom 50 % av det medgatte vannet går med til energibalanseringen.

$$V = 4.99 \text{ l/min} \times 2 = 9.98 \text{ l/min}$$

Profesjonelle slokkere

TAC 1: Utregning av sannsynlighet for at brannen oppdages/detekteres før FRI:

Oppholdsrom

$$\Pr(\text{dmn}) = 0.999955 + 0.10 - (0.999955 \times 0.10) = \underline{\underline{1.000}}$$

Pasientrom

$$\Pr(\text{dmn}) = 0.999955 + 0.60 - (0.999955 \times 0.60) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 2: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding er forberedt før FRI:

Oppholdsrom/Pasientrom

$$\Pr(\text{dmn}) = \Pr(\text{pmn1}) + \Pr(\text{pmn2}) - (\Pr(\text{pmn1}) \times \Pr(\text{pmn2})) =$$

$$\Pr(\text{pmn}) = 0.99925 + 0.60 - (0.99925 \times 0.60) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 3: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding sendes før FRI:

Oppholdsrom/Pasientrom

$$\Pr(\text{smn}) = \Pr(\text{smn1}) + \Pr(\text{smn2}) - (\Pr(\text{smn1}) \times \Pr(\text{smn2})) =$$

$$\Pr(\text{smn}) = 0.999955 + 0.60 - (0.999955 \times 0.60) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 4: Utregning av sannsynlighet for at brannvesenet mottar brannmelding før FRI:

Oppholdsrom/Pasientrom

$$\Pr(\text{rmn}) = \Pr(\text{rmn1}) + \Pr(\text{rmn2}) - (\Pr(\text{rmn1}) \times \Pr(\text{rmn2})) = 0.999$$

$$\Pr(\text{rmn}) = 0.991 + 0.90 - (0.991 \times 0.90) = \underline{\underline{0.999}}$$

TAC 11: Utregning av påføringsrate profesjonelle, oppholdsrom:

Vanntemperatur:	10 °C
Vannets kokepunktL:	100 °C
Vannets varmekapasitet:	C = 4,18 kJ/kg °C
Fordampningsvarme:	C _f = 2253 kJ/kg
Dampens varmekap:	C = 2 kJ/kg °C

$$\text{Brannens effekt: } Q = 5400 \text{ kW}$$

Slokkekriterium er:

Vannet skal fjerne 1/3 av brannens effekt [9]

Romtemperaturen skal ned til 150 °C

Minste nedkjølingseffekt: Q_v = 1800 kW

Dette oppnås ved oppvarming av vannet og ved fordampning:

Oppvarming av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times (100 - 10) \text{ }^\circ\text{C} \times 4,18 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C} = V [\text{kg/s}] \times 376 \text{ kJ/kg}$$

Fordampning av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times 2253 \text{ kJ/kg}$$

Oppvarming av dampen:

$$V[\text{kg/s}] \times (150 - 100) \text{ }^\circ\text{C} \times 2 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C} = V [\text{kg/s}] \times 100 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Sum: } V [\text{kg/s}] \times 2730 \text{ kJ/kg (avrundet)}$$

Nødvendig påføringsrate:

$$Q_v = V \times 2730 \text{ kJ/kg} \Rightarrow$$

$$V = 1800\text{kW}/2730 \text{ kJ/kg} = 0,659 \text{ kg/s} = 39.56 \text{ l/min}$$

Nødvendig påføringsrate dersom 50 % av det medgatte vannet går med til energibalansen.

$$V = 39.56 \text{ l/min} \times 2 = 79.12 \text{ l/min}$$

TAC 11: Utregning av påføringsrate profesjonelle, pasientrom:

Vanntemperatur:	10 °C
Vannets kokepunktL:	100 °C
Vannets varmekapasitet:	C = 4,18 kJ/kg °C
Fordampningsvarme:	C _f = 2253 kJ/kg
Dampens varmekap:	C = 2 kJ/kg °C

$$\text{Brannens effekt: } Q = 5800\text{kW}$$

Slokkekriterium er:

Vannet skal fjerne 1/3 av brannens effekt [9]

Romtemperaturen skal ned til 150 °C

$$\text{Minste nedkjølingseffekt: } Q_v = 1933 \text{ kW}$$

Dette oppnås ved oppvarming av vannet og ved fordampning:

Oppvarming av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times (100 - 10) \text{ }^\circ\text{C} \times 4,18 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C} = V [\text{kg/s}] \times 376 \text{ kJ/kg}$$

Fordampning av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times 2253 \text{ kJ/kg}$$

Oppvarming av dampen:

$$V[\text{kg/s}] \times (150 - 100) \text{ }^\circ\text{C} \times 2 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C} = V [\text{kg/s}] \times 100 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Sum: } V [\text{kg/s}] \times 2730 \text{ kJ/kg (avrundet)}$$

Nødvendig påføringsrate:

$$Q_v = V \times 2730 \text{ kJ/kg} \Rightarrow$$

$$V = 1933 \text{ kW} / 2730 \text{ kJ/kg} = 0.708 \text{ kg/s} = 42.49 \text{ l/min}$$

Nødvendig påføringsrate dersom 50 % av det medgåtte vannet går med til energibalansen.

$$V = 42.49 \text{ l/min} \times 2 = 84.98 \text{ l/min}$$

VEDLEGG 3.6

BOBLEDIAGRAMMER

Barrierer:

Ved å plote brannkarakteristikken inn i skjemaet for barrierene vil man kunne beregne hvor stor sannsynligheten er for at brannen ikke vil bli stanset av barrieren. Verdiene føres så inn i boblediagram for å finne sannsynligheten for at brannen ikke stoppes av barrieren.

Oppholdsrom/Pasientrom

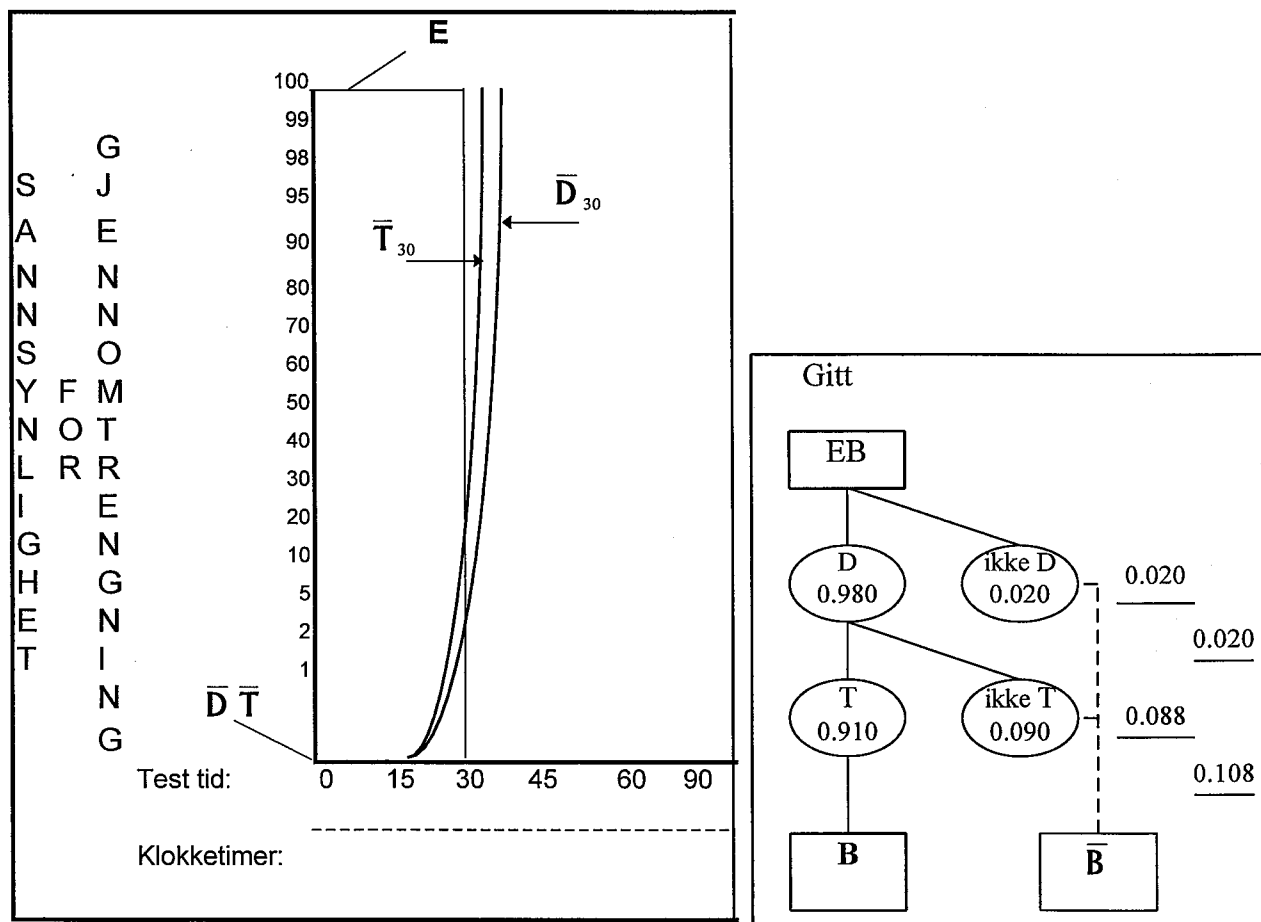


Fig. 3.6.1

$\Pr(\bar{D}) = 0.02$ 2 % sannsynlighet for massiv svikt i barrieren

$\Pr(\bar{T}) = 0.09$ 9 % sannsynlighet for punkt svikt

$\Pr(\bar{B}) = 0.108$ 10.8 % sannsynligheten for at barrieren ikke stopper brannen.

Etasje

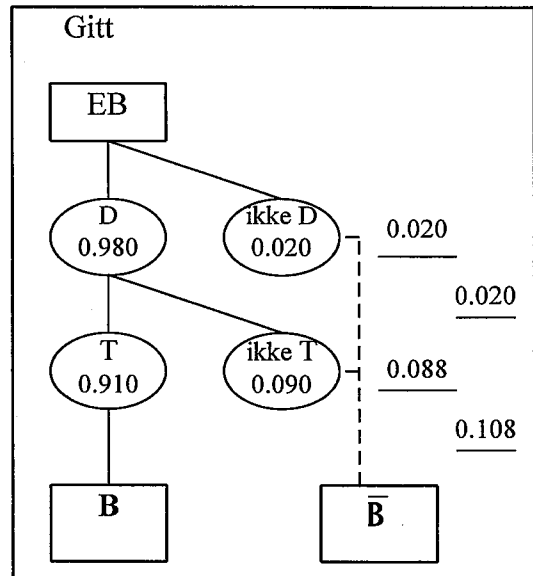
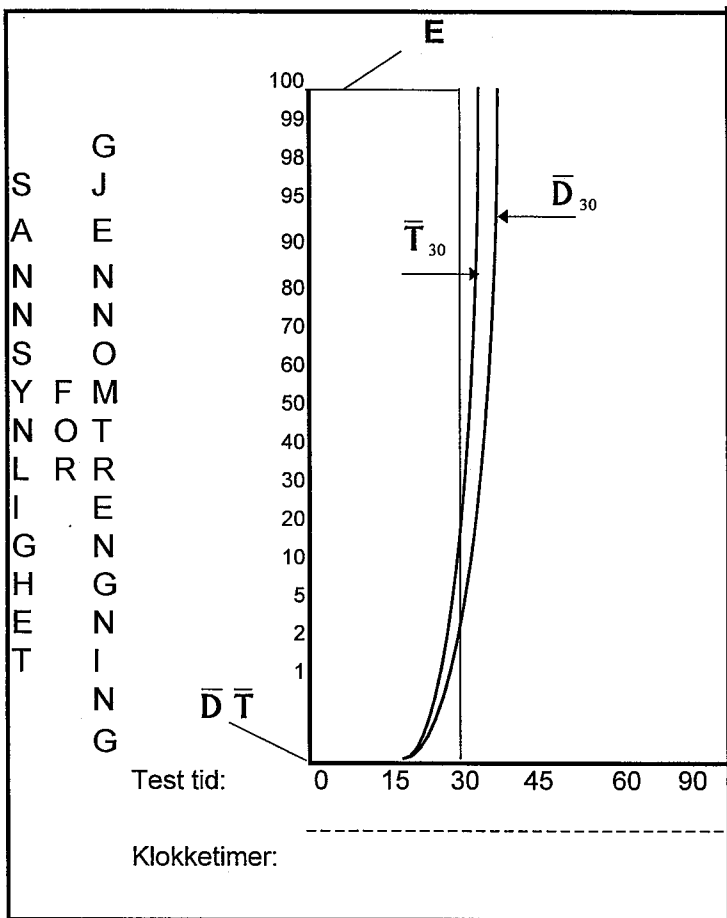


Fig. 3.6.2

$Pr(\bar{D}) = 0.02$ 2 % sannsynlighet for massiv svikt i barrieren

$Pr(\bar{T}) = 0.09$ 9 % sannsynlighet for punkt svikt

$Pr(\bar{B}) = 0.108$ 10.8 % sannsynligheten for at barrieren ikke stopper brannen.

3.6.3. Bygning

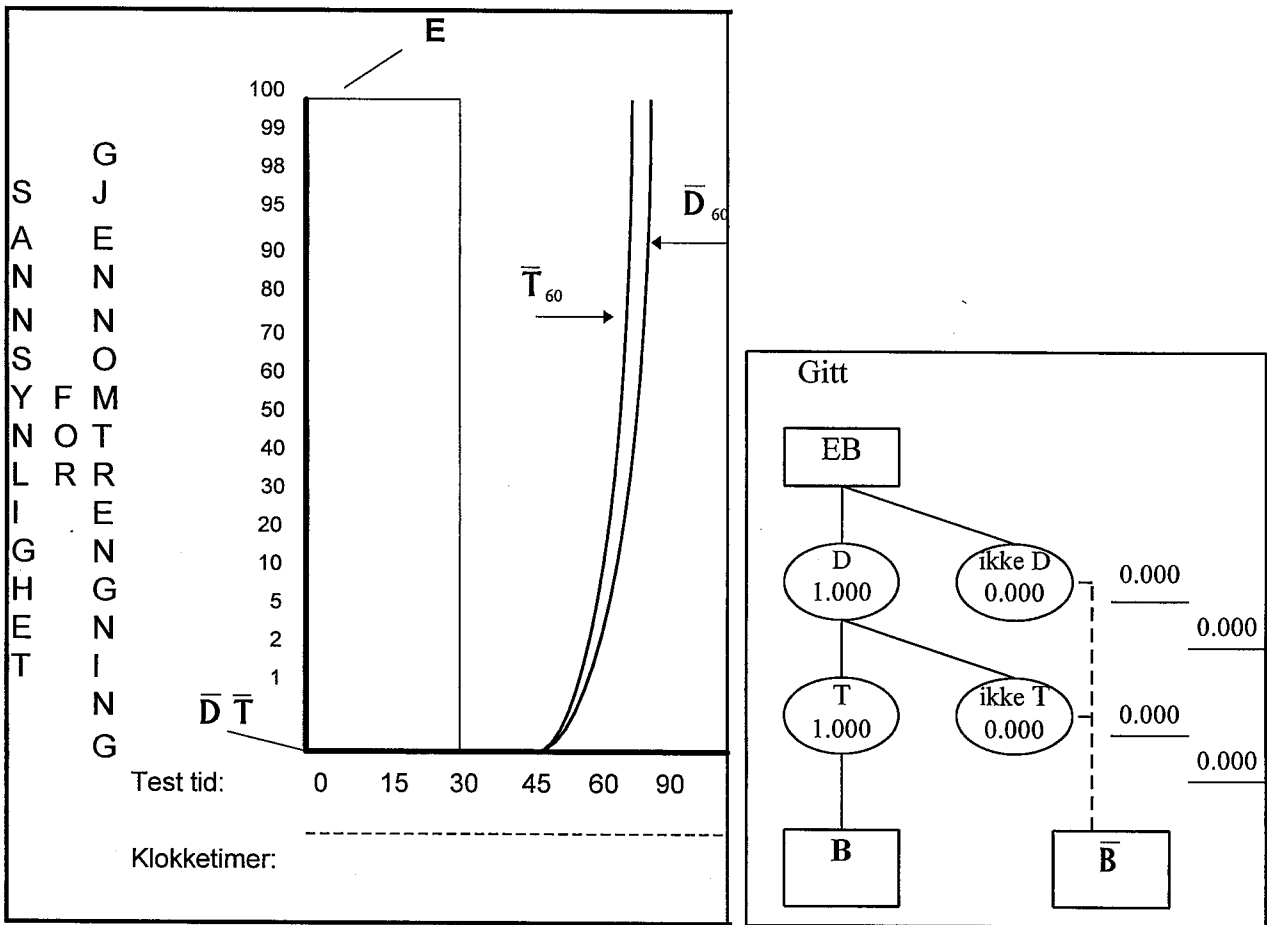


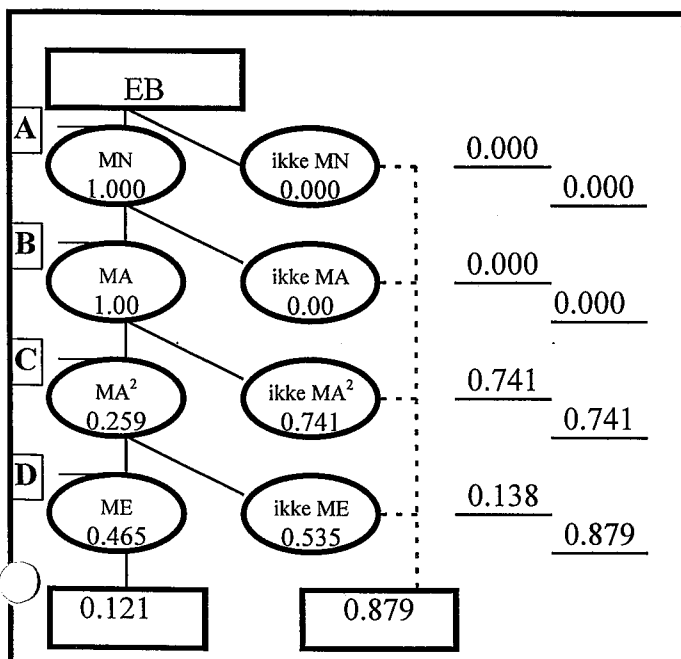
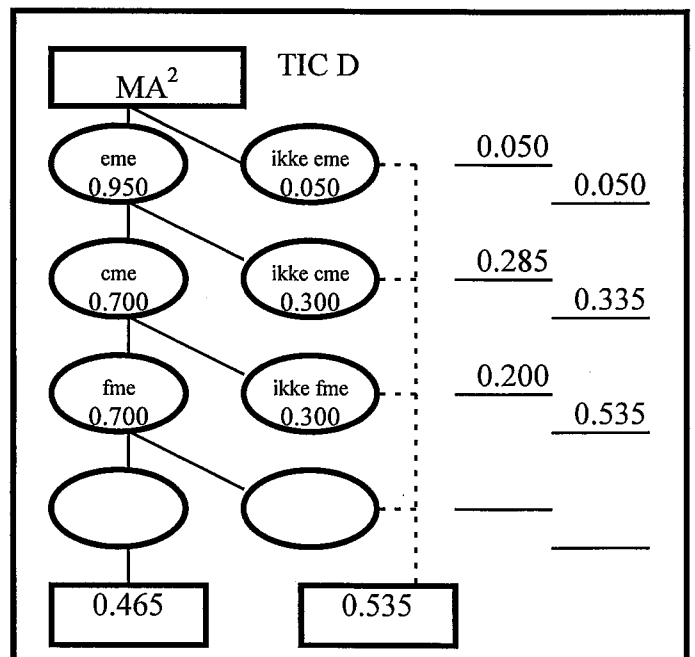
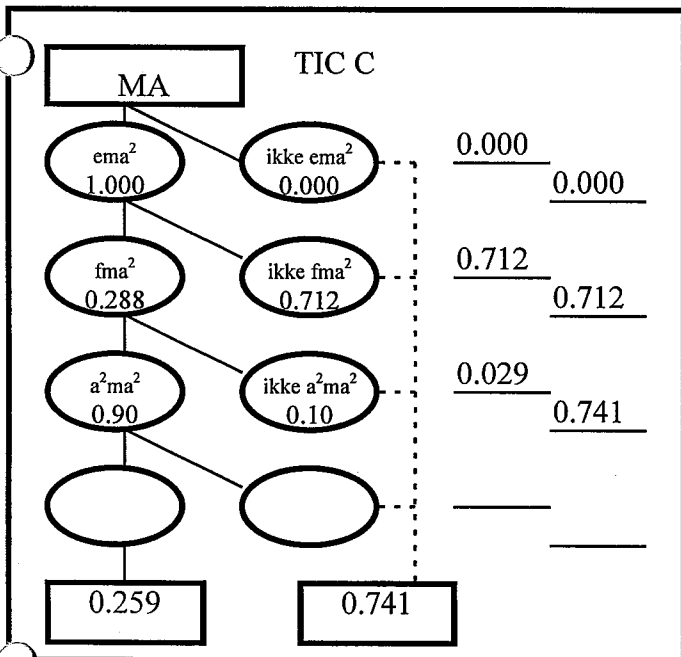
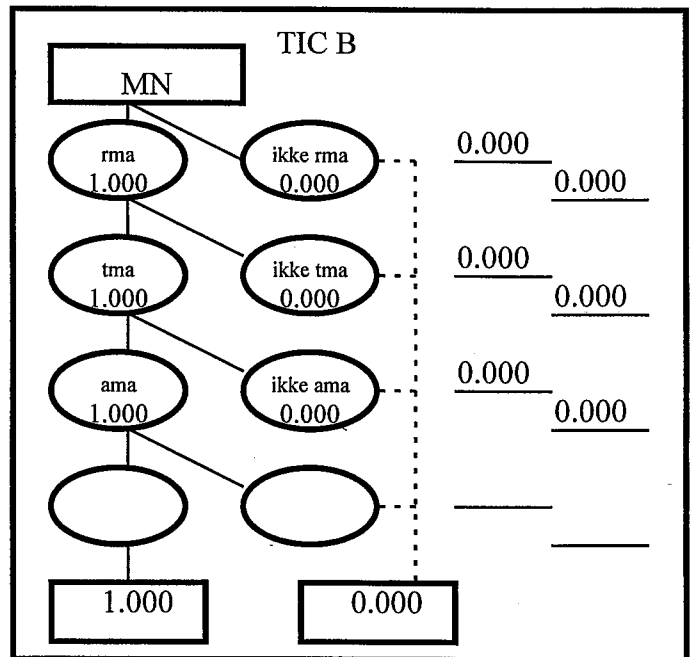
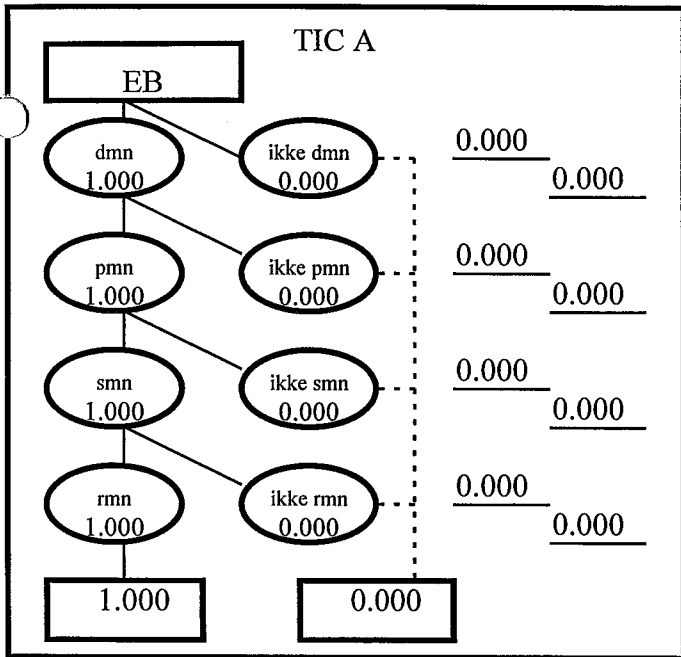
Fig. 3.6.3

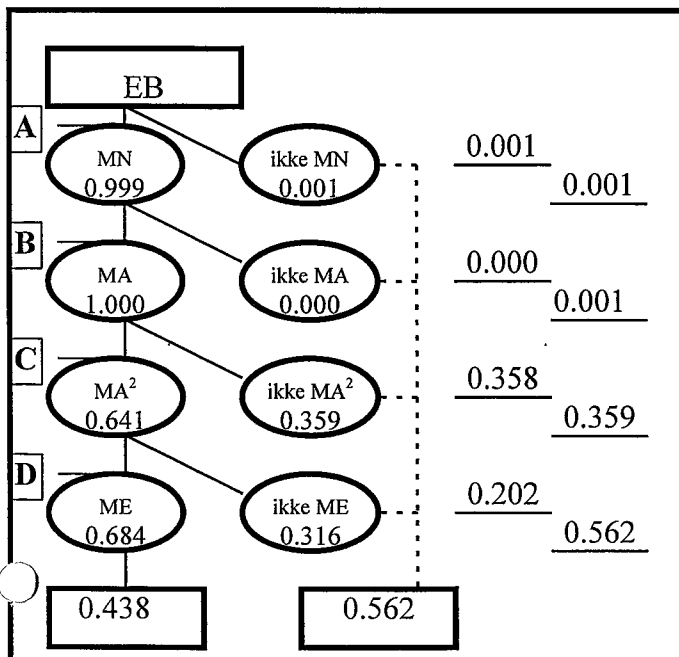
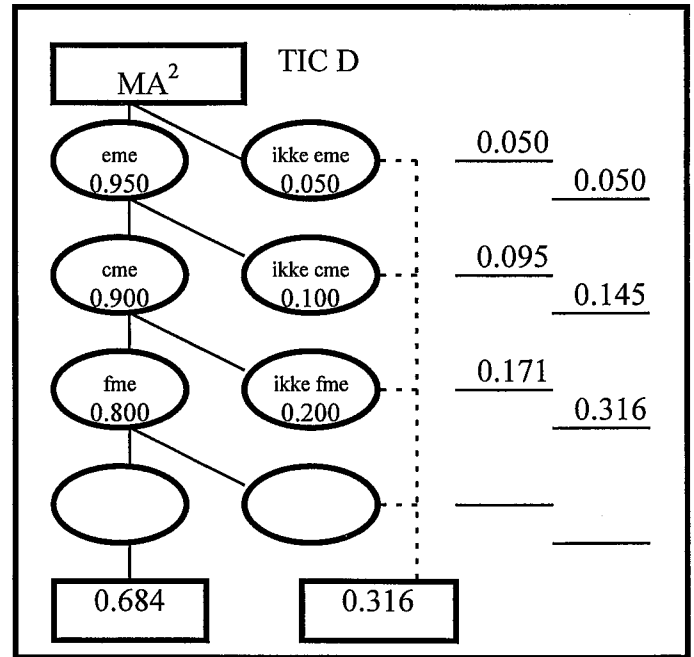
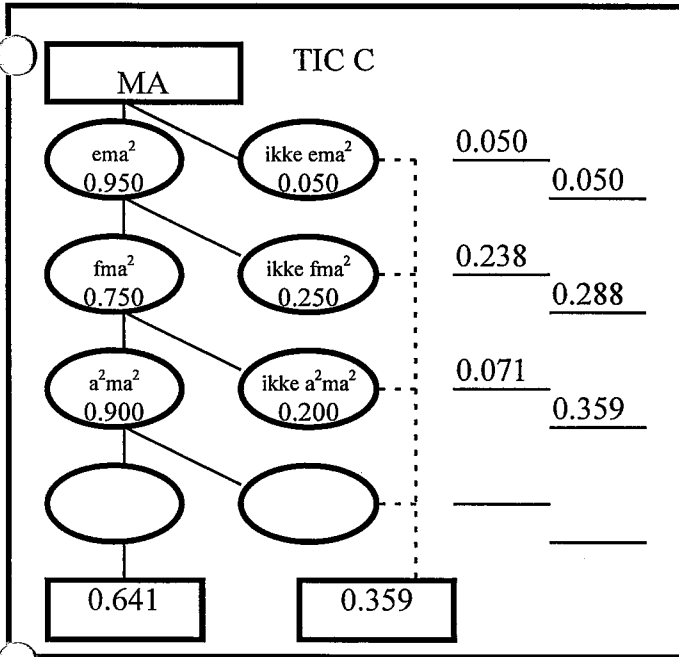
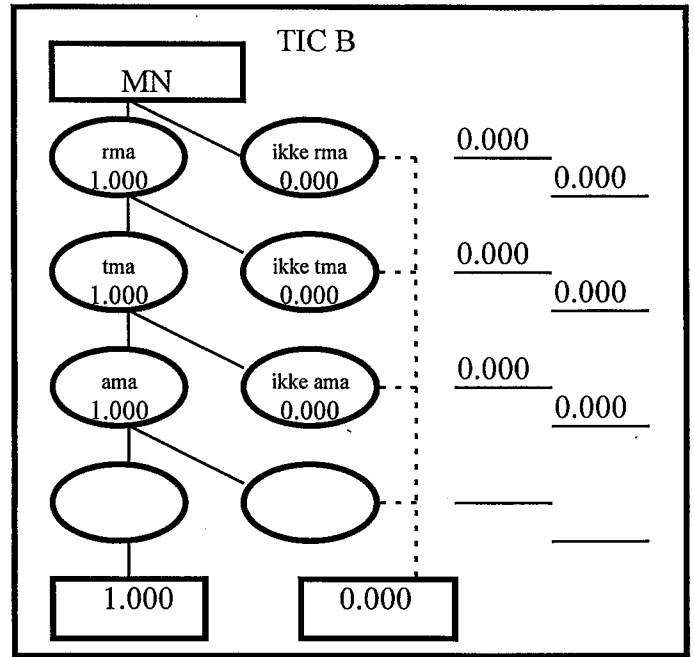
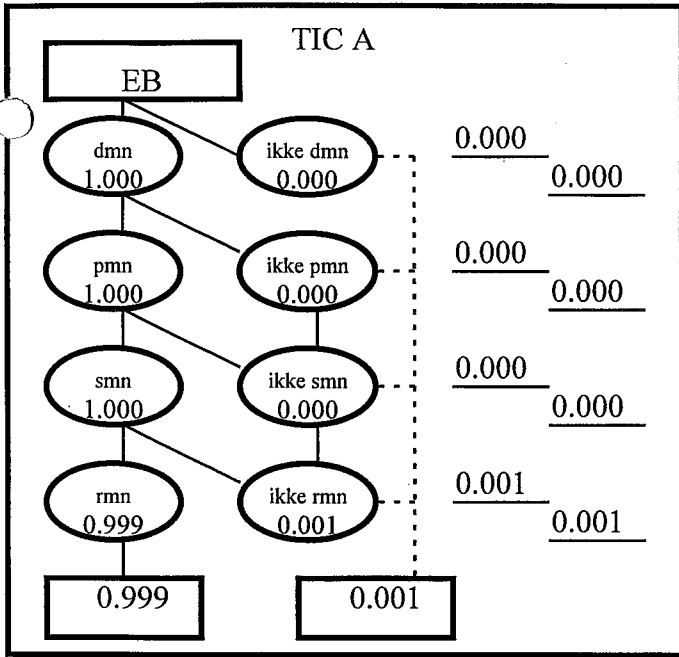
$\Pr(\bar{D}) = 0.0$ 0 % sannsynlighet for massiv svikt i barrieren

$\Pr(\bar{T}) = 0.0$ 0 % sannsynlighet for punkt svikt

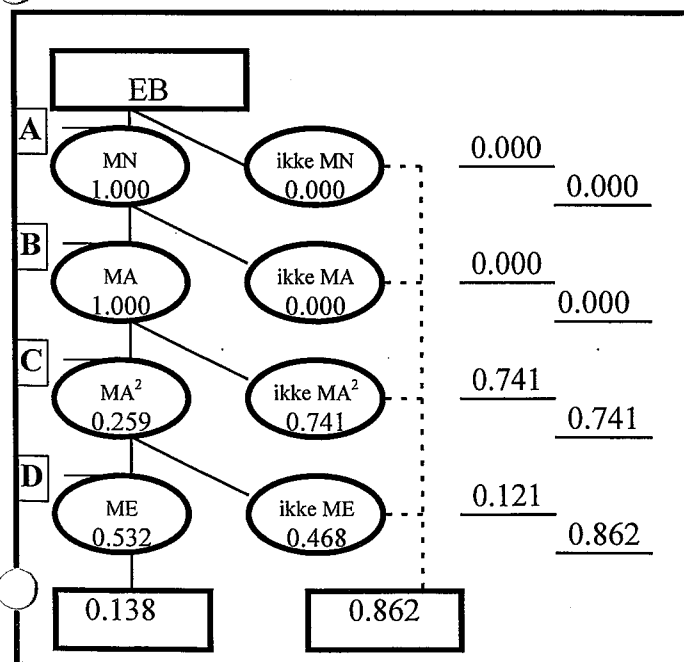
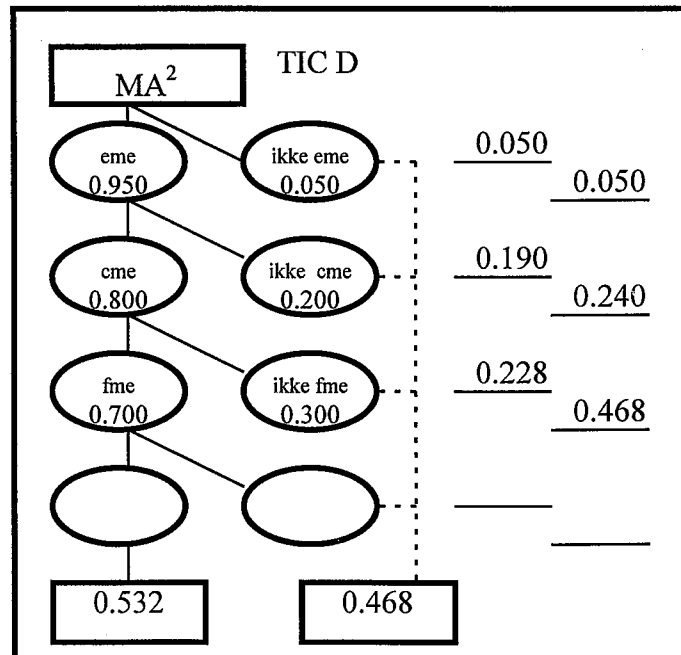
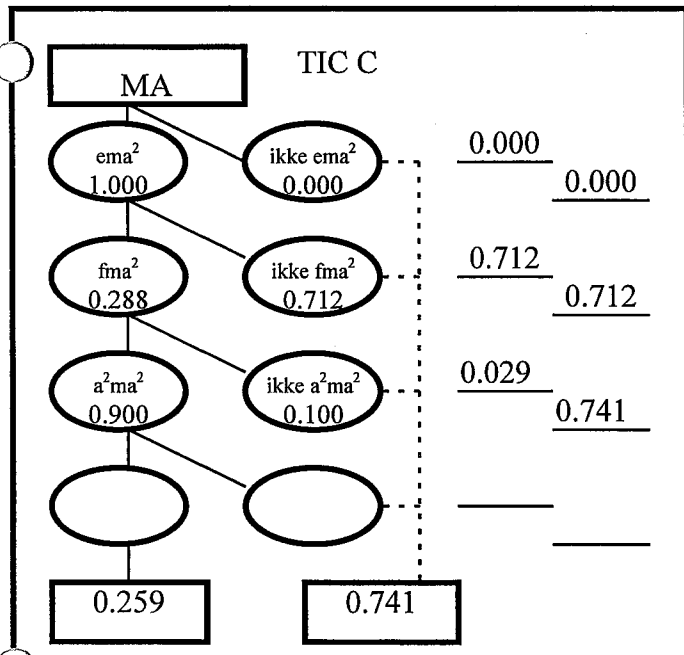
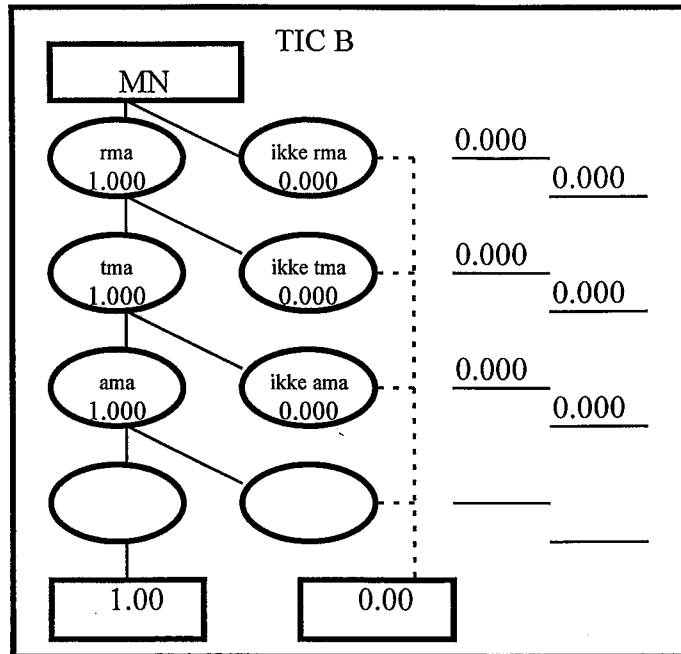
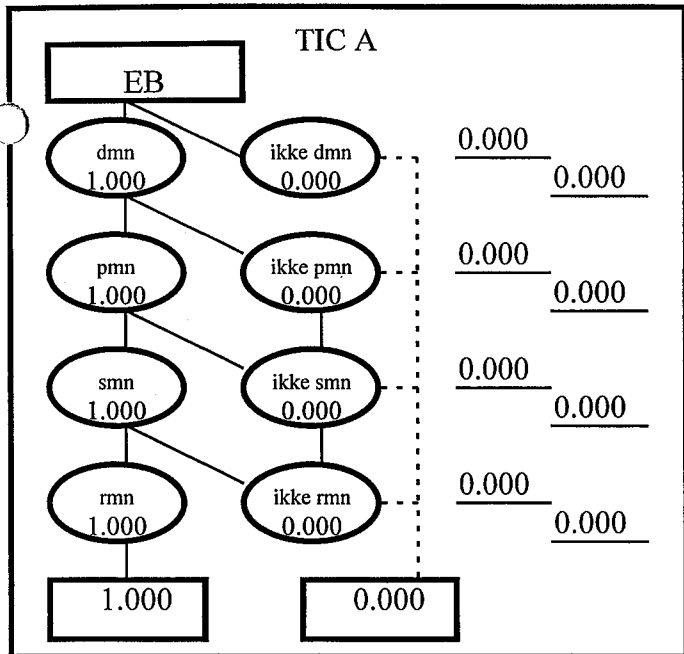
$\Pr(\bar{B}) = 0.00$ 0.0 % sannsynligheten for at barrieren ikke stopper brannen.

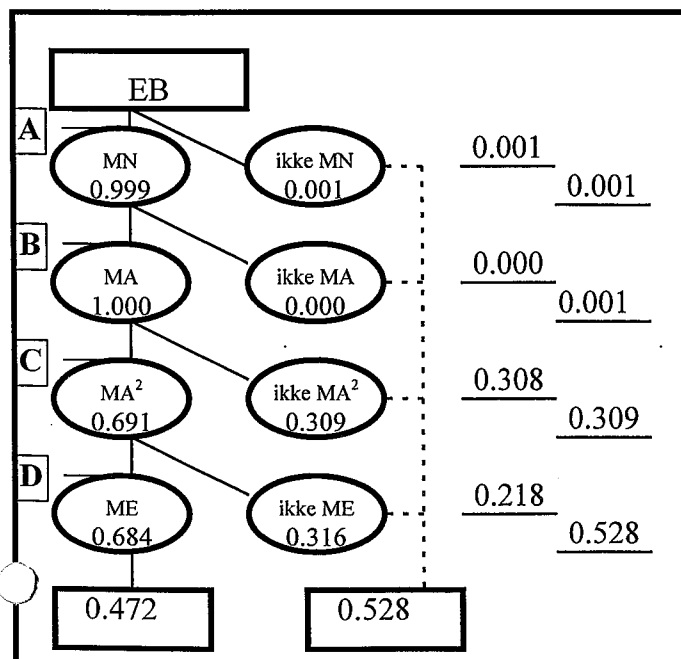
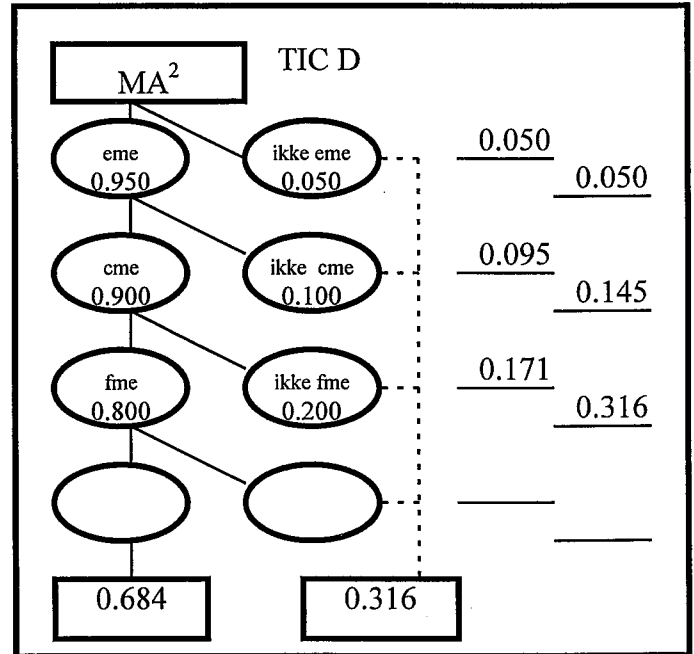
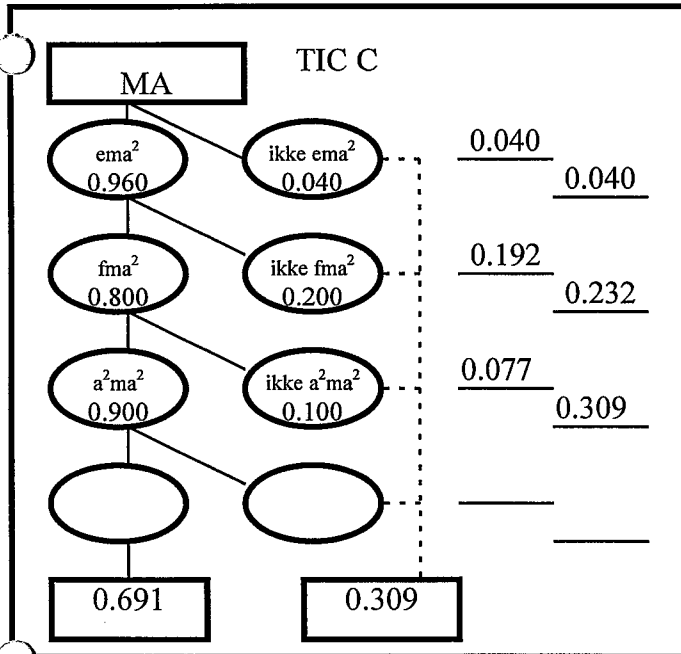
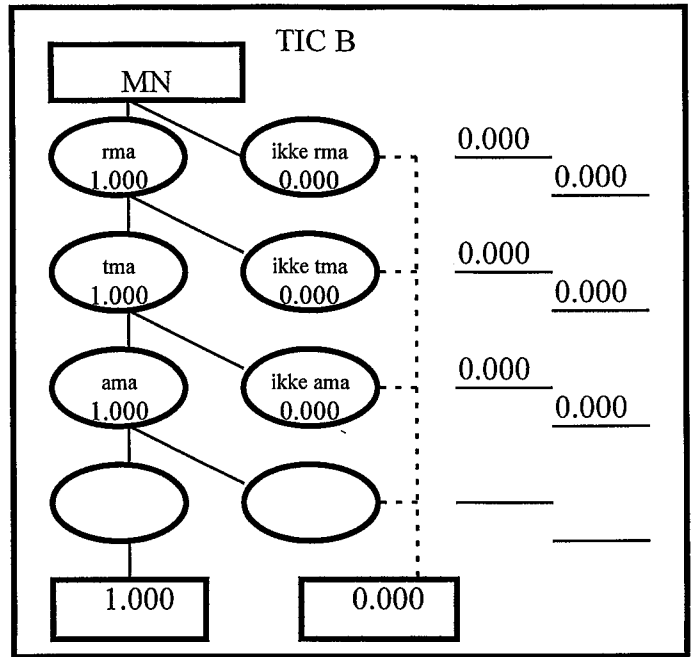
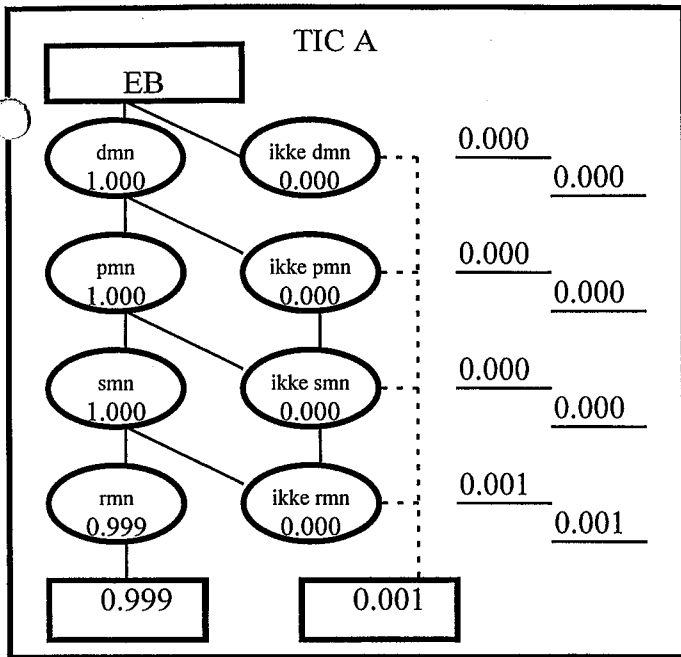
Oppholdsrom, uprofesjonell (M1)



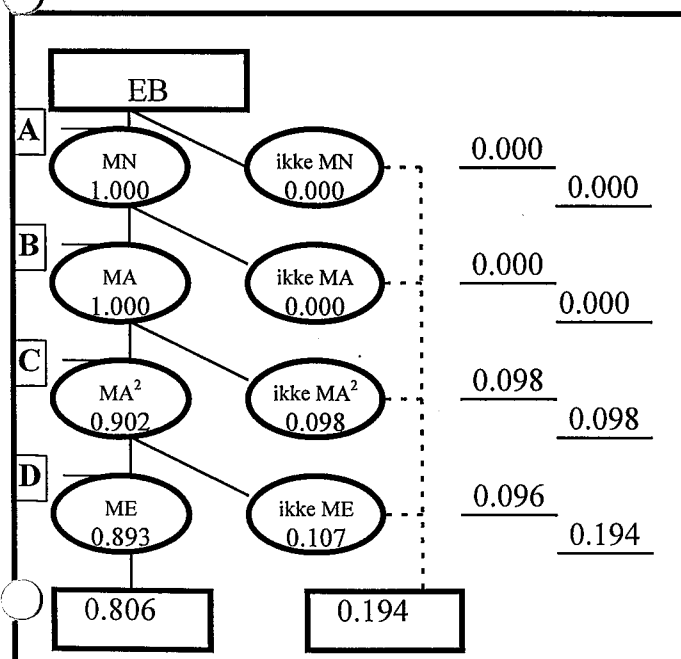
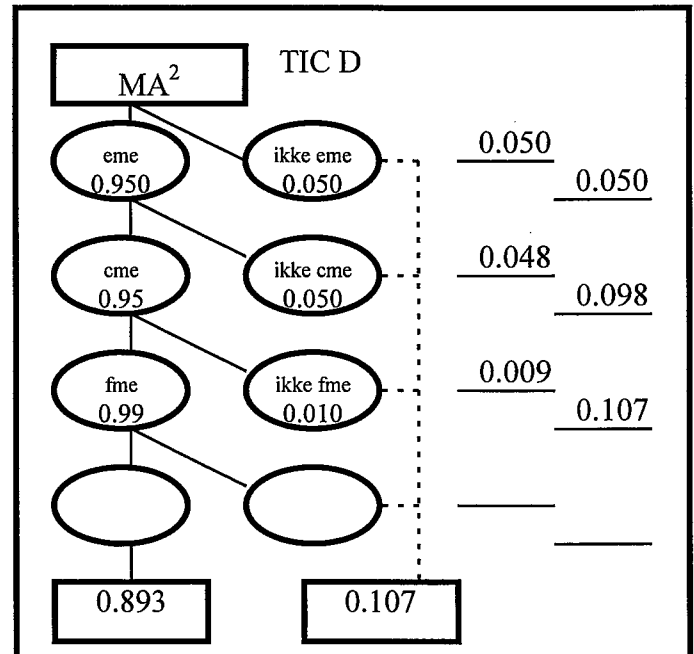
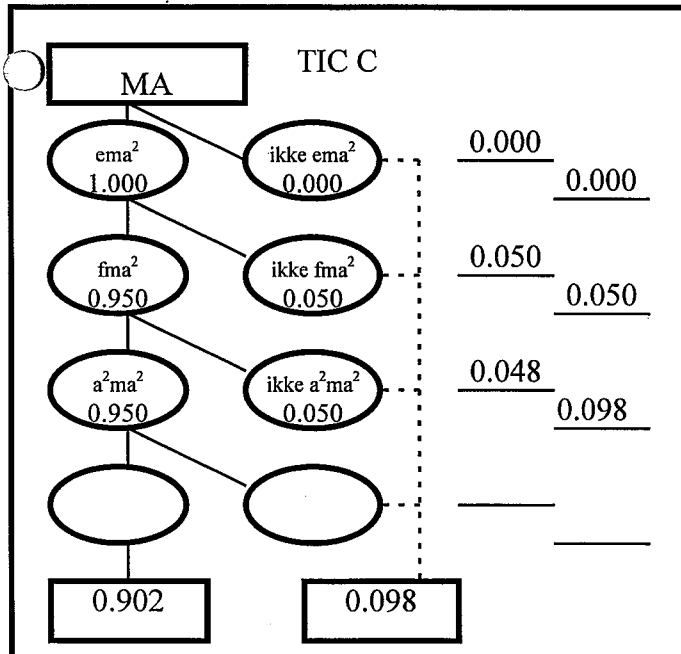
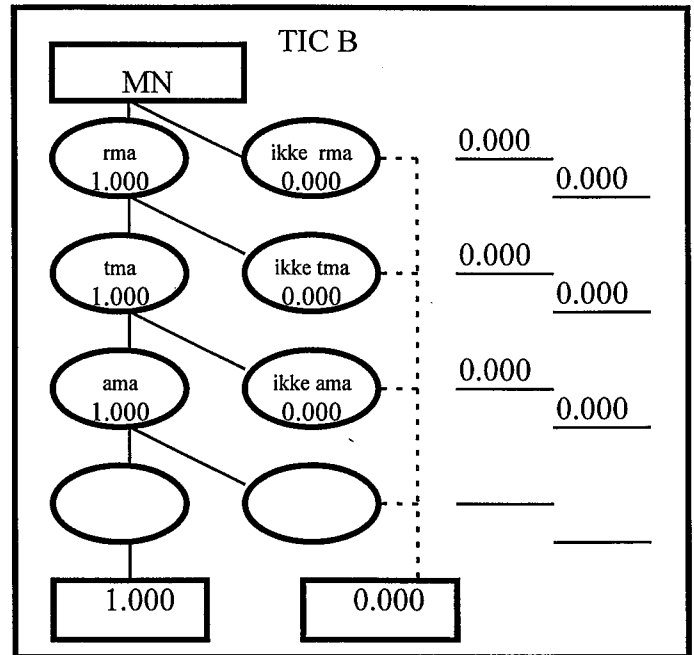
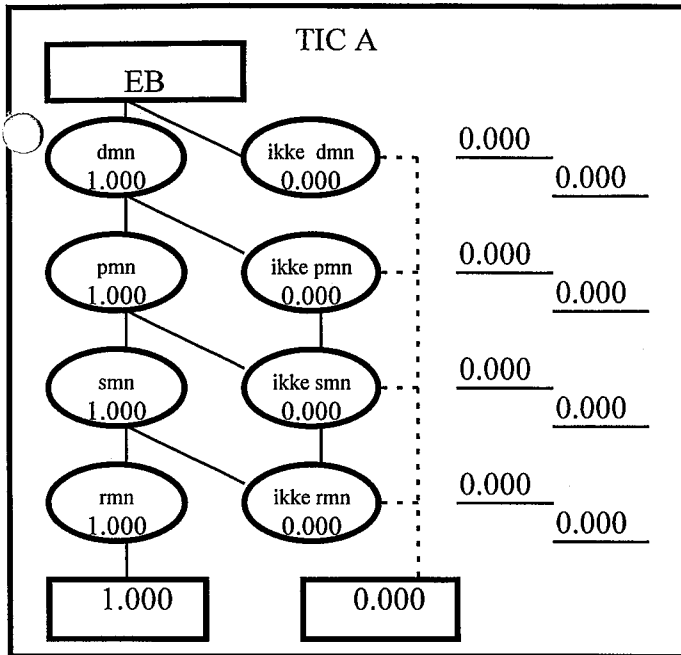


Pasientrom, uprofesjonelle, M1

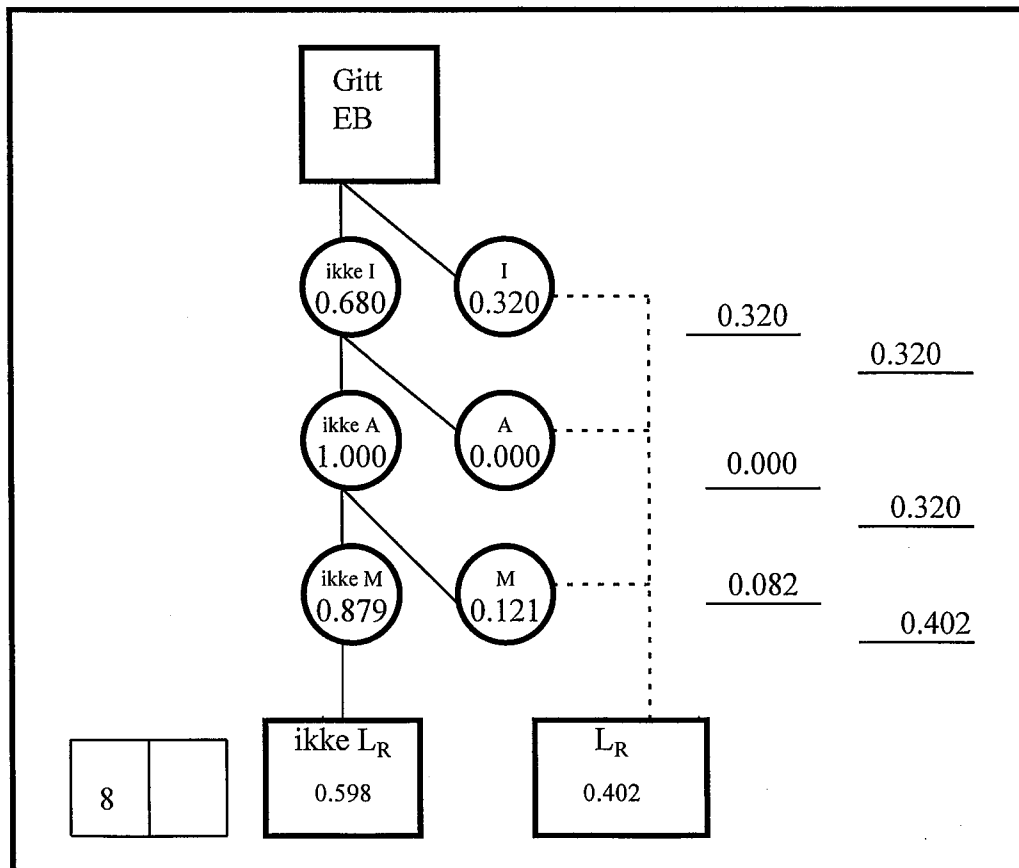
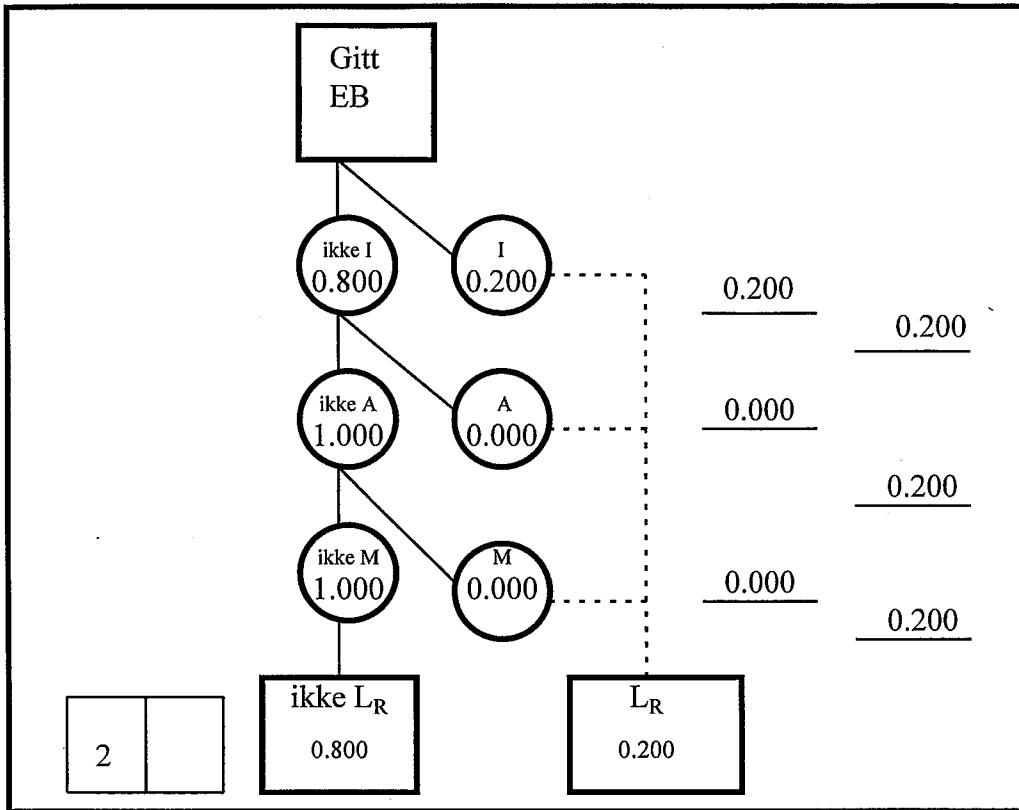


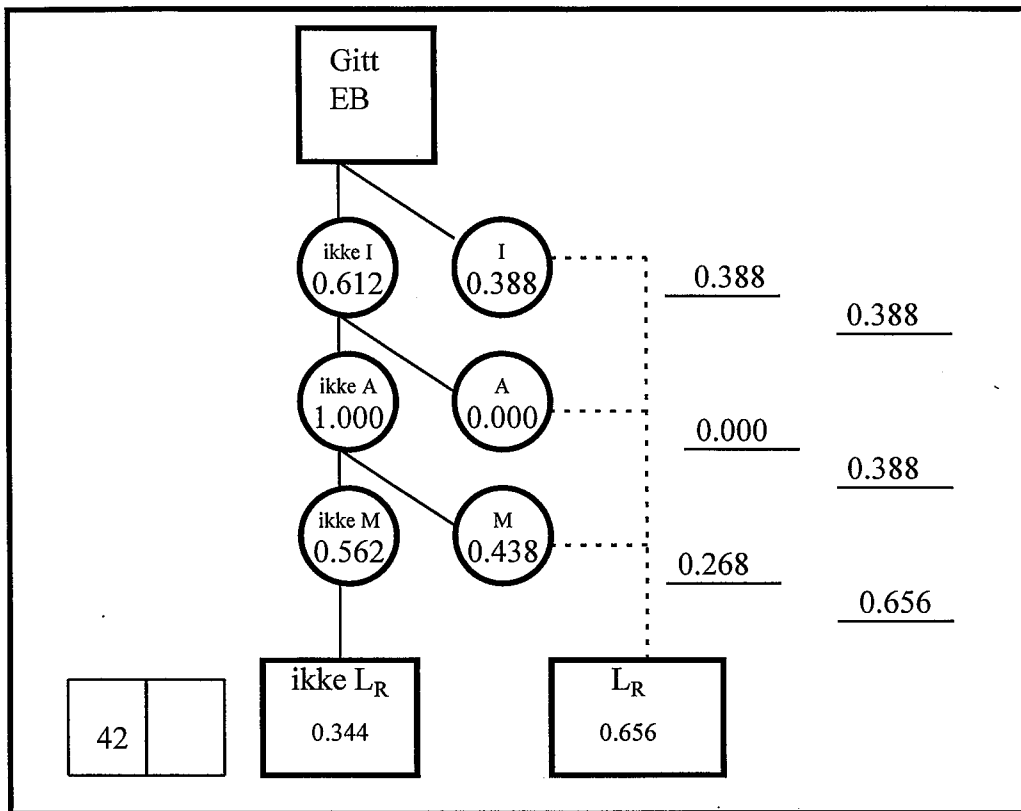


Korridor, bak pasientrom

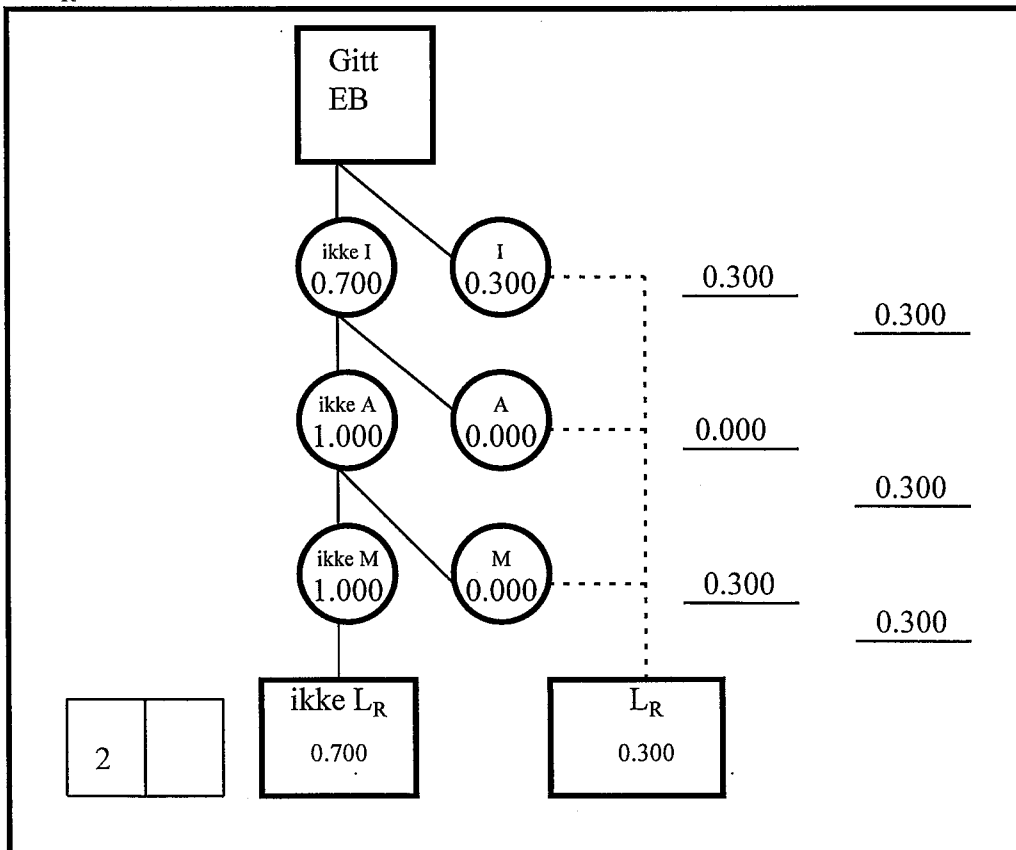


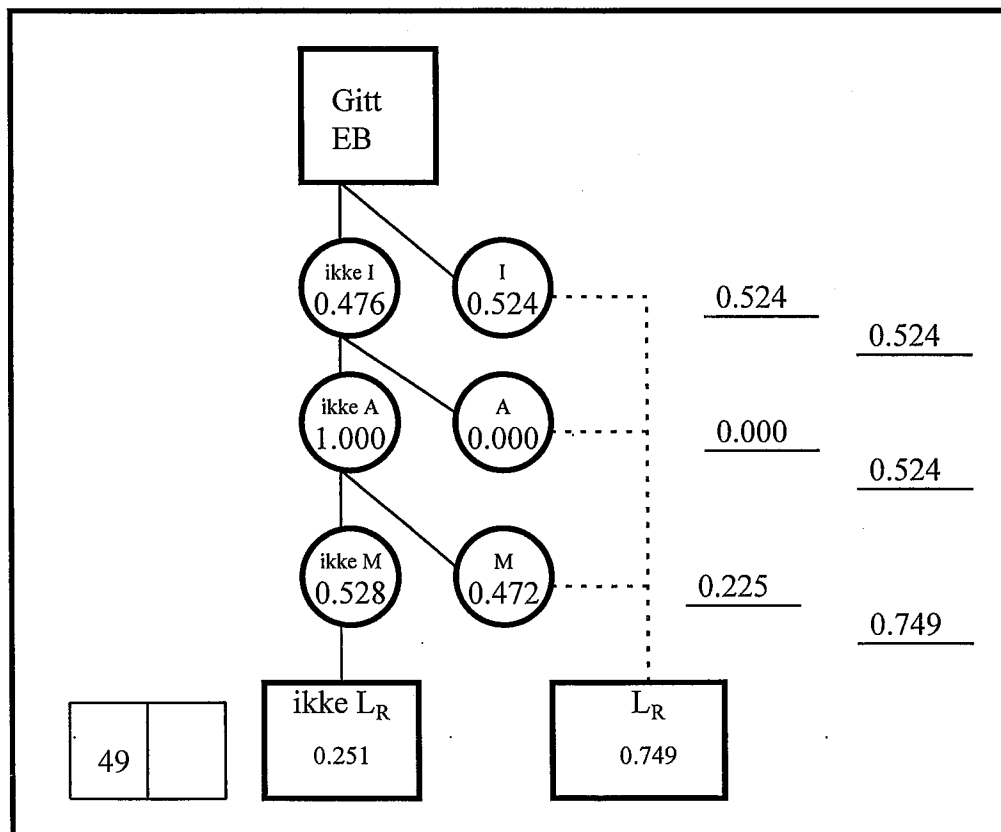
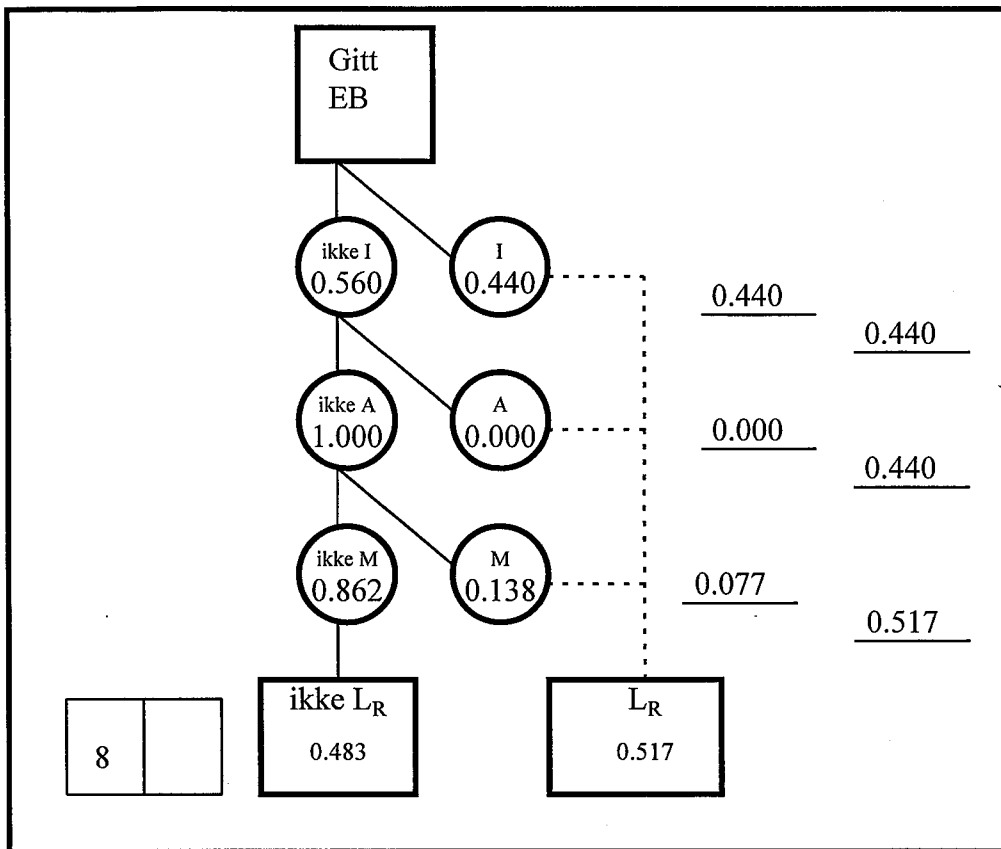
L_R- kurve Oppholdsrom





L_R- kurve, Pasientrom





VEDLEGG 4.1

Tegning, forsamlingslokale

Diagram 1a

Brannutvikling i forsamlingslokale

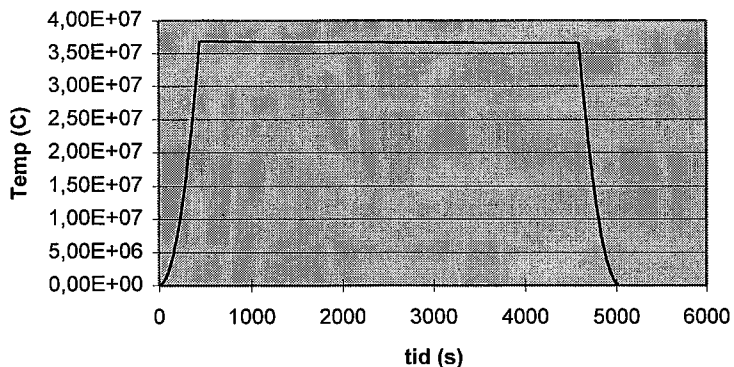


Diagram 1b

Temperatur i øvre røyklag

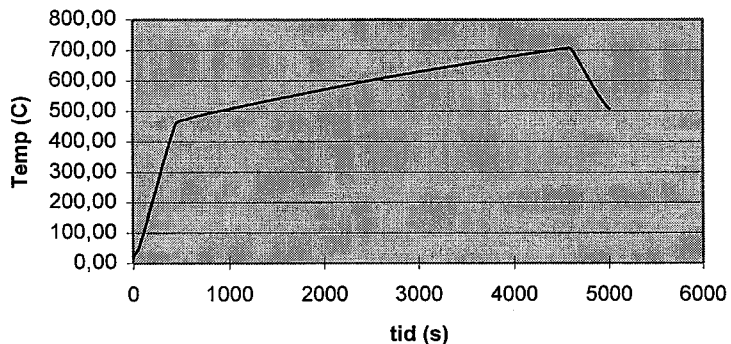


Diagram 1c

Temperatur nedre røyklag

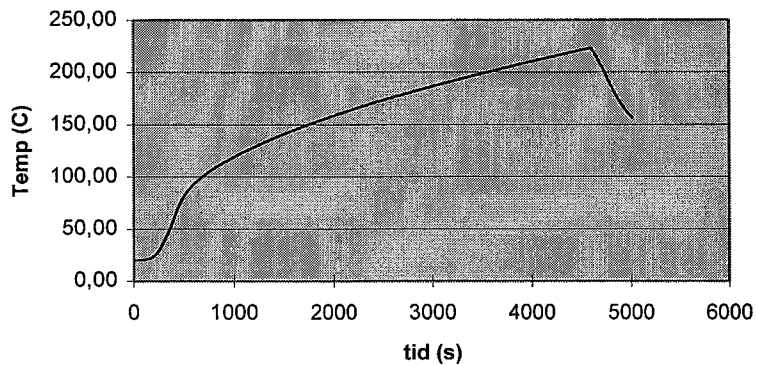


Diagram 1d

Høyde røyklag i forsamlingslokale

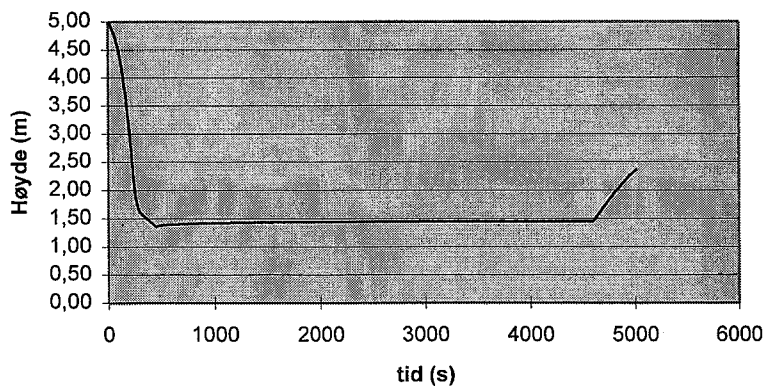


Diagram 2a

Brann i kinostol

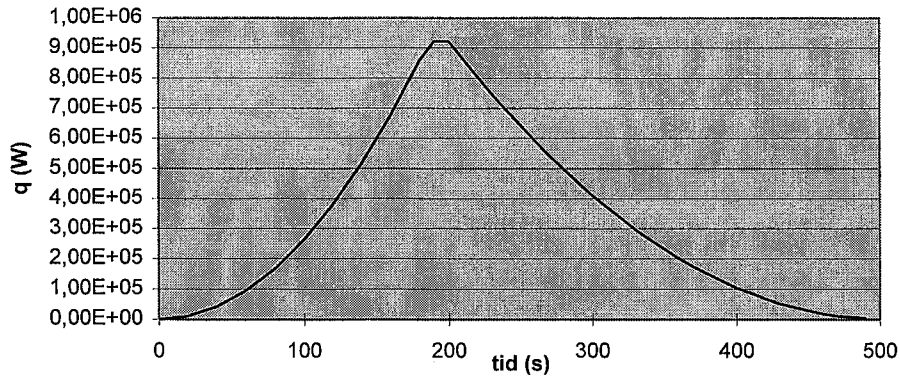


Diagram 2b

Temperatur i øvre røyklag

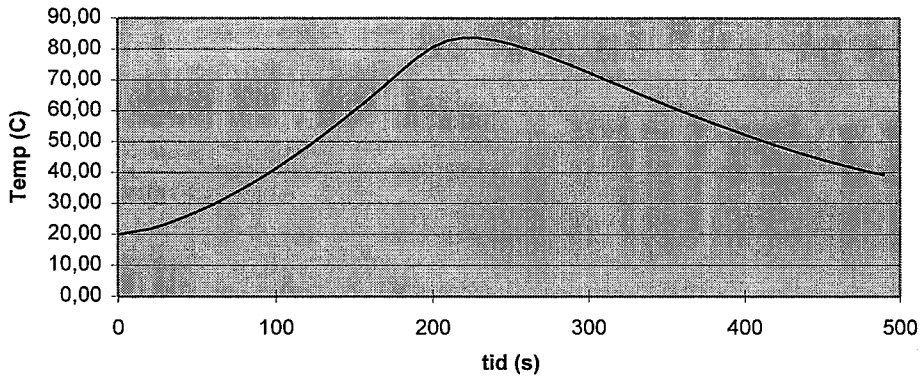


Diagram 2c

Temperatur i nedre røyklag

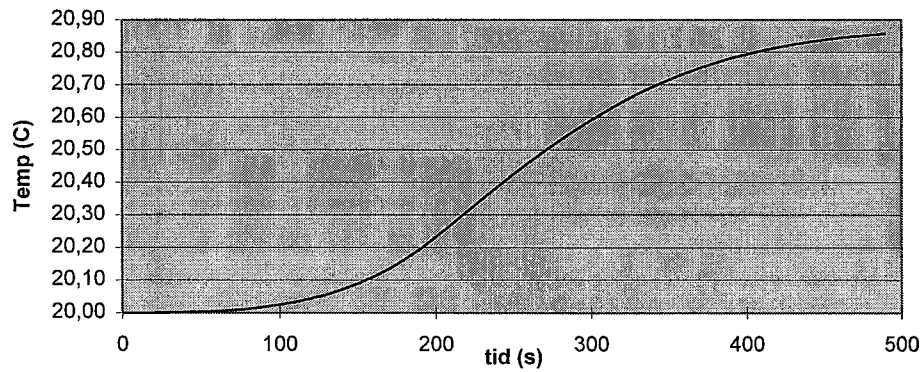
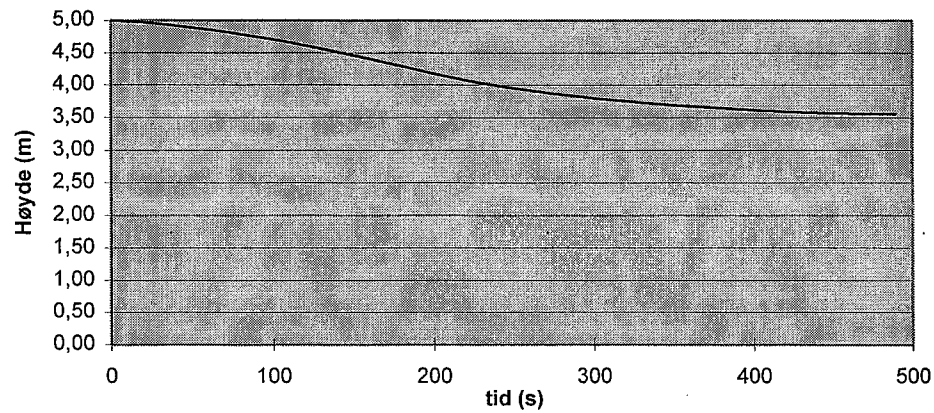


Diagram 2d

Høyde røyklag



FASTLite
Developed by:

Fire Estimation Tools
Building and Fire Research Laboratory
Gaithersburg, MD 20899

Licensed to:
Project Reference:
Project:

Calculation: Estimated Egress Travel Time
Date of Calculation: 24 April 1997

This procedure estimates the time needed for a group of people to exit a given space or building. This calculation is based on a hydraulic mode of people movement and reported estimates are not multiplied by a safety factor.

Population: 530 persons
Relative movement speed: 100 %
Exit door(s): 3
Exit travel speed for able persons on level surfaces: 1.006 m/s
Flow through each leaf of exit door(s): 0.744 pers/s

Level travel distance: 25 m

Estimated total horizontal and stairway travel time: 25 s
Estimated total doorway exit time: 2.4E+002 s

VEDLEGG 4.4

Sannsynlighetsberegning for M-kurvene

Sannsynlighetene for hver enkelt hendelse er evaluert og estimert sannsynligheter for i kapittel 4.4

TAC 1: Utregnet sannsynlighet for at brannen oppdages/detekteres før FRI:

Kinosal

$$\Pr(\text{dmn}) = \Pr(\text{dmn1}) + \Pr(\text{dmn2}) - (\Pr(\text{dmn1}) \times \Pr(\text{dmn2})) =$$

$$\Pr(\text{dmn}) = 0.999955 + 0.99 - (0.999955 \times 0.99) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 2: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding er forberedt før FRI:

Kinosal

$$\Pr(\text{pmn}) = \Pr(\text{pmn1}) + \Pr(\text{pmn2}) - \Pr(\text{pmn1}) \times \Pr(\text{pmn2}) + \Pr(\text{pmn3}) - (\Pr(\text{pmn1}) + \Pr(\text{pmn2}) - \Pr(\text{pmn1}) \times \Pr(\text{pmn2})) \times \Pr(\text{pmn3}) =$$

$$\Pr(\text{pmn}) = ((0.999955) + (0.60) - ((0.999955) \times (0.60))) + (0.33) - ((0.999955) + (0.60) - (0.999955) \times (0.60)) \times (0.33) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 3: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding sendes før FRI:

Kinosal

$$\Pr(\text{smn}) = (\Pr(\text{smn1}) + \Pr(\text{smn2}) - (\Pr(\text{smn1}) \times \Pr(\text{smn2}))) + \Pr(\text{smn3}) - (\Pr(\text{smn1}) + \Pr(\text{smn2}) - (\Pr(\text{smn1}) \times \Pr(\text{smn2}))) \times \Pr(\text{smn3}) =$$

$$\Pr(\text{smn}) = ((0.99955) + (0.60) - ((0.99955) \times (0.60))) + (0.90) - ((0.99955) + (0.60) - (0.99955) \times (0.60)) \times (0.90) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 4: Utregning av sannsynlighet for at uprofesjonelle slokkere mottar melding før FRI:

Kinosal

$$\Pr(\text{rmn}) = \Pr(\text{rmn1}) + \Pr(\text{rmn2}) - (\Pr(\text{rmn1}) \times \Pr(\text{rmn2})) =$$

$$\Pr(\text{rmn}) = 0.999955 + 0.95 - (0.999955 \times 0.95) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 9: Utregning av sannsynlighet for at munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI:

Kinosal

$$\Pr(\text{fma}^2) = \Pr(\text{fma}^2_1) \times \Pr(\text{fma}^2_2) = 0.288$$

$$\Pr(\text{fma}^2) = 0.36 \times 0.80 = \underline{\underline{0.288}}$$

TAC 11: Utregning av påføringsrate uprofesjonelle, kinosal:

Vanntemperatur: $10\text{ }^{\circ}\text{C}$
Vannets kokepunktL: $100\text{ }^{\circ}\text{C}$
Vannets varmekapasitet: $C = 4,18\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$
Fordampningsvarme: $C_f = 2253\text{ kJ/kg}$
Dampens varmekap: $C = 2\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$

Brannens effekt: $Q = 6200\text{ kW}$

Slokkekriterium er:

Vannet skal fjerne $1/3$ av brannens effekt [12]

Romtemperaturen skal ned til $150\text{ }^{\circ}\text{C}$

Minste nedkjølingseffekt: $Q_v = 2067\text{ kW}$

Dette oppnås ved oppvarming av vannet og ved fordampning:

Oppvarming av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times (100 - 10)\text{ }^{\circ}\text{C} \times 4,18\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C} = V[\text{kg/s}] \times 376\text{ kJ/kg}$$

Fordampning av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times 2253\text{ kJ/kg}$$

Oppvarming av dampen:

$$V[\text{kg/s}] \times (150 - 100)\text{ }^{\circ}\text{C} \times 2\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C} = V[\text{kg/s}] \times 100\text{ kJ/kg}$$

$$\text{Sum: } V[\text{kg/s}] \times 2730\text{ kJ/kg (avrundet)}$$

Nødvendig påføringsrate:

$$Q_v = V \times 2730\text{ kJ/kg} \Rightarrow$$

$$V = 2067\text{ kW} / 2730\text{ kJ/kg} = 0.757\text{ kg/s} = 45.43\text{ l/min}$$

Nødvendig påføringsrate dersom 50 % av det medgatte vannet går med til energibalansen.

$$V = 45.43\text{ l/min} \times 2 = 90.86\text{ l/min}$$

Profesjonelle slukkere

TAC 1: Utregnet sannsynlighet for at brannen oppdages/detekteres før FRI:

Kinosal

$$\Pr(\text{dmn}) = \Pr(\text{dmn1}) + \Pr(\text{dmn2}) - (\Pr(\text{dmn1}) \times \Pr(\text{dmn2})) =$$

$$\Pr(\text{dmn}) = 0.999955 + 0.99 - (0.999955 \times 0.99) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 2: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding er forberedt før FRI:

Kinosal

$$\Pr(\text{dmn}) = \Pr(\text{pmn1}) + \Pr(\text{pmn2}) - (\Pr(\text{pmn1}) \times \Pr(\text{pmn2})) =$$

$$\Pr(\text{pmn}) = 0.999955 + 0.60 - (0.999955 \times 0.60) = \underline{\underline{1.000}}$$

$$\Pr(\text{smn}) = 0.99925 + 0.60 - (0.99925 \times 0.60) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 3: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding sendes før FRI:

Kinosal

$$\Pr(\text{smn}) = \Pr(\text{smn1}) + \Pr(\text{smn2}) - (\Pr(\text{smn1}) \times \Pr(\text{smn2})) =$$

$$\Pr(\text{smn}) = 0.99 + 0.60 - (0.99 \times 0.60) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 4: Utregning av sannsynlighet for at brannvesenet mottar brannmelding før FRI:

Kinosal

$$\Pr(\text{rmn}) = \Pr(\text{rmn1}) \times \Pr(\text{rmn2}) =$$

$$\Pr(\text{rmn}) = 0.991 \times 0.90 = \underline{\underline{0.892}}$$

TAC 11: Utregning av nødvendig påføringsrate, kinosal:

Vanntemperatur:	10 °C
Vannets kokepunktL:	100 °C
Vannets varmekapasitet:	C = 4,18 kJ/kg °C
Fordampningsvarme:	C _f = 2253 kJ/kg
Dampens varmekap:	C = 2 kJ/kg °C

$$\text{Brannens effekt:} \quad Q = 37500 \text{ kW}$$

Slokkekriterium er:

Vannet skal fjerne 1/3 av brannens effekt [12]

Romtemperaturen skal ned til 150 °C

Minste nedkjølingseffekt: Q_v = 12500 kW

Dette oppnås ved oppvarming av vannet og ved fordampning:

Oppvarming av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times (100 - 10) \text{ °C} \times 4,18 \text{ kJ/kg °C} = V [\text{kg/s}] \times 376 \text{ kJ/kg}$$

Fordampning av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times 2253 \text{ kJ/kg}$$

Oppvarming av dampen:

$$V[\text{kg/s}] \times (150 - 100) \text{ °C} \times 2 \text{ kJ/kg °C} = V [\text{kg/s}] \times 100 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Sum: } V [\text{kg/s}] \times 2730 \text{ kJ/kg (avrundet)}$$

Nødvendig påføringsrate:

$Q_v = V \times 2730 \text{ kJ/kg} \Rightarrow$
 $V = 12500 \text{ kW} / 2730 \text{ kJ/kg} = 4,579 \text{ kg/s} = 274,73 \text{ l/min}$

Nødvendig påføringsrate dersom 50 % av det medgatte vannet går med til energibalansen.

$V = 274,73 \text{ l/min} \times 2 = 549,46 \text{ l/min}$

VEDLEGG 4.6

Vedlegg 4.6.1 Kinosal

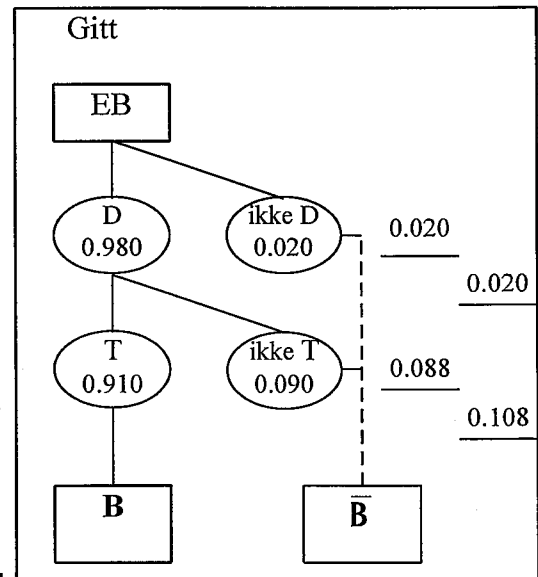
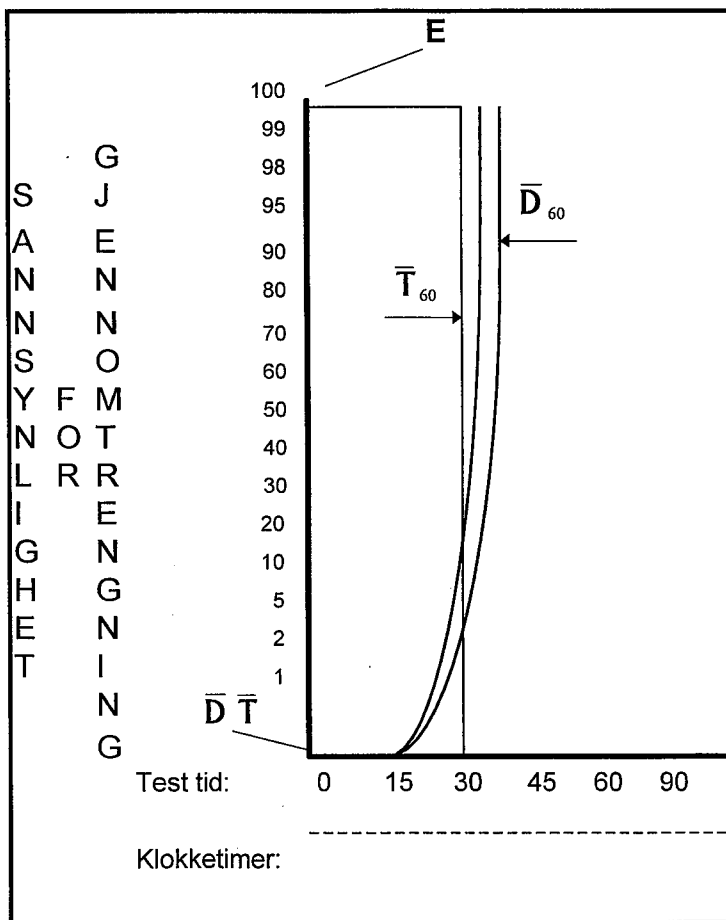


Fig. 4.6.1

$Pr(\bar{D}) = 2$ 2 % sannsynlighet for massiv svikt i barrieren

$Pr(\bar{T}) = 9$ 9 % sannsynlighet for punkt svikt

$Pr(\bar{B}) = 0.108$ 10.8 % sannsynligheten for at barrieren ikke stopper brannen.

Vedlegg 4.6.2 Bygning

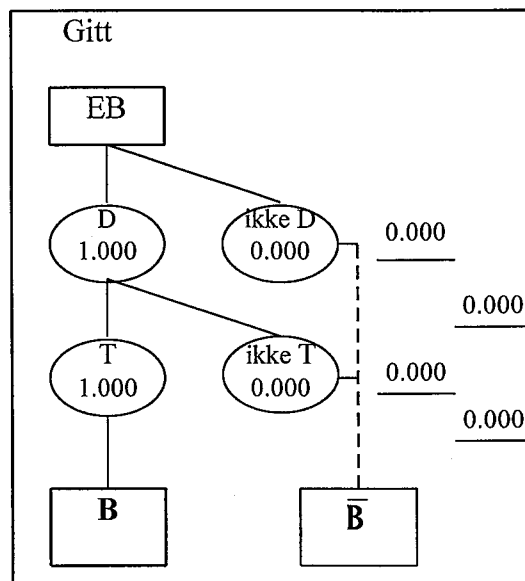
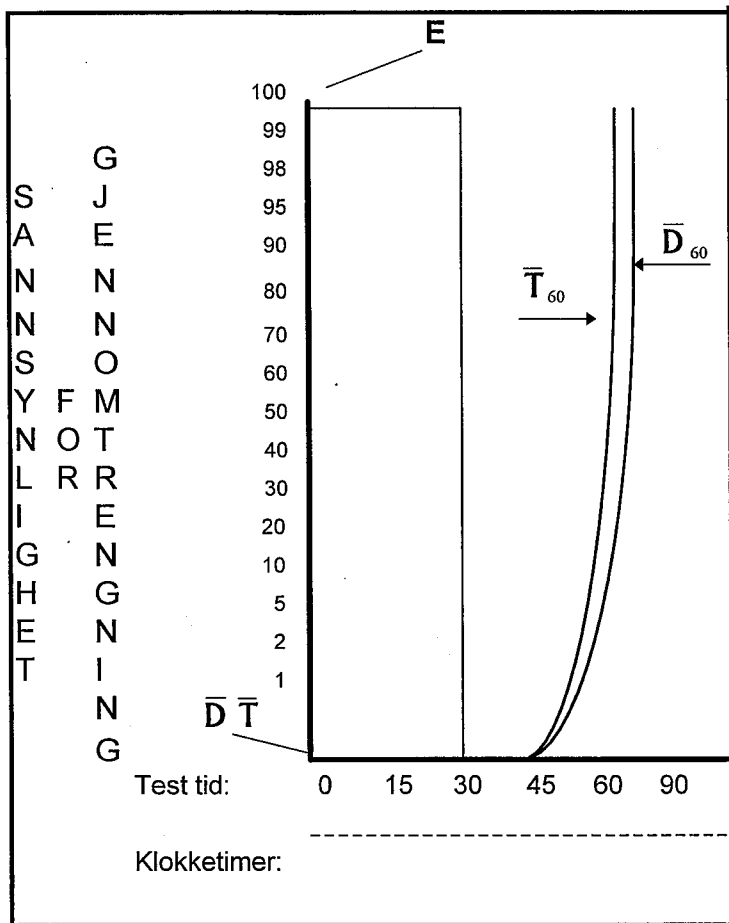


Fig. 4.6.1

$Pr(\bar{D}) = 0.000$

0 % sannsynlighet for massiv svikt i barrieren

$Pr(\bar{T}) = 0.000$

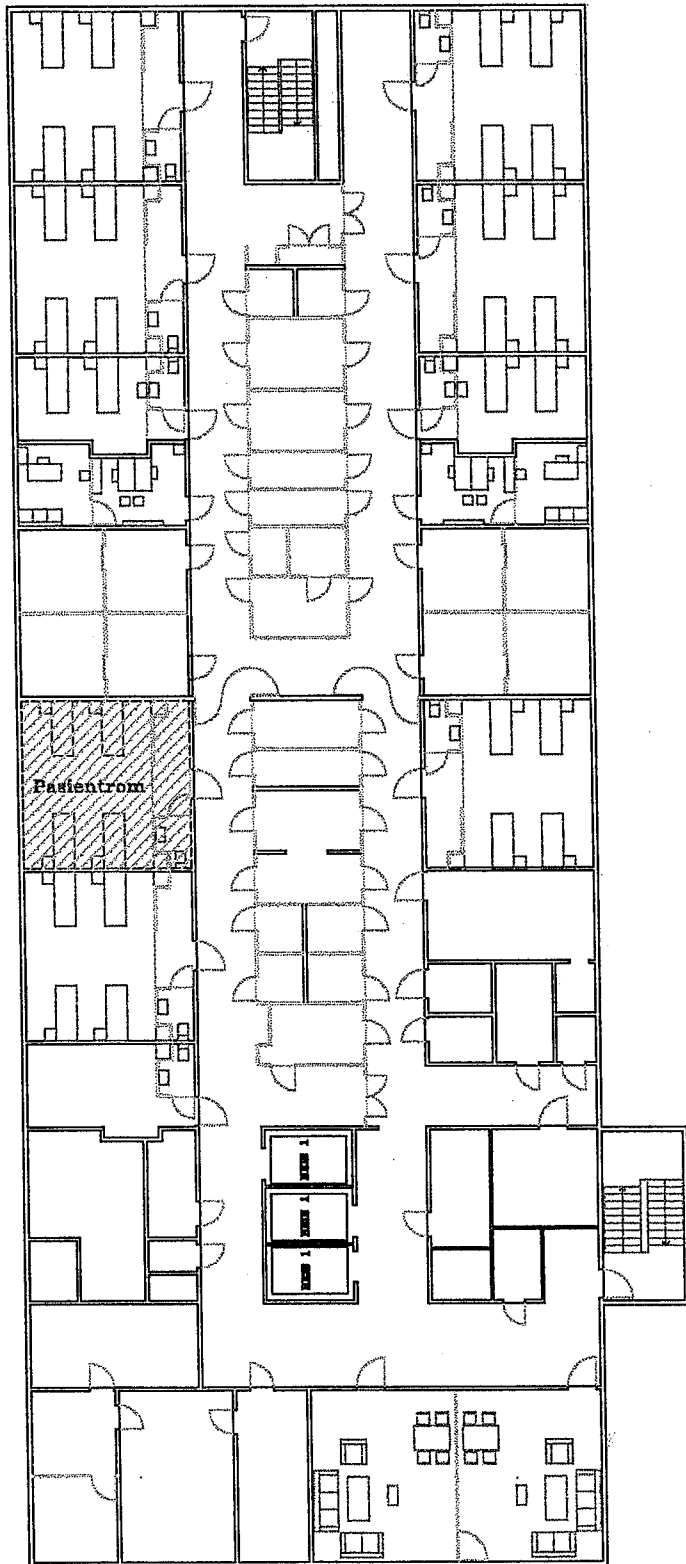
0 % sannsynlighet for punkt svikt

$Pr(\bar{B}) = 0.000$

0 % sannsynligheten for at barrieren ikke stopper brannen.

VEDLEGG 5.1

Tegning, Fylkessykehuset i Haugesund



Praktisk sykehus

ETASJE 3

FYLKESSYKEHUSET I HAUGESUND

VEDLEGG 5.2

Beregninger for simulering i FASTlite:

Inngangsdata:

Spesifikkbrannbelastning, $q_b = 70 \text{ MJ/m}^2$ (gulvareal), (se vedlegg 5.5)

Gjennomsnittlig brannbelastning, $q_d = 230 \text{ MJ/m}^2$ (gulvareal), (Europeiske sykehus, [11])

$A = 49 \text{ m}^2$, $h = 2.7 \text{ m}$, $\alpha = 50 \text{ W/s}^2$ (for kategori 1 og bygningskategori B, [11]) og $\tau = 200 \text{ s}$ (tabell 3.11.4, [11])

For å finne **maksimal forbrenningseffekt** brukes formelen:

$$q_{\max} = 300 \times h \times \sqrt{\frac{A \times Q}{Q_{\text{gjennomsnit}}}} \quad [\text{kW}] \quad [11]$$

Dette gir:

$$q_{\max} = 300 \times 3 \times \sqrt{\frac{49 \times 70}{230}} = \underline{3476 \text{ kW}}$$

For å finne hvilken tid maksimal forbrenningseffekt inntreffer brukes formelen:

$$q(t)_d = \alpha \times t^2 \quad [\text{W}] \quad [11]$$

Dette gir:

$$t = \sqrt{\frac{3476 \text{ kW}}{0.05 \text{ kW/s}^2}} = \underline{264 \text{ s}}$$

Total branntid beregnes utfra:

$$t_c = \frac{\chi \times q_d \times A}{q_{\max}} + \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{q_{\max}}{\alpha}} + \frac{\tau}{2} \quad [11]$$

Dette gir:

$$t_{c1} = \frac{1.0 \times 70 \text{ MJ/m}^2 \times 49 \text{ m}^2}{3.476 \text{ MW}} + \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{3476 \text{ kW}}{0.05 \text{ kW/s}^2}} + \frac{200}{2} = \underline{1263 \text{ s}}$$

Disse tallene settes inn i FASTlite for å simulere brannforløpet. Resultatet presenteres i Vedlegg 5.3, diagram 1b, 1c og 2a, 2b.

Beregninger for I-kurve sykehus:

1.5 meter flammehøyde, pasientrom:

Beregning 2:

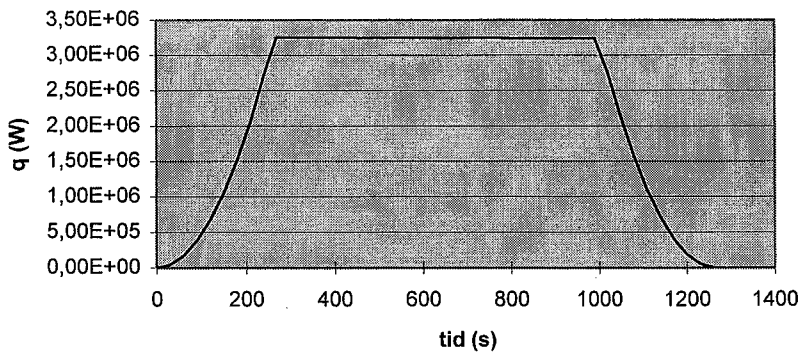
Areal seng = 2 m^2 , $Q_c = 800 \text{ kW}$ (diagram 1 a)

$$l = 0.23 \times (Q_c)^{2/5} - 1.02 \times D = 0.23 \times (726)^{2/5} - 1.02 \times 1.6 = \underline{1.6 \text{ m}} \quad (1a, \text{ vedlegg 3.3})$$

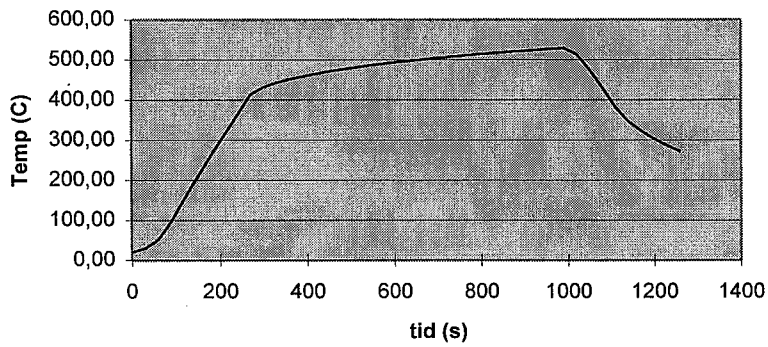
VEDLEGG 5.3

Simuleringer

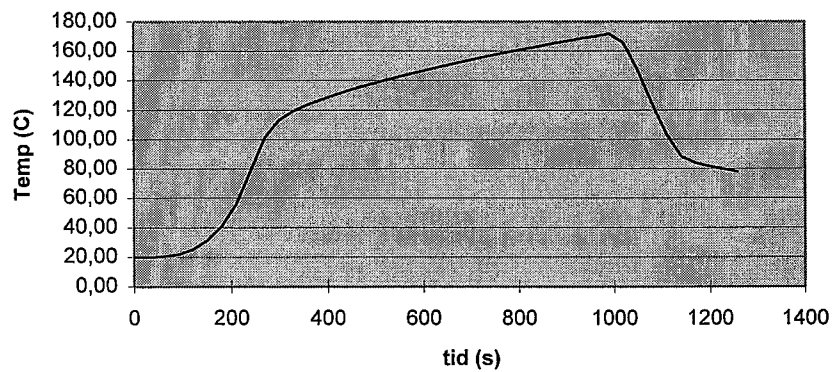
Brannutvikling i praktisk pasientrom



Temperatur øvre røyklag praktisk pasient



Temperatur nedre røyklag praktisk pasient



Høyde røyklag praktisk pasient

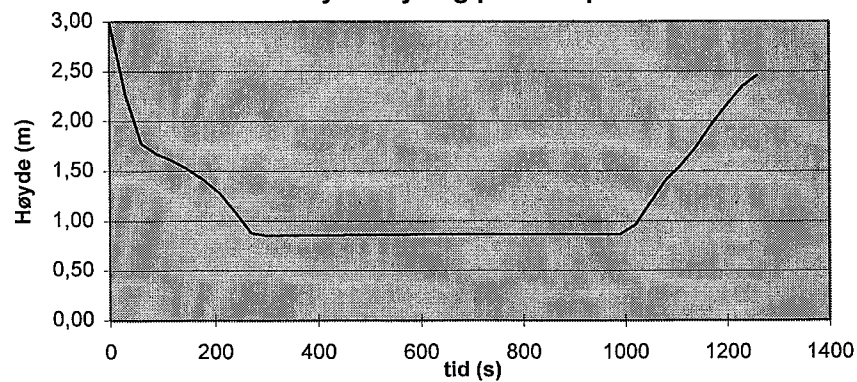


Diagram 2a

Brann i seng, praktisk pasientrom

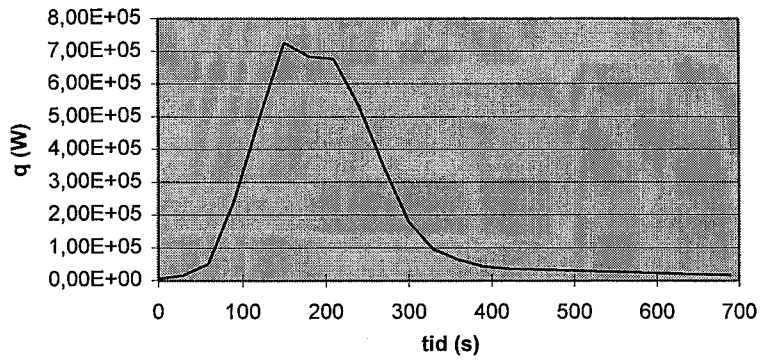


Diagram 2b

Temperatur i øvre røyklag, praktisk pasientrom

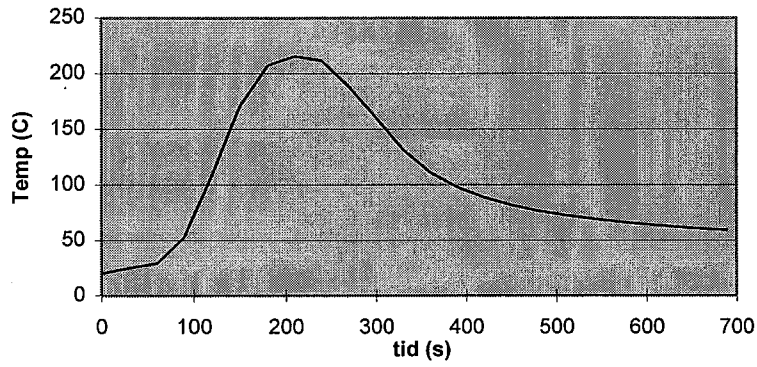


Diagram 2c

Temperatur nedre røyklag, praktisk pasientrom

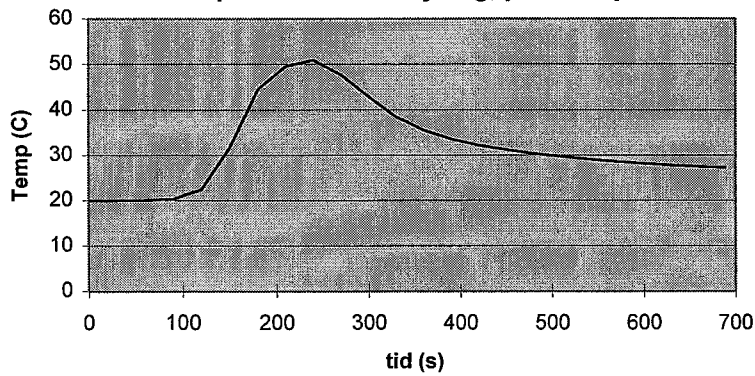
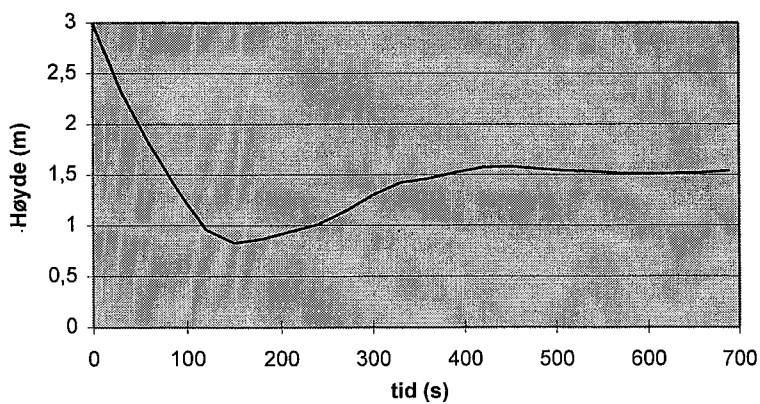


Diagram 2d

Høyde røyklag



VEDLEGG 5.4

Sannsynlighetsberegning for M-kurvene

Sannsynlighetene for hver enkelt hendelse er evaluert og estimert sannsynligheter for i kapittel 5.4

Uprofesjonelle slokkere

TAC 1: Utregnet sannsynlighet for at brannen oppdages/detekteres før FRI:

Pasientrom

$$\Pr(\text{dmn}) = \Pr(\text{dmn1}) + \Pr(\text{dmn2}) - (\Pr(\text{dmn1}) \times \Pr(\text{dmn2})) =$$

$$\Pr(\text{dmn}) = 0.999955 + 0.60 - (0.999955 \times 0.60) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 2: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding er forberedt før FRI:

Oppholdsrom og Pasientrom

$$\Pr(\text{pmn}) = (\Pr(\text{pmn1}) + \Pr(\text{pmn2}) - (\Pr(\text{pmn1}) \times \Pr(\text{pmn2}))) + \Pr(\text{pmn3}) - (\Pr(\text{pmn1}) + \Pr(\text{pmn2}) - (\Pr(\text{pmn1}) \times \Pr(\text{pmn2}))) \times \Pr(\text{pmn3}) =$$

$$\Pr(\text{pmn}) = ((0.999955) + (0.60) - ((0.999955) \times (0.60))) + (0.33) - ((0.999955) + (0.60) - (0.999955) \times (0.60)) \times (0.33) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 3: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding sendes før FRI:

Oppholdsrom og Pasientrom

$$\Pr(\text{smn}) = (\Pr(\text{smn1}) + \Pr(\text{smn2}) - (\Pr(\text{smn1}) \times \Pr(\text{smn2}))) + \Pr(\text{smn3}) - (\Pr(\text{smn1}) + \Pr(\text{smn2}) - (\Pr(\text{smn1}) \times \Pr(\text{smn2}))) \times \Pr(\text{smn3}) =$$

$$\Pr(\text{smn}) = ((0.99955) + (0.60) - ((0.99955) \times (0.60))) + (0.90) - ((0.99955) + (0.60) - (0.99955) \times (0.60)) \times (0.90) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 4: Utregning av sannsynlighet for at uprofesjonelle slokkere mottar melding før FRI:

Oppholdsrom/Pasientrom

$$\Pr(\text{rmn}) = \Pr(\text{rmn1}) + \Pr(\text{rmn2}) - (\Pr(\text{rmn1}) \times \Pr(\text{rmn2})) =$$

$$\Pr(\text{rmn}) = 0.999955 + 0.80 - (0.999955 \times 0.80) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 9: Utregning av sannsynlighet for at munnstykket er innen rekkevidde av flammen før FRI:

Oppholdsrom/Pasientrom

$$\Pr(fma^2) = (\Pr(fma^2_1) \times \Pr(fma^2_2)) =$$

$$\Pr(fma^2) = 0.90 \times 0.90 = 0.810$$

TAC 11: Utregning av påføringsrate uprofesjonelle, oppholdsrom og pasientrom:

Vanntemperatur:	10 °C
Vannets kokepunktL:	100 °C
Vannets varmekapasitet:	C = 4,18 kJ/kg °C
Fordampningsvarme:	C _f = 2253 kJ/kg
Dampens varmekap:	C = 2 kJ/kg °C

Brannens effekt: Q = 680kW

Slokkekriterium er:

Vannet skal fjerne 1/3 av brannens effekt [12]

Romtemperaturen skal ned til 150 °C

Minste nedkjølingseffekt: Q_v = 227 kW

Dette oppnås ved oppvarming av vannet og ved fordampning:

Oppvarming av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times (100 - 10) \text{ °C} \times 4,18 \text{ kJ/kg °C} = V[\text{kg/s}] \times 376 \text{ kJ/kg}$$

Fordampning av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times 2253 \text{ kJ/kg}$$

Oppvarming av dampen:

$$V[\text{kg/s}] \times (150 - 100) \text{ °C} \times 2 \text{ kJ/kg °C} = V[\text{kg/s}] \times 100 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Sum: } V[\text{kg/s}] \times 2730 \text{ kJ/kg (avrundet)}$$

Nødvendig påføringsrate:

$$Q_v = V \times 2730 \text{ kJ/kg} \Rightarrow$$

$$V = 227 \text{ kW} / 2730 \text{ kJ/kg} = 0.083 \text{ kg/s} = 4.99 \text{ l/min}$$

Nødvendig påføringsrate dersom 50 % av det medgåtte vannet går med til energibalanseringen.

$$V = 4.99 \text{ l/min} \times 2 = 9.98 \text{ l/min}$$

Profesjonelle slokkere

TAC 1: Utregning av sannsynlighet for at brannen oppdages/detekteres før FRI:

Pasientrom

$$\Pr(dmn) = 0.999955 + 0.60 - (0.999955 \times 0.60) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 2: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding er forberedt før FRI:

Oppholdsrom/Pasientrom

$$\Pr(\text{dmn}) = \Pr(\text{pmn1}) + \Pr(\text{pmn2}) - (\Pr(\text{pmn1}) \times \Pr(\text{pmn2})) =$$

$$\Pr(\text{pmn}) = 0.99925 + 0.60 - (0.99925 \times 0.60) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 3: Utregning av sannsynlighet for at signal/Melding sendes før FRI:

Oppholdsrom/Pasientrom

$$\Pr(\text{smn}) = \Pr(\text{smn1}) + \Pr(\text{smn2}) - (\Pr(\text{smn1}) \times \Pr(\text{smn2})) =$$

$$\Pr(\text{smn}) = 0.999955 + 0.60 - (0.999955 \times 0.60) = \underline{\underline{1.000}}$$

TAC 4: Utregning av sannsynlighet for at brannvesenet mottar brannmelding før FRI:

Oppholdsrom/Pasientrom

$$\Pr(\text{rmn}) = \Pr(\text{rmn1}) + \Pr(\text{rmn2}) - (\Pr(\text{rmn1}) \times \Pr(\text{rmn2})) = 0.999$$

$$\Pr(\text{rmn}) = 0.991 + 0.90 - (0.991 \times 0.90) = \underline{\underline{0.999}}$$

TAC 11: Utregning av påføringsrate profesjonelle, pasientrom:

Vanntemperatur:	10 °C
Vannets kokepunktL:	100 °C
Vannets varmekapasitet:	C = 4,18 kJ/kg °C
Fordampningsvarme:	C _f = 2253 kJ/kg
Dampens varmekap:	C = 2 kJ/kg °C

$$\text{Brannens effekt:} \quad Q = 3250 \text{ kW}$$

Slokkekriterium er:

Vannet skal fjerne 1/3 av brannens effekt [12]

Romtemperaturen skal ned til 150 °C

Minste nedkjølingseffekt: Q_v = 1083 kW

Dette oppnås ved oppvarming av vannet og ved fordampning:

Oppvarming av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times (100 - 10) \text{ °C} \times 4,18 \text{ kJ/kg °C} = V[\text{kg/s}] \times 376 \text{ kJ/kg}$$

Fordampning av vannet:

$$V[\text{kg/s}] \times 2253 \text{ kJ/kg}$$

Oppvarming av dampen:

$$V[\text{kg/s}] \times (150 - 100) \text{ °C} \times 2 \text{ kJ/kg °C} = V[\text{kg/s}] \times 100 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Sum: } V[\text{kg/s}] \times 2730 \text{ kJ/kg (avrundet)}$$

Nødvendig påføringsrate:

$$Q_v = V \times 2730 \text{ kJ/kg} \Rightarrow$$

$$V = 1083 \text{ kW} / 2730 \text{ kJ/kg} = 0,397 \text{ kg/s} = 23.81 \text{ l/min}$$

Nødvendig påføringsrate dersom 50 % av det medgatte vannet går med til energibalansen.

$$V = 23.81 \text{ l/min} \times 2 = 47.62 \text{ l/min}$$

VEDLEGG 5.5

Beregning av brannbelastning praktisk sykehus:

Bakgrunn for beregning av brannbelastning i sykehus er innsamlede data ved befaring utført ved Fylkessykehuset i Haugesund og ekspertuttalelser av Arne hos Svelland a/s. Likninger benyttet ved beregning er hentet fra NS3478. Det er beregnet brannbelastning pr. gulvareal, dette er gjort for å få sammsvar med formler fra [11].

Følgende data ble observert:

- 4 stk madrasser (2.0 x 1.0 m²), polyester
- 4 stk puter, polyester
- 4 sett sengetøy, bomull
- 4 stk dyner, polyester
- 4 stk nattbord, tre
- 4 stk stoler, tre og polyester
- 2 stk skjerm Brett, bomull
- 1 stk bord, tre
- 1 sett gardiner, bomull
- rommet er 7 x 7 m²

Beregning av masse til de forskjellige objektene:

Madrasser:	4 x (2.2 x 1 x 0.15) m ³ x 24.2 Kg/m ³ =	32.0	Kg polyester
Puter(inkl.trekk):	4 x (0.9 x 0.6 x 0.07) m ³ x 24.2 Kg/m ³ =	3.7	Kg polyester
Dyner:	4 x 1.4 kg	5.6	Kg polyester
Laken:	4 x (2.7 x 1.6) m ² x 0.2 Kg/m ² =	3.5	Kg bomull
Dynetrekk:	4 x 2 x (1.3 x 2) x 0.2 Kg/m ² =	4.2	Kg bomull
Nattbord:	4 x ((0.5 x 0.5 x 1.0) - (0.48 x 0.48 x 0.98)) m ³ x 640 Kg/m ³ =	62.0	Kg tre
Stoler:	4 x 0.00765 m ³ x 640 Kg/m ³ =	19.6	Kg tre
Stoler:	4 x 0.00078 m ³ x 640 Kg/m ³ =	2.0	Kg polyester
Skjerm Brett:	2 x (2.5 x 1.5) m ² x 0.2 Kg/m ² =	1.6	Kg bomull
Bord:	0.029 m ³ x 640 Kg/m ³ =	18.5	Kg tre
Gardiner:	(8 x 1.7) m ² x 0.2 Kg/m ² =	2.7	Kg bomull

Beregning av brannbelastning ble utført med følgende likning:

$$q_b = \frac{\sum k \times H_v \times m}{A_t} \quad [\text{NS3478}]$$

Hvor:

k angir

H_v angir forbrenningsenergi (MJ/Kg) (tabellXXX)

m angir massen til legemet (Kg)

A_t angir rommets gulvareal (m^2)

Beregner først $k \times H_v \times m$ for de forskjellige objektene:

Seng (polyester):	$k \times H_v \times m = 1.0 \times 28 \text{ MJ/Kg} \times 41.2 \text{ Kg} = 1\,153.60 \text{ MJ}$
Seng (bomull):	$1.0 \times 17 \text{ MJ/Kg} \times 7.8 \text{ Kg} = 132.60 \text{ MJ}$
Gardiner (bomull):	$1.0 \times 17 \text{ MJ/Kg} \times 2.7 \text{ Kg} = 45.90 \text{ MJ}$
Skjerm Brett (bomull):	$1.0 \times 17 \text{ MJ/Kg} \times 1.6 \text{ Kg} = 27.20 \text{ MJ}$
Nattbord (tre):	$1.0 \times 20 \text{ MJ/Kg} \times 62.0 \text{ Kg} = 1\,240.00 \text{ MJ}$
Stoler (tre):	$1.0 \times 20 \text{ MJ/Kg} \times 19.6 \text{ Kg} = 392.00 \text{ MJ}$
Stoler (polyester):	$1.0 \times 28 \text{ MJ/Kg} \times 2.0 \text{ Kg} = 56.00 \text{ MJ}$
Bord (tre):	$1.0 \times 20 \text{ MJ/Kg} \times 18.5 \text{ Kg} = 370.60 \text{ MJ}$
	Sum: <u>3 430.82 MJ</u>

$$q_b = \frac{\sum k \times H_v \times m}{A_t} = \frac{3430.82}{49} \cong 70 \text{ MJ/m}^2 \text{ gulvareal}$$

$$\underline{\underline{q_b = 70 \text{ MJ/m}^2}}$$