



ERHVERVS- OG BOLIGSTYRELSEN



Information

om brandteknisk dimensionering

April 2004

Information om brandteknisk dimensionering

Information om brandteknisk dimensionering

Publikationen kan bestilles hos:

Byggecentrum
Lautrupvang 1 B
2750 Ballerup

Tlf. 70 12 06 00
bog@byggecentrum.dk
www.byggecentrum.dk

Publikationen kan også hentes på
Erhvervs- og Boligstyrelsens hjemmeside: www.ebst.dk

Oplag

2.000

Pris

kr. 175.- inkl. moms

ISBN

Trykt udgave 87-91340-15-2
Elektronisk udgave 87-91340-37-3

Design

Byggecentrum

Trykkeri

Paperjam ApS
Trykt i Danmark, april 2004

Erhvervs- og Boligstyrelsen

Dahlerups Pakhus
Langelinie Allé 17
2100 København Ø

Indholdsfortegnelse

1. Generelt	11
1.1 Brug af computersimuleringer	12
1.2 Dokumentation af brandteknisk dimensionering	13
1.2.1 Fastlæggelse af strategi for brandsikring af en bygning	13
1.2.2 Indhold af den brandtekniske dokumentation	15
1.3 Brandteknisk beregning	18
1.3.1 Eksempel på beregningsprocedure	18
1.4 Identificering af acceptabelt brandsikkerhedsniveau i en bygning	20
1.4.1 Kritiske forhold for personer	20
1.4.2 Kritiske forhold for brandspredning	21
1.4.3 Følsomhedsanalyse	21
1.4.4 Risikoanalyse	23
2. Flugtvejsforhold	25
2.1 Antal personer	26
2.2 Gangtid	26
3. Konstruktive forhold	29
4. Brandtekniske installationer	31
4.1 Aktiveringstid for sprinkler eller detektor	31
5. Brand- og røgspredning	33
5.1 Fastlæggelse af den dimensionerende brands effektudvikling og røgproduktion	35
5.2 Dimensionerende brands brandtilvækst	36
5.3 Den dimensionerende brands maksimale effektudvikling	37
5.3.1 Den maksimale effektudvikling for brand i bygning med sprinkleranlæg	38
5.4 Brand- og røgspredning i det rum, hvor branden opstår	39
5.4.1 Optisk densitet	39
5.4.2 Beregning af røgfylldning	40
5.5 Brand- og røgspredning i den bygning, hvor branden opstår eller til andre bygninger på samme grund	41
5.6 Brandspredning mellem bygninger, som udgør forskellige brandmæssige enheder	41
6. Redningsberedskabets indsatsmuligheder	43

1 Bilag	45
1.1 Risikoanalyse	45
1.2 Aktiveringstid for sprinklere og simple termodetektorer	50
1.2.1 Tid til aktivering af sprinkler/termodetektorer ved konstant effekt	52
1.3 Brandbelastning og effektudvikling	53
1.4 Den maksimale effektudvikling	53
1.5 Optisk densitet	54
1.6 Røgfyldning	56
1.6.1 Beregning af røgfyldning	56
1.6.2 Beregning af røgfyldning i lokaler med naturlig (termisk) brandventilation	58
1.6.3 Beregning af røgfyldning i lokaler med mekanisk ventilation	61
1.6.4 Beregning af røgfyldning i ikke brandventilerede rum med stort volumen, herunder atrier og andre glasoverdækkede bygninger	62
1.7 Stråling	62
1.8 Sandsynligheder	62
1.9 Ordforklaring	65
1.10 Nomenklatur, enheder og symboler	69
1.11 Checkliste for brandsikringsforanstaltninger	71
1.12 Inddata	73
1.13 Referencer	74

Forord

Denne information indeholder en række eksempler på beregningsmetoder og procedurer samt forslag til parametre til brug ved en brandteknisk dimensionering, der udføres på grundlag af en beregning.

En brandteknisk dimensionering kan, hvis den udføres af kvalificerede og erfarne rådgivere, udgøre den nødvendige dokumentation, jf. bygningsreglement 1995, kapitel 1.3, stk. 6, for, at en bygning har et tilstrækkeligt sikkerhedsniveau i tilfælde af brand.

Sikkerhedsniveauet, som en bygning skal opfylde, fremgår af bygningsreglement 1995, kapitel 6. Hovedparten af bestemmelserne heri kan direkte kvantificeres ved en brandteknisk dimensionering. Et eksempel herpå er kravene til flugtveje i bygningsreglement 1985, kapitel 6.2, stk. 4, hvoraf fremgår, at der i det tidsrum, hvor flugtvejene skal anvendes til evakuering, ikke må forekomme temperaturer, røgkoncentrationer, varmestråling eller andre forhold, som hindrer evakuering. For de bestemmelser, som ikke umiddelbart kan kvantificeres, kan der f.eks. henvises til tidligere erfaringer med traditionelt byggeri eller eksemplerne i „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“, der kan give forslag til, hvilket sikkerhedsniveau der ønskes opnået.

De beregningsmetoder, der er angivet i denne information, skal ses som en vejledning, og de har alle visse begrænsninger, der skal undersøges og respekteres, inden de anvendes på en aktuel problemstilling. Dette skyldes, at beregningsmetoderne alle er valideret indenfor et afgrænset område. Anvendes beregningsmetoderne på en problemstilling, som falder udenfor dette område, bør det på anden vis dokumenteres, at resultaterne er korrekte og relevante. Da der samtidig er en stor variation i design og anvendelse af bygninger, vil der i nogle tilfælde findes andre mere egnede beregningsmetoder. Der henvises generelt til referencelisten for yderligere information.

Med det nuværende brandtekniske vidensniveau og de nuværende muligheder for at modellere brandforløb og menneskelig adfærd kræver det en brandteknisk indsigt for at kunne vurdere, om metoderne er anvendelige i det konkrete tilfælde. Vurderingen vil ofte kun kunne foretages af personer med tilstrækkelig erfaring og kvalifikationer indenfor brandteknisk dimensionering.

Det påhviler ejeren (den projekterende) at sikre, at der anvendes de i relation til brandsikkerheden bedst egnede metoder og procedurer for det aktuelle projekt.

Denne information kan anvendes ved nye såvel som eksisterende bygninger. Ved anvendelsen af vejledningen henledes opmærksomheden på eventuelle brandkrav i anden lovgivning, herunder regler udstedt i medfør af beredskabsloven.

En brandteknisk dimensionering vil typisk være nødvendig for at kunne vurdere brandsikkerheden i komplekse bygninger og i bygninger, hvor særligt mange mennesker er samlet. En brandteknisk dimensionering kan ligeledes anvendes til at verificere brandsikkerheden ved opførelse af bygninger, der i større eller mindre grad afviger fra traditionelt byggeri som f.eks. overdækkede gårde, rum hvor særligt mange personer samles, åbne bygninger, lager- og industribygninger i flere etager, meget høje bygninger mv.

Inden en brandteknisk løsning fastlægges, og der foretages en brandteknisk dimensionering, er det vigtigt at vurdere, om og i hvilket omfang bygningen kan opføres på baggrund af traditionelle løsninger. I mange tilfælde vil det være muligt at anvende de mere traditionelle løsninger, der er foreslået i „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“.

Endelig er der i „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“ forslag til løsninger på problemstillinger, som ikke kan bedømmes på baggrund af en matematisk model, som f.eks. flugtvejs- og panikbelysning samt principper for evakuering.

Når eftervisningen af sikkerhedsniveauet sker ved brug af en kombination af traditionelle løsninger og en brandteknisk dimensionering, er det meget vigtigt, at løsningerne ikke kombineres på en uhensigtsmæssig måde. Et eksempel på en uhensigtsmæssig kombination er, hvis nogle dele af et flugtvejssystem udformes på baggrund af en brandteknisk dimensionering, f.eks. gangbredderne og andre dele, som f.eks. ganglængder, udformes efter de traditionelle løsninger.

Ved en brandteknisk dimensionering er det vigtigt at identificere svagheder og følsomme detaljer i en bygnings brandsikkerhed. Til brug herfor kan der udføres en risikoanalyse af bygningens brandsikkerhed. Risikoanalysens resultat indgår i vurderingen af, om bygningens brandsikkerhed er tilfredsstillende og dermed er i overensstemmelse med funktionskravene i bygningsreglement 1995, kapitel 6.

1 Generelt

For at eftervise, at funktionskravene i bygningsreglement 1995, kapitel 6 opfyldes, kan der udføres en brandteknisk analyse. Omfanget af den brandtekniske analyse afhænger af, hvilke forhold der skal eftervises. En brandteknisk analyse kan opdeles i tre kategorier:

1. Brandteknisk komparativ analyse
2. Brandteknisk konsekvensanalyse
3. Brandteknisk risikoanalyse.

En *brandteknisk komparativ* analyse kan bruges til at eftervise, at en traditionelt anvendt byggemetode kan erstattes med en anden løsning, uden at brandsikkerheden ændres. Et eksempel herpå kunne være dokumentation for, at anvendelse af et brandteknisk uklassificeret glasparti i en brandadskillende bygningsdel ikke forringer sikkerheden, hvis brandbelastningen er meget lav.

En *brandteknisk konsekvensanalyse* kan benyttes, hvor brandtekniske beregninger anvendes for at verificere, at et eller flere kriterier for kritiske forhold, som f.eks. er foreslået i denne information, overholdes. Brandteknisk konsekvensanalyse benyttes eksempelvis for at sammenholde tid til kritiske forhold (den tid, det tager fra en brand opstår og til den har udviklet sig i en sådan grad, at de personer, som opholder sig i bygningen, bliver påvirket af branden) med evakueringstiden. Brandteknisk konsekvensanalyse kan også benyttes til at sammenholde en beregnet temperatur i de bærende konstruktioner med den kritiske temperatur for bæreevnen, eller til at sammenholde beregnet strålingsvarme med materialernes egenskaber med hensyn til antændelighed og flammespredning.

Benyttes en brandteknisk konsekvensanalyse til eftervisning af de i bygningsreglement 1995, kapitel 6 angivne funktionskrav, bør der altid gennemføres en følsomhedsanalyse af de skønsmæssigt valgte parametre, der indgår i analysen. Følsomhedsanalysen skal vise konsekvensen for resultaterne som følge af variation af de valgte inddata.

Brandteknisk risikoanalyse bør benyttes som en komplementering af den brandtekniske konsekvensanalyse. Ved en brandteknisk risikoanalyse fastlægges de forventede hyppigheder af brande med forskellige konsekvenser. Brandteknisk risikoanalyse anvendes, hvor følsomhedsanalysen i forbindelse med konsekvensanalysen viser stor variation i brandsikkerhedsniveauet ved ændring af en eller flere af de indgående parametre. En brandteknisk risikoanalyse kan f.eks. indeholde en analyse af tid til kriti-

ske forhold sammenholdt med evakueringstiden for et antal forskellige, relevante scenarier.

En disposition for opstilling af funktionsbestemte beregninger kan findes i DS/ISO/TR 13387-1:2000. Funktionsbestemte brandkrav /1/.

1.1 Brug af computersimuleringer

I forbindelse med eftervisningen af funktionskravene angivet i bygningsreglement 1995, kapitel 6 kan computersimuleringer anvendes til at give et beslutningsgrundlag ved dimensioneringen af brandsikkerheden.

Computersimulering er kun ét blandt flere værktøjer, der kan benyttes ved vurdering af en brandteknisk løsning. Brandtekniske løsninger baseres tillige på brandteknisk faglige vurderinger, praktiske erfaringer og sund fornuft. Computersimuleringer kan ikke alene danne grundlag for den brandtekniske dimensionering og dermed for valget af den brandtekniske løsning.

Computersimuleringer og modeller, der giver tilstrækkelig nøjagtige resultater for den konkrete anvendelse, er et godt værktøj ved brandteknisk dimensionering. Men for at være sikker på, at det resultat, der frembringes af computersimuleringen, kan benyttes i forbindelse med vurderingen af den brandtekniske løsning, er det vigtigt, at nøjagtigheden af de fysiske og matematiske modeller, der ligger til grund for programmet, er eller kan verificeres. Verifikation af en model indeholder som minimum en kontrol af, om det teoretiske grundlag og de antagelser, der er gjort i modellen, kan godtages.

Endvidere bør det verificeres, at modellen ikke har matematiske fejl samt, at modellens løsning sammenholdt med eksperimentelle data giver tilfredsstillende resultater. Denne sammenligning kan ikke gøres for alle tænkelige brand- og/eller evakueringsscenarier, men bør omfatte et repræsentativt udsnit af brand- og/eller evakueringsscenarier, der er relevante for det aktuelle projekt. Det er vigtigt at sikre, at computersimuleringen er valideret til brug for den aktuelle problemstilling.

Brugermanualer og dokumentationen af simuleringsprogrammet kan ofte benyttes til at få information om blandt andet modeller, formler m.m., som indgår i programmet. I manualerne kan det være angivet hvilke forklaringer og antagelser, der ligger til grund for programmet.

Følsomhedsanalysen kræver ofte, at der gennemføres flere simuleringer med ændrede scenarier.

For yderligere vejledning omkring procedurer for bedømmelse og verifikation af nøjagtighed og anvendelighed af den enkelte beregningsmetode kan der henvises til DS/ISO/TR 13387 Funktionsbestemte brandkrav. Del 3: Vurdering og verifikation af matematiske brandmodeller.

1.2 Dokumentation af brandteknisk dimensionering

I henhold til Bygningsreglement 1995, kapitel 1.3, stk. 6 kan kommunalbestyrelsen forlange en brandteknisk dokumentation til brug for vurderingen af ansøgningen om byggetilladelse. Formålet med den brandtekniske dokumentation er at redegøre for, hvordan brandsikkerhedsniveauet opfyldes og opretholdes i bygningens levetid.

En brandteknisk dokumentation er en beskrivelse af bygningen i relation til brandforhold, det vil sige en beskrivelse af bygningens anvendelse, placering, aktive og passive brandsikringstiltag, redningsberedskabets indsatsmuligheder, materialevalg, drift og vedligeholdelse m.m. Omfanget af den brandtekniske dokumentation bør tilpasses projektets omfang og kompleksitet. Den brandtekniske dokumentation udgør en del af grundlaget for kommunalbestyrelsens byggesagsbehandling.

Det er kommunalbestyrelsens konkrete vurdering i det enkelte byggeprojekt, der er afgørende for, hvad der som minimum bør indgå i den brandtekniske dokumentation.

Ved udformning af den endelige brandtekniske dokumentation kan forslagene i „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“ også anvendes.

Nedenstående er i store træk identisk med forslagene i „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“. Eventuelle afvigelser skyldes, at der i forbindelse med en brandteknisk dimensionering kan være behov for en anden type vurderinger og en anden type dokumentation.

1.2.1 Fastlæggelse af strategi for brandsikring af en bygning

Formålet med den brandtekniske dokumentation er blandt andet at fastlægge strategien for brandsikringen af bygningen. Den brandtekniske dokumentation bør indeholde mål, principper og ønsker til bygningens brandsikkerhedsniveau samt en entydig og klar beskrivelse af bygningens tiltænkte anvendelse og andet, der vil have betydning for udformningen af bygningens brandsikkerhed.

Det bør fremgå af den brandtekniske dokumentation, hvordan en eventuel afvigelse fra traditionelle bygningsudførelser påtænkes verificeret og dokumenteret, f.eks. hvordan en eventuel flugtvejsproblematik søges løst. I den brandtekniske dokumentation bør acceptkriterier mv., der danner grundlag for den brandtekniske dimensionering, være angivet.

I forbindelse med udarbejdelse og fastlæggelse af strategien for brandsikring ved større projekter, kan det anbefales forud for ansøgningen om byggetilladelse at nedsætte en brandsikringsgruppe bestående af flere kompetence- og erfaringsområder. Gruppen kan eksempelvis bestå af arkitekter, brandingeniører, ingeniører, bygherren, de lokale myndigheder og de fremtidige brugere.

Følgende kan typisk indgå i overvejelserne for en brandstrategi:

1. Bygningens udformning og anvendelse

- Bygningen: F.eks. udformning, planløsning, størrelse og placering, materialevalg
- Indre og ydre miljø: F.eks. klimatiske faktorer, vind- og snepåvirkning af brandventilation samt sne på flugtveje eller ud for flugtvejsdøre
- Aktiviteter i bygningen: Hvad skal bygningen benyttes til, særlige områder i bygningen der afviger fra den angivne benyttelse, og som evt. tillige hører under beredskabslovgivningen eller anden lovgivning
- Personer i bygningen: F.eks. forventet antal personer i bygningen, placering af personerne i bygningen, karakteristika for personer (personale, gæster, handicappede etc.), indbyrdes afhængighed for at kunne vurdere deres adfærd i tilfælde af evakuering
- Håndtering af brandsikkerheden: F.eks. kontrolplaner, drifts- og vedligeholdelsesmanualer, uddannelse af personalet, regelmæssige brandøvelser

2. Acceptkriterier

- Personersikkerhed
- Sikkerhed for redningsberedskabet
- Sikring af værdier

3. Brandscenarier

- Identificering af antændelseskilder og brændbart materiale
- Grovanalyse af mulige brande
- Valg af dimensionerende brandscenarier

4. Evakueringsstrategi

- Total evakuering og/eller
- Evakuering til sikker lokalitet inde i bygningen

5. Brandsikringssystemer

- Passive og aktive systemer
- Anvendelse af brandsikringssystemer

1.2.2 Indhold af den brandtekniske dokumentation

Indholdet af den endelige brandtekniske dokumentation afhænger af projektets omfang og kompleksitet. Den brandtekniske dokumentation bør dog indeholde den overordnede strategi for brandsikringen og en beskrivelse af byggeriet samt yderligere dokumentation af de forhold, som er forudsat i strategien, herunder beregninger, tegninger, beskrivelser af metoder og værktøjer, kvalitetskontrol, drift og vedligehold, referencer samt relevante oplysninger om den rådgiver, der har udført analysen mv.

Den brandtekniske dokumentation kan f.eks. indeholde nedenstående punkter, hvis de er relevante for den konkrete bygning:

1. Indledning

Strategi for brandsikringen, herunder:

- Gennemgang af projektet med henblik på at vurdere, om dele af eksemplerne i „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“ umiddelbart kan anvendes, det vil sige:
 - Er bygningen udformet på traditionel vis
 - Anvendes traditionelle byggemetoder og materialer
 - Er bygningen stor, høj, kompleks
 - Er der en stor personbelastning
 - Skal bygningen anvendes til brandfarlig virksomhed

2. *Bygningens anvendelse*

- Virksomhed
- Antal personer i bygningen
- Personernes placering i bygningen
- Personernes kendskab til bygningens indretning og flugtveje
- Personernes mobilitet
- Dagophold og/eller natophold
- Fastlæggelse af anvendelseskategorier, jf. bygningsreglement 1995, kapitel 6.1.1, stk. 1, anvendelseskategorier

3. *Placering af bygningen på grunden*

- Situationsplan, herunder bygningens placering på grunden
- Brandmæssige adskillelser i forhold til skel og i forhold til andre bygninger på samme grund
- Placering og udførelse af eventuelle brandvægge

4. *Flugtvejsforhold*

- Beskrivelse af flugtvejsstrategien, herunder total evakuering til terræn i det fri eller evakuering til et sikkert sted i bygningen
- Placering af flugtveje
- Udformning af flugtvejsgange
- Udformning af flugtvejstrapper
- Gangafstande
- Dørbredde
- Åbningsretning for døre og lignende
- Redningsåbninger

5. *Passive brandsikringstiltag*

- Afstand til andre bygninger på samme grund
- Placering og udførelse af udvendige overflader og tagdækning
- Placering og udførelse af de brandmæssige enheder, herunder brandsektioner, brandceller og brandadskillende bygningsdele
- Placering og udførelse af indvendige overflader og gulvbelægninger
- Placering og udførelse af gennemføringer, branddøre, ventilationsanlæg
- Placering og udførelse af bærende bygningsdele og deres brandmodstandsevne
- Anvendte byggevarers brandmæssige egenskaber
- Skilte og markeringer

6. Aktive brandsikringstiltag

- Automatisk brandalarmanlæg
- Automatisk vandsprinkleranlæg
- Røgalarmanlæg
- Varslingsanlæg
- Brandventilation og røgudluftning
- Placering og udførelse af automatiske branddørlukningsanlæg
- Flugtvejs- og panikbelysning
- Vandfyldte slangevinder og andet slukningsmateriel

7. Redningsberedskabets indsatsmuligheder

- Adgangsveje for redningsberedskabet
- Brandredningsarealer
- Stigrør
- Mulighed for røgudluftning
- Redningselevater
- Brandcentral, betjeningspaneler, sprinklercentral og lignende

8. Drift og vedligeholdelse

- Aktive og passive systemer

9. Referencer

- Standarder
- Forskrifter
- Vejledninger
- Beregningsprocedurer mv.

Den brandtekniske dokumentation bør indgå som en del af dokumentationsgrundlaget i byggesagen og kan foruden ovenstående punkter indeholde dokumentation for de anvendte byggevarers og bygningsdeles brandmæssige egenskaber samt en beskrivelse af kontrolplaner for bygningen og dens installationer samt hvilke standarder, der er benyttet som grundlag for bl.a. de brandtekniske installationer mv.

Der kan i øvrigt henvises til „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“.

1.3 Brandteknisk beregning

Ved en brandteknisk dimensionering er det vigtigt, at en egnet beregningsmetode anvendes. En egnet metode er en metode, der på tilfredsstillende måde beskriver det aktuelle tilfælde. Det er derfor vigtigt at kontrollere, hvilke begrænsninger der er for den valgte beregningsmetode, inden metoden anvendes, og det endelige resultat analyseres.

Mange beregningsmetoder, som benyttes ved brandtekniske beregninger, er begrænset af, at de empiriske udtryk, der indgår i metoderne, er baseret på forsøg udført i lille skala. Dette medfører, at der for mange metoder er begrænsede muligheder for ekstrapolering. Da det ofte er nødvendigt at ekstrapolere forsøgsdata, er det vigtigt at tage højde for begrænsningerne. I de situationer, hvor der er tvivl om metodens validitet, f.eks. ved beregning af tid til røgfylldning i meget store lokaler eller ved meget store dimensionerende brande, skal det kontrolleres hvilke eksperimenter, der ligger til grund for metoden, og der skal redegøres for, om metoden kan anvendes i det aktuelle tilfælde.

Resultatet af en brandteknisk dimensionering, hvor der er usikkerhed om metodens validitet, skal anvendes med forsigtighed. I visse tilfælde kan det anbefales at indføre en sikkerhedsmargin, f.eks. ved at øge forskellen mellem evakueringstid og tid til kritiske forhold.

De i denne information beskrevne dimensioneringsmetoder og kriterier kan anvendes, hvis begrænsninger og anvendelsesområde for metoderne og kriterierne nøje vurderes og følges. Andre beregningsmetoder eller mere nuancerede inddata kan tillige anvendes, men det er vigtigt, at kilden og anvendeligheden tydeligt fremgår af dokumentationen.

En brand er en tidsafhængig proces, og derfor påvirkes en bygning og de personer, der befinder sig i bygningen, forskelligt gennem brandforløbet. Det brandtekniske design kompliceres af, at tiden er en vigtig faktor. Ved beskrivelserne i det følgende benyttes det princip, at der gennem brandforløbet foretages en tidsafhængig sammenligning mellem brandens konsekvenser og de opstillede acceptkriterier - f.eks. sammenligning mellem tid til kritiske forhold og evakueringstiden.

1.3.1 Eksempel på beregningsprocedure

Ved en vurdering af, om f.eks. flugtvejenes bredde opfylder kravet i bygningsreglement 1995, kapitel 6.2, stk. 3, hvoraf det bl.a. fremgår, at dørenes bredde skal dimensioneres til det antal personer, som dørene skal betjene, er det relevant at sammenligne tiden til kritiske forhold med evakueringstiden.

Inden de endelige beregninger kan foretages, bør der foreligge en brandstrategi, så principperne for brandscenarier, flugtvejsstrategi mv. er beskrevet.

Beregningsen kan herefter eksempelvis bestå af følgende punkter:

1. Identifikation af brandscenarier (afsnit 5)
2. Bestemmelse af den dimensionerende brands effektudvikling og røgproduktion (afsnit 5.1). Der kan eventuelt være flere dimensionerende brande
3. Hvis bygningen er udført med sprinkling eller brandventilation, bør brandens effektudvikling vurderes og eventuelt modificeres. Tid til aktivering for sprinkler og/eller brandventilation beregnes, og en ny effektudvikling fastlægges (afsnit 5.3.1)
4. Tid til kritiske forhold (t_{kritisk}) kan beregnes ud fra kriterierne i afsnit 1.4
5. Antal personer i bygningen/rummet fastlægges. Placering i bygningen, kendskab til flugtvejene, mobilitet og andre relevante inddata til brug for dimensioneringen af flugtvejene fastlægges
6. Evakueringstiden (t_{evak}) beregnes (afsnit 2)
7. Tid til kritiske forhold (t_{kritisk}) vurderes i forhold til evakueringstiden (t_{evak})
8. En følsomhedsanalyse gennemføres (afsnit 1.4.3)
9. En risikoanalyse kan gennemføres for det meget komplekse og anderledes byggeri, hvis en sådan skønnes at kunne bidrage til afklaring af specielle forhold
10. En analyse udføres for hele brandforløbet for eftervisning af konstruktioners brandmodstandsevne (afsnit 3) og brandspredning til andre bygninger (afsnit 5.6).

1.4 Identificering af acceptabelt brandsikkerhedsniveau i en bygning

Afhængig af, hvad der skal analyseres og hvilken metode, der anvendes, skal der vælges et kriterium, der er udtryk for det brandsikkerhedsniveau, som er beskrevet i bygningsreglement 1995, kapitel 6.

1.4.1 Kritiske forhold for personer

Det fremgår af bygningsreglement 1995, kapitel 6.2, stk. 4, at der i det tidsrum, hvor flugtvejene skal anvendes til evakuering af bygningen, ikke må forekomme temperaturer, røgkoncentrationer eller andre forhold, som hindrer evakuering. Dette kan f.eks. opnås ved, at der ikke optræder kritiske forhold for personer, inden evakueringen er tilendebragt.

At en person bliver udsat for kritiske forhold, er ikke ensbetydende med, at vedkommende omkommer ved branden.

Kritiske forhold kan jf. /2/ og /3/ fastsættes ud fra nedenstående tabel.

Kritiske forhold for personer	
Sigtbarhed:	<i>Bemærkninger:</i>
I rum, som er mindre end 150 m ² :	
Den optiske densitet > 2,0 dB/m (målt 2 m over gulv)	<i>Svarer til en sigtbarhed på højst 5 m</i>
I rum, som er større end 150 m ² og i flugtveje:	
Den optiske densitet > 1,0 dB/m (målt 2 m over gulv)	<i>Svarer til en sigtbarhed på højst 10 m</i>
Stråling:	
En kortvarig strålingsintensitet > 10 kW/m ²	<i>Op til 4 sekunder</i>
<i>Eller</i>	
En vedvarende strålingsintensitet > 2,5 kW/m ²	
<i>Eller</i>	
En sammenlagt strålingsenergi > 60 kJ/m ² ud over energien fra en strålingsintensitet på 1 kW/m ²	

Tabel 1.1 fortsættes næste side

Kritiske forhold for personer

Temperatur:

Temperaturen under røglag > 80 °C i flugtveje

Hvis røglaget ikke er etableret, kan temperaturen måles i en højde på 2 m over gulv

Højde til underside af røglag:

Højden fra gulv til røglag $< 1,6 \text{ m} + 0,1 \text{ H}$

H = loftshøjden i rummet

Tabel 1.1 Kritiske forhold for personer

1.4.2 Kritiske forhold for brandspredning

Det fremgår af bygningsreglement 1995, kapitel 6.5.1 stk. 1, at der ikke må ske brandspredning til andre brandmæssige enheder i den tid, som er nødvendig for evakuering. Dette kan opfyldes ved, at der ikke optræder kritiske forhold for brandspredning.

Kritiske forhold for brandspredning kan jf. /2/ og /4/ fastlægges ud fra nedenstående tabel:

Kritiske forhold for brandspredning mellem bygninger

Varmestråling $> 15 \text{ kW/m}^2$

Eksponeringstid højst 30 minutter

Tabel 1.2 Kritiske forhold for brandspredning

Andre værdier kan anvendes som kritisk for brandspredning, hvor det kan dokumenteres, at de pågældende materialer først antænder ved en højere stråling efter en given tid.

1.4.3 Følsomhedsanalyse

Den brandtekniske analyse giver brugbare informationer om brandforløb og lignende, men på grund af usikkerheden i beregningsmodellerne og i inddata bør en følsomhedsanalyse altid gennemføres.

Formålet med en følsomhedsanalyse er at identificere de parametre, der har størst indflydelse på resultatet, og herefter vurdere, om disse parametre er valgt med en tilstrækkelig grad af sikkerhed.

En følsomhedsanalyse kan f.eks. indeholde følgende:

- Inddata. Det vil sige usikkerheder, der udspringer af den kvalitative bygningsgennemgang.

Det kan være antallet af personer i bygningen, og hvor de opholder sig mv.

- Valgte simplificeringer, der er gjort af hensyn til den anvendte beregningsmetode.

Det kan f.eks. være brugen af en to-zone model, der er en forenkling af en tredimensional situation, eller en tagkuppel, som er blevet reduceret til en kube for at kunne passe ind i modellen i computer-simuleringen.

- Valg af dimensionerende brandscenarium, herunder brandtilvækst og maksimal effekt.

Der bør altid udføres en analyse af effekten af en ændret tilvækst og en ændret maksimal effekt samt anden placering.

Det har f.eks. også stor indflydelse på resultaterne, om en dør til et trapperum er forudsat lukket eller åben ved det dimensionerende scenarium, idet en åben dør kan give en stor konsekvens. I sådanne tilfælde bør det nøje undersøges, hvad risikoen er for, at døren står åben.

I de fleste tilfælde bør der derfor foretages en række simuleringer på et antal brandscenarier med døre åben/lukket, hurtigere og langsommere brandtilvækst, større og mindre maksimal effekt mv.

Denne del af følsomhedsanalysen udføres for at vurdere bygningens følsomhed overfor udsving i de dimensionerende brande, samt for at vurdere, hvordan bygningen reagerer overfor et scenarium, der er bygget op af hændelser, der ikke er omfattet af det dimensionerende brandscenarium.

- Antagelser om pålidelighed af de aktive og passive systemer.

Det bør ved hjælp af følsomhedsanalysen vurderes, hvad der sker, såfremt f.eks. sprinkleranlægget ikke virker efter hensigten. Det vil for eksempel sige, at anlægget ikke er funktionsdygtigt eller kun delvist kontrollerer branden.

Det bør ligeledes undersøges, hvad konsekvensen er, hvis adskillende bygningsdele, døre og gennemføringer mv. svigter.

- Evakueringsforhold.

Ligeledes bør der udføres følsomhedsanalyse på evakueringen, hvor f.eks. en dør er blokeret, eller hvor personantallet er øget i forhold til det antagede.

Et mål på følsomheden af det valgte design er differencen mellem de resultater, der opnås ved at ændre de enkelte inputparametre.

Følsomhedsanalysen kan normalt begrænses til de mest kritiske situationer. Normalt vil det være tilstrækkeligt at vurdere ét svigt eller én ændring af gangen, da det ofte vil være mindre sandsynligt, at der sker to svigt eller ændringer samtidigt. Det bør dog altid vurderes, om der er risiko for flere svigt og/eller ændringer samtidigt.

Resultatet fra følsomhedsanalysen kan benyttes, når de enkelte parametres indflydelse på brandsikkerheden skal vurderes. Såfremt variation af en enkelt parameter viser sig at have stor indflydelse på brandsikkerheden, kan det være nødvendigt at vælge denne parameter konservativt, for på denne måde at indbygge en ekstra sikkerhed i brandsikkerheden. På samme måde kan det vise sig, at der er behov for ekstra sikkerhed, hvis et brandteknisk system, f.eks. sprinkleranlægget, viser sig at have afgørende betydning for brandsikkerheden.

Grundlaget for vurderingen af resultaterne af følsomhedsanalysen bør som udgangspunkt være de generelle kriterier, som er opsat for kritiske forhold for det enkelte projekt. En bygning bør altså være sikker for de personer, der opholder sig i den, selvom der er et svigt i brandsikringen. Sikkerhedsmarginen, til der opstår kritiske forhold, kan dog være mindre end i det tilfælde, hvor alt fungerer efter hensigten.

En nærmere vurdering kan ske efter en risikoanalyse.

1.4.4 Risikoanalyse

Ved planlægning og projektering af et komplekst eller utraditionelt byggeri, og hvor udførelsen er baseret på brandteknisk dimensionering, bør risikoanalysen gennemføres så tidligt, at resultatet heraf kan danne grundlag, når aktuelle beslutninger skal tages.

Det er vigtigt, at der er overensstemmelse mellem risikoanalysen, brandstrategien og de færdige bygningers udformning. Større forandringer, der f.eks. påvirker evakueringsstrategien, kan kræve en fornyet risikoanalyse.

Risikoanalysen skal identificere de risici, som bygningen, anvendelsen og brandsikkerhedsstrategierne giver anledning til samt dokumentere dertil hørende sandsynligheder og konsekvenser. Dette vil give et mål på bygningens risikoniveau.

Hele dimensioneringsprocessen ved brug af risikoanalyse kan opdeles i tre dele:

1. Udarbejdelse af brandstrategi
2. Opstilling af scenarier og beregning af konsekvenser
3. Vurdering af sandsynligheden for hændelser med uønskede konsekvenser

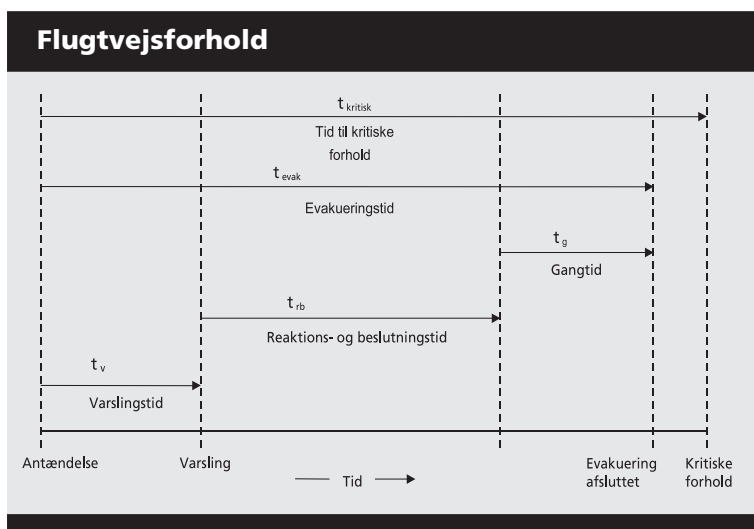
I bilag 1.1 gives der et eksempel på forskellige generelle principper, der kan benyttes som udgangspunkt ved vurdering af risiko.

I øvrigt kan der henvises til DS/INF 85: Risikoanalyse: Kvalitetskrav, terminologi.

2 Flugtvejsforhold

Det fremgår af bygningsreglement 1995, kapitel 6.2, stk. 4, at der i det tidsrum, hvor flugtvejene skal anvendes til evakuering af bygningen, ikke må forekomme temperaturer, varmestråling, røgg koncentrationer eller andre forhold, som hindrer evakuering. Det tidsrum, der benyttes til evakuering, benævnes evakueringstiden, og er sammensat af:

- Varslingstid
- Reaktions- og beslutningstid
- Gangtid



Figur 2.1 Sammenhæng mellem de forskellige tider, der indgår i evakueringstiden.

Varslingstiden er den tid, der går fra brandens antændelse, til personerne i bygningen er gjort opmærksom på branden. Reaktions- og beslutningstiden er den tid, der går, fra personerne er blevet varslet, til personerne beslutter sig for at bevæge sig mod en udgang. Gangtiden er den tid, det tager personerne i bygningen at komme til terræn i det fri eller til sikker lokalitet inde i bygningen.

For at få en hensigtsmæssig evakuering bør gangtiden ikke være for stor. Såfremt gangtiden er for lang, kan personer f.eks. komme i den situation, hvor de bliver i tvivl om, hvorvidt de bevæger sig i den rigtige retning, og derfor kan de reagere u hensigtsmæssigt.

Til hjælp ved dimensionering af flugtvejene kan computermodeller anvendes. Computersimulering kan benyttes, f.eks. ved beregning af varslings- og gangtid.

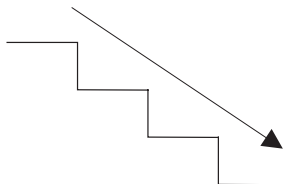
2.1 Antal personer

Antal personer i et lokale eller en brandcelle kan bl.a. beregnes efter eksemplerne i „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“.

2.2 Gangtid

Den samlede gangtid kan bestemmes som den tid, det tager for alle personer at forlade rummet/bygningen. Heri indgår den tid, det tager at gå hen til døren samt eventuel køtid ved døren. Der skal tillige tages højde for eventuelle køer senere i flugtvejssystemet.

Nedenstående ganghastigheder kan anvendes i bygninger. Ved bestemmelse af personflow i flugtveje skal der tages højde for, at hele bredden af flugtveje sjældent benyttes ved evakuering. Den effektive bredde af flugtvejen vil derfor ofte være mindre end den reelle bredde af flugtvejen. Den aktuelle trappebredde bør derfor reduceres med 0,3 m, hvis der ikke foreligger anden dokumentation, idet kun trappens effektive bredde kan medtages i beregningen af gangtiden. Nedenfor anførte kapacitet gælder for trapper, hvor trappeløbet har en vinkel på 26° - 32° i forhold til det vandrette plan. Stejlere trapper bør undgås, idet disse er sværere at anvende, hvilket vil sige, at kapaciteten er mindre, og risikoen for fald er større.



Figur 2.2. Ganghastighed ved et trappeløb måles langs trappeløbet

Nedenstående ganghastigheder kan anvendes i rum i bygninger, hvor de personer, som anvender bygningen, ved evakuering kan gå uhindret af hinanden, hvilket vil sige bygninger med en persontæthed mindre end $1,0$ personer/ m^2 , og hvor personerne har en almindelig mobilitet, jf. /1/. Medmindre andre ganghastigheder kan dokumenteres, kan disse ganghastigheder anvendes ved dimensionering af flugtveje i anvendelseskategori 1 - 5.

Bevægelse	Ganghastigheder langs planet
I vandret plan	1,3 m/s
Op ad trappe	0,6 m/s
Ned ad trappe	0,7 m/s

Tabel 2.2. Ganghastigheder langs planet i anvendelseskategori 1 - 5 ved personæthed mindre end 1,0 personer/m², jf. /2/

I anvendelseskategori 6 kan gangtiden ikke udelukkende baseres på ganghastigheden, men må fastlægges ud fra antallet af hjælpere, hjælpemidlerne, flugtvejens udformning og afstand til sikker lokalitet. Jævnfør /2/ kan ganghastigheden sættes til 0,3 - 0,5 m/s for personer, som har en nedsat mobilitet som f.eks. beboere på plejehjem mv.

I bygninger med større personbelastninger må ganghastighederne vurderes i hvert enkelt tilfælde.

Kapaciteten for spindel- og vindeltrapper bør vurderes særskilt, da ganghastigheden på trapperne kan være lavere end for ligeløbstrapper.

Eventuel køtid foran en dør kan vurderes ud fra at dens kapacitet, som kan sættes til 1 person pr. sekund for døre med fri bredde 1,0 m.

Ved fastlæggelse af personbelastning ved de enkelte døre fra brandcellen kan forslagene i „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“ være vejledende.

3 Konstruktive forhold

Konstruktioner kan eftervises i henhold til konstruktionsnormerne eller eurocodes, jf. bygningsreglement 1995 i, kapitel 5. I nogle tilfælde kan det være nødvendigt at supplere med en eller flere brandprøvninger.

4 Brandtekniske installationer

4.1 Aktiveringstid for sprinkler eller detektor

Aktiveringstiden for et sprinkleranlæg eller andet anlæg, som er styret af detektorer, kan bestemmes ved hjælp af computersimulering.

For sprinklere og simple termodetektorer, hvor udløsningen sker, når det følsomme element opnår en bestemt temperatur, kan udløsnings-tidspunktet beregnes på grundlag af detektorens aktiveringstemperatur, RTI-værdi samt røgens temperatur og hastighed umiddelbart ved detektoren. Se bilag 1.2.

Aktiveringstemperaturen for det varmfølsomme element samt RTI-værdi for et specifikt produkt fremgår af produktets specifikationer. Aktiveringstemperaturen for det varmfølsomme element kan være mellem 57 °C og 260 °C. Under normale forhold anses en aktiveringstemperatur på 68 °C for passende.

For simple røgdetektorer er følsomheden ofte angivet som den optiske røgtæthed målt i dB/m (=Obscura), ved hvilken detektoren aktiveres. En følsomhed på 0,3 dB/m vil ofte være relevant for sædvanlige punkt-detektorer.

Bjælker og andet, der kan påvirke tid til aktivering af sprinkler/detektor, skal iagttages ved computersimulering. Den dårligst placerede detektor/sprinkler mht. tid til aktivering bør være dimensionsgivende.

5 Brand- og røgspredning

Et brandscenarium bygger på en specifik og relevant dimensionerende brand, som opstår et bestemt sted. Branden placeres normalt på gulvniveau i det lokale, hvor den vil give anledning til størst mulige konsekvenser i relation til personsikkerheden og/eller konstruktionssikkerheden i bygningen. Samtidig medtages, hvorledes de aktive og passive systemer påvirker brandforløbet samt brand- og røgspredningen. Brandtekniske vurderinger spiller en afgørende rolle for, hvilke scenarier der bør analyseres.

I en grovanalyse af mulige brande oplistes de tænkelige brandscenarier, der giver store konsekvenser. De dimensionerende brandscenarier skal være relevante og repræsentative for bygningen og skal ligeledes kunne udfordre brandsikringen, uden at brandscenarierne bliver urimelige. Dette betyder, at bygningen ikke nødvendigvis bør dimensioneres for de værste tænkelige brande, men kun for de forventelige brande.

Ved valg af brandscenarier skal man vælge de brande, der f.eks.:

- Hurtigt vil røgfylde en flugtvej
- Direkte vil påvirke mange mennesker
- Har mulighed for at vokse skjult, hvilket kan medføre, at på det tidspunkt, hvor branden opdages, vil branden kunne have produceret store mængder af røg og varme.

De brandscenarier, som udvælges, bør være repræsentative for så mange af de brande, der kan forekomme i bygningen, som muligt. På denne måde kan antallet af brandscenarier, der skal analyseres, begrænses. I soverum på plejehjem kan en brand, der opstår som følge af rygning i sengen, anses som værende repræsentativ for brande forårsaget af elektriske fejl, levende lys og lignende. Glemte madvarer på et tændt komfur kan være et eksempel på antændelseskilde, der medfører brand i køkken, og som derfor bør analyseres.

Antallet af mulige brandscenarier i en kompleks bygning kan være mange. Den detaljerede analyse af brandscenarierne og kvantificeringen heraf bør begrænses til de vigtigste brandscenarier. For eksempel indebærer dette, at et lokale, der kun sjældent indeholder en meget høj brandbelastning eller kun sjældent har en meget høj personbelastning, ikke nødvendigvis skal dimensioneres for disse scenarier, fordi brandsikringen da ville blive kraftigt overdimensioneret. Dette kræver dog, at denne type af hændelser i stedet håndteres f.eks. ved hjælp af vagtmandskab

eller midlertidig installation af aktive systemer.

Karakteriseringen af de dimensionerende brandscenarier, der skal analyseres, bør indeholde en beskrivelse af antændingsmulighed, tilvækst, maksimal effektudvikling, afsvaling, og hvornår branden vurderes at slukke. Mulighed for brand- og røgspredning beskrives ligeledes.

Eksempler på brandscenarier, der kan medføre store konsekvenser:

- Brand i en flugtvej
- Brand, der blokerer en eller flere døre til en flugtvej
- Brand, der medfører kollaps i en bærende konstruktion
- Brand i eksplosivt og brandfarligt materiale
- Brand i sekundære rum, f.eks. beregnet for kortvarigt personophold
- Brand i lagerreol
- Brand i produktionsanlæg.

Til brug for den brandtekniske dimensionering udvælges flere brandscenarier. De brandscenarier, der udvælges, er brandscenarier, der kan forventes at opstå hyppigst i bygningen samt de scenarier, der giver de største konsekvenser.

Følgende faktorer bør betragtes og vurderes for at kunne specificere et brandscenarium:

1. Antændelseskilde og brandens effektudvikling

- Elektriske installationer og brug af åben ild
- Brændbart materiale
- Åbningsfaktor og ventilationsforhold
- Omgivende konstruktioner, herunder deres varmeledningsevne og varmekapacitet
- Rummets størrelse

2. Røg- og varmespredning i den brandmæssige enhed

- Tid til aktivering af brandventilation
- Virkning af brandventilation
- Andre aktive brandsikringsforanstaltninger

3. Brandspredning mellem brandmæssige enheder

- Åbne eller lukkede døre
- Brandadskillende konstruktioner
- Brandspredning via vinduer
- Spredning via gennembrydninger og ventilationsanlæg

4. Detektering og slukning
 - Tid til aktivering af branddetektering
 - Brandalarmanlæg
 - Tid til aktivering af sprinkler
 - Sprinkler

5. Redningsberedskabets indsats
 - Indsatstid
 - Tid til personredning
 - Tid til slukningsindsats.

Sandsynlige og relevante scenarier, der giver store konsekvenser, kan ligeledes fastlægges ved at studere indtrufne brande eller ved hjælp af statistik. Herved fastlægges de scenarier, der giver anledning til store konsekvenser.

5.1 Fastlæggelse af den dimensionerende brands effektudvikling og røgproduktion

Den dimensionerende brand er en kvantitativ beskrivelse af en modelbrand, der anvendes ved analyse af et specifikt brandscenarium. Den dimensionerende brand repræsenteres af den effekt, som antages at kunne udvikles i det materiale/de materialer, der brænder i det rum, hvor branden er placeret. Brandbelastning, type af brandbelastning og ventilationsforhold er nogle af de faktorer, der påvirker den dimensionerende brand. Der skal ligeledes ved fastlæggelse af den dimensionerende brand tages hensyn til aktivering af sprinkler og brandventilation, brandens placering, samt om dørene er åbne eller lukket til rummet, hvor branden opstår.

En antændelseskilde kan være en påsat brand, fejl ved elinstallationer, en glød fra en cigaret mv. Effektudviklingen kan fastlægges ved at vurdere indretningen og andet, der sandsynligt vil forekomme i rummet, og som kan antændes. Da den dimensionerende brands effektudvikling er dækkende for typen og mængden af brandbelastning i rummet, kan der ved fastlæggelse af effektudviklingen med fordel medtages fremtidige ønsker til indretning og brandbelastning for derigennem at indbygge fleksibilitet i rummets anvendelse.

Den dimensionerende brand skal fastlægges med henblik på, hvad der skal vurderes. Fastlæggelse af den dimensionerende brands effektudvikling

og maksimale effekt skal baseres på den værste af de mest sandsynlige brande i det enkelte scenarium.

5.2 Dimensionerende brands brandtilvækst

I bygninger, hvor der ikke foreligger specifik information vedrørende indretning og/eller brandbelastning, kan den dimensionerende brand for bygninger bestemmes ud fra:

$$Q(t) = \alpha t^2$$

Hvor:

$Q(t)$ = brandens effekt til tiden t (kW)

α = brandtilvækstfaktor (kW/s²)

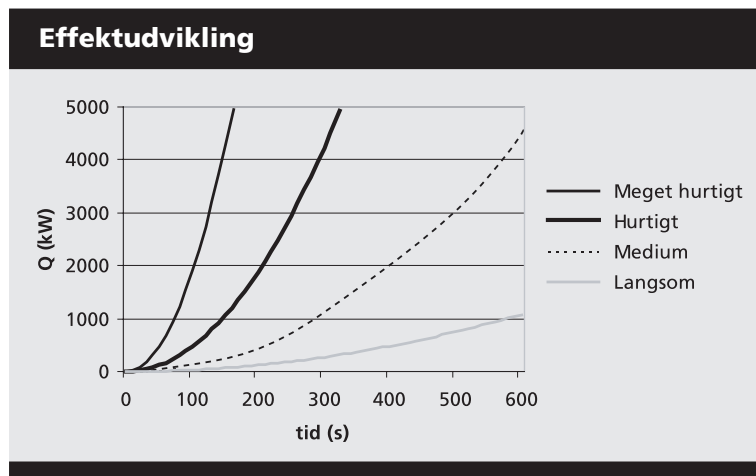
t = tid efter antændelse (s)

Efter /8/, /9/ og /10/ kan følgende tabel sammensættes:

Brandtilvækst	α (kW/s ²)	Eksempel
Langsom	0,003	Specielle tilfælde, hvor der f.eks. er begrænsning på de anvendte materials brændværdi
Medium	0,012	Boliger
Hurtig	0,047	Hoteller, plejehjem
Meget hurtig	0,19	Butikker, forsamlingslokaler

Tabel 5.1. Eksempler på brandtilvækstfaktorer /8/

Det bør i det enkelte tilfælde vurderes, om ovenstående brandtilvækstfaktorer er anvendelige i det aktuelle tilfælde, da der kan være store variationer i art og mængde af brændbart materiale indenfor samme anvendelseskategori.



Figur 5.1. Eksempler på effektudvikling med brandtilvækstfaktorer fra tabel 5.1

Tilvæksten af brandens effekt kan ligeledes baseres på indholdet af brændbart materiale i lokalet. I bilag 1.3 er der givet en række eksempler på brandbelastning og effektudvikling.

Brandens effektudvikling kan beregnes på grundlag af den konkrete brandbelastning. Resultater fra fuldskalaforsøg og andre data, som stammer fra f.eks. forsøg med måling af effektudvikling, kan anvendes som inddata til bestemmelse af brandens effektudvikling.

5.3 Den dimensionerende brands maksimale effekt

En brands maksimale effekt bliver enten begrænset af ilttilførslen til lokalet (ventilationskontrolleret brand), eller også af den mængde brændbart materiale, der indgår i forbrændingen (brændstofkontrolleret brand). Endvidere kan branden begrænses af et automatisk sprinkleranlæg eller tilsvarende foranstaltninger. Den maksimale effekt beregnes/vurderes både for den ventilationskontrollerede brand og for den brændstofkontrollerede brand. Den mindste af de to maksimale effekter kan anvendes som værende den dimensionerende brands maksimale effekt.

Den maksimale effekt ved en ventilationskontrolleret brand kan efter /10/ beregnes ved at inddrage antallet af åbninger til brandrummet. Ved at betragte den mængde af ilt, der strømmer ind i lokalet gennem åbninger, kan den maksimale effekt overslagsmæssigt beregnes som beskrevet i bilag 1.4.

Brændstofkontrollerede brande kan opdeles i to kategorier:

- Brændstofkontrollerede brande, der anvendes ved fastlæggelse af personsikkerhed
- Brændstofkontrollerede brande, der anvendes ved fastlæggelse af konstruktionssikkerhed.

Ved brændstofkontrollerede brande, der anvendes ved fastlæggelse af personsikkerheden, bør det vurderes, hvor stort et arealmæssigt omfang branden vil kunne få i det tidsrum, hvor evakueringen pågår.

Såfremt forbrændingshastigheden, den effektive forbrændingsvarme og det antændte areal er kendt, kan den maksimale effekt bestemmes for den brændstofkontrollerede brand. I bilag 1.4 er givet et forslag til, hvordan den maksimale effekt normalt kan beregnes.

Den maksimale effekt for en brændstofkontrolleret brand kan ligeledes bestemmes ved at betragte brandbelastningen i et lokale:

Q (kW/m²)	Anvendelsesområder
250	Kontor
250	Boliger
500	Butikker

Tabel 5.4 Maksimal effekt pr. m² brændende areal, jf. /22/

Det bør i det enkelte tilfælde vurderes, om ovenstående maksimale effekt er anvendelige i det aktuelle tilfælde, da der kan være store variationer i art og mængde af brændbart materiale indenfor samme anvendelseskategori.

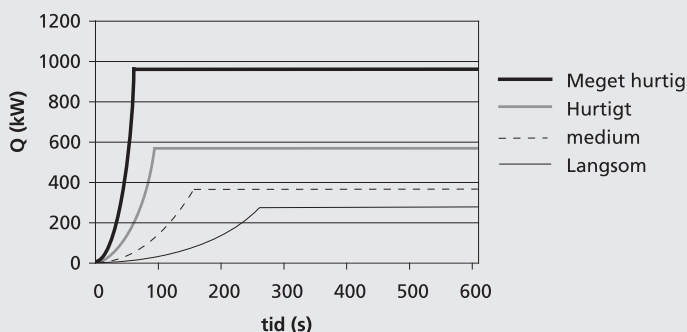
Brandens effektudvikling kan påvirkes af automatisk sprinkleranlæg og brandventilation, som er installeret i bygningen.

5.3.1 Den maksimale effekt for brand i bygning med sprinkleranlæg

Ved dimensionering af sprinklede brandmæssige enheder, så som brandceller/brandsektioner, antages det normalt, at branden fortsætter med en konstant effekt, når sprinklerne er blevet aktiveret. Den konstante effekt bør sættes til den effekt, der er opnået ved sprinkleranlæggets aktivering.

Aktiveringstid kan beregnes i henhold afsnit 4.

Effektudvikling



Figur 5.2. Effektudvikling under antagelse af ens rumgeometri og samme type sprinkler. Figuren viser forskellige brandtilvækstfaktorer (langsom, medium, hurtig og meget hurtig), når alle øvrige parametre er ens i beregningerne.

5.4 Brand- og røgspredning i det rum, hvor branden opstår

Håndberegningerne, der er beskrevet i bilag 1.6, kan anvendes til at beregne konsekvenserne af et brandforløb i et rum, hvor det antages, at røgen spredes direkte til det fri. Resultaterne kan ligeledes anvendes til at kontrollere resultatet fra computersimuleringerne.

De i bilaget anvendte formeludtryk er kun gældende for aksesymmetriske røgsøjler. En røgsøjle, der spredes fra f.eks. under en balkon til et atrium, vil have en større massestrøm pga. af luftindtrængning i røgsøjlen. Der henvises til litteraturen for øvrige røgmodeller, se f.eks. /22/.

For bygninger, hvor røgen fra brandrummet kan spredes til andre rum, er to-zone- eller CFD-modeller egnede værktøjer til at simulere konsekvenserne af brandforløbet. Modellerne skal være verificeret og valideret i henhold til afsnit 1.1.

Den dimensionerende brand anvendes som inddata ved computersimuleringen af brand- og røgspredning.

5.4.1 Optisk densitet

En forøget optisk densitet kan medføre kritiske forhold. Kontrol af hvor meget materiale, der kan afbrændes inden kritiske forhold opnås, kan beregnes. I bilag 1.5 er der både givet forslag til en beregningsmetode, der normalt kan anvendes, samt forslag til forskellige materials røgpotentiale.

5.4.2 Beregning af røgfyldning

Beregning af røgfyldning kan baseres på brandudvikling, røgproduktion, spredningshastigheder og aktiveringstid for aktive systemer.

Til en overslagsmæssig kontrol af røgfyldningstider i et rum med små lækagearealer ved gulvniveau kan beregningsmetoden, som er beskrevet i bilag 1.6, normalt anvendes, jf. /10/ og /14/.

Røgfyldningen i en bygning og dermed tiden til kritiske forhold er påvirket af, om der i bygningen er installeret naturlig (termisk) eller mekanisk brandventilation. Med tilstrækkelig brandventilation kan røgen kontrolleres, så der ikke opstår kritiske forhold.

I bilag 1.6.2 og 1.6.3 er angivet et forslag til, hvordan røgfyldningen i en bygning med naturlig eller mekanisk brandventilation ofte kan beregnes.

Ved beregning af røgfyldningen i et rum, herunder atrier og andre glasoverdækkede bygninger, kan følgende inputparametre benyttes:

- Rummets geometri
- Brandens effektudvikling
- Anvendelsen af rummet
- Adskillelse mod tilstødende rum.

For atrier og lignende kan der henvises til /23/.

Den maksimale effekt bestemmes, jf. afsnit 5.3.

Ved aktivering af sprinklere bestemmes den maksimale effekt, jf. afsnit 5.3.1. I et atrium, der ikke er beregnet for brandbelastning, bør der som minimum medtages en brand i analysen på 1 MW, for på den måde at tage hensyn til en mindre mobil brandbelastning, der kan befinde sig i atriet i kort tid.

Brande, der starter under balkoner eller andetsteds, der kan give såkaldte linieplumer (linierøgsøjler), vil bevirke en øget røgmængde, hvorfor dette bør medtages ved dimensionering af et atrium.

For brande med en konstant effekt er der i bilag 1.6.4 givet et forslag til, hvordan røglagets højde kan beregnes.

5.5 Brand- og røgspredning i den bygning, hvor branden opstår eller til andre bygninger på samme grund

Spredning af brand og røg til andre brandmæssige enheder skal forhindres i den tid der evakueres, jf. bygningsreglement 1995, kapitel 6.5. Brand- og røgspredning sker normalt på en eller flere af følgende måder:

- Gennem bygningsdele – herunder vægge, døre, glaspartier mv.
- Via installationer – herunder ventilationssystem, elinstallationer mv.
- Via ydervægge – vinduer, altaner, balkoner og beklædninger
- Via tage – evt. en lavere beliggende tagkonstruktion
- Via trappe-, elevator- og installationsskakt.

5.6 Brandspredning mellem bygninger, som udgør forskellige brandmæssige enheder

Den maksimale stråling fra den brændende bygning skal sammenlignes med den kritiske strålingsintensitet for antændelse af brændbare materialer på ydervæg og tag af bygninger, som ligger ved siden af den brændende bygning.

Der angives i bilag 1.7 et forslag til en håndberegningmetode for beregning af strålingsintensitet på en nærliggende ydervæg, hvor der, foruden stråling fra vinduer, ligeledes medtages bidrag fra flammer ud gennem vinduer.

Som det fremgår af afsnit 1.4.2, er den kritiske strålingsintensitet for bygninger med f.eks. træfacade 15 kW/m^2 i højst 30 minutter, hvis anden dokumentation ikke foreligger.

6 Redningsberedskabets indsatsmuligheder

Redningsberedskabets indsatsmuligheder bør tage udgangspunkt i „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“.

Der henvises derfor til „Eksempelsamling om brandsikring af byggeri“.

1 Bilag

1.1 Risikoanalyse

Ved gennemførelse af den omfattende undersøgelse, som er nødvendig i forbindelse med en risikoanalyse, er det muligt at fremdrage megen værdifuld information. Dette skyldes bl.a., at bygningsdesignets svagheder/redundans ved forskellige forhold bliver klarlagt. Det er således muligt at identificere svaghederne i brandsikringen samtidig med, at en eventuel overkapacitet kan identificeres. Effekten af forskellige brandsikringsalternativer tydeliggøres, og det er muligt at finde og dermed implementere den brandsikringsløsning, der mest effektivt mindsker risikoen.

I bilag 1.8 angives et antal sandsynligheder, der kan anvendes. Ved anvendelse af andre sandsynligheder er det vigtigt, at kilden vurderes kritisk.

Resultatet fra risikoanalysen kan dokumenteres med både konsekvenser og sandsynligheder. Analysen kan udføres som beskrevet i nedenstående metode.

Ved risikobaseret dimensionering ved beregning kan anvendes hændelsestræteknikken, se f.eks. figur 1. Beregninger af brandforløb og evakuering foretages for hvert scenarium i hændelsestræet. Risikoanalysen bør behandle samtlige mulige resultater af en og samme starthændelse og tydeligt vise sammenhængen mellem sandsynlighed og konsekvens.

Hele processen ved brug af risikoanalyse kan opdeles i tre dele:

1. Udarbejdelse af brandstrategi
2. Opstilling af scenarier og beregning af konsekvenser
3. Vurdering af sandsynligheden for hændelser med uønskede konsekvenser

Risikoanalysen kan opdeles i følgende trin:

- Kvalitativ beskrivelse af hændelsesforløbet
I denne første del defineres de hændelser, der påvirker forløbet ved en eventuel brand:
 - Brandalarmen aktiveres
 - Sprinkleranlægget aktiveres
 - Døren åbnes
 - Personalet handler korrekt.

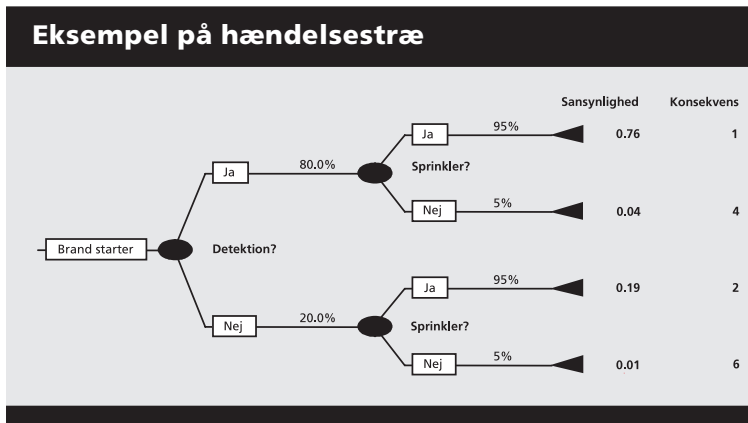
Ovenstående er alle eksempler på hændelser.

- Usikkerheden i analysen som følge af de anvendte data diskuteres. Relevans af data, muligheden for at drage korrekte konklusioner af analysen, antagelser i forbindelse med anvendte data samt tilpasning af anvendte data kan ligeledes tages i betragtning. Forslag til sandsynligheder for visse parametre er angivet i bilag 1.8

- Verifikation

Alle forudsætninger, antagelser og forenklinger, der er foretaget i forbindelse med analysen, angives. Datakilder og data, som er brugt i risikoanalysen specificeres, så den oprindelige kilde kan findes

- Identificering af hændelsestræ
- Et hændelsestræ udarbejdes for hvert udvalgt forslag til brandteknisk løsning, hvor de forskellige hændelser, der tidligere er defineret, sættes sammen. Disse hændelsestræer består i en udgrening fra en start-hændelse til et antal grene, der hver især repræsenterer et scenarium, der bør analyseres



Figur 1. Eksempel på hændelsestræ. Hændelsestræet beskriver, hvilke scenarier der kan opstå som følge af en brand. For hvert scenarium beregnes sandsynlighed og konsekvens. Den viste konsekvensberegning er tænkt. Konsekvensberegningen foretages i virkeligheden ud fra antal personer, der udsættes for uacceptable værdier, altså hvor acceptkriterierne overskrides.

- Analyse af branden

For at kunne bedømme konsekvenserne bør der gennemføres en analyse af den dimensionerende brand og brandscenariet

Et brandscenarium betragtes som et hændelsesforløb, der starter med brandens antændelse og afsluttes, når branden slukkes. Antallet af mulige brande er nærmest uendeligt, hvorfor udvælgelsen af brand-

scenarier til brug i risikoanalysen bør baseres på en grovanalyse, som angivet i afsnit 5. For bedre at kunne overskue resultatet af grovanalysen og vurdere disse brandes konsekvenser og sandsynlighed, bør disse præsenteres i en risikomatrix

De dimensionerende brandforløb kan eksempelvis baseres på de såkaldte αt^2 -brande, se afsnit 5.2, eller konstrueres ud fra kendskab til brandbelastningen i bygningen. Der findes mulighed for at medtage inventar, overflader, gulvbelægning, gardiner mv. i fastlæggelse af effektudviklingen, idet nedenstående principielle sammensætning af brandens tidslinie dog bør følges:

Initial brand → Antændelse af overflader → Antændelse af nærliggende objekter ⇒ Effekt/tid kurve

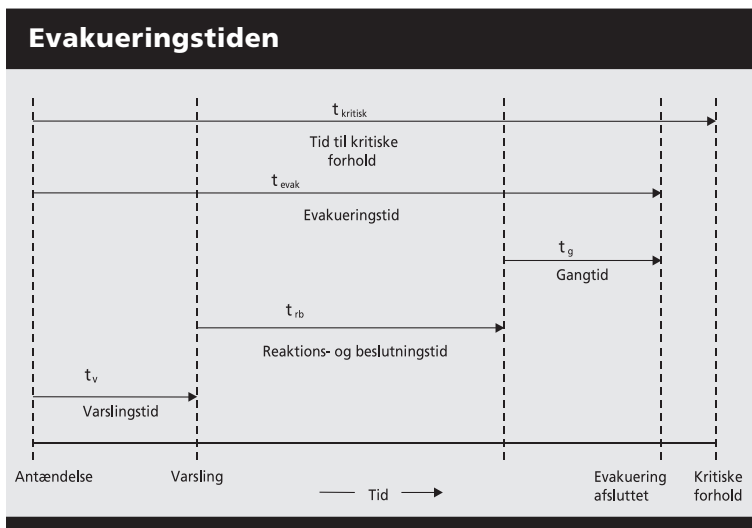
Eksperimentelle resultater, erfaringer fra tidligere brande i lignende lokaler, beregninger og simuleringer kan anvendes ved denne analyse

Hvis man vælger at anvende computer- eller håndberegningsmetoder, er det vigtigt at sikre sig, at modellen/metoden er anvendelig i den konkrete sammenhæng

- Analyse af konsekvensen

Analyse af konsekvensen gennemføres. Udgangspunktet er, at såfremt alle brandtekniske installationer fungerer, må der ikke være personer i bygningen, som udsættes for kritiske forhold. Svigter en eller flere af de brandtekniske installationer, skal antallet af personer, der udsættes for kritiske forhold, nedbringes til acceptabelt niveau, med andre ord det beregnede risikoniveau skal kunne opfylde det accepterede risikoniveau. Som mål for konsekvensen kan man for eksempel anvende det antal personer, der udsættes for kritiske forhold. For at sikre, at personer ikke udsættes for kritiske forhold, skal følgende være opfyldt:

$$t_{\text{kritisk}} > t_v + t_{rb} + t_g$$



Figur 2 Sammenhæng mellem de forskellige tider, der indgår i evakueringstiden

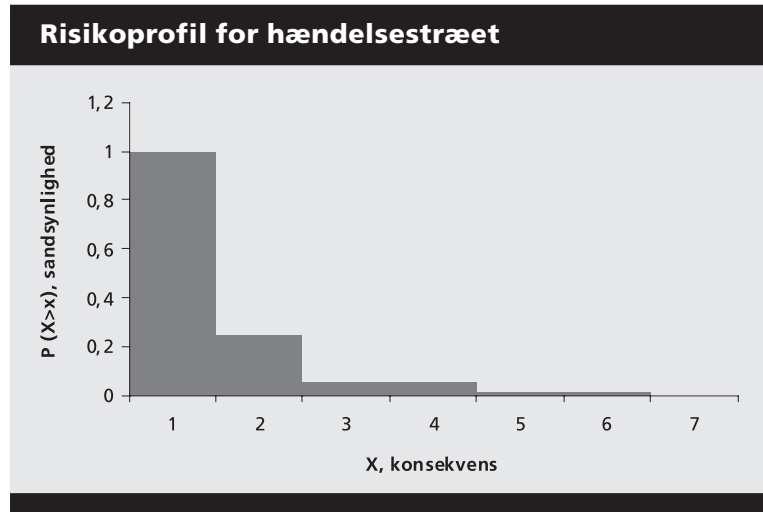
- Udarbejdelse af risikoprofil

Når sandsynlighed og konsekvens er beregnet for hvert scenarium i hændelsestræet, kan risikoprofilen (F-N diagram) optegnes. Risikoprofilen fremkommer ved at gruppere alle scenarierne i hændelsestræet efter øget konsekvens. Ved at de respektive scenariers sandsynlighed er kendt, kan en trappefunktion optegnes. Trappefunktionen eller risikoprofilen går fra sandsynligheden = 1 til sandsynligheden = 0. Praktisk fremkommer risikoprofilen ved at rangordne de respektive scenarier efter øget konsekvens og derefter beregne den akkumulerede sandsynlighed.

Konsekvens	Sandsynlighed	Akkumuleret	Invers
0	0	0	1,00
1	0,76	0,76	0,24
2	0,19	0,95	0,05
4	0,04	0,99	0,01
6	0,01	1,00	0,00

Tabel 1 Inddata til risikoprofilen

Med hjælp af informationen i tabel 1 kan risikoprofilen optegnes, se figur 3.



Figur 3 Risikoprofil for hændelsestræet i figur 1.

Af risikoprofilen fremgår to betydningsfulde mål på risiko. Det første risikomål – individrisikoen – er det samme som sandsynligheden for, at en eller flere personer udsættes for kritiske forhold, dvs. $P(X \geq 1)$. Af figur 3 fremgår det, at individrisikoen i dette eksempel er lig med 1,0. Det vil sige, at hvis der i dette eksempel opstår brand, vil sandsynligheden for, at en eller flere personer udsættes for kritiske forhold, være 1,0. Det andet risikomål – middelfrisikoen – beskriver den forventede konsekvens. Middelfrisikoen udgøres af tyngdepunktet i risikoprofilet og beregnes ved at summere risikoen (sandsynlighed \times konsekvens) for hvert scenarium. Middelfrisikoen er i dette eksempel beregnet til: $0,76 \times 1 + 0,19 \times 2 + 0,04 \times 4 + 0,01 \times 6 = 1,36$. Det vil sige, at hvis der i dette eksempel opstår brand, vil der i gennemsnit være 1,36 personer, der udsættes for kritiske forhold.

At en person bliver udsat for kritiske forhold er ikke ensbetydende med, at vedkommende omkommer ved branden.

De hændelser, der giver store konsekvenser med stor sandsynlighed, bør analyseres nærmere. Dette viser sig i risikoprofilen ved store trin, enten vertikalt eller horisontalt, hvilket betyder, at hændelse eller ændring af denne hændelse har stor betydning. Risikoprofilen giver en vurdering af redundans i brandsikringen, eftersom det analyseres, hvorledes brandsikkerheden påvirkes af, at en eller flere systemer ikke fungerer (f.eks. sprinkler, brandalarm mv.).

Risikoprofilen for det enkelte projekt, alternative løsninger og det besluttede brandsikkerhedsniveau skal fastlægges. Ud fra risikoprofilen kan det observeres, hvilke parametre, der påvirker resultatet mest, og hvilke brandtekniske løsninger, der bidrager mest til brandsikkerheden. Sammenligninger med andre risikoprofiler/analyser fra andre områder og/eller virksomheder kan bidrage og hjælpe med input og vejledning. Når analysen er gennemført, og det viser sig, at risikoprofilen indikerer, at bygningens brandsikkerhed ikke opfylder brandsikkerhedsniveauet, gennemgås bygningens brandstrategi samt de brandtekniske løsninger, brandstrategien og/eller de brandtekniske løsninger forbedres, og en ny risikoanalyse gennemføres.

1.2 Aktiveringstid for sprinklere og simple termodetektorer

For sprinklere og simple termodetektorer, hvor udløsningen sker, når det varmfølsomme element når en bestemt temperatur, kan udløsnings-tidspunktet beregnes ved en simpel metode, som beskrives i dette afsnit.

Af praktiske årsager anvendes kun betegnelsen sprinkler i det følgende, selv om metoden også kan anvendes for termodetektorer med smelteled, glasbulb eller anden type med en tilsvarende karakteristik. Metoden kan ikke anvendes ved detektorer med differentieringsled eller anden elektronisk kompenserende i forbindelse med en elektronisk diskriminator.

Udgangspunkt for beregningen er sprinklerens aktiveringstemperatur og RTI-værdi (Response Time Index) samt røgens temperatur og hastighed umiddelbart ved sprinkleren.

Aktiveringstemperatur og RTI-værdi findes af sprinklerens datablad.

For en termodetektor kan de tilsvarende data bestemmes ud fra klassen i henhold til DS/EN 54-5 Alarmsystemer.

Røgens temperatur og hastighed bestemmes, som beskrevet nedenfor, alene ud fra brandens effekt og placering i forhold til detektoren.

RTI-værdien er defineret ved en differentialligning for opvarmningen af det varmfølsomme element jf. /10/.

$$\frac{dT_c}{dt} = u^{1/2} (T_j - T_c) RTI^{-1}$$

$T_c = T_c(t)$ = Temperaturen af det varmefølsomme element i sprinkleren (K)

$u = u(t)$ = Røgens hastighed umiddelbart ved sprinkleren (m/s)

$T_j = T_j(t)$ = Røgens temperatur umiddelbart ved sprinkleren (K)

RTI = Response Time Index er defineret ved ovenstående formel. ($m^{1/2} s^{1/2}$) Fabrikanten opgiver ikke altid måleenheden. Det er derfor vigtigt at sikre sig, at der anvendes SI enheder, da traditionelle amerikanske enheder undertiden er underforstået.

T_j og u kan ved en brand på gulvniveau bestemmes for den afstand under loftet, hvor værdierne er maksimale.

De maksimale værdier optræder i røgen (ceiling jet) ca. 5-10 cm under loftet.

Følgende er de empiriske formler for de maksimale værdier i en given afstand fra brandens centrum jf. /24/. De gælder kun under et horisontalt og glat loft, hvor der ikke er opbygget et røglag.

For $r/H < 0,15$

$$u_{\max} = 0,96 \left(\frac{Q_{\text{tot}}}{H} \right)^{1/3}$$

For $r/H > 0,15$

$$u_{\max} = \frac{0,195 Q_{\text{tot}}^{1/3} H^{1/2}}{r^{5/6}}$$

For $r/H < 0,18$:

$$T_{j \max} - T_{\infty} = \frac{16,9 Q_{\text{tot}}^{2/3}}{H^{5/3}}$$

For $r/H > 0,18$

$$T_{j \max} - T_{\infty} = \frac{5,38 (Q_{\text{tot}} / r)^{2/3}}{H}$$

T_{∞} = Rumtemperaturen (K)

r = Den radiale afstand fra brandens centrum (m)

H = Afstand fra gulv til loft (m)

$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{tot}}(t)$ = Brandens totale effekt uden fradrag for strålingsdelen (kW)

I det almindelige tilfælde må man integrere numerisk for at finde tiden til aktivering af sprinkleren, som indtræffer når temperaturen i rummet svarer til sprinklerens aktiveringstemperatur.

1.2.1 Tid til aktivering af sprinkler/termodetektorer ved konstant effekt

Hvis effekten Q_{tot} er konstant i tiden, har differentialligningen en analytisk løsning, og tiden til aktivering kan beregnes.

$$t_{op} = RTI u_{\max}^{-1/2} \ln \left(\frac{T_{op} - T_{J\max}}{T_{J\max} - T_o} \right)$$

- t_{op} = Tid til aktivering af sprinkler (s)
- T_{op} = Temperatur hvorved sprinkleren udløser (K)
- T_o = Det aktive elements temperatur til $t = 0$ (K)
- $T_{j\max}$ = Maksimale temperatur i røgen på det sted, hvor sprinkleren er placeret (K)
- u_{\max} = Maksimale hastighed i røgen på det sted, hvor sprinkleren er placeret (m/s)

Det forudsættes at sprinklerens eller termodetektorens varmfølsomme element er anbragt i en optimal afstand under loftet, og fri af bjælker, vægge m.v.

Hvis sprinklerne er anbragt i et kvadratisk mønster med sidelængden S , er $r = 0,7 S$ svarende til at brandens centrum er midt i kvadratet og således i den størst mulige afstand fra en sprinkler.

1.3 Brandbelastning og effektudvikling

Nedenstående tabel 2 viser eksempler på brandbelastninger og effektudviklinger.

Brandbelastning		(kW/s ²)
Brandimprægneret madras	Langsom	0,003
Bomuld/polyestermadras	Medium	0,012
Træpaller (europaller) (højde 1,5 m)	Hurtigt	0,047
Papkartoner med varierende indhold (højde 4 m)		
Let krydsfinergarderobe Letantændelige polstrede møbler	Meget hurtigt	0,190

Tabel 2. Brandbelastning og effektudvikling for udvalgte opstillinger, jf. /10/

1.4 Den maksimale effektudvikling

Den maksimale effektudvikling ved en ventilationskontrolleret brand kan efter ref. /10/ beregnes ved at inddrage antallet af åbninger til brandrummet. Ved at betragte den mængde ilt, der strømmer ind i lokalet gennem åbninger, kan den maksimale effektudvikling overslagsmæssigt beregnes som:

$$Q_{maks,v} = 1,518 A_{\text{åbning}} \sqrt{H_{\text{åbning}}}$$

$Q_{maks,v}$ = Maksimal effekt ved ventilationskontrolleret brand (MW)

$A_{\text{åbning}}$ = Arealet af ventilationsåbningerne (m²)

$H_{\text{åbning}}$ = Ventilationsåbningernes højde (m)

Ventilationsåbninger er f.eks. åbne døre og vinduer samt sprækker ved disse, udeluftventiler mv. Dørene skal beregnes åbne i den tid, hvor der foregår evakuering fra brandrummet. Glas i f.eks. vinduer med almindeligt glas springer, når temperaturforskellen er større end 80 °C. jf. /2/. For andre glastyper henvises der til speciallitteraturen eller prøvninger foretaget af leverandørerne.

I brandceller med flere ventilationsåbninger med forskellig højde er $H_{\text{åbning}}$ den gennemsnitlige højde vægtes i forhold til åbningernes areal.

$$H_{\text{åbning}} = \frac{\sum A_{\text{åbning}} H_{\text{åbning}}}{\sum A_{\text{åbning}}}$$

De ovenstående formler forudsætter, at alle ventilationsåbninger er lodrette og befinder sig i nogenlunde samme højde. Formlerne er således ikke egnede til rum, hvor døre og/eller vinduer er suppleret med brandventilationsåbninger. Se speciallitteratur herom.

Såfremt forbrændingshastigheden, den effektive forbrændingsvarme og det horisontale antændte areal er kendt, kan den maksimale effektudvikling normalt bestemmes for den brændstofkontrollerede brand som beskrevet nedenfor.

$$Q_{\text{maks,b}} = \chi A_{\text{tot}} \dot{m}'' \Delta H_c$$

- $Q_{\text{maks,b}}$ = Maksimal brandeffekt ved brændstofkontrolleret brand (kW)
 ΔH_c = Effektiv forbrændingsvarme, nedre brændværdi (kJ/g)
 \dot{m}'' = Forbrændingshastighed pr. arealenhed (g/m²s)
 A_{tot} = Arealet af antændte horisontale flader (m²)
 χ = Forbrændingseffektivitet (faste materialer = 0,6)

Materiale	(g/m ² s)	H _c (kJ/g)
Benzin	55	44
Træ	13	19
Polystyren (fast)	35	39

Tabel 3. Materialeparametre for forskellige materialer, jf. /10/

1.5 Optisk densitet

En forøget optisk densitet kan medføre kritiske forhold. Kontrol af, hvor meget materiale, der kan afbrændes, inden kritiske forhold opnås, kan beregnes. Nedenstående er der både givet forslag til en beregningsmetode, der normalt kan anvendes, samt forslag til forskellige materialers røg-potentiale.

$$\frac{D}{L} = \frac{D_0 W_1}{V}$$

D/L	= Optisk densitet	(dB/m)
D ₀	= Røgpotentialet	(dBm ² /g)
W ₁	= Vægt af forbrændt materiale	(g)
V	= Rummets volumen	(m ³)

Materiale	Røgpotentiale, D ₀ (ob m ³ /g = dBm ² /g)	
	Flammebrand	Glødebrand
Træuldbetonplade	0,6	1,8
Spånplade	0,37	1,9
Hård træfiberplade	0,35	1,7
Krydsfinerplade	0,17	1,7
PVC plade	1,7	1,8
Ekstruderet ABS	3,3	4,2
PUR skive	4,2	1,7
PUR skive fleksibel	0,96	5,1
Gipskartonplade	0,042	0,39

Tabel 4. Røgpotentiale for visse materialer, jf. /12/.

Yderligere røgpotentialer kan for eksempel findes i /7/, /8/, /13/, hvor de tillige er angivet i forskellige enheder.

Det i /7/ anvendte røgpotentiale (D_m i m²/g) omregnes til D₀ (i dBm²/g) ved multiplikation med 10. Det vil sige: D₀ = 10 D_m.

Det i /8/ anvendte røgpotentiale (S₀) kan teoretisk defineres som røgtætheden (i dB/m) i røg (ved 1 atm. og 20 °C) fremkommet ved forbrænding med 100 % omsætning af den tilstedeværende ilt. Det vil sige:

$$S_0 = D_0 \frac{\Delta h_{uff}}{\Delta h_c} \rho_0$$

hvor:

- S_0 = Røgpotentialet (dB/m)
 D_0 = Røgpotentialet (dBm²/g)
 ΔH_{luft} = Nedre forbrændingsvarme (kJ/kg luft)
 ΔH_c = Nedre forbrændingsvarme for materialet (kJ/kg materiale)
 ρ_0 = 1199 g/m³ = Densiteten af tør luft ved 1 atm. og 20 °C

For almindeligt forekommende brændbart materiale kan ΔH_{luft} antages at være ca. 3000 kJ/kg luft, jf. /12/.

For uventilerede rum med parabolisk brandtilvækst ($Q(t) = \alpha t^2$) kan tiden til kritiske forhold ved overskridelse af sigtbarhedskriteriet. iht. /13/ udledes til:

$$t_{\text{kritisk}} = \sqrt[3]{\frac{D \Delta h_c V 3}{L D_0 \alpha}} = \sqrt[3]{\frac{D \Delta h_{\text{luft}} \rho_0 V 3}{L S_0 \alpha}}$$

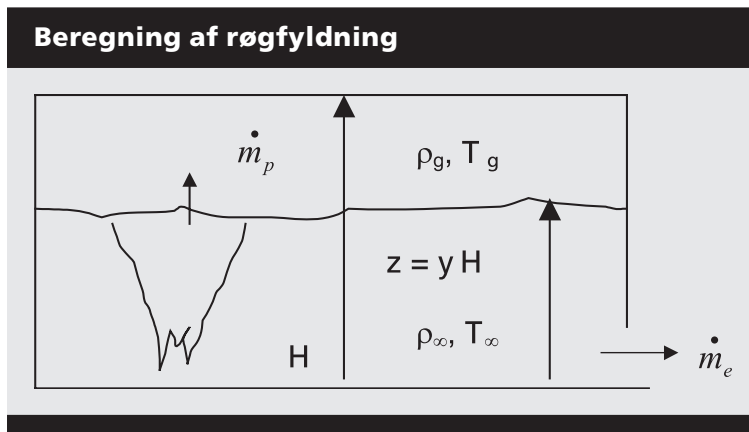
- α = Brandtilvækstfaktor (kW/s²)
 t_{kritisk} = Tid til kritiske forhold (s)

1.6 Røgfylldning

1.6.1 Beregning af røgfylldning

Beregning af røgfylldning kan baseres på brandudvikling, røgproduktion, spredningshastigheder og aktiveringstid for aktive systemer.

Til overslagsmæssig kontrol af tiden til røgfylldning i et rum med små lækagearealer ved gulvniveau kan f.eks. anvendes beregningsmetoder, som er beskrevet i /10/ og /14/.



Figur 4. Røgfylldning af rum med små lækagearealer ved gulv

Metoden baserer sig på en konstant effekt af branden. Der bør derfor som en konservativ værdi anvendes den effekt, som branden når efter evakueringen af rummet.

Den dimensionsløse brandeffekt, \dot{Q}^* er

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}_c}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g} H^{5/2}}$$

\dot{Q} = Konvektiv effekt (kW), sættes ofte til $0,7x \dot{Q}$

ρ_∞ = Densitet på luft [1,2 kg/ m³] (kg/ m³)
 c_p = Specifik varmekapacitet ved konstant tryk (kJ/kg K)
 T_∞ = Omgivelsernes temperatur (K)
 g = Tyngdeaccelerationen (m/s²)
 H = Højden fra gulv til underside af loft (m)

Under normale forhold, hvor $\rho_\infty = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $T_\infty = 293 \text{ K}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ og $c_p = 1,0 \text{ kJ/(kg K)}$ er

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}_c}{1100 H^{5/2}}$$

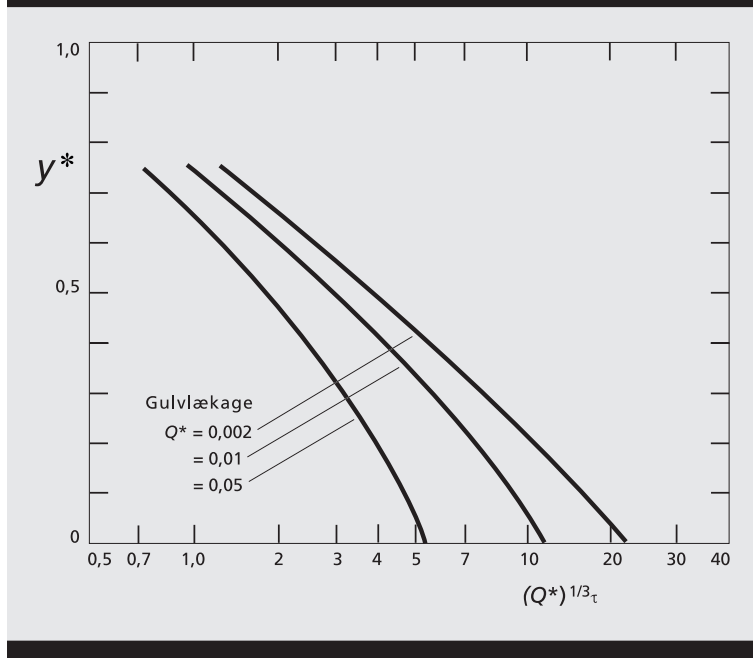
Den dimensionsløse røglagshøjde over gulv er:

$$y^* = \frac{z}{H}$$

y^* = Dimensionsløse højde
 z = Røglagets højde over gulv (1,6+0,1 H) (m)
 H = Rumhøjden (m)

$(Q^*)^{1/3} \tau$ kan aflæses af nedenstående figur for en given y^* og \dot{Q}^*

Røglagshøjde



Figur 5. Røglagshøjden over gulv som funktion af tid - effekt, når højde, tid og effekt er normeret til dimensionsløse størrelser.

Den dimensionsløse tid τ , som anvendes ved bestemmelse af røglagshøjden ved de normerede kurver i figur 5:

$$\tau = t_{\text{kritisk}} \left(\sqrt{\frac{g}{H}} \right) \frac{H^2}{A_g}$$

τ	= Dimensionsløs tid	
t_{kritisk}	= Tid til kritiske forhold	(s)
g	= 9,81	(m/s ²)
H	= Rumhøjde	(m)
A_g	= Gulvareal	(m ²)

1.6.2 Beregning af røgfylldning i lokaler med naturlig (termisk) brandventilation

Røgfylldningen i en bygning og dermed tiden til kritiske forhold kan modificeres, hvis der i bygningen er installeret brandventilation. Med et tilstrækkeligt stort brandventilationsareal kan røglaget kontrolleres, så kritiske forhold på grund af røglagets dybde kan udsættes vilkårligt længe.

Forudsætningen for beregning af masseflowet gennem en brandventilationsåbning er, at store brandventilationsåbninger i taget opdeles i flere åbninger. Arealet af den enkelte ventilationsåbning bør være mindre end $2(H-z)^2$, hvor H er højden fra gulv til brandventilationsåbningen, og z er højden fra gulv til røglaget.

Det er endvidere en forudsætning, at områdets udstrækning er så begrænset i forhold til brandens størrelse, at røgen vil holde sig i et stabilt lag under loftet. Store rum må derfor opdeles med røgskærme så dybe, at røglaget holdes over deres underkant.

Jf. /10/ kan massestrømmen gennem brandventilationsåbningerne bestemmes som:

$$\dot{m}_v = c_d A_v \sqrt{2\rho_g [-\Delta p_1 + (\rho_\infty - \rho_g)g(H_v - z)]}$$

\dot{m}_v	= Massestrømmen gennem brandventilationsåbningerne	(kg/s)
c_d	= Flowkoefficient	
A_v	= Det frie areal af brandventilationsåbningerne	(m ²)
z	= Røglagets højde over gulv (1,6 + 0,1H)	(m)
Δp_1	= Trykforskel i tilluftsåbningerne	(Pa)
ρ_g	= Densitet på røgen	(kg/m ³)
ρ_∞	= Densitet på luft ved omgivelsernes temperatur	(kg/m ³)
g	= Tyngdeacceleration 9,81	(m/s ²)
H_v	= Højde til brandventilationsåbningerne, middel	(m)

Røgens densitet kan beregnes som:

$$\rho_g = 353/T_g$$

Højde fra gulv til røglaget (z) ud fra personsikkerhedsforhold vælges til

$$z = 1,6 + 0,1H \text{ (m)}$$

Der skal fortsat tages højde for kritiske forhold pga. andre faktorer, som f.eks. røgtemperatur, strålingsniveau mv.

Massestrømmen fra røgsojlen til røglaget er for $T_\infty = 293 \text{ K}$ og $\rho_\infty = 1,2 \text{ kg/m}^3$, for en aksesymmetrisk røgsojle (fritstående røgsojle) jf. ref. /10/

$$\dot{m}_p = 0,076 Q_c^{1/3} z^{5/3}$$

$$\dot{m}_p = \text{Massestrømmen fra røgsøjlen til røglaget} \quad (\text{kg/s})$$

Trykforskel over tilluftåbningerne kan jf. ref. /10/ bestemmes til:

$$\Delta P_1 = \frac{\dot{m}_v^2}{2\rho_\infty (c_d A_D)^2}$$

A_D = Totalt areal på tilluftsåbningerne (m^2)

c_d = Strømningskoefficient for tilluftåbningerne.

I store rum og i rum med isolerende loft- og vægoverflader kan temperaturen i røglaget tilnærmelsesvist beregnes som jf. ref. /16/

$$T_g = T_\infty + \frac{\dot{Q}_c}{c_p \dot{m}_v}$$

T_g = Røgtemperatur (K)

T_∞ = Omgivelsestemperatur (K)

\dot{Q}_c = Konvektiv effekt (s) (kW)

Modellen er kun gyldig ved en stationær røglagshøjde og en konstant brandeffekt.

Den effekt, der anvendes, bør være effekten ved afslutningen efter evakueringen.

\dot{m}_p og \dot{m}_v kan herefter beregnes for en given værdi af z .

For at sikre, at stationær tilstand er indtrådt, skal det kontrolleres, at

$$\dot{m}_p = \dot{m}_v$$

Hvis dette ikke er tilfældet, skal beregningen gentages med andre ind-data, f.eks. ved at ændre brandventilationsarealet, tilluftsarealet eller røglagshøjden.

Konstant højde på røglaget indebærer, at massestrømmen som tilføres fra røgsøjlen, er den samme som strømmen ud gennem brandventilationsåbningerne.

1.6.3 Beregning af røgfyldning i lokaler med mekanisk ventilation

Røgfyldningen i en bygning kan begrænses, hvis der i bygningen er installeret mekanisk brandventilation. Med en tilstrækkeligt stor brandventilationskapacitet kan røglaget kontrolleres, så t_{kritisk} går mod ∞ .

$$\dot{m}_v = V_{\text{vent}} \rho_g$$

\dot{m}_v = Massestrømmen (kg/s)
 ρ_g = Densitet af røgen (kg/m³)
 V_{vent} = Volumenstrømmen ved T_g i den mekaniske ventilation (m³/s)

Der skal fortsat tages højde for kritiske forhold pga. andre faktorer, som f.eks. røgstemperatur, strålingsniveau mv.

Massestrømmen i røgsøjlen er for $T_\infty = 293$ K og $\rho_\infty = 1,2$ kg/m³, for en aksesymmetrisk røgsøjle (fritstående røgsøjle) jf. /10/

$$\dot{m}_p = m = 0,076 \dot{Q}_c^{1/3} z^{5/3}$$

\dot{m}_p = Massestrømmen i røgsøjlen (kg/s)

Hvor z ud fra personsikkerhedsforhold vælges til:

$$z = 1,6 + 0,1H$$

Andre formler til beregning af massestrømmen i røgsøjlen kan for eksempel findes i /7/, /10/ og /22/.

I store rum og i rum med isolerende loft- og vægoverflader kan temperaturen i røglaget tilnærmelsesvist beregnes som:

$$T_g = T_\infty + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_v}$$

\dot{m}_v kan herefter beregnes.

For at sikre, at stationær tilstand er indtrådt, skal det kontrolleres, at

$$\dot{m}_p \approx \dot{m}_v$$

Hvis dette ikke er tilfældet, skal beregningen gentages med andre inddata, f.eks. forøgelse af brandventilationskapaciteten.

1.6.4 Beregning af røgfyldning i ikke brandventilerede rum med stort volumen, herunder atrier og andre glasoverdækkede bygninger

For brande med konstant effekt kan røglagets højde jf. ref. /18/ i ikke ventilerede rum overslagsmæssigt beregnes som:

$$\frac{z}{H} = 1,11 - 0,28 \ln \left[\frac{t Q_c^{1/3} H^{-4/3}}{\frac{A_g}{H^2}} \right]$$

z	= Røglagets højde	(m)
H	= Rummets højde	(m)
Q_c	= Den konvektive effektudvikling	(kW)
t	= Tid efter antændelse	(s)
A_g	= Rummets gulvareal	(m ²)

Formlen kan anvendes for $A_g/H^2 = 0,9$ til 14 og z/H større end 0,2. Hvis z/H bliver større end 1,0, skal dette tolkes, som at der ikke dannes et røglag i atriet.

1.7 Stråling

For hele bilag 1.7 henvises generelt til DS/EN 1991-1-2, annex B, Eurocode 1: Last på konstruktioner, /12/, /19/ og /20/.

1.8 Sandsynligheder

Statistiske studier i UK /25/ har vist, at frekvensen for brandstart med en god tilnærmelse, kan beregnes som:

$$F_i = a A_b^b$$

Hvor a og b er konstanter der følger en bestemt bygningskategori og A_b er det totale areal af bygningen.

Bygningskategori	Sandsynlighed for brand pr. år.	
	a	b
Lager	0,000 670	0,50
Butikker	0,000 066	1,00
Kontorer	0,000 059	0,90
Hoteller	0,000 080	1,00
Hospitaler	0,000 700	0,75
Skoler	0,000 200	0,75

Tabel 5, giver værdier for a og b.

Parameteren a inkluderer forholdet mellem antal brande og antal observerede bygninger, indenfor en given bygningskategori og over en given tidsperiode (se reference for uddybning), mens b tager højde for den forøgede frekvens sammenholdt med et forøget areal.

Parameteren b tager endvidere hensyn til, at der i en given bygningskategori ikke er samme sandsynlighed for brandstart i alle rum.

Detektorer	Glødebrand	Ikke overtændt brand	Overtændt brand
Termodetektor	0	0,90	0,95
Sprinkler	0,50	0,95	0,99
Røgdetektorer			
Røgmelder	0,65	0,75	0,74
DS/EN 54	0,70	0,80	0,85
Sampling (air)	0,90	0,95	0,95

Tabel 6

Sandsynlighed for at brandbeskyttelsessystemer fungerer efter hensigten.

System type	Sandsynlighed for svigt
Slukningssystemer	
Sprinkler	0,05
Gas	0,06
Røgkontrol systemer	
Mekanisk brandventilation	0,10
Naturlig (termisk) brandventilation	0,10
Detekteringssystemer	
Termo- og røgdetektorer	0,10
Flammedetektorer	0,24
Passive systemer	
Brandsektionsadskillelse er perforeret inden brandstart	0,05
Branddør	0,30
Selvlukkende dør til beskyttet trappe	0,10

Tabel 7 ifølge /26/

Note: Det skal her gøres opmærksom på vigtigheden af tilsyn/kontrol med de tiltag der ligger til grund for brandsikkerheden i en bygning. F.eks. er sandsynligheden for svigt af naturlig (termisk) brandventilation stærkt afhængig af hvordan den er udført, hvor gammel den er osv.

1.9 Ordforklaring

Acceptkriterium	Grænseværdi mellem forhold, der defineres som kritiske eller som giver acceptabel brandsikkerhedsniveau.
Aktiveringstemperatur	Den temperatur, som aktiverer det temperaturfølsomme element i en sprinkler eller termodetektor.
Anvendelseskategori	Beskriver en bygnings eller et bygningsafsnits anvendelse.
Brandcelle	Et eller flere rum, hvorfra branden ikke spredes til andre brandceller i den tid, der kræves til evakuering og redningsberedskabets redning af personer i tilstødende brandceller.
Brandmæssig enhed	En brandmæssig enhed kan være en brandcelle eller en brandsektion.
Brandplan	Tegning, hvoraf bygningens brandsikringsforanstaltninger fremgår.
Brandrisikoforhold	Ved vurderingen af forskelle i brandrisikoforholdene i bygningen skal der tages hensyn til såvel antændelsesmuligheder som til brandbelastningen. Der vil typisk være forskel i brandrisikoforhold mellem produktionsområder og lagerområder samt kontorlokaler.
Brandscenarium	Beskrivelse af en brands placering, opståen, størrelse og udvikling i en bygning.
Brandsektion	En bygning eller en del af en bygning, der er udformet, så en brand ikke spredes til andre brandsektioner i den tid, der kræves til evakuering og redningsberedskabets redning af personer.
Brandsikringsforanstaltning	En konkret installation eller et konkret tiltag, der kan have til formål at begrænse eller forhindre opståen af en brand, sikre mod skader på personer eller fremme slukningsindsatsen.
Brandteknisk dokumentation	Systematiseret måde at fastholde information omkring bygningens brandsikkerhed.
Brandteknisk dimensionering ved beregning	Metode til eftervisning af en bygningens brandsikkerhedsniveau. Konsekvenserne af en brand i bygning beregnes og sammenlignes med de opstillede acceptkriterier.

Butikker	Salgslokaler med tilhørende servicerum (lager, kontor, værksted, personalerum og lign.) og kunderum (garderobe, toiletter mv.).
Daginstitutionsafsnit	Et eller flere opholdsrum med tilhørende gange, depotrum, toiletter, køkkener med direkte tilknytning til de pågældende daginstitutionsafsnit.
Daginstitutioner	Institutioner for alle alderstrin såsom vuggestuer, børnehaver, fritidshjem, dagcentre, skolefritidsordninger og andre institutioner med lignende formål, hvor der ikke er natophold.
Dimensionerende brandscenarium	Det eller de brandscenarier, der benyttes ved brandteknisk beregning til at fastlægge bygningens brandsikkerhedsniveau, herunder dimensionering af bygningens brandsikringstiltag. Brandforløbet angives fra brandstart til branden er slukket. Det dimensionerende brandscenarium er således afhængig af de omgivelser, hvori branden udvikler sig.
Evakueringstiden	Den tid, der går fra brandens start til alle personer i bygningen befinder på terræn i det fri eller på en sikker lokalitet. Evakueringstiden er summen af varslingstid, reaktions- og beslutningstid samt gangtid.
Følsomhedsanalyse	Analyse af, om mindre ændringer, i de til den brandtekniske dimensionering angivne inputparametre, antagelser og forudsætninger, medfører uacceptable ændringer i bygningens brandsikkerhedsniveau
Forsamlingslokale	Bygningsafsnit, hvor der kan forsamles mange personer, som f.eks. teatre, biografer, restaurationer, selskabslokaler, møderum, koncertsale, udstillingslokaler, idrætshaller, kirker og andre bygninger og lokaler, der anvendes til lignende formål. Et rum, hvor der forsamles mere end 50 personer, bør ligeledes betragtes som forsamlingslokale.
Forsamlingslokaleafsnit	Et eller flere forsamlingslokaler med tilhørende gange, vestibule, køkken, depotrum og andre rum med direkte tilknytning til det pågældende afsnit.
Gangtid	Gangtiden er den tid, det tager personerne at forflytte sig fra deres position i bygningen til terræn i det fri eller til en sikker lokalitet.

Kontorafsnit	Et eller flere kontorrum med tilhørende gange, arkivrum, depotrum og lignende med direkte tilknytning til det pågældende afsnit.
Natophold	Bygninger til natophold anvendes af sovende personer.
Partiel, indskudt etageadskillelse	En tæt etageadskillelse, hvis størrelse ikke overstiger 75 pct. af det pågældende rums areal.
Primær flugtvej	Normal adgangsvej til bygningen eller rummet/rummene ved normal driftssituation.
Reaktion- og beslutningstid	Den tid, der går fra personerne er varslede, til de påbegynder en evakuering af bygningen.
Redningselevator	Elevator, som i en given tid sikkert kan anvendes af redningsberedskabet ved evakuering af f.eks. sengeliggende patienter på et hospital.
Risikoanalyse	Metode, der benyttes til at belyse konsekvenser og sandsynligheder f.eks. for svigt af bygningens brandsikringstiltag. En risikoanalyse består af en række deterministiske beregninger, og resultatet heraf redegøres for i et F-N-diagram.
Sekundære flugtveje	Flugtveje, der ikke benyttes som normale trafikveje i bygningens normale driftssituation.
Sikker lokalitet	En sikker lokalitet kan være en anden brandsektion, hvorfra der er flugtvej til terræn i det fri.
Soverumsafsnit	I anvendelseskategori 6 forstås et eller flere soverum med tilhørende gange, vagtrum, opholdsstuer, depotrum. Til et soverumsafsnit hører også soverum for personale, som ligger i forbindelse med afsnittet.
Stationær tilstand	Ikke tidsafhængig ligevægt.
Transient brand	Brande, hvor effektudviklingen er tidsafhængig.
Tid til kritiske forhold	Den tid, det tager fra en brand opstår og til den har udviklet sig i en sådan grad, at de personer, som opholder sig i bygningen, bliver udsat for kritiske forhold.

Varslingstid	Den tid, der går fra brandens start til personerne, der opholder sig i bygningen, er blevet varslet om en brand.
Undervisningsafsnit	Et eller flere undervisningsrum med tilhørende gange, depotrum og andre rum med direkte tilknytning til de pågældende undervisningsafsnit.
Undervisningsrum	Rum, som er nødvendige for eller naturligt knytter sig til undervisningen som f.eks. biblioteksrum, spisestuer, grupperum, specialklasser og gymnastiksale.

1.10 Nomenklatur, enheder og symboler

Symbol

A_g	Gulvareal	m^2
$A_{\text{åbning}}$	Arealet af ventilationsåbningerne	m^2
A_{tot}	Arealet af antændte horisontale flader	m^2
A_v	Areal af brandventilationsåbning (frit åbningsareal)	m^2
A_d	Areal af tilluftåbninger	m^2
α	Brandtilvækstparameter/faktor	kW/s^2
C-værdi	Afledningsfaktor (udtryk for varmeafledning mellem sprinklerens varmfølsomme element og en vandfyldt fitting)	$(m/s)^{1/2}$
c_d	Strømningskoefficient	
c_p	Specifik varmekapacitet ved konstant tryk	$KJ/kg/K$
D/L	Optisk densitet	dB/m
D_0	Røgpotentiale	dBm^2/g
F_i	Frekvens for brandstart	
g	Tyngdeacceleration	m/s^2
\dot{m}_v	Massestrøm gennem brandventilationsåbninger	kg/s
\dot{m}_d	Massestrøm gennem tilluftsåbninger	kg/s
ΔH_c	Effektiv forbrændingsvarme (nedre brændværdi)	kJ/kg
ΔH_{luft}	Effektiv forbrændingsvarme pr. kg luft (nedre brændværdi)	kJ/kg
$H_{\text{åbning}}$	Ventilationsåbningernes højde	m
H	Rumhøjden, højden fra gulv til loft	m
H_v	Højden til brandventilationsåbningerne , middel	m
m''	Forbrændingshastighed pr. arealenhed	g/m^2s
\dot{m}_p	Massestrøm i røgsøjlen	kg/s
ΔP_1	Trykforskel over tilluftåbninger	Pa
$Q_{\text{maks,b}}$	Maksimal brandeffekt ved brændselskontrollerede brand	kW
Q_c	Konvektiv brandeffekt	kW
$Q(t)$	Brandens effekt til tiden t	kW
Q_{tot}	Totale effekt	kW
$Q_{\text{maks,v}}$	Maksimal effekt ved ventilationskontrolleret brand	MW
Q^*	Den dimensionsløse brandeffekt	

R	Vandret afstand fra varmekilden til detektor /sprinkleren	m
ρ_0	Den omgivende lufts densitet	kg/m ³
RTI	Response Time Index (udtryk for sprinklerens følsomhed)	(ms) ^{1/2}
S	Vinkelret afstand mellem sprinkler/detektor	m
S_0	Røgpotentiale	dB/m
t	Tid efter antændelse	s
t_g	Gangtid	s
t_{kritisk}	Tid til kritiske forhold	s
t_{rb}	Reaktions- og beslutningstid	s
t_v	Varslingstid	s
t_a / t_{op}	Tid til aktivering af sprinkler	s
T_0	Temperatur af det aktive element til tiden 0 sek.	K
T_∞	Rumtemperatur	K
T_e	Temperatur af varmfølsomt element	K
T_j	Røgens temperatur ved det sprinkleren	K
T_{op}	Temperatur hvorved sprinkleren udløser	K
T_{ea}	Aktiveringstemperatur for varmfølsomt element	K
t_{evak}	Evakueringstid	s
T_g	Røgtemperatur	K
T_{max}	Maksimal røgtemperatur	K
τ	Dimensionsløse tid	
$u(t)$	Røghastigheden ved sprinkleren til tiden t	m/s
V	Rummets volumen	m ³
W_1	Vægt af forbrændt materiale/vægtmindskning	g
χ	Forbrændingseffektivitet	
Y^*	Den dimensionsløse højde	
z	Røglagets højde over gulv	m

1.11 Checkliste for brandsikringsforanstaltninger

Automatiske slukningsanlæg

Udførelse og tilgængelighed

Type af rørsystem og sprinklerhoved

Type af slukningsmiddel og ydelse

Automatiske detekteringssystemer

Udførelse og tilgængelighed

Type af detektor og alarmoverførelse

Udformning

Brandcelle og brandsektionsopdeling

Udførelse

Placering

Brandmodstandsevne

Type af konstruktion

Lukning af åbninger og gennembrydninger

Brandventilation

Udførelse

Type af system

Kapacitet

Placering

Tilluft

Døre

Udførelse

Type af døre (EXX, EI XX, EI-C XX)

Type af dørlukkere

Placering

Manuelt slukningsudstyr

Tilgængelighed og udførelse

Type af udstyr

Type af slukningsmiddel og kapacitet

Placering

Flugtveje

Fri bredde

Afstand til udgang; døre, trapper etc.

Type af trapper og døre

Type af elevatorer

Flugtstrategi
Flugtvejsplan
Organisatoriske tiltag

Varslingsanlæg
Tilgængelighed og udførelse
Type af system, aktivering (alarmer, talt meddelelse o. lign.)
Forsinkelse

Indsatsplanlægning
Udførelse
Opmarchplads for redningskøretøjer
Indtrængningsveje / Angrebsveje
Brandhaner
Placering af centralskab for ABA, sprinklercentral og sprinkler samt betjening for brandventilation
Brandelevatorer

Organisatoriske tiltag
Vedligeholdelse og tilsyn
Brandøvelser
Uddannelse af personale

1.12 Inddata

Eksempler på inddata til brud ved beregning af brandbelastning jf. ref. /1/.

Brandbelastning i MJ/m²				
Anvendelse	Gennemsnit (MJ/m²)	Fraktil		
		80 %	90 %	95 %
Bolig	780	870	920	970
Hospital	230	350	440	520
Hospital depot	2000	3000	3700	4400
Hotel værelser	310	400	460	510
Kontorer	420	570	670	760
Butikker	600	900	1100	1300
Industri	300	470	590	720
Industri og lager <150kg/m ² og				
biblioteker	1500	2250	2550	-----
Skoler	285	360	410	450

1.13 Referencer

- /1/ DS/ISO/TR 13387:2000: *Funktionsbestemte brandkrav (Fire safety engineering)*
- /2/ Brandskyddshandboken, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2002
- /3/ Brand-og sikkerhed i forsamlingslokaler – et fælles ansvar Københavns Brandvæsen, København, 2000.
- /4/ Carlsson E., External fire spread to adjoining buildings - A review of fire safety design guidance and related research, report 5051, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 1999.
- /5/ Brandskydd, Boverkets byggregler Teori och Praktik, LTH Brandteknik, Lund 1994
- /6/ Utrymningsdimensionering, Boverket Rapport 1994 :10, Karlskrona
- /7/ DiNunno, P.J. & coeditors, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3rd. Ed., Society of Fire Protection Engineers, National Fire Protection Association, Quincy (2002).
- /8/ Funktionsbestemte brandkrav og teknisk vejledning for beregningsmæssig eftervisning, NKB Utskotts- og arbejtsrapporter 1994:07
- /9/ K Hölander, B Sundström, Design Fires for Preflashover Fires, SP REPORT 1997:36, Borås.
- /10/ Bjorn Karlsson & James G. Quintiere, Enclosure Fire Dynamics, ISBN 0-8493-1300-7, 1999.
- /11/ Design Fires Scenarios and Design Fires, ISO/CD 13388 Fire Safety Engineering
- /12/ An introduction to Fire Dynamics, D Drysdale, Department of Fire Safety Engineering, University of Edinburgh, UK, 1986
- /13/ Rasbash, D.J, Phillips, R.P, „Quantification of smoke production at fires. Test methods for smoke and methods of expressing smoke

evolution“, *Fire and Materials*,

- /14/ Zukoski, E.E. „Development of a Stratified Ceiling Layer in the early Stages of a Closed Room Fire“, *Fire and Materials* Vol 2, No. 2, 1978
- /15/ Yanama, T., Tanaka, T., „Smoke control in Large Scale Spaces, Part 1: Analytical Theories for Simple Smoke Control Problems, *Fire Science and Technology*, Vol. 5., No.1, 1985.
- /16/ Yanama, T., Tanaka, T., „Smoke control in Large Scale Spaces, Part 2: Control Experiments in a Large Scale Space, *Fire Science and Technology*, Vol. 5., No.1, 1985
- /17/ B.J., McCaffrey, J.G. Quintiere, and M.F. Harkleroad, „Estimating Room Fire Temperatures and the Likelihood of Flash over Using Fire Test Data Correlations.“ *Fire Tech.*,17, 2, pp.98-119, 1981
- /18/ Kote, J.H, Milke, J.A., *Design of Smoke Management Systems*, p. 107-108 ASHRAE Special Publications, Atlanta, USA, 1992
- /19/ Law, M. O’Brian T, *Fire safety of bare external structural steel*, Constrado, Craydon, May 1981
- /20/ Carlsson E., *External fire spread to adjoining buildings - A review of fire safety design guidance and related research*, report 5051, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 1999.
- /21/ British standard, PD7:2000, *Code of practice for the application of fire safety engineering principles to The design of buildings*, London, 2000
- /22/ TM19: 1995 Relationships for smoke control calculations.
- /23/ NFPA 92B, *Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas*, National Fire Protection Association (2000).
- /24/ Alpert, *Fire Technology* 8. 181 1972
- /25/ PD 7974-7 *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Part 7: Probabilistic risk assessment.*
- /26/ BSI, *Fire safety engineering in buildings. Part 1. Guide to the application of fire safety engineering principles* DD 240 1997.

1.14 Stikordsregister

A

Adgangsvej 17, 67
Afledningsfaktor 69
Afstand til andre bygninger 16
Aksesymmetrisk røgsøjle 59
Aktive brandsikringstiltag 13, 17
Aktiveringstemperatur 31, 50, 52, 65, 70
Aktiveringstid 3, 30, 38, 40, 56
Aktiveringstid for sprinkler 3, 31
Antændelseskilde 15, 33, 34, 35
Atrier 4, 40, 62

B

Brand i en flugtvej 34
Brand i lagerreol 34
Brand i produktionsanlæg 34
Brand- og røgspredning 33, 34, 39, 41
Brandadskillende bygningsdel 11, 16
Brandbeskyttelsessystemer 64
Brandspredning 3, 19, 21, 34, 41
Brandspredning mellem bygninger 3, 21, 41
Brandstrategi 14, 19, 24, 45, 50
Brandteknisk dokumentation 13, 65
Brandteknisk komparativ analyse 11
Brandteknisk konsekvensanalyse 11
Brandteknisk risikoanalyse 11
Brandtilvækst 3, 22, 36, 39, 56, 69
Brandudvikling 40, 56
Brandventilation 4, 14, 17, 19, 34, 35, 38, 40, 54, 58, 59, 60, 61, 64, 71, 72
Brændbart materiale 15, 34, 36, 37, 38, 56

C

CFD-modeller 39
Checkliste 3, 71
Computersimulering 3, 12, 22, 26, 31, 39

D

Den dimensionerende brand 3, 19, 35, 36, 37, 39, 46
Den dimensionsløse brandeffekt 57, 69
Den dimensionsløse tid 58

Den maksimale effektudvikling 3, 37, 38, 53, 54
Det dimensionerende brandscenarium 22
Det varmefølsomme element 31, 50
Detektor 3, 31, 50, 52, 63, 64, 65, 70, 71
Dimensionerende brandforløb 47
Drift og vedligeholdelse 13, 17

E

Effektudvikling 3, 19, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 47, 53, 54, 62, 67
Eksponeringstid 21
Elektriske fejl 33
Elektriske installationer 34
Evakueringstid 11, 12, 25, 66, 70

F

Flowkoefficient 59
Flugtstrategi 72
Flugtvejs- og panikbelysning 8, 17
Flugtvejsforhold 3, 25
Flugtvejsplan 72
Flugtvejsproblematik 14
Flugtvejstrappe 48
Forbrændingseffektivitet 54, 70
Forbrændingshastighed 38, 54, 69
Forbrændingsvarme 38, 54, 56, 69
Fuldskalaforsøg 37
Følsomhedsanalyse 3, 4, 11, 12, 19, 21, 22, 23, 66

G

Gangafstand 16
Ganghastighed 26, 27
Gangtid 3, 25, 26, 27, 66, 67
Gennembrydninger 34
Gennemføringer 16, 23
Glødebrand 55, 63
Gulvbelægning 16, 47

H

Hyppigheder af brande 11
Hændelsesforløb 45, 46
Hændelsestræ 45, 46, 48, 49

I

Ikke overtændt brand 63

Inddata 4, 12, 18, 19, 21, 37, 39, 48, 60, 61, 73

Indvendige overflader 16

Inputparametre 23, 40, 66

K

Kollaps 34

Konsekvensberegning 46

Konstruktioner 11, 19, 29, 34, 62

Konvektiv brandeffekt 69

Konvektiv effekt 57, 60

Kortvarig strålingsintensitet 20

Køtid 26, 27

L

Levende lys 33

Linieplumer 40

Lækagearealer 40, 56

M

Maksimal brandeffekt 54, 69

Maksimal effektudvikling 34, 38,

Masseflow 59

Mekanisk brandventilation 40, 61, 64

Modelbrand 35

N

Nedre forbrændingsvarme 56

O

Optisk densitet 3, 39, 54, 69

Overtændt brand 63

P

Panikbelysning 8, 17

Parabolisk brandtilvækst 56

Passive brandsikringstiltag 13, 16

Passive og aktive systemer 15

Passive systemer 17, 22, 33, 64

Personbelastning 15, 27, 33

Personsikkerhed 14, 33, 38, 59

Persontæthed 26, 27

Primær flugtvej 67

R

Reaktions- og beslutningstid 25, 66, 70
Redningsberedskabets indsatsmuligheder 3, 13, 17, 43
Redningselevator 17, 67
Redningsåbning 16
Redundans 45, 49
Response Time Index 50, 70
Risikoanalyse 4, 8
Risikoprofil 48, 49, 50
Rumhøjde 57, 58, 69
Rumtemperatur 51, 70
Rygning i sengen 33
Røgalarmanlæg 17
Røgdetektor 31, 63, 64
Røgfylldning 3, 40, 56, 58, 61, 62
Røggashastighed 70
Røglag 21, 51, 57, 58, 59, 60
Røglagshøjde 57,
Røgmelder 63
Røgpotentiale 69, 70
Røgproduktion 3, 19, 35, 40, 56
Røgspredning 3, 33, 34, 39, 41
Røgtemperatur 59
Røgdudluftning 17

S

Sampling 63
Sandsynlighed for svigt 64
Sekundære flugtveje 67
Sigtbarhed 20, 56,
Sikker lokalitet 15, 25, 27, 66
Sikkerhedsmargin 18, 23
Sikkerhedsniveau 3, 7, 8
Skilte 16
Slangevinder 17
Slukningssystemer 64
Spindel- og vindeltrapper 27
Spredningshastighed 40, 56
Sprinklercentral 17, 71
Strategi for brandsikringen 15
Strømningskoefficient 60, 69
Stråling 7, 11, 20, 21, 25, 41, 59, 62
Svagheder/redundans 45

T

Tagdækning 16
Termisk brandventilation 3, 40
Termo- og røgdetektor 64
Tid efter antændelse 36, 62, 70
Tid til aktivering 3, 19, 27, 31, 34, 35, 52, 70
Tid til aktivering for sprinkler 19
Tid til kritiske forhold 11, 12, 18, 19, 56, 58, 67, 70
Tilluftsareal 60
To-zone model 22
Transient brand 67
Trappebredde 26
Trappeløb 26

U

Udvendige overflader 16
Usikkerhed 18, 21, 45

V

Varmefølsomt element 70
Varmekapacitet 34, 57, 69
Varmestråling 7, 21, 25
Varslingstid 25, 26, 66, 67
Vedvarende strålingsintensitet 20
Ventilationsareal 58, 60
Ventilationsforhold 34, 35
Ventilationskontrolleret brand 37, 53
Ventilationsåbningernes højde 53, 69
Verifikation 12, 45

Å

Åbningsfaktor 34