



Brandveiligheid en betonconstructies



Ir Jean-François Denoël

Deze publicatie is verkrijgbaar bij :

FEBELCEM Federatie van de Belgische Cementnijverheid
Voltastraat 8
1050 Brussel
telefoon : 00 32 2 645 52 11
fax : 00 32 2 640 06 70
e-mail : info@febelcem.be
website : www.febelcem.be

Deze kan gedownload worden van de webstek www.febelcem.be

Deze bestaat in Franse, Nederlandse en Engelse versie.

Foto's cover : bron CIMBETON

Verantwoordelijke uitgever : Jean-Pierre Jacobs, FEBELCEM

Auteur en uitvoerder: Ir Jean-François Denoël, Raadgevend Ingenieur Gebouwen, FEBELCEM

Alle rechten voorbehouden : Niets uit deze publicatie mag worden opgeslagen op een server of openbaar gemaakt, verveelvoudigd in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enig andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van FEBELCEM.

FEBELCEM, de auteurs, de vertalers en al diegenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze publicatie. Nochtans is de mogelijkheid niet uitgesloten dat er zich toch fouten, onnauwkeurigheden of onvolledigheden in deze publicatie kunnen bevinden. Degene die gebruik maakt van de gegevens in deze publicatie, aanvaardt daarvoor het risico. FEBELCEM sluit, mede ten behoeve van al diegenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze publicatie.

© FEBELCEM, 2007

ISBN 2-9600430-3-0

ISBN 978-2-9600430-3-7 (nieuwe nomenclatuur)

EAN 9782960043037

D/2007/280/03

Brandveiligheid en betonconstructies

*Keuze voor beton, reglementeringen, brandweerstand, brandrisico, Fire Safety
Engineering en herstelling van beton na brand*

Dankbetuigingen

Met dank voor hun medewerking :

- de Professoren A. Brûls, J.C. Dotreppe, J.M. Franssen en J.B. Schleisch van de Liège Universiteit,
- de Professoren L. Taerwe en P. Vandewelde van de Universiteit Gent,
- de heren G. Baes en E. Briers van NVBB,
- de heer P. Chana (BCA),
- Mevrouw F. Robert (CERIB),
- de heer S. Horvath (CIMBETON),
- de heer A. Van Acker (FEBE),
- de heer T. Hietanen (Finnish Association of Construction Product Industries),
- de heer P. Spehl (SECO) en
- de heer U. Neck (VDZ).

Jean-François Denoël

Preamble

De dramatische brand in de 'Innovation' in Brussel (1967) heeft de absolute noodzaak aangetoond van een reglementering op het vlak van brandweerstand en van een betere kennis van het gedrag bij brand van materialen en constructies.

Het gevolg was dat een reeks acties zonder voorgaande werd opgezet om tegemoet te komen aan de wens van iedere gebruiker en iedere ontwerper, namelijk het realiseren van een optimale brandweerstand.

Meer recent deden zich branden voor in bergtunnels en in de tunnel onder het Kanaal, in New York ('9/11'), in Madrid, en – in eigen land - te Bergen (Mons) en op onze autowegen. Al deze gebeurtenissen hebben iedereen opnieuw aangezet tot een grotere waakzaamheid, om na te denken over de verschillende invloedsfactoren en zich zeker vragen te stellen omtrent het gedrag van bouwwerken bij brand.

Deze publicatie is bestemd voor alle bouwprofessionelen, namelijk ontwerpers, architecten, studiebureaus, regelgevers, aannemers, verzekeraars of openbare besturen.

Dit document behandelt :

- fundamentele concepten in verband met brand ;
- kwalificaties van het brandrisico ;
- actieve brandbeveiliging en "Fire Safety Engineering" ;
- achtergrond van reglementen ;
- verduidelijkingen omtrent het gedrag bij brand van beton en staal gedurende en na een brand.

Tenslotte wordt aangetoond dat bouwwerken waarin beton verwerkt is onder de vorm van gewapend beton, voorgespannen beton of metselwerk, een uitstekende intrinsieke brandweerstand vertonen en bovendien de mogelijkheid bieden om hersteld te worden na een brand.

Dit document zou aldus het antwoord moeten leveren op vele hangende vragen en een beter inzicht bieden in het uitgebreide en boeiende domein van de brandweerstand.

Het kan gedownload worden van de webstek www.febelcem.be

Het was het basisdocument voor het opstellen van bulletin nr 37 getiteld
« Brandbescherming door betonconstructies » (20blz)

Het kan ook gedownload worden van dezelfde webstek

Inhoudsopgave

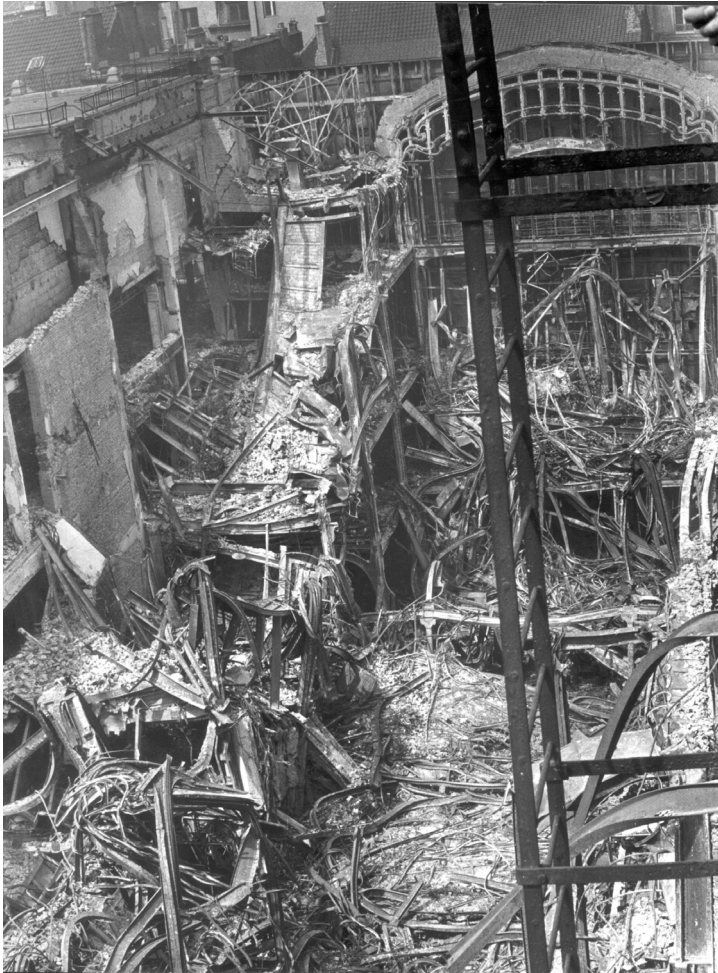
Preambule	7
A. Inleiding	11
B. Brandveiligheid	14
1. Doel van de brandveiligheid : bescherming van personen, goederen en bezittingen	14
2. Fysische aspecten van een brand - basisbegrippen	16
2.1. Terminologie : vuur en brand	16
2.2. Verloop van een brand	16
2.2.1. De vuurdriehoek	16
2.2.2. De ontwikkeling van een brand – "flashover"	16
2.3. Nominale curven – de ISO-curve	16
2.4. Reactie bij brand en brandweerstand	17
2.4.1. Reactie bij brand van bouwmaterialen - classificatie	18
2.4.2. Reactie bij brand - conformiteitattest	19
2.4.3. Brandweerstand van structurele elementen	20
3. Reglementering	22
3.1. De Europese richtlijnen en de Eurocodes	22
3.1.1. De Europese richtlijnen	22
3.1.2. De Eurocodes	23
3.2. Toestand van de brandregelgeving in België	24
3.2.1. Algemeen kader	24
3.2.2. Basisnormen op het gebied van brand- en explosiepreventie	24
3.2.2.1. Toepassingsgebied en referentiedatum	24
3.2.2.2. Koninklijk Besluit (KB) van 1997	25
3.2.2.3. Koninklijk Besluit (KB) van 4 april 2003	26
3.2.2.4. Nieuwe reglementen in ontwerp	27
3.2.3. Toekenning van een bouwvergunning - brandweerstand	27
3.2.4. Regelgeving voor branddetectoren in bewoonde gebouwen	27
3.2.5. Oude gebouwen	28
4. Bescherming en risico's	29
4.1. Brand : risico's, invloedsfactoren, oorsprong en voortplanting	29
4.2. Passieve en actieve beveiliging ... en menselijk gedrag	29
4.2.1. Passieve beschermingsmaatregelen - compartimentering	29
4.2.2. Actieve beschermingsmaatregelen	31
4.2.3. Menselijk gedrag	33

5. Thermische verschijnselen.....	36
5.1. Mechanismen van warmteoverdracht	36
5.2. Belangrijkste invloedsfactoren van de gastemperatuur	36
5.2.1. Brandbelasting en maximum calorisch debiet (RHR)	36
5.2.2. Ventilatie.....	38
5.2.3. Thermische karakteristieken van wanden	38
5.3. De ernst van een brand	39
6. Belastingen	40
6.1. Mechanische belastingen	40
6.2. Verschillende modellen voor de thermische belastingen.....	40
6.2.1. Nominale curven.....	40
6.2.2. Parametrische curven	40
6.2.3. Zonemodellen.....	41
6.2.3.1. Eén-zone modellen	41
6.2.3.2. Twee-zones modellen.....	41
6.2.4. Modellen voor gelokaliseerde branden.....	41
6.2.5. Veldmodellen.....	41
6.2.6. Welke curve en model gebruiken?	41
7. Materialen.....	43
7.1. Fysische en chemische verschijnselen in het materiaal beton.....	43
7.2. Mechanische en thermische karakteristieken van beton en staal	45
7.2.1. Normaal beton	45
7.2.2. Licht beton.....	47
7.2.3. Hogesterktebeton	47
7.2.4. Zelfverdichtend beton	48
7.2.5. Staal	48
7.2.6. Vergelijking van de mechanische karakteristieken van de materialen staal en beton.....	50
8. Berekening van de bescherming en het risico	51
8.1. Nazicht van de brandweerstand : berekening.....	51
8.1.1. Drie methodes, drie niveau's	51
8.1.2. Methode met getabelleerde waarden (niveau 1).....	52
8.1.2.1. Toepassingsgebied.....	52
8.1.2.2. Gebruik van de tabellen	52
8.1.2.3. Asafstand	53
8.1.2.4. Isostatische balken	54
8.1.2.5. Doorlopende liggers	55
8.1.2.6. Platen	55
8.1.2.7. Kolommen.....	55

8.1.2.8. Wanden	56
8.2. Fire Safety Engineering	56
8.3. Het brandrisico	62
8.3.1. Prescriptieve en performantiële regelgeving	62
8.3.2. Methodes voor de inschatting van het brandrisico	62
8.3.2.1. Kwalitatieve methodes	62
8.3.2.2. Semi-kwantitatieve methodes	62
8.3.2.3. De kwantitatieve methodes	63
8.4. Industriële gebouwen	64
8.4.1. Classificatie van uitgeoefende activiteiten en brandrisico's voor industriële gebouwen	64
8.4.2. Branden in opslagplaatsen	65
8.5. Tunnels	71
C. Voorbeelden van het gedrag bij brand van betonconstructies	73
1. "Leerzame" branden	73
1.1. Wat is er in Madrid gebeurd ?	73
1.2. Het viaduct van de 3 Fontein	75
2. Ontwerp van gebouwen	76
3. Brandproeven op gebouwen	77
3.1. Gent 1974	77
3.2. Cardington 2001	78
D. Herstelling van betonconstructies	79
1. Inspectiemethodes	79
1.1. Visuele beoordeling	79
1.2. Proefmethodes	79
2. Herstellingsmogelijkheden	79
E. Bijlage	81
Bijlage 1 – Discussie in verband met sprinklersystemen	81
F. Bibliografie	85
1. Algemene literatuur	85
2. Normen	87
3. Reglementen	87

A. Inleiding

De tragische brand [1] in de "Innovation" in Brussel in 1967 kostte het leven aan meer dan 250 personen. Achteraf gezien moest een dergelijke brand vroeg of laat plaatsvinden. Vele gebouwen uit die periode werden immers omgevormd tot echte valstrikken in het geval van een brand.



Na de brand was alles wat overbleef van de "Innovation" een warboel van verwrongen staal

In de Inno bijvoorbeeld waren geen branddetectiesystemen en geen sprinklers voorzien ; geen compartimentering ; geen nooduitgangen ; de staalstructuur was niet beschermd ; zeer brandbare kartonpanelen dienden als muurbekleding en vals plafond ; de toegang tot het brandend gebouw door de brandweer werd ernstig belemmerd door reclamepanelen voor de vensters en door het feit dat er in de smalle straat een druk verkeer was en veel auto's geparkeerd stonden.

De schok die veroorzaakt werd door deze catastrofe dwong de overheid om tussen te komen. Door het Ministerie van Binnenlandse Zaken werd zeer vlug een reeks wetten, koninklijke besluiten en omzendbrieven op punt gesteld en van

zijn kant publiceerde het Belgisch Instituut voor Normalisatie de betreffende normen.

De toestand in België was destijds geen unicum: alle andere Europese landen werden met hetzelfde probleem geconfronteerd. Zowat overal werden in allerlei onderzoekslaboratoria opgericht en onderzoeksprogramma's uitgewerkt.

De "Bouwproductenrichtlijn", in 1988 uitgevaardigd door de Raad van de Europese Commissie, erkent brandweerstand als één van de zes basiseisen waaraan bouwwerken moeten voldoen.

Vandaag, na verschillende decennia van voorbereiding, verschijnen uiteindelijk echte Europees geharmoniseerde productnormen en berekeningsnormen. Ze zijn bijzonder aangewezen om als basis te dienen voor de nationale regelgeving.

Alhoewel beton hét materiaal bij uitstek is wat betreft brandweerstand, is het noodzakelijk om voorafgaandelijk de fysische grondbeginselen van een brand te bespreken. Ondanks de emotionele aspecten die bij een brand een rol spelen, moet deze benadering leiden tot gefundeerde beoordelingscriteria en een beter inzicht van het gedrag bij brand van bouwwerken.

Het is van vitaal belang bouwwerken te ontwerpen en uit te voeren die effectief en efficiënt zowel personen als bezittingen beschermen. De jaarlijkse statistieken van doden tengevolge van branden leiden ons naar de harde en trieste realiteit. Tezelfdertijd laten deze ongevallen ons toe om lessen te trekken aangaande brandweerstand die nuttig zijn voor de ontwerpers.

Zowel op nationaal als internationaal vlak bestaat een indrukwekkende wetgeving om ons te beschermen tegen brand, die continu op punt gesteld wordt. Doeltreffende informatieverstrekking is nodig voor de bouwprofessionelen en dit zowel voor ontwerpers, architecten of studiebureaus, regelgevers, verzekeraars als voor openbare besturen. Deze brochure is precies bedoeld om deze personen een beter inzicht te verschaffen in het belang van een adequate brandweerstand bij het ontwerp van een gebouw en in de rol die beton hierbij kan vervullen. Deze synthese omvat zowel gebouwen als andere structuren zoals tunnels en andere specifieke constructies waarvoor beton gebruikt wordt.

«Geen rampzalige branden meer»

Zo staat het op de plannen voor de betonbrug die gebouwd werd in Luik in 1905 en genoemd werd naar Hennebique.

Deze geniale ontwerper en uitvinder van de wapeningsbeugel, had vlug het uitzonderlijk belang van het materiaal beton begrepen. Hij maakte er zijn reclameslogan van.

Waarom kiezen voor een betonconstructie ?

Beton wordt voorgeschreven in gebouwen en civieltechnische projecten om verschillende redenen : kostprijs, uitvoeringssnelheid, esthetiek of architecturale aspecten. Nochtans is één van de voornaamste voordelen van beton zijn gedrag bij brand en dit zonder meerkost, hetgeen een doorslaggevende beslissingsfactor kan zijn bij de conceptie van een project.

Beton [21] en betonconstructies vertonen een aantal kenmerken die bijzonder gunstig uitvallen :

- Beton is, samen met metselwerk, het enige dragend materiaal dat in staat is om weerstand te bieden aan een brand **zonder bijkomende bescherming** van welke aard ook zoals een bekleding van pleisterwerk of een opzwellende verf. De eigenschappen die het brandgedrag gunstig beïnvloeden, wijzigen niet in de tijd. Ze zijn van **blijvende aard** zonder dat bijkomende uitgaven voor onderhoud nodig zijn. Eenvoudigweg voor beton kiezen is een belangrijk element in het kader van preventieve maatregelen tegen brand ;
- Beton biedt op een economische wijze de vereiste brandweerstand : het volstaat meestal om de **betondekking** op de wapening en de minimum afmetingen die in tabellen van berekeningsnormen opgenomen zijn, te respecteren. Door het toepassen van deze eenvoudige methode met tabellen moet men geen beroep doen op de ingewikkelde technieken van de "Fire Safety Engineering" ;
- Dragende structuren in beton bieden een zeer grote brandweerstand. Aldus wordt in hoge gebouwen met verschillende verdiepingen **het risico** voor de bewoners en de brandweerdiensten sterk **gereduceerd**. Deze laatste kunnen in het gebouw doordringen en van dichtbij op een efficiënte wijze tussenkomen ;
- Dankzij hun **thermische inertie** en hun **massiviteit** kunnen betonelementen, in tegenstelling tot onbeschermd staalprofielen, zeer lang weerstand bieden aan hoge temperaturen, met een minimum aan vervormingen. Wapeningsstaal van een platenvloer gelegen op een diepte van 3,5 cm, bereikt slechts na 2 uur de kritieke temperatuur van 500 °C. Beton met lichte granulaten kan aan nog strengere eisen beantwoorden en vormt aldus een efficiënte afscherming tegen branduitbreiding ;
- De hoge thermische inertie van betonwanden is ook bijzonder interessant om de **algemene uitbreiding van een vuurzee te vertragen** ;
- Beton is **niet brandbaar** : er komt niets van los of er druipt niets af. Het smelt niet. Via beton plant het vuur zich niet voort, er komt geen rook vrij noch toxische gassen en dit zelfs bij de meest extreme temperaturen ;
- Brandmuren combineren op harmonieuze wijze **brandweerstand, akoestische isolatie en thermische inertie**. De compartimentering van grote ruimtes met wanden en vloeren in beton reduceert de kans op een totaalverlies in het geval van brand. Deze scheidende elementen evenals trapkokers in beton waarborgen **veilige, eenvoudige en economische vluchtwegen** ;
- Betonconstructies bieden door hun intrinsieke brandweerstand een grotere **architecturale vrijheid**. De brandweerstandseisen wegen zwaar door bij andere materialen die moeten beschermd worden met behulp van bekledingen, of die moeten gecombineerd worden met actieve beschermingsmaatregelen waarvan men bij beton geen last heeft. Op die manier kan de architect zich volledig op zijn creatieve taak toelagen ;
- Dragende betonelementen beschikken over het algemeen over **reserves** ten aanzien **van de brandweerstand** die bijvoorbeeld van pas kunnen komen wanneer het gebouw een andere bestemming krijgt, zoals dikwijls het geval is ;
- De uitstekende eigenschappen van beton bij brand worden naar waarde geschat door de verzekeraars van immobiliën : betonconstructies genieten de voordeligste **verzekeringspremies** ;
- Beton **ondervindt geen last van het bluswater**, dat soms in grote hoeveelheden gebruikt wordt ;
- Bij compartimentering van ruimtes belet beton de voortplanting van branden en voorkomt aldus een bedreiging van het **milieu**. De blootstelling aan brand van beton genereert geen toxische producten ;
- Door de bescherming die beton biedt, zorgt beton voor de **continuïteit van activiteiten** in installaties van vitaal belang ; beton biedt ook bescherming aan ons **cultureel erfgoed** ;
- Het gebruik van geprefabriceerde betonelementen laat een **snelle uitvoering** toe ;
- Betonvloeren vertonen zeer **bepaalde vervormingen** in vergelijking met andere materialen ;
- Na een brand kunnen betonelementen meestal **eenvoudig en goedkoop hersteld** worden.

Dit document is geen gids waarin letterlijk alles terug te vinden is omtrent brandveiligheid. Het bevat veeleer een globaal overzicht van algemene basisprincipes en van die aspecten die betrekking hebben op beton. Aldus vormt dit document een goede inleiding tot de brandgedeelten van de Eurocodes 1 en 2.

Voor degenen die meer gedetailleerde technische informatie zoeken is op het einde een lijst opgenomen van verschillende publicaties, normen en websteaks.

De lezer die een "bondig en nuttig" document zoekt zal hier zijn gading vinden. In de kaderstukken met okere achtergrond, worden specifieke aspecten behandeld zoals het gebruik van betongevels in industriële gebouwen (zie p69) of betonwegen in tunnels (zie p71). Op het einde worden ook voorbeelden gegeven van het werkelijk gedrag van betonconstructies bij brand (zie p73).

De reglementering (zie p22) is samengebracht in een afzonderlijk hoofdstuk. Dit hoofdstuk kan trouwens onafhankelijk van de andere delen van deze brochure gelezen worden. Voor wat betreft de Belgische reglementering op het vlak van trap- en liftkokers, borstweringen en penanten vindt men een beknopt overzicht in het hoofdstuk gewijd aan het KB van 1997 (zie p25).

B. Brandveiligheid

1. Doel van de brandveiligheid : bescherming van personen, goederen en bezittingen

Het doel van de brandveiligheid [18], [20] is de efficiënte bescherming van personen, goederen en bezittingen tegen het brandrisico. Meer bepaald betreft het hier :

- het veilig stellen van de levens van de gebruikers van een gebouw
- de bescherming van de levens van de interventiediensten
- het verzekeren van de integriteit van een gebouw
- het veilig stellen van naburige gebouwen.

Bij ontbreken van een specifieke verzekeringspolis die het stilvallen van de productie dekt, dekken de verzekeringspremies, die aangepast worden aan de potentiële risico's, bij industriële gebouwen enkel het verlies aan goederen en bezittingen, en niet het verlies te wijten aan het stilvallen van de productie. Dit is een belangrijk aspect wanneer men bedenkt dat 50 % van de bedrijven die het slachtoffer werden van een brand, achteraf failliet zijn gegaan [6].

De basiseisen met betrekking tot bescherming tegen brand bestaan uit :

- de reductie van de kans op het ontstaan van een brand ;
- het vermijden van de voortplanting van de brand ;
- het waarborgen van een snelle evacuatie van de gebruikers met een voldoende veiligheid ;
- de interventie van de brandweerdiensten vergemakkelijken.

De volgende tabel [33] geeft weer hoe betonelementen voldoen aan deze basiseisen.

Basiseisen i.v.m. brandbescherming			
de ontwikkeling van de brand beperken	de voortplanting van vlammen vermijden	de snelle evacuatie van de gebruikers waarborgen met een voldoende veiligheid	de interventie van de brandweerlieden vergemakkelijken
↓	↓	↓	↓
voorkomings- en beschermingsmaatregelen			
bv. Met behulp van onbrandbare wanden, vloeren en plafonds	bv. Met behulp van inwendige en uitwendige brandmuren	bv. Vluchtwegen omgeven door elementen met een hoge brandweerstand die gedurende een lange tijd bruikbaar zijn	bv. Dragende structuren met hoge brandweerstand die een effectieve brandbestrijding in het gebouw mogelijk maken

Brandveiligheid [32] kan nooit absoluut zijn. Het is wel mogelijk de risico's te reduceren door een gepaste reeks maatregelen te nemen. Elk van deze maatregelen is op zichzelf onvoldoende, maar hun gezamenlijk effect laat toe een voldoende veiligheid te bereiken.

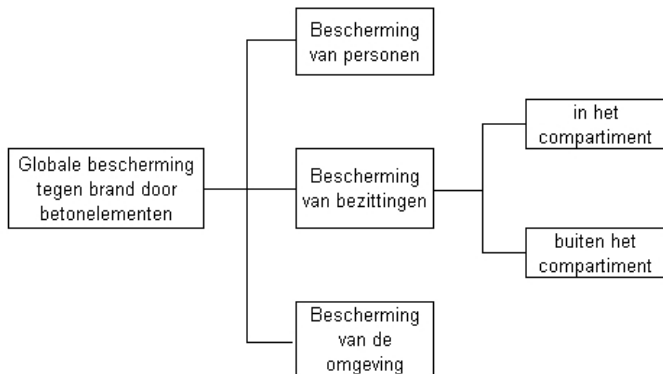
In een aantal Europese landen, bestaat een trend [33] om de eisen aangaande de bescherming tegen brand te verminderen. Dit beïnvloedt rechtstreeks de vereiste brandweerstand van structurele elementen. De voornaamste oorzaak van deze houding komt van de overtuiging dat enkel de brandweerstand die nodig is voor de bescherming van personen, door openbare instanties moet gereguleerd worden. De verantwoordelijkheid voor de bescherming van gebouwen en bezittingen wordt aldus overgedragen aan de burgers. Het Wereldcentrum voor Brandstatistiek heeft in haar jaarverslag van 1999 een internationale vergelijking opgenomen van de kosten verbonden aan branden. Deze vergelijking toont het belang aan van brandbescherming :

- De kosten van brandschade bedragen 0,2 tot 0,3 % van het bruto nationaal product;
- Het aantal overlijdens tengevolge van branden per 100.000 inwoners varieert van 0,55 voor Zwitserland ; 1,32 voor België tot 2,12 voor Finland.
- De som van de kosten verbonden aan brandbescherming en brandschade loopt gemiddeld op tot 0,6 % van het bruto nationaal product.

Verbanden tussen basiseisen i.v.m. brandbescherming en beschermingsmaatregelen

Deze cijfers tonen de noodzaak aan om te beschikken over een globale brandbescherming. Een vermindering van het aantal slachtoffers bij branden en van de brandschade zou moeten nagestreefd worden als onweerlegbaar sociaal en economisch streefdoel.

De beperking van vervuiling door rookgassen, toxische gassen en bezoedeld bluswater moet op haar beurt bijdragen tot de bescherming van het milieu.



Globale effecten van brandbescherming met gebruik van betonelementen (Neck, 2002)

In de verslagen van de NFPA [41] (National Fire Protection Association) wordt vermeld dat in de Verenigde Staten het gemiddeld financieel verlies tengevolge van branden die de dragende structuur beïnvloeden met 51 % gestegen is tussen 1977 en 2002. Deze stijging heeft te maken met een versoepeling van de veiligheidseisen, in het bijzonder voor gebouwen. De rechtstreekse of onrechtstreekse verliezen zoals de verhuis van bewoners of de verplaatsing van de bedrijfsactiviteiten kunnen een enorme economische impact hebben voor de gemeenschap. De reglementering zou met deze impact moeten rekening houden.

Voor een doeltreffende brandbestrijding, moet de interventie van de brandweerdiensten langs binnen in het gebouw kunnen gebeuren [23]. Op dit vlak bieden betonconstructies de meeste zekerheid zowel wat evacuatie als brandbestrijding betreft.

Volgens waarnemingen [32] in Engeland bij 840 branden, is de kans op vernieling van de draagstructuur beperkt (1 %) (over alle materialen heen) terwijl de lokale vernieling van een constructie-element hoger is (15 %). Dit toont het belang aan van de mogelijkheid om constructie-elementen te herstellen.

De betonsector doet mee aan de inspanning om de **veiligheid** en de **kostprijs** van projecten te optimaliseren. De voorstelling in dit document van de wetenschappelijke methodes gebruikt in het kader van "Fire Safety Engineering" getuigt van de openheid van de sector. Op die manier wordt een objectief beeld gegeven van de problematiek. Er zal zeker niet ingegaan worden op beperkende of los staande methodes die niet geïntegreerd zijn in een groter geheel. De belangen van de verschillende betrokken partijen zoals eigenaars, architecten, aannemers, producenten, verzekeraars, gebruikers en bezoekers van gebouwen zijn niet noodzakelijk gelijklopend. Een evenwichtige regelgeving moet voorzien in de vorming en de kwalificatie van de personen die instaan voor de berekening en de controle.

Een gebrek aan maatregelen en middelen vanwege de openbare instanties moet een duidelijk signaal zijn om de voorkeur te geven aan betrouwbare oplossingen en om de verantwoordelijkheden toe te kennen aan degenen die zowel de wil als de capaciteiten hebben om ze op te nemen.

2. Fysische aspecten van een brand - basisbegrippen

2.1. Terminologie : vuur en brand

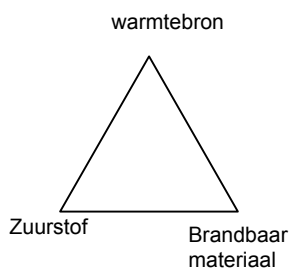
Vuur is een verbranding [4]. Men vindt vuur onder meer in ovens en verwarmingsketels onder de vorm van een gecontroleerde verbranding. In het geval van een ongecontroleerde verbranding spreekt men van een brand. Het vuur wordt dusdanig groot dat het overgaat in een brand.

Er is een fundamenteel verschil tussen vuur en brand. Experten op het vlak van verbranding beheersen gecontroleerde verbrandingen die overeenstemmen met een vastgelegd scenario volgens een vooraf bepaald verloop van de thermische effecten. Men vindt dit type verbrandingen terug in de glasindustrie, de keramische industrie, in beproevingslaboratoria, alle plaatsen waar vuur wordt gemaakt in ovens of testruimtes, waar de rookgassen worden afgevoerd zodat ze de operatoren niet hinderen. Brandexperten zoals brandweerlui moeten een ongecontroleerde verbranding meester zijn die gedeeltelijk een onvoorzien verloop kent, en waarbij mensenlevens moeten veilig gesteld worden.

2.2. Verloop van een brand

2.2.1. De vuurdriehoek

Een brand kan pas ontstaan [5] indien drie elementen gelijktijdig aanwezig zijn : zuurstof (21 % van het luchtvolume), brandbare materialen en een warmtebron. Zij vormen samen de **vuurdriehoek**, zoals weergegeven in onderstaande figuur. De eerste twee elementen [19] treden in verbranding van zodra de ontvlammingstemperatuur bereikt is. De verbranding van



Figuur : de vuurdriehoek

koolstof produceert koolstofdioxide (CO_2) en, indien zuurstof ontbreekt wordt het gekende koolstofoxide (CO) gevormd dat zeer gevaarlijk is voor de mens.

2.2.2. De ontwikkeling van een brand – "flashover"

Een brand bestaat uit een ontwikkelingsfase waarbij de temperatuur oploopt, die gevolgd wordt door een afkoelingsfase waarbij de temperatuur afneemt.

Een ontstekingsvlam zet een hoeveelheid materiaal in vuur, waardoor een brand ontstaat. De eerste gassen en rook komen vrij. In een gesloten omgeving stijgen rookpluimen op en botsen tegen het plafond, terwijl de temperatuur oploopt. De rook verspreidt zich vervolgens radiaal langsheen het plafond tot hij tegen een scheidingswand botst en naar beneden zakt, waarna de rooklaag tegen het plafond stagneert.

Algemeen bevat het lokaal een koude onderste laag bestaande uit de omgevingslucht en gassen, en een warme bovenste laag (twee zones model). Bij een temperatuur van ongeveer 200 °C springen de ramen stuk, waardoor plots verse zuurstof aangevoerd wordt en de brand terug aanwakkerd. De bovenste laag neemt steeds in volume toe en nadert het vloeroppervlak.

In de loop van de ontwikkeling van de brand wordt de temperatuur van het gasmengsel van de bovenste laag zodanig hoog dat door straling alle brandbare elementen in het compartiment worden ontstoken. Dit fenomeen heet "flashover" (vlamoverslag) en treedt meestal op bij een temperatuur van 500 tot 600 °C. De snelle toename van de temperatuur en de aangroei van warmte vrijstelling zorgt voor een intense menging van rookgassen waardoor ook de lagen zich vermengen (één zonemodel). Men zegt dat de brand volledig ontwikkeld is.

Deze verschillende stadia in de ontwikkeling van een brand zijn geschematiseerd in de volgende grafiek, waarin de evolutie van de temperatuur in het compartiment in functie van de tijd is voorgesteld.

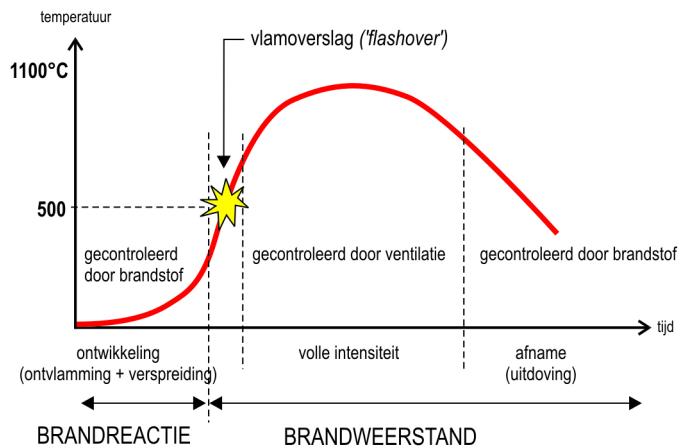
Het vuur wordt gecontroleerd door de brandstof indien er voldoende zuurstof voor handen is voor de verbranding. Het wordt gecontroleerd door de ventilatie indien er niet voldoende zuurstof beschikbaar is.

De brandweerstand van kolommen, balken, wanden en vloeren moeten de verspreiding van de brand en de instorting van de structuur vermijden, zodat de blusoperaties zonder gevaar voor de hulpdiensten kunnen verlopen.

Wanneer de brandstof voor ongeveer 70 % opgebruikt is, daalt de gastemperatuur. Ter informatie : de carbonatatiesnelheid van hout bedraagt, naargelang de aard van de brandstof, 3 tot 6 cm per uur.

2.3. Nominale curven – de ISO-curve

De gemakkelijkste manier om een brand voor te stellen is door gebruik te maken van nominale curven, die de evolutie van de gastemperatuur in functie van de tijd weergeven.



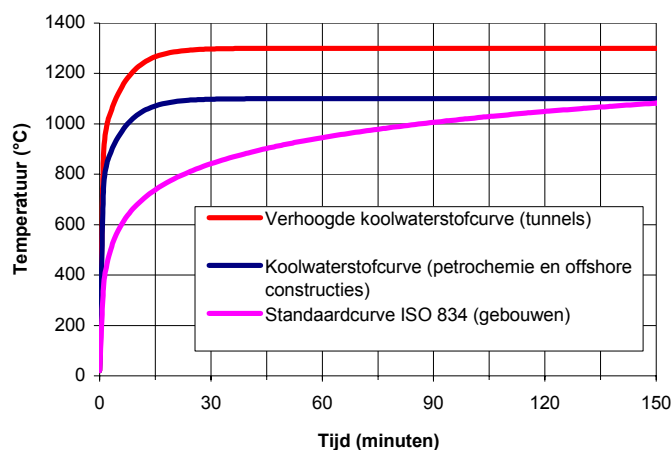
Figuur : Ontwikkelingsfasen van een brand

Historisch gezien werden deze curven ontwikkeld voor de beproeving van constructie-elementen, teneinde deze te classificeren volgens brandweerstand en reactie bij brand (zie §2.4). Het is uiteraard wenselijk dat, wanneer elementen getest worden in verschillende ovens, zij aan dezelfde thermische belasting onderworpen worden. Deze curven vormen een eerder conventionele referentiebasis voor de modellering van een brand in een gebouw.

Om historische redenen en omwille van de eenvoud blijven zij veruit de meeste gebruikte voorstelling van een brand in praktische toepassingen.

De notie [32] van "weerstandsduur" is conform met het performantieconcept : geen enkel type materiaal is uitgesloten en de performantie van het element is voorgeschreven.

De curven die het meest worden gebruikt zijn weergegeven in de volgende figuur. Zij zijn gebaseerd op de ervaring opgedaan bij werkelijke branden en zijn onder te brengen in 3 categorieën: gebouwen, petrochemie/offshore constructies en tunnels.



Figuur : Verschillende temperatuurcurven

De standaard ISO-curve : $\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t+1)$

met θ_g = gastemperatuur in °C in het compartiment

t = tijd in minuten

Voor de ISO-curve kan men gemakkelijk aflezen dat na een kwartier de temperatuur ongeveer 745 °C bedraagt en verder toeneemt met ongeveer 100 °C bij iedere verdubbeling van de tijd.

In deze vergelijking zijn de twee fases [5] van een brand duidelijk terug te vinden : de algehele vlamoverslag met zeer snelle temperatuurstijging tot ongeveer 800 °C, en vervolgens de periode waarin de brand volledig ontwikkeld is.

De koolwaterstofcurve [55] werd ontwikkeld in de jaren 1970 door het petroleumbedrijf Mobil en vertoont een zeer snelle stijging van de temperatuur tot 900 °C in de eerste 5 minuten en vervolgens een drempel bij 1100 °C. Dit onderzoek werd opgestart om een testprocedure op punt te stellen voor brandbeschermingsmaterialen voor gebruik op boorplatformen en in petroleumbedrijven.

Strengere koolwaterstofcurven zijn op punt gesteld als gevolg van tunnelbranden, waarvoor duidelijk werd dat strengere brandscenario's moesten worden gehanteerd. In Nederland werd de RWS-curve ontwikkeld. Deze komt overeen met een brand van een tankwagen gevuld met olie met een calorisch vermogen van 300 MW, die een temperatuursontwikkeling van 1350 °C oplevert gedurende 2 uur. Nederland gebruikt deze curve als referentie voor realistische thermische berekeningen en ziet ze als onontbeerlijk voor de garantie van het behoud van de tunnels onder hun waterbouwkundige werken.

Duitsland hanteert de RABT-curve (ook ZTV-curve genoemd) die minder streng is dan de RWS-curve en toeneemt tot 1200 °C binnen het eerste half uur en vervolgens lineair afneemt tot omgevingstemperatuur na 170 minuten.

Een nieuwe curve, verschillend van de curven RWAS en RABT en gekend onder de naam verhoogde koolwaterstofcurve (HCM) werd uiteindelijk op punt gesteld waarbij de waarden van de koolwaterstofcurve met 18 % verhoogd werden. De drempel in de curve ligt aldus bij 1300 °C.

Betonelementen kunnen zonder problemen aan een ISO-brand van 1 uur of meer voldoen. Dit is sterk contrast tot onbeschermde staalementen, waar al na 10 tot 15 minuten een temperatuur van 500 tot 600 °C bereikt wordt en de weerstand sterk afneemt. Er bestaan isolerende platen en verven om het staal te beschermen, doch de efficiëntie ervan is sterk afhankelijk van de juiste uitvoering. Een degradatie van deze materialen kan dramatische gevolgen hebben.

2.4. Reactie bij brand en brandweerstand

Reactie bij brand [18] heeft betrekking op bouwmaterialen als dusdanig en is een maat voor het geheel van eigenschappen van een materiaal met betrekking tot het ontstaan en de ontwikkeling van een brand. Zij wordt gekarakteriseerd door de calorische potentiaal [5], onbrandbaarheid, ontvlambaarheid, vlamuitbreiding op het oppervlak van het materiaal en eventueel door andere eigenschappen zoals rookvorming en productie van giftige gassen.

Brandweerstand heeft betrekking op constructie-elementen en geeft een maat voor de wijze waarop ze in staat zijn hun functie te behouden bij brand.

Deze twee begrippen zijn dus totaal verschillend. Het eerste speelt een rol bij het ontstaan en het begin van de ontwikkeling van een brand, terwijl het tweede van belang is bij een brand in

volle intensiteit. Beide moeten bekeken worden bij brandpreventie. De voorschriften stellen dus eisen aan beide aspecten.

Hout [5] is een materiaal met een slechte reactie bij brand – hout brandt – terwijl houten balken en kolommen wel een belangrijke brandweerstand vertonen.

Staal daarentegen heeft juist een goede reactie bij brand, maar heeft een zeer slechte brandweerstand.

Beton combineert beide kwaliteiten, waardoor het hét materiaal bij uitstek is voor constructies waar een goed gedrag bij brand gewenst is.

Keuzes die de brandweerstand van constructie-elementen verhogen bieden, door hun permanent karakter, meer zekerheid naar brandpreventie toe. Elke wijziging (renovatie, uitbreiding) is onderworpen aan een nieuwe bouwvergunning of een herziening van de uitbatingsvergunning waarbij de brandweerdiensten worden geconsulteerd.

Dit is niet zo bij de afwerking en in het bijzonder de inboedel, waarbij de eigenaar de inhoud van het gebouw en de aard van bekleding zodanig kan veranderen dat de brandlast en het brandrisico fundamenteel gewijzigd worden.

2.4.1. Reactie bij brand van bouwmaterialen - classificatie

Reactie bij brand wordt bepaald door een CE-merkteken. Elke bouwprofessioneel moet zich een minimum aan Europees taalgebruik eigen maken voor het begrijpen van de nieuwe normen en de classificatie.

Dit classificatiesysteem [40] was het onderwerp van beslissingen van de Europese Commissie van 08-02-2000 [61], [63] en 26-08-2003. Naarmate de uitvoeringsbesluiten met betrekking tot dit merkteken verschijnen, moeten de producenten verifiëren of hun producten voldoen aan de nieuwe Europese eisen en, indien nodig, hun producten aanpassen.

Het aantal klassen, de achtergrond waarop de indeling gebaseerd is en sommige testen verschillen dermate met de huidige Belgische praktijk dat er geen overeenkomst bestaat tussen de huidige Belgische classificatie en het systeem van Euroklassen.

De bouwproducten zijn onderverdeeld in 2 grote families [12]: producten voor de vloerbekleding en andere producten. Dit onderscheid valt terug op het verschil in blootstelling en in brandgedrag in de twee gevallen. Voor elke groep worden 7 Euroklassen gedefinieerd, zoals gedefinieerd in NBN EN 13501-1:2002 [105] :

A_{1Fl} , A_{2Fl} , B_{Fl} , C_{Fl} , D_{Fl} , E_{Fl} en F_{Fl} voor de vloerbekledingen (Fl van "floor")

A1, A2, B, C, D, E, et F voor de andere bouwproducten.

De klassen A1 en A2 (respectievelijk A_{1Fl} , A_{2Fl}) slaan op producten met weinig of zeer weinig organisch materiaal, waardoor ze zeer weinig of weinig brandbaar zijn.

De klassen B tot E (respectievelijk B_{Fl} , E_{Fl}) slaan op brandbare producten die in belangrijke mate bijdragen tot de algehele

vlamoverslag. Klasse E heeft betrekking op producten overeenkomend met het minimum criterium voor de Duitse markt en in klasse F zitten de producten die niet geklasseerd werden of niet voldeden aan de minst strenge test.

Naast de eigenlijke reactie bij brand krijgen sommige producten 2 extra kwalificaties :

- s1, s2 of s3 voor de **rookproductie** (s = "smoke" = rook : hoe hoger het cijfer, hoe groter de rookuitstoot) :
 - s3 : geen enkele beperking voor de rookuitstoot ;
 - s2 : de totale rookuitstoot en de snelheid zijn beperkt ;
 - s1 : strengere eisen dan bij s2.
- d0, d1 of d2 voor de neerslag van druppels en brandende deeltjes : (d = "drop" = druppel ; hoe groter het cijfer, hoe groter de productie van druppels) :
 - d2 : geen beperking ;
 - d1 : productie van druppels/gloeïende deeltjes tijdens een vastgelegde tijd ;
 - d0 : geen productie van druppels/gloeïende deeltjes

Volgende tabel [51] geeft het verband tussen de oude Franse classificatie en de nieuwe Europese classificatie (EN 13501-1):

Klassen volgens NF EN 13501-nieuwe classificatie			Eisen oude classificatie
A1	-	-	Onbrandbaar
A2	s1	d0	M0
A2	s1	d1	M1
A2	s2	d0	
	s3	d1	
B	s1	d0	
	s2	d1	
	s3	d1	
C	s1	d0	M2
	s2	d1	
	s3	d1	
D	s1	d0	M3
	s2	d1	M4 (niet druppelend)
	s3	d1	
Alle klassen verschillend van E-d2 en F			M4

In 1996 heeft de Europese Commissie een reglementaire lijst gepubliceerd van bouwmaterialen[34], [61] die zonder bijkomend onderzoek kunnen gegroepeerd worden in beschermingsklasse A1. Deze lijst omvat de verschillende types beton en minerale bestanddelen gebruikt in beton. Voor de materialen opgenomen in deze lijst werd de classificatie bepaald op basis van een gehalte aan homogeen verdeelde organische bestanddelen kleiner dan 1 %.

Beton, een mineraal bouw materiaal [33], voldoet aan de eisen van klasse A1 omdat het ontvlambaar is en geen vuur vat bij temperaturen die optreden tijdens een brand. Er komt niets los van beton of er loopt niets van af.

Volgens dit systeem worden bouwmaterialen behorend tot klasse A2 niet beschouwd als ontvlambaar. Ze bevatten wel ontvlambare onderdelen die bijgevolg kunnen branden en voor schade zorgen.

Het brandgedrag van een product hangt sterk af van het verloop van de thermische belasting waaraan het onderworpen is. Voor het reproduceren van de meest voorkomende brandscenario's in gebouwen zijn drie niveaus van thermische blootstelling te beschouwen. Ze stemmen overeen met drie stappen in de ontwikkeling van een brand :

- aanval door een kleine vlam ;
- aanval door een volledig ontwikkelde vuurhaard in de naburige ruimte of door een voorwerp dat in brand staat ;
- aanval door een volledig ontwikkelde vuurhaard in de beschouwde ruimte.

De Euroklassen maken het onderwerp uit van 5 types proeven op monsters, waarvan er 4 nieuw zijn, namelijk de SBI (single burning item) test.

2.4.2. Reactie bij brand - conformiteitattest

De volgende tabel [64] verduidelijkt de verschillende niveaus van conformiteitattestering, volgens de producten en hun klassen. Deze attesteringssystemen laten toe na te gaan of

voldaan is aan de productnormen en dit met het oog op de brandveiligheid.

Klasse	Attesteringssysteem voor de conformiteit
A1*, A2*, B*, C*	1
A1**, A2**, B**, C**, D, E	3
(A1 à E)***	4
* producten die een behandeling ondergaan hebben om de reactie bij brand te verbeteren	
** producten zonder behandeling	
*** producten "deemed to satisfy", geklasseerd zonder beproeving	

De hiernavolgende tabel preciseert de taken die toevertrouwd worden aan de verschillende partijen voor de verschillende attesteringniveau's :

Systeem	Taken voor de erkende organismen	Taken voor de producent
1	- initiële proeven - initiële inspectie van de productie	- productiecontrole - bijkomende proeven
3	- initiële proeven door een erkend laboratorium	- productiecontrole
4		- initiële proeven - productiecontrole

2.4.3. Brandweerstand van structurele elementen

De geschiktheid van een betonconstructie om zijn dragende functie te behouden gedurende de vereiste tijdsduur wordt uitgedrukt als :

$$E_{d,fi}(t) \leq R_{d,fi}(t)$$

met : $E_{d,fi}(t)$ de rekenwaarde van een belastingseffect op de tijdsduur (t) van een brand ;

$R_{d,fi}(t)$ de rekenwaarde van de weerstand van een constructie-element op de tijdsduur (t).

De brandweerstand van structurele elementen wordt proefondervindelijk bepaald onder de thermische belasting volgens de ISO-curve. Hij omvat 3 eisen die van toepassing zijn op de meerderheid van de constructie-elementen :

- de weerstand **R** (draagvermogen) of stabiliteit ;
- de vlamdichtheid **E** ;
- de thermische isolatie **I**.

In sommige lidstaten kan de prestatie-eis **W** (beperkte straling) worden geëist. Andere bijkomende eisen kunnen zijn : **M** (impactweerstand), **C** (automatische afsluiting), **S** (rookdichtheid). Hierbij komen dan nog allerlei achtervoegsels die de wijze van blootstelling aan brand en het toepassingsdomein van de proefresultaten preciseren.

De brandweerstand REI van een element is de tijd die onmiddellijk kleiner is dan de waargenomen tijd en gekozen wordt uit de waarden 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360 minuten, [61], [62].

Als voorbeeld geven we de volgende proefresultaten die bekomen werden voor een dragende muur :

	Tijd	Classificatie
Draagvermogen	130 min	R 120
Vlamdichtheid	92 min	RE 90
Thermische isolatie	46 min	RE I45

De muur heeft dus declassificaties R 120 / RE 90 / REI 45.

Het weerstandscriterium (R) van een element geeft de tijd aan gedurende dewelke zijn mechanische weerstand verzekerd is onder de statische belasting zoals gegeven in §6.1 en gedurende dewelke zijn vervormingen compatibel blijven met het behoud van stabiliteit (gewoonlijk $1/30^e$ van de overspanning). In Frankrijk spreekt men van "Stable au Feu SF".

Aan het **criterium van vlamdichtheid (E)** is niet meer voldaan indien een katoenprop, gehouden op een afstand van 2 tot 3 centimeter voor een opening, spontaan ontvlamt.

In Frankrijk wordt dit als "Pare-Flamme PF" aangeduid, hetgeen overeenkomt met het criterium RE.

Aan het **criterium van thermische isolatie (I)** is voldaan, indien de temperatuurstijging aan de niet blootgestelde zijde gemiddeld kleiner blijft dan 140°C en in geen enkel punt groter is dan 180°C .

De Franse benaming "Coupe-Feu CF" correspondeert met het criterium REI.

De laatste twee criteria laten toe om ontvlaming van materialen in contact met de niet blootgestelde zijde te vermijden.

Bij dragende structurele elementen zoals balken, kolommen, muren en vloeren wordt met het weerstandscriterium R de instorting van de structuur vermeden. Algemeen slaan de scheidingsfuncties (E en I) op elementen die integraal deel uitmaken van scheidingswanden of van het compartiment-omhulsel namelijk de muren en vloeren.

Voor het draagvermogen komen alle wijzen van bezwijken in aanmerking : buiging, dwarskracht, knik of verankeringbreuk.

Bij beproeving volgens de ISO-curve wordt de verbinding met naburige elementen niet in rekening gebracht, waardoor herverdeling van de spanningen naar minder blootgestelde doorsneden of elementen mogelijk is.

Sommige fenomenen, waaronder vooral de uitzetting van het geheel van de structuur onder invloed van de hoge temperaturen worden niet beschouwd bij de beproeving volgens de ISO-curve, hoewel ze belangrijk kunnen zijn in de realiteit.

Betonelementen gebruikt in gebouwen kunnen voldoen aan alle brandweerstandsklassen zoals gedefinieerd in de Europese Richtlijn in verband met de brandveiligheid en dit, zonder bijkomende bescherming van welke aard ook (pleisterbekleding, zwelverf, ...).

Opgelet ! Omdat een structureel element een brand weerstaan heeft wil dit nog niet zeggen dat het element geen schade heeft opgelopen en dat het niet moet worden vervangen. Dit betekent enkel dat de structurele functies van het element vervuld waren onder invloed van de toegepaste thermische en mechanische belastingen.

Een berekening uitgevoerd voor een voorgeschreven brandweerstandsduur onderzoekt niet het gedrag van de structuur na die periode, en in de periode na afkoeling van de structuur tot omgevingstemperatuur.

Brandproeven hebben beperkingen : ze zijn duur, er zijn beperkingen voor wat de lengte van de elementen betreft, en er is meestal geen mogelijkheid om de verbindingen met de rest van de structuur te simuleren.

Om te vermijden [37] dat een brandproef nodig is voor elk bouwproduct zijn er rekenmethoden ontwikkeld om de mechanische (§6.1) en de thermische (§6.2) belastingen vast te leggen, en om zo de brandweerstand (§8.1) te berekenen van structuren in beton, staal, staal/beton, hout, metselwerk en aluminium. Deze rekenmethoden zijn te vinden in die delen van de Eurocodes die betrekking hebben op het gedrag bij brand. De bedoeling van dergelijke documenten is om in heel Europa op een uniforme manier de brandweerstand van structuren te definiëren.

Op basis van deze berekeningsnormen werden Europese productnormen opgesteld specifiek voor elk type element. Aldus bestaan er specifieke normen voor valse plafonds, technische kokers, gevels, muren, brandkleppen, holle betonwelfsels, ... Deze werkwijze was echter niet gebruikelijk in

België waar vroeger het geheel van deze elementen samen behandeld werd in éénzelfde norm.

De aanduidingen R, E et I zijn niet opgenomen in de Belgische basisnormen, maar ze worden wel gehanteerd op internationaal vlak, in het bijzonder door het CEN, het Comité Européen de Normalisation. De aanduiding R_t (in uren) van de Belgische norm NBN 713.020 zal aangepast worden aan de REI aanduidingen (in minuten) volgens de CEN normen. De teksten zijn in deze zin al voorbereid door de FOD Binnenlandse Zaken.

Tegenwoordig zijn de ovenproeven genormaliseerd op Europees vlak om zo te waken over de reproduceerbaarheid tussen verschillende ovens.

Vroeger konden de resultaten gevoelig verschillen [1], bijvoorbeeld van 2 tot meer dan 5 uren voor een zelfde holle vloerplaat voor verschillende ovens. Vergelijking van de temperatuurstijging [5] opgemeten op de blootgestelde zijde van een identiek element in 14 Europese ovens met een opwarming volgens de ISO-curve toont aan dat de temperatuur van 800 °C werd bereikt tussen de 28 en 48 minuten. De Belgische ovens blijken uit dit onderzoek tot de strengste te behoren.

De verschillen zijn onder andere te wijten aan de straling van de vlammen en de wanden van de oven, aan de toegepaste overdruk en aan de steunpuntvoorwaarden. In België kon als enig land een gasoverdruk ter grootte van 20 Pa gerealiseerd worden. Dit verschil wijzigt in belangrijke mate de duur van de brandweerstand van elementen met een scheidende functie, maar niet de weerstand van dragende elementen die volledig omringd zijn door het vuur.

3. Reglementering

3.1. De Europese richtlijnen en de Eurocodes

3.1.1. De Europese richtlijnen

Om tot een juist begrip te komen van de sterke wijzigingen van de markt en de brandreglementeringen, is het nodig om het globale karakter te begrijpen.

De bouwproductenrichtlijn of BPR (Construction Products Directive) [2] onderscheidt 6 essentiële eisen (ER voor Essential Requirements), waarvoor de lidstaten bouwwerken kunnen reglementeren :

1. de mechanische weerstand en de stabiliteit ;
2. de brandveiligheid ;
3. de gezondheid ;
4. de hygiëne en het milieu ;
5. de gebruiksveiligheid ;
6. de energiebesparing en thermische isolatie.

Het DPC, zoals zijn naam het aangeeft, is opgelegd door de Europese Unie voor PRODUCTEN die op de Europese markt gebracht worden, afgeleverd op de werf, maar NIET aan de WERKEN die op de werf gebouwd zijn met deze producten: de eisen betreffende deze werken blijven onder de bevoegdheid van de lidstaten.

De ER 2 voor de brandveiligheid is gereguleerd in België op federaal niveau. De reglementering van ER 1 berust vandaag op de 10-jarige aansprakelijkheid van de ontwerper en de aannemer. ER 6 is het onderwerp van een Europese richtlijn omtrent de energieprestaties van gebouwen onlangs in onze regionale wetgeving opgenomen.

De "bouwproductenrichtlijn" is één van de richtlijnen van het type "nieuwe benadering" die uitgevaardigd werd in het verlengde van het verdrag van Rome van 25 maart 1957, waarbij de Europese Economische Gemeenschap opgericht werd. Deze oprichting had als doel om de obstakels met betrekking tot het vrij verkeer van personen, diensten en goederen (en dus producten) tussen de verschillende lidstaten op te heffen. Een interpretatief document, opgemaakt door de Europese Commissie in samenwerking met Europese experts, is beschikbaar voor elk van de essentiële eisen. Volgens de objectieven ontwikkeld in het interpretatief document voor de ER brand, moet het gebouw [107] zo ontworpen en gebouwd worden dat in geval van brand :

- de verspreiding van de brand en de rook in het gebouw beperkt blijft ;
- de structurele elementen hun functie behouden gedurende een vastgelegde tijd ;
- brandoverslag naar andere gebouwen vermeden wordt ;
- de gebruikers het gebouw kunnen verlaten of op een andere manier in veiligheid kunnen worden gebracht ;
- de veiligheid van de hulpdiensten gewaarborgd is.

Op te merken valt dat de bescherming van goederen en het voorkomen van een productiestop geen deel uitmaken van de doelstellingen van de BPR. De Europese Commissie laat het veiligheidsniveau voor personen door elk land zelf vastleggen. De specifieke bijkomende informatie in de NBN EN 1992-1-2 [107] verduidelijkt dat het aan elk land toekomt om in zijn reglementen criteria op te leggen die de bescherming van rechtstreeks blootgestelde goederen in rekening brengen en dit om economische of milieuredenen. De regionale overheden belast met de economische ontwikkeling en het leefmilieu kunnen gevoelig zijn aan het voorkomen van een productiestop en het leefmilieu. Deze aspecten vallen uiteraard eveneens onder de bevoegdheid van de bouwheer (zie §1. gewijd aan de doelstellingen van brandveiligheid).

Steeds [107] nog volgens het tweede interpretatief document kan aan de essentiële eisen voldaan worden door het volgen van de verschillende strategieën voor brandveiligheid die van kracht zijn in de lidstaten. Deze omvatten conventionele (genormaliseerde branden) of natuurlijke (parametrische branden) brandscenario's die zowel passieve als actieve beschermingsmaatregelen omvatten.

De functies [107] en de vereiste prestatieniveaus kunnen worden gespecificeerd in gradaties van weerstand aan de genormaliseerde standaardbrand, zoals het geval is in België, of door te verwijzen naar ingenieursmatige brandveiligheidsstudies om de passieve en actieve beschermingsmaatregelen te evalueren. Dit is terug te vinden in NBN EN 1991-1-2 [106] (zie de gevraagde Belgische afwijking).

Bijkomende eisen [107] met betrekking tot bijvoorbeeld :

- de mogelijkheid tot installatie en onderhoud van sprinklersystemen ;
- de bezetting van een gebouw of van een brandcompartiment ;
- het gebruik van isolatiematerialen of gekeurde bekledingen, inclusief hun onderhoud

staan niet in de branddelen van EC1 daar zij het onderwerp moeten zijn van specificaties uitgaande van een bevoegde autoriteit.

Bij het opstellen van de BPR werd lang gediscussieerd over het op punt stellen van normen voor de beproeving van de reactie bij brand, omdat elk land zijn eigen procedures heeft. Het is immers zo dat drie vierden van de bouwproducten beoordeeld wordt met betrekking tot de brandveiligheid.[12]

Veel bouwproducten, zoals holle vloerplaten en betonblokken, vormen het onderwerp van een geharmoniseerde Europese productnorm. De term "geharmoniseerd" slaat op het feit dat in de norm een bijvoegsel Z opgenomen is, waarin de verschillende karakteristieken opgesomd zijn die elke producent moet aangeven in zijn CE-merk. Dit merk is aangebracht op het product of vermeld in de documenten die bij het product horen. Een "geharmoniseerd" product dat verkocht wordt op de Europese economische markt moet verplicht dit merk dragen. De karakteristieken die moeten aangegeven worden, moeten conform zijn met de norm en worden geattesteerd met een van volgende waarden : 1+, 1, 2+, 2, 3 of 4. Een waardering 1+ komt

overeen met een certificaat van een derde partij, terwijl een waardering 4 overeenkomt met een eenvoudige conformiteitsverklaring van de fabrikant.

Aangezien er in België, net als in de meeste andere Europese lidstaten, een brandreglementering is, moet in de markering van alle bouwproducten waarvan de norm geharmoniseerd is, een verklaring opgenomen zijn omtrent de weerstand en reactie bij brand, om deze producten te kunnen gebruiken in een bouwwerk.

De **productnormen** verwijzen naar de zeer talrijke beproevingsnormen die door de Europese normalisatiecommissie CEN TC 127 werden opgesteld. Ze beginnen de proeven uit de Belgische norm NBN 713-020 te vervangen.



Colruyt Gent [58] : (bron ERGON)

Op de onderste verdieping van dit gebouw bevindt zich een klantenparking van 3000 m² en een loskade voor leveringen. Het eigenlijke magazijn bevindt zich boven op de parking en de lokalen voor het personeel bevinden zich op een tussengelegen verdieping.

De kolommen zijn voorzien van verschillende toebehoren zoals voor het bevestigen van de prefab gevelelementen in cellenbeton en de geprefabriceerde noodtrappen.

De vloerelementen TTPL 840 van het magazijn hebben een overspanning van 17 m en dragen een belasting van 1200 kg/m². Het dak bestaat uit IV-balken.

De kolommen op de centrale as zijn voorzien van een regenwaterafvoer met diameter 160 mm.

De structuur werd gemonteerd in een twintigtal dagen.

3.1.2. De Eurocodes

De productnormen zijn gebaseerd op de Europese berekeningsnormen, Eurocodes genoemd, waarvan er in totaal 58 opgesteld werden door het technisch comité TC250 van het CEN, het Europees comité voor normalisatie. Het is de Europese Commissie die haar opdracht gegeven heeft voor dit werk. De berekeningsnormen inzake beton onderworpen aan brand en gepubliceerd door het BIN tussen 1995 en 1999 en die van toepassing zijn in België zijn de volgende :

- NBN ENV 1991-1-2 + NTD "Belastingen op constructies bij brand";

- NBN ENV 1992-1-2 + NTD "Ontwerp en berekening van betonconstructies, gedeelte brand" ;
- NBN ENV 1994-1-2 + NTD "Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies, gedeelte brand" ;
- NBN ENV 1996-1-2 + NTD "Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk, gedeelte brand".

Men spreekt gewoonlijk van de Eurocodes 1, 2, 4 en 6, gedeelte brand. Deze Belgische normen zijn de Europese voornormen, aangevuld met hun Nationaal Toepassingsdocument (NTD).

Deze voornormen (ENV) zullen binnenkort vervangen worden door de Europese normen (EN), aangevuld met hun nationale bijlage (ANB voor Annexe Nationale – Nationale Bijlage).

Te noteren valt dat het eerste getal juist na de afkorting EN of ENV niet overeenkomt met een jaartal. Het CEN heeft ietwat ongelukkig de reeksen 1990 tot 1999 aan de Eurocodes gegeven. De datum van publicatie van de norm is vermeld na de normaanduiding (zie voorbeeld hieronder).

Wat is de betekenis van de termen "informatieve en normatieve bijlagen" ?

Wanneer een bijlage normatief wordt gemaakt, moet de ontwerper zich schikken naar de berekeningswijzen zoals gegeven in die bijlage. Indien ze als informatief is aangeduid mag de ontwerper er zich op inspireren op de bijlage mits goedkeuring van de klant en de bevoegde overheid. Hij is gehouden het bijvoegsel te gebruiken indien de klant dit oplegt.

Elk land dat lid is van CEN legt de veiligheidsniveaus en de klassen vast via de nationaal te bepalen parameters (gekend onder de aanduiding van "National Determined Parameters", NDP in het Engels). De nationale bijlage van de norm NBN EN 1991-1-2:2003 "Belastingen op constructies bij brand" zal dit jaar gepubliceerd worden.

Hoe staat het met de normalisatie op Europees niveau ? [13]

Als doel werd gesteld dat binnen afzienbare tijd de Europese lidstaten moeten beschikken over berekeningsnormen voor de brandweerstand van bouwkundige constructies. Binnen een gegeven tijdsspanne moet elk land deze normen omzetten in nationale normen. Zo zal ieder land de vrijheid hebben om in de informatieve bijlagen andere brandbelastingen op te nemen. De keuze van het veiligheidsniveau is immers de verantwoordelijkheid van de lidstaten. De publicatie van de gehomologeerde Eurocodes voor brand is voorzien in 2006 (Belgisch Staatsblad). Vermelden we nog dat deze normen enkel verplicht worden door administratieve of wettelijke contracten of aktes.

NBN EN 1992-1-2:2005 "Ontwerp en berekening van betonconstructies", gedeelte brand is gepubliceerd in het begin van 2005 door het BIN.

De Europese voornorm met haar nationaal toepassingsdocument (NTD), NBN ENV 1992-1-2, is momenteel van toepassing in België.

De Europese norm NBN EN 1992-1-2:2005 wordt in het Nederlands vertaald.

Het nationaal bijvoegsel (ANB) zou dit jaar beschikbaar moeten zijn om te kunnen gebruikt worden in combinatie met de normen betonproducten. Na openbaar onderzoek en publicatie, zal hij voor maximaal 3 jaar samen te gebruiken zijn met de ENV, waarna de ENV zal ingetrokken worden.

3.2. Toestand van de brandregeling in België

De veiligheid in geval van brand valt onder de verantwoordelijkheid van de bouwheer. Hij bepaalt samen met de architect de actieve en passieve maatregelen ter bescherming van zijn gebouw.

Bij herziening van deze regelgeving zou de benaming “basisnorm” rationeel vervangen worden door “Algemeen Reglement” om zo mogelijke verwarring met de term “norm” te vermijden. Een norm is immers een synthese van de regels voor goed vakmanschap in een bepaald domein. Hij wordt pas verplicht als hij is opgenomen in een reglement.

Er bestaan [40] enkele websteaks waar meer gedetailleerde informatie kan gevonden worden : www.previ.be [66], www.previllex.be, www.normes.be [7], www.anpi.be [60]. Op deze websteaks is er een overvloed aan informatie beschikbaar. Het is echter aangewezen voorzichtigheidshalve te controleren of de informatie up-to-date is.

3.2.2. Basisnormen op het gebied van brand-

Federaal				Gemeenschappen			Regio's		
FOD Binnenlandse Zaken	FOD – Arbeid en Tewerkstelling	FOD Economie	FOD Volksgezondheid	NL	FR	D	Vlaanderen	Brussel	Wallonië
Basisnormen	Reglementering van werk van werkplaatsen, ARAB (ook schools)	AREI - BPR	Ziekenhuizen en psychiatrische instituten	Hotels			Ruimtelijke Ordening		
							Tehuizen		

Tabel : Ter verduidelijking, een algemeen overzicht van de verdeling van de bevoegdheden op het vlak van brandpreventie in België

3.2.1. Algemeen kader

Wetten opstellen [40] op het gebied van brandpreventie in België is niet gemakkelijk. In juridische termen is de brandpreventie immers een zogenaamde bijkomstige bevoegdheid. In gewone taal betekent dit dat niet één maar meerdere ministers verantwoordelijk zijn voor brandpreventie. Daarom zijn nieuwe bouwprojecten onderworpen aan een regelgeving die valt onder verschillende bevoegdheden :

1. De gemeenten hebben sinds 1790, als algemene opdracht branden te voorkomen en te beperken door middel van de gemeentelijke reglementen en de bouwvergunningen ;
2. De Gemeenschappen zijn verantwoordelijk voor de hotels;
3. De Regio's zijn verantwoordelijk voor de rusthuizen ;
4. De federale regering heeft opeenvolgend de brandveiligheid gereguleerd van werkplaatsen (ARAB, sinds 1947), ziekenhuizen (1979), elektrische installaties (1981) en nieuwe hoge gebouwen (1972), vervolgens middelhoge (1994) en lage (1997) en (2003) (basisnormen herzien in 2003).

Op federaal niveau valt de bepaling van de basisnormen voor preventie onder bevoegdheid van de FOD Binnenlandse Zaken. Deze basisnormen zijn gemeenschappelijk aan één of meerdere bouwcategorieën, onafhankelijk van hun bestemming. Op federaal niveau zijn voor de toepassing van bepaalde eisen van brandpreventie verschillende ministers verantwoordelijk via andere reglementen. De onderstaande tabel geeft ter verduidelijking, de verdeling van de verschillende bevoegdheden.

en explosiepreventie

3.2.2.1. Toepassingsgebied en referentiedatum

De bijlagen van het Koninklijk Besluit (KB) van 19 december 1997 [201] leggen de basisnormen vast op het gebied van preventie tegen brand en explosie. Nieuwe gebouwen met verdiepingen en uitbreidingen van bestaande gebouwen moeten hieraan voldoen.

Bij renovatie van bestaande gebouwen waren de basisnormen tot 4 april 2003 [40] evenzeer van toepassing op het gerenoveerde deel. Herhaalde problemen in verband met de toepassing van de norm in geval van renovaties hebben er toe geleid dat renovaties van bestaande gebouwen uit het toepassingsdomein werden geschrapt. Een specifieke regelgeving voor renovaties van de bestaande gebouwen ligt momenteel ter studie.

In het kader van het toewijzen van een stedenbouwkundige vergunning kunnen, ondanks de uitsluiting van renovaties, veiligheidsmaatregelen geëist worden. Ze kunnen gebaseerd zijn op de voorschriften uit de basisnorm. Indien sommige voorschriften uit de basisnorm moeilijk toepasbaar zijn voor een gerenoveerd gebouw, dan mogen ze verminderd worden en gecompenseerd worden door andere, op grond van een beslissing genomen op lokaal niveau (de burgemeester, op advies van zijn hulpdiensten).

De KB's van '94 en '95 zijn niet toepasbaar op ééngesinswoningen, op industriële gebouwen en op gebouwen met maximum 2 niveaus met een maximale totale oppervlakte van 100 m².

Het is de datum van het bericht van ontvangst door de gemeente van het volledige dossier voor de aanvraag van een

stedenbouwkundige vergunning die als bewijs geldt om te bepalen welke versie van basisnorm van toepassing is..

Samengevat :[8]

Bouw-vergunning	Lage gebouwen	Middelhoge gebouwen	Hoge gebouwen
Vóór 1972	Niet	Niet	Niet
22/12/1972	Niet	Niet	KB 04/04/1972 met opname van NBN 713-010
1980	Niet	NBN S21-201,2,3	NBN S21-201,2,3
26/05/1995	Niet	KB 07/07/1994	KB 07/07/1994
01/01/1998	KB 19/12/1997	KB 19/12/1997	KB 19/12/1997
04/04/2003	KB 04/04/2003	KB 04/04/2003	KB 04/04/2003

Tabel : referentiedata voor toepassing van de wijzigingsbesluiten [101, [102], [103], [104].

3.2.2.2. Koninklijk Besluit (KB) van 1997

De bijlagen 1 tot 5 van het Koninklijk Besluit (KB) van 1997 zijn :

1. Terminologie ;
2. Lage gebouwen (LG) $h < 10$ m ;
3. Middelhoge gebouwen (MG) $10 \text{ m} \leq h \leq 25$ m ;
4. Hoge gebouwen (HG) $h > 25$ m ;
5. Reactie bij brand van materialen.

De begrenzing van de hoogtes stemt overeen met de lengte van de kleine en grote ladders van de brandweerdiensten. De beschouwde hoogte (h) is de afstand tussen het vloerniveau van de hoogste verdieping en het laagst gelegen niveau van de wegen rond het gebouw die bruikbaar zijn voor de hulpdiensten. Algemeen [5] zijn de eisen :

- 2 h voor de hoge gebouwen en de ondergrondse verdiepingen van de middelhoge gebouwen ;
- 1 h voor de vloeren van de middelhoge gebouwen en de lage gebouwen ;
- $\frac{1}{2}$ h voor de daken van de lage gebouwen.

De eisen [20] voor ondergrondse verdiepingen zijn veel strenger dan voor het gelijkvloers en de bovengrondse verdiepingen van een zelfde gebouw. Dit komt door de veel hogere moeilijkheidsgraad van interventies bij ondergrondse verdiepingen.

De voorschriften van deze basisnormen voor gebouwen omvatten :

- de inplanting en toegangswegen ;
- compartimentering en evacuatie ;
- sommige constructie-elementen ;
- de constructie van gebouwen en evacuatieruimtes ;
- de constructie van technische ruimtes ;
- de inboedel.

De classificatie voor de reactie bij brand, opgenomen in bijlage 5 van de basisnorm omvat 5 klassen : A0 tot A4. Het document bevat eveneens eisen met betrekking tot reactie bij brand in functie van het lokaaltype. Een herziening van deze bijlage met invoering van de nieuwe Europese classificatie is bijna afgerond.

In het bijzonder is voor de isolatiematerialen een correlatietabel opgesteld voor de vroegere en de nieuwe reacties bij brand en dit in twee verschillende versies. Wegens gebrek aan overeenstemming in de Hoge Raad zijn immers twee voorstellen opgesteld en overgemaakt aan de Minister van Binnenlandse Zaken die een keuze zal moeten maken.

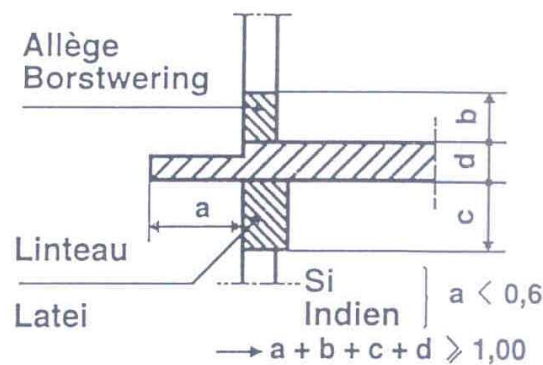
Enkele architecturale voorschriften worden hierna opgesomd. Ze kunnen uiteraard niet als vervanging beschouwd worden van de volledige tekst van de basisnorm (110 bladzijden) [11] :

De **horizontale afstand** tussen 2 overstaande gebouwen moet minstens 6 m bedragen voor LG, 8 m voor MG en HG, behalve indien de scheidingswanden voldoen aan de eisen voor naburige gebouwen. Deze afstand is niet van toepassing op gebouwen die gescheiden zijn door bestaande openbare wegen.

Wanden die naburige gebouwen scheiden moeten een Rf van 1h hebben voor LG, 2 h voor MG en 4 h voor HG.

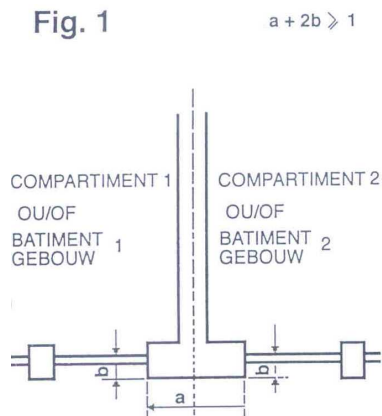
Gebouwen worden verdeeld in **compartimenten** met een maximum oppervlakte van 2500 m², met uitzondering van parkings. **Atriums**, waarbij het compartiment zich over verscheidene niveaus uitstrekt, moeten voorzien zijn van een automatische blusinstallatie en een installatie voor rook- en warmteafvoer. De aanwezigheid van dergelijke installaties laat het toe om de grens van 2500 m² te overschrijden.

Bij **lateien** (deel onder de vloer), **borstweringen** (deel tussen vloer en venster) en de **penanten** (muurvak tussen twee vensters) moet de som van de afmetingen, zoals aangeduid in de volgende figuur, minstens 1 m zijn (MG en HG).



Figuur : borstwering [18]

Fig. 1

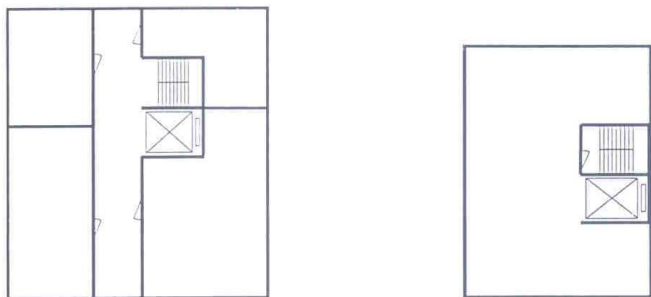


Figuur : penanten [18]

Ook gordijngevens in glas dienen te voldoen aan de eisen voor borstwering en penanten.

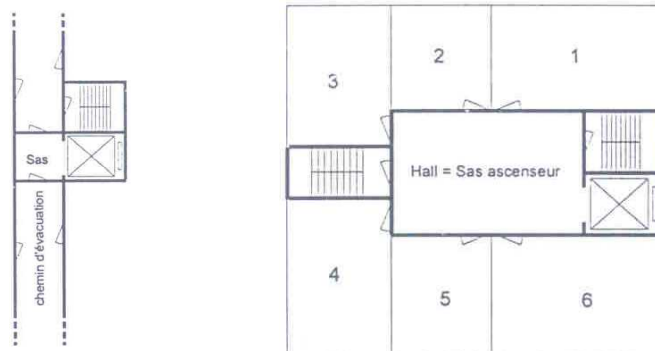
De traphallen en liftkokers

- Voor uitwendige traphallen met toegang tot een evacuatie niveau is geen enkele brandweerstand vereist maar het materiaal moet wel van klasse A0 (ontbrandbaar) zijn ;
- Traphallen die ondergrondse verdiepingen bedienen mogen niet in rechtstreekse verbinding staan met traphallen die verdiepingen boven een evacuatie niveau bedienen, behalve indien een brandmuur en een branddeur ze scheidt ;
- Voor de LG is op elk niveau de verbinding van het compartiment met de traphal verzekerd met een branddeur ;



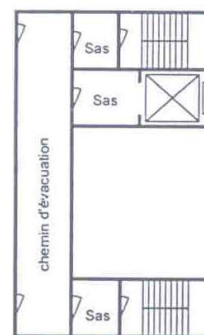
Figuur : algemeen geval LG [18]

- Voor de MG mag het bordes voor de liften meegerekend worden bij de evacuatiweg ;
- Voor de MG met niet meer dan 6 appartementen per niveau en bediend door dezelfde inwendige traphal mag de gemeenschappelijke hal van de appartementen als sas voor de liften dienst doen ;



MG algemeen geval [18] MG - 6 appartementen [18]

- Voor de HG moet het bordes vóór de liften gescheiden zijn van de bordessen en sassen vóór de traphallen. Ze mogen niet bij de evacuatiweg worden gerekend, behalve in gevallen zoals opgegeven in de basisnormen (complexe gevallen met 4 en 6 appartementen per verdieping zijn hier niet opgenomen).



algemeen geval HG [18]

3.2.2.3. Koninklijk Besluit (KB) van 4 april 2003

De komst van nieuwe technologieën op de markt, enkele onduidelijkheden in de originele tekst en wijzigingen in de regelgeving op andere niveaus hebben de wetgever aangezet tot een nieuw wijzigingsbesluit. In het Koninklijk Besluit van 4 april 2003 [202] zijn verschillende wijzigingen doorgevoerd op het vlak van :

- Bestaande gebouwen : zie §3.2.2.1 ;
- Wenteltrappen moeten een aantrede van 24 cm hebben op de looplijn ;
- Verwarming : eisen in functie van het vermogen van de verwarmingsinstallatie ;
- Liften : onderscheid in types met eigen eisen ;
- Elektrische installaties : behoud van liften voor personen met beperkte mobiliteit ;
- Brandkleppen : nieuwe verduidelijkende voorschriften ;
- Brandgedrag van dakbedekkingen : volgens de Europese classificatie moeten ze van klasse A1 zijn of klasse B_{ROOF} (t1).

3.2.2.4. Nieuwe reglementen in ontwerp

3.2.2.4.1 Industriële gebouwen

Nieuwe industriële gebouwen zijn nog niet gedekt door de federale regelgeving voor nieuwe gebouwen. Hun reglementering is het onderwerp geweest van lange discussies die leidden tot een ontwerp van basisnorm : de toekomstige Bijlage 6. Ze is nooit gepubliceerd als Koninklijk Besluit, maar de meerderheid van de brandweerdiensten heeft kennis genomen van het document en doet er beroep op, wegens gebrek aan een toepasbare regelgeving, bij het opstellen van hun preventierapporten voor industriële gebouwen.

Het ontwerp herneemt onder andere een classificatie uit een norm over automatische blusinstallaties of sprinklers die zich baseert op het soort activiteiten in het gebouw. Dit AR is verworpen door de Raad van State met als argument dat het soort activiteiten van gebouwen onder het rechtsgebied van de regio's valt en niet onder het Federale rechtsgebied.

Om tegemoet te komen aan het gebrek aan reglementering wat betreft deze materie en op basis van een voorstel van Agoria et Technum, dat overgenomen werd door FEB, heeft een groep in de schoot van de Hoge Raad voor de Veiligheid tegen Brand en Explosies een nieuw project van Bijlage 6 opgemaakt dat momenteel als proefproject loopt. Het is gebaseerd op een classificatie van industriële gebouwen in functie van hun maatgevende brandbelasting per eenheid vloeroppervlakte. Het bepaalt :

- een maximale toegestane brandbelasting per compartiment waarvan de maximale oppervlakte van de compartimenten is afgetrokken,
- een brandweerstand voor binnenwanden en buitenwanden van de compartimenten, alsook voor andere structurele elementen,
- de minimale afstanden tussen twee tegenoverstaande gebouwen,
- de vereisten waaraan moet voldaan worden voor de evacuatie van aanwezigen en de veiligheid van de hulpdiensten.

. Bijlage 7, met de algemene doelstellingen werd opgeheven.

3.2.2.4.2 Gevels

De regels voor het ontwerp van gevels worden momenteel onderzocht door een werkgroep van de Hoge Raad. Ze werken de voorschriften, die reeds opgenomen zijn in de actuele basisnormen, verder uit.

3.2.2.4.3 Doorsteken in scheidingswanden

De aanbevelingen met betrekking tot doorsteken in scheidingswanden voor water- of elektriciteitsleidingen zijn al aan de brandweerdiensten met een omzendbrief meegedeeld. Een procedure voor het wijzigen van de basisnormen is al begonnen.

3.2.3. Toekenning van een bouwvergunning - brandweerstand

Momenteel wordt de brandweerstand bepaald aan de hand van ovenproeven volgens NBN 713-020 of door berekening, zoals toegestaan in de basisnormen (zie bijlage 1 van het KB van 19-12-97), volgens een berekeningsmethode die goedgekeurd is door de Minister van Binnenlandse Zaken.

Voor het gebruik van deze berekeningsmethode kan rekening worden gehouden met het volgende :

- Onderzoek van de conventionele brandscenario's.
- Onderzoek van natuurlijke brandscenario's, met onderzoek van de rol van blusinstallaties, van de brandweer en installaties voor branddetectie ;

Tot op vandaag werd echter nog geen enkele methode goedgekeurd. De commissie die zich bezig houdt met afwijkingen laat ze geval per geval toe. In de praktijk worden berekeningen uitgevoerd met de ISO-curve aanvaard, indien ze gebaseerd zijn op het Belgisch « NTD » van deel 1-2 van de Eurocodes en deze juist werden toegepast. De herziening van de basisnormen zou deze procedure moeten regulariseren. Studiebureaus verifiëren door berekening de gevraagde brandweerstand. Hij wordt expliciet vermeld op de uitvoeringsplannen. De architect en de bouwheer concentreren zich op de technische conformiteit met de regels en eisen van de brandweer en de verzekeraars.

Alvorens een bouwvergunning wordt toegekend [8], moeten de plannen van de nieuwe constructie overgemaakt worden aan de regionaal bevoegde brandweerdienst. Deze geeft een advies onder de vorm van een rapport dat bij de bouwaanvraag wordt ingediend bij de stedenbouwkundige dienst van de betreffende gemeente. Op het einde van de werken voeren de brandweerdiensten een laatste inspectie uit om na te zien of de constructie conform is aan de plannen en of er geen belangrijke gebreken zijn.

Volgens het KB van 1997 wordt de brandwerendheid van deuren geattesteerd met het Benor-ATG merk. Ze moeten worden geplaatst door technici die door het Ministerie van Binnenlandse Zaken zijn geattesteerd.

Deze dubbele eis werd nietig verklaard door de Raad van State in 2004 ten gevolge van een klacht betreffende de clausule waarin staat dat beroep moet gedaan worden op geattesteerde plaatsers. De paragraaf in het besluit over de twee eisen is verdwenen, terwijl de veiligheidseis in verband met de Benor-ATG attestering behouden blijft. De FOD Binnenlandse Zaken heeft een tekst voorbereid ter opvulling van de ontstane leegte.

3.2.4. Regelgeving voor branddetectoren in bewoonde gebouwen



+ Scandinavische landen

In de Angelsaksische en Scandinavische landen zijn rookdetectoren reeds lange tijd ingeburgerd, omdat aldaar veel woningen van hout zijn en preventie dus meer dan noodzakelijk was. Waar detectoren aangebracht zijn, wordt een daling van 80 % op het aantal doden en zwaargewonden vastgesteld.



Rookdetector (bron [8])



Sinds juli 2005 legt de Brussels regering het gebruik van branddetectoren op aan alle huurwoningen in het Brussels Gewest.



In Wallonië moeten alle nieuwe (huur)woningen sinds 20-11-2004 uitgerust worden met branddetectoren. Sinds 01-07-2006 moeten ook andere woningen er van voorzien zijn.

De detector moet het CE label dragen en goedgekeurd zijn door BOSEC of een gelijkwaardig Europees organisme. Hij moet 5 jaar garantie van de fabrikant hebben. De installatie is ten koste van de eigenaar, terwijl de eventuele vervanging van de batterijen voor rekening is van de huurder. In dit verband is de keuze voor lithiumbatterijen interessant daar zij tot 5 jaar mee gaan. Op die manier beschermt de eigenaar zich tegen de soms toevallige vervanging door de huurder. Wanneer de batterij leeg is, zendt het toestel een luid waarschuwingssignaal uit.

Om zijn meubels en zijn huis te dekken door een brandverzekering aanvaardt iedereen een uitgave van 300, 500, 600 euro.

Om personen te beschermen met een geaggregeerde detector volstaat een tiental euro. Het zou belachelijk en onverantwoord zijn om nog langer te wachten met deze investering.



In Vlaanderen bestaat geen enkele regelgeving over detectoren in de huisvesting.



In Frankrijk is er nog geen verplichting.

3.2.5. Oude gebouwen

Oude gebouwen ...een ganse problematiek [8], [9], [10]

Op woensdag 20 februari 2003 werd brand gesticht in een appartementsgebouw in Bergen met 7 doden, waaronder één kind, tot gevolg.

De publieke opinie werd sterk getroffen door deze brand: de bevolking voelde zich betrokken en 's anderendaags vroegen talrijke huisvesting- en beheersmaatschappijen een inspectie aan bij de brandweerdienst om vast te stellen of hun gebouw beantwoordt aan de geldende veiligheidscriteria. Zij wensten ook een vorming voor hun conciërges en andere verantwoordelijken. Alleen al in Brussel werden binnen enkele weken meer dan 22 000 aanvragen geregistreerd. Andere komen nog geregeld binnen.

Zelfs indien heden ten dage een advies van de brandweerdiensten gevoegd wordt bij de bouwaanvraag en aldus kracht van wet heeft, dan geldt dit enkel voor nieuwe gebouwen. En hier zit het probleem: de meeste van de inspectieaanvragen hebben betrekking op oude gebouwen waarvoor aan de op dit moment geldende regels inzake brandpreventie niet is voldaan. Voor deze gebouwen bestaat dus een reëel risico dat niet te licht moet genomen worden, zoals blijkt uit de dramatische brand in Bergen. Belangrijk zijn ook de gebouwen voor sociale huisvesting, dikwijls gegroepeerd in wijken. Naast problemen ten gevolge van een zo goedkoop mogelijke constructie is er ook het probleem van vandalisme. Dit laatste aspect komt tussen onder de vorm van brandstichting en leidt bovendien tot een bouwvallige toestand van sommige gebouwen. Soms stelt men vast dat nieuw geplaatste brandblussers de dag nadien al afgerukt zijn of kwaadwillig gebruikt werden.

Spijtig genoeg heeft geen enkele van de hoger vermelde wetgevingen terugwerkende kracht. Bijgevolg zijn gebouwen daterend van vóór 1972 aan geen enkele regelgeving onderworpen, behalve hun latere uitbreiding. Nochtans vormen deze gebouwen juist het grootste risico.

4. Bescherming en risico's

4.1. Brand : risico's, invloedsfactoren, oorsprong en voortplanting

In een goed beschermd gebouw bestaat er een evenwicht tussen gevaar en bescherming. De verhouding tussen gevaar en bescherming bepaalt dus het **risico**. Het gevaar is groter in hoge gebouwen aangezien de brand zich, meer nog dan in andere gebouwen, voortplant binnenin het gebouw. Het gevaar is ook groter in gebouwen waarin personen verblijven met een beperkte mobiliteit. Hoe groter het gevaar, hoe strenger de veiligheidsregels moeten zijn.

De **invloedsfactoren** [38] die te beschouwen zijn bij de **ontwikkeling** van een brand zijn :

- de kans op ontstaan van brand ;
- de intensiteit van de brand ;
- de snelheid van verspreiding van de brand ;
- het bestaan van bijzondere risico's (toxische producten).

De **kans** op het ontstaan van brand wordt bepaald door :

- de verwarmingsinstallaties en elektrische toestellen ;
- de aanwezigheid van ontvlambare gassen ;
- chemische industriële processen ;
- stoffen met mogelijk ontploffingsgevaar.

Het is dus van belang om afvalstoffen, zoals houtspaanders, stof, enz. geregeld te verwijderen om de kans op brand te beperken. Vermelden we ook de spontane ontbranding van met olie doordrenkte vossen, de zelfontsteking van ijzerwol, ...

Als **brandoorzaak** kan aangegeven worden :

- intern :
 - het gebouw zelf en zijn inhoud ;
 - de industriële activiteiten in het gebouw ;
 - de personen werkzaam in het gebouw (rokers, afval).
- extern :
 - naburige gebouwen (langs de vensters bv.) ;
 - naburige installaties (vloeibaar gemaakt gas) ;
 - ingegraven gasleidingen.

De **voortplanting binnen een compartiment** wordt beperkt door :

- de keuze van de materialen (zie §2.4 reactie bij brand)
- de betrouwbaarheid van de technische installaties van de actieve beveiliging, zoals detectoren, alarmen, sprinklers, rook- en warmteafvoer.

De **voortplanting buiten een compartiment** wordt beperkt door de brandweerstand van het compartiment (passieve beveiliging).

4.2. Passieve en actieve beveiliging ... en menselijk gedrag

De preventiemaatregelen worden klassiek ingedeeld in passieve en actieve beveiligingsmaatregelen :

- de eerste worden gerealiseerd bij de constructie van het gebouw en zijn altijd operationeel ;
- de tweede kunnen tijdens of na de constructie geïnstalleerd worden en worden pas bij brand operationeel.

4.2.1. Passieve beschermingsmaatregelen - compartimentering

Het **materiaal beton** neemt hier een belangrijke plaats in. Door zijn grote brandweerstand maakt het een veilige compartimentering mogelijk die de uitbreiding van de brand belet. Hierdoor is het mogelijk de bewoners te evacueren of in veiligheid te brengen naar bv. een ander compartiment. Het vergemakkelijkt de toegang van de hulpdiensten en draagt zo ook bij tot hun veiligheid tijdens de brandbestrijding. Compartimentering moet reeds bestudeerd worden bij het opmaken van de plannen.

Beton maakt het mogelijk om installaties van vitaal belang verder te laten functioneren.

Het verzekeren van de continuïteit is bijzonder belangrijk voor installaties van algemeen belang zoals elektrische centrales, spoorwegstations, ziekenhuizen, gebouwen met publieke administratieve diensten.

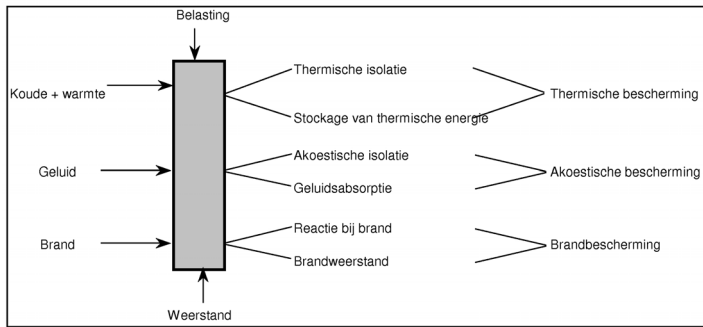
Branden in magazijnen, hotels, industriële loodsen, kantoorcomplexen en distributiecentra verstoren niet enkel de werkzaamheden van de betreffende ondernemingen, maar ook :

- de service aan de klanten
- de productiviteit van de ondernemingen en organisaties die afhankelijk zijn van de activiteiten van de getroffen ondernemingen.

Naast zijn dragende functie combineert beton brandbescherming, thermische bescherming en akoestische bescherming.

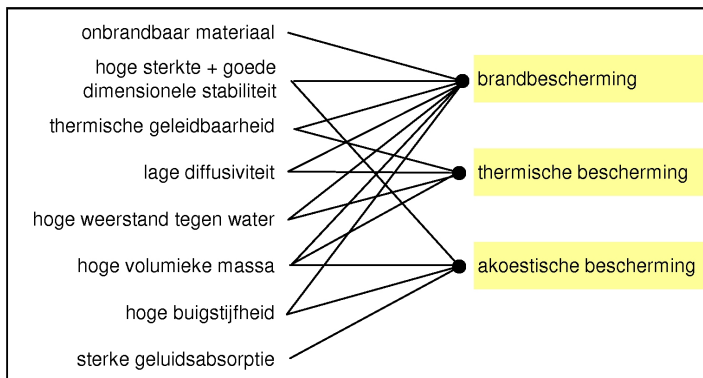
Inwendige scheidingswanden, buitengevels en vloeren van gebouwen zijn niet enkel onderhevig aan mechanische acties, maar ook aan thermische acties ten gevolge van het klimaat, aan omgevingsgeluiden en aan brand.

De volgende figuur toont de krachten die aangrijpen op een scheidingswand van een compartiment en de vereiste eigenschappen om aan deze krachten te weerstaan.



(Neck, 1999)

De volgende figuur herneemt de materiaal- en structurele eigenschappen waaraan constructie-elementen moeten voldoen om de gevraagde eisen qua brandbescherming, thermische bescherming en akoestische bescherming te halen.



Brandvoorkoming is gebaseerd op

- een keuze van materialen met een goede reactie bij brand ;
- een compartimentering die toelaat de brand te begrenzen tot de ruimte waar hij ontstaan is ;
- het voorzien van voldoende uitgangen voor de evacuatie van personen : aantal uitgangen, breedte, doorlopende balkons,

De kritieke punten van compartimentering kunnen hier niet in detail doch enkel algemeen besproken worden (raadpleeg [5]). Het betreft in eerste instantie de deuren (Benor-ATG) : we komen hierop terug in het hoofdstuk over reglementering. Het betreft ook doorgangen voor leidingen en kokers, lokale openingen (schakelaars, ...) souterrains (luchttoevoer), gevels (borstweringen, lateien, balkons) evenals de dakbedekkingen.

"Zelfs de beste brandwerende deur [5] heeft geen enkel nut indien ze niet gesloten is tijdens een brand. Wanneer de wetgever deursluiters eist, stelt men dikwijls vast dat in realiteit deze deuren open gehouden worden teneinde het gebruik van het gebouw te vergemakkelijken". De BS 7974: PD7 [111] levert referentiewaarden met betrekking tot de betrouwbaarheid van brandwerende deuren : de kans dat ze in open toestand geblokkeerd zijn bedraagt 30 %. De kans dat automatische deuren niet correct dicht gaan bedraagt 20 %. Het gebruik [5] van sluitvoorzieningen, gekoppeld aan een detectiesysteem, laat toe deze situatie te vermijden die het beoogde effect van compartimentering in gevaar brengt".



Niet doorgemetselde muur in een wand met EI-eis, ter hoogte van de doorgang van verwarmingskokers (bron [8])



Te vermijden ! Een opening in een wand met EI-eis waardoor elektriciteitskabels lopen en die niet opgevoegd werd (bron [8])



Een gangboord langsheen de volledige gevel (bron [8]). Deze doorlopende balkons vormen een evacuatiweg voor de bewoners

4.2.2. Actieve beschermingsmaatregelen

De actieve beschermingsmaatregelen, in rekening gebracht bij "Fire Safety Engineering" laten brandbestrijding toe door :

- automatische detectie gekoppeld aan een alarmsysteem ;
- blussystemen (brandblusapparaten, automatische sprinklerinstallaties die toelaten de omvang van de brand onder controle te houden) ;
- rook- en warmteafvoer (RWA) kan gedeeltelijk passief en gedeeltelijk actief zijn ;
- eigen brandweerkorps en interventiediensten van de brandweer.

Verschil tussen melding, waarschuwing en alarm

Volgens de laatste paragraaf van bijvoegsel 1 van het Koninklijk Besluit van 1997 met betrekking tot de basisnormen over brand, maakt men in België onderscheid tussen melding, waarschuwing en alarm :

- de **melding** bestaat uit het inlichten van de brandweerdiensten bij de detectie van een brand ;
- de **waarschuwing** bestaat uit het inlichten van de personen verantwoordelijk voor de organisatie, de ontdekking of de detectie van brand ;
- het **alarm** bestaat uit het bevel tot evacuatie van de gebruikers van één of meerdere compartimenten.



Rookluik aan de top van een trappenhuis (bron : FEBELCEM)



In deze gang zijn meerdere actieve beveiligingen aangebracht : waarschuwingsapparaat, haspel, signalisatiepaneel, rookdetector, noodverlichting (bron : FEBELCEM)

Prestatievermogen van sprinklers [41]. Doorgaans worden sprinklers voorgeschreven op basis van hun operationele betrouwbaarheid. Testen in de USA geven aan dat 96 tot 99 % van de sprinklers geactiveerd wordt eens de kritieke temperatuur bereikt wordt op het niveau van de kop. Dit zijn echter cijferwaarden in labomstandigheden. In werkelijkheid kan het prestatievermogen lager liggen. In september 2001 werden in "U.S. Experience with Sprinklers" statistieken gerapporteerd door M. Rohr van de NFPA. Uit deze studie volgt dat voor een brand waarbij de sprinklers zouden moeten worden geactiveerd, het systeem gefaald heeft in 13 % van de gevallen voor appartementen, 17 % in hotels, 20 % in ziekenhuizen en kantoren, 26 % in publieke ruimtes, met een nationaal gemiddelde van 16 % tekortkomingen. (We komen verder terug op de betrouwbaarheid van sprinklers!). Op basis van deze cijfers blijkt het prestatievermogen van sprinklers **10 keer lager te zijn dan aankondigd**.

Hoe definieert men het succes van een sprinklersysteem ?

De "area of operation", of werkingsoppervlakte varieert in functie van het risico. De risicoklassen zijn gedefinieerd als laag, gewoon (OH) en hoog. Met elke klasse komt een besproeiende oppervlakte overeen die onder controle moet worden gehouden.

Dit betekent dat het vuur zich niet verder mag verspreiden dan deze oppervlakte. De volgende tabel uit NBN EN 12845 geeft de indeling van deze werkingsoppervlaktes, gekoppeld aan het aantal sprinklerkoppen en een minimumdebiet per sprinkler :

Risicoklassen	Aantal sprinklerkoppen	Werkingsoppervlakte (m ²)	Minimumdebiet per sprinklerkop (l/m ² /min)
Laag	1 / 21m ²	84	2,25
Gewoon	1 / 12m ²	72 tot 360	5
Hoog, behalve HHP4	1 / 9m ²	260	7,5 tot 12,5



Sprinkler (bron [8])

In de Canadese provincie Ontario voorziet de regelgeving in het gebruik van rookdetectoren en brandalarmen in combinatie met compartimentering. Het principe is dat de brandalarmen een gepaste evacuatie tijd voorzien zodat de uitgaven en de problemen door het falen van sprinklers komen te vervallen. Deze regelgeving wordt aangehouden omdat effectief is aangetoond dat voor de veiligheid van personen en goederen, de combinatie brandalarm met weerstandbiedende compartimentering geen hoger risico oplevert dan de combinatie brandalarm met sprinkler.

Een grondige discussie over het gebruik en het prestatievermogen van sprinklers is gegeven in bijlage 1 (zie hoofdstuk E) van dit document.

De keuze van muren en vloeren in beton omwille van de hoge brandweerstand is belangrijk. Deze elementen reduceren daarenboven de geluidstransmissie en het thermisch comfort, verminderen de onderhoudskosten en verhogen de duurzaamheid. Deze eigenschappen vertalen zich in een betere herverkoopwaarde voor de eigenaars en een financiële winst tengevolge van een lagere verzekeringspremie. Bovendien neemt ook het blootstellingsrisico voor de hulpdiensten af alsook de indirecte kosten na brand.

De verantwoordelijke ingesteldheid van een aantal ontwerpers, makelaars en eigenaars die op vrijwillige basis de brandveiligheid van hun gebouw verbeteren zonder dat de regelgeving dit

oplegt, verdient de nodige erkenning. Tegelijkertijd worden voor andere gebouwen dezelfde mensen verzocht om voor het behoud van de competitiviteit de reglementaire eisen betreffende brandveiligheid tot een minimum te herleiden. We denken hier in het bijzonder aan degenen die afwijkingen bekomen hebben voor bouwprojecten die mogen beantwoorden aan lagere eisen dan die geformuleerd in de prescriptieve regelgeving.

De doeltreffendheid van sprinklers verkleint indien een andere schikking voor de opslag van producten wordt aangenomen dan oorspronkelijk voorzien (andere gestockeerde materialen, andere locatie, andere manier van stapelen).

Om de voordelen uit de actieve maatregelen te halen, is het nodig dat hun gebruik bepaald wordt door aangepaste maatregelen op het vlak van onderhoud, vorming, certificatie en erkenning van personen.

MAATREGELEN VOOR ACTIEVE BESCHERMING : EEN BELANGRIJK DEEL VAN HET KOSTENPLAATJE VAN DE CONSTRUCTIE VAN INDUSTRIËLE GEBOUWEN [6]

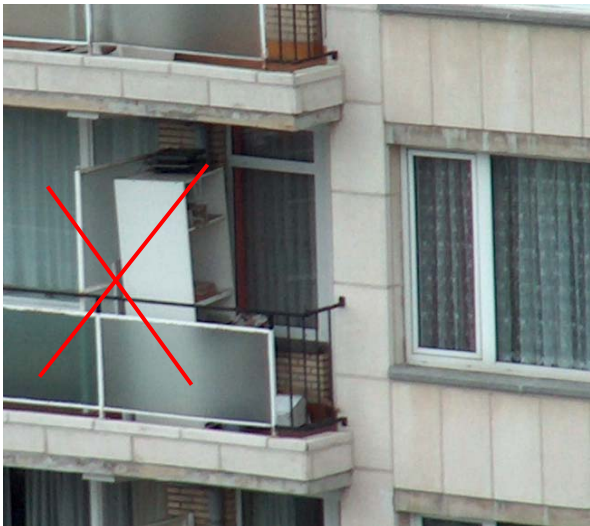
"Men onderschat vaak de kosten nodig voor de brandbeveiliging in het budget voor de bouw van industriële gebouwen", verklaart Bruno Robberechts. "Voor standaard industriële opslagplaatsen, moet men toch rekenen op 15 tot 20 % van de totale investering. Het sprinklersysteem neemt een groot deel van de kosten in. Twee vaste bedragen moeten in dit verband in rekening gebracht worden : het pomplokaal en de watertank ... Men moet een pomplokaal (ESFR) voorzien met twee dieselpompen en een watertank voor 12 sprinklers voor een werking van 60 minuten. Ook zijn er de kosten voor het leidingnetwerk van het sprinklersysteem...". "De onderhoudskosten mogen evenmin vergeten worden : een periodieke controle en revisie van de sprinklers is vandaag verplicht", bevestigt Bruno Robberechts. "Maar dit leidt wel tot een vermindering van de brandpremie", besluit Alain Georges.

4.2.3. Menselijk gedrag

Het gedrag van de gebruikers en bezoekers van gebouwen heeft een belangrijk effect op het ontstaan van branden en de werking van beschermingen.

Het voorzien van oefensessies in brandveiligheid (evacuatie en eerste interventie), het vrij houden van de evacuatiewegen (zonder hinderlijke voorwerpen), het niet vergrendelen van nooduitgangen, ... zijn elementen die de veiligheid drastisch verhogen.

Een proefevaluatie [8] van het brandrisico is onlangs uitgevoerd voor gebouwen met meerdere appartementen. Hierbij lag de nadruk op de veiligheid van personen en er werd gebruik gemaakt van evaluatiefiches met punten. Er werd uitgegaan van de Belgische basishoudingen betreffende brand (KB 1997) en op de ervaring van de brandweerdiensten. Elk criterium is relatief gemakkelijk te verifiëren en vraagt geen ingewikkelde technieken voor de beoordeling. De proefevaluatie suggereert een evenwichtige weging van de verschillende parameters die het brandrisico beperken : 2/3 voor de passieve bescherming, 1/9 voor de actieve bescherming en 2/9 voor het gedrag van de gebruikers en de verantwoordelijken van de gebouwen.



Te vermijden : deze kast verhindert de evacuatie langs de gangboord (bron [8])



Te vermijden : Opgestapelde kranten in een ondergrondse gang : ideaal voor brandstichting (bron [8])

Het algemeen erkend belang van het menselijk gedrag is bevestigd door Canadese ervaring waar, dankzij een uitgebreide informatiecampagne, het aantal appartementsbranden de laatste jaren sterk verminderd is.

Vanaf het moment dat brandveiligheid geen betrekking meer heeft op instellingen om publiek te ontvangen is er in de regelgeving geen enkele maatregel meer voorzien voor de opvolging en controle van de genomen preventiemaatregelen.



Reglementaire pictogrammen wijzend op de aanwezigheid van een hydrant, een haspel, een brandblusapparaat en nooduitgangen

Compenseert actieve bescherming de zwakke punten van staalstructuren ? [13]

"Actieve beveiliging houdt rekening met het volgende : de aanwezigheid van sprinklers, automatische detectie, de beschikbaarheid van een voldoende watervoorraad, de nabijheid van de interventiediensten en de aard van de uitgeoefende activiteiten in het pand. Deze elementen worden bij fire safety engineering gebruikt om artificieel de eisen betreffende brandveiligheid te verminderen. Het zou roekeloos zijn om niet een minimale intrinsieke structurele veiligheid te voorzien (dit is de passieve bescherming) om aan uitwendige tekortkomingen te kunnen weerstaan.

De actieve beveiliging kan enkel als complementair aan de passieve beveiliging beschouwd worden. We denken aan een toename van brandstichtingen en aan mogelijke tekortkomingen in de controle en het onderhoud die afhangen van menselijke factoren. **De strategie van actieve beveiliging kent aan de bouwheer en de gebruiker een verantwoordelijkheid toe die ze niet altijd op zich kunnen nemen door gebrek aan plichtsgevoel, opleiding of controle.** In bouwwerken beheerd door een weinig geïnteresseerde bouwheer kunnen zich nalatigheden opstapelen die dramatische gevolgen kunnen hebben.

We geven hierna een uittreksel uit een **uiteenzetting gegeven door commandant J. Rahier [39]** in 2004, die we als titel meegeven "Actieve bescherming en het menselijk gedrag" :

"... Een gemeenschappelijk kenmerk van de technieken voor actieve bescherming komt onmiddellijk naar voor : de noodzaak van een menselijke interventie om kennis te nemen van een gebeurtenis en erop te reageren in functie van de ontvangen informatie :

- installaties voor automatische detectie doven nooit een brand en organiseren nooit een correcte evacuatie ;
- automatische blusinstallaties doven op zichzelf de brand niet en kunnen zelfs buitensporige schade veroorzaken ;
- een RWA installatie dooft nooit een brand, in tegen-deel, hij zal erdoor aangewakkerd worden.

Dit kenmerk is uiteraard ook één van de zwakke punten van de systemen voor actieve bescherming : zonder gepaste menselijke reactie en zonder opgeleid personeel, gaat hun doeltreffendheid grotendeels of zelfs volledig verloren.

Het tweede gemeenschappelijk kenmerk van de drie technieken is dat ze sterk gebonden zijn aan de ruimtelijke indeling van de lokalen en aan de technische uitrusting van gebouwen.

Men plaatst immers niet zomaar om het even waar een detector, een sprinkler of een luik voor rookafvoer.

Tenslotte moet bij elke wijziging van de ruimtes (nieuwe scheidingswanden, openingen in sommige scheidingswanden, aanpassing van het airconditioningsysteem, ...) een nieuwe beoordeling van de actieve bescherming gebeuren.

Het tweede gemeenschappelijk kenmerk toont het belang aan van een regelmatig onderhoud van deze systemen. Deze worden beïnvloed door een combinatie van personen met commerciële en financiële belangen (als daar nog een decorateur bijkomt, bekomt men een "explosief mengsel"), die elk op basis van hun eigen beweegredenen de schikking van de ruimtes en de technieken zullen wijzigen. Wat in hun ogen telt is de commerciële inrichting van het magazijn, de aantrekkelijkheid van de kantoormeubelen van de directeur en de invoering van nieuwe technieken die de hele werkorganisatie veranderen. Het is vooral in de onderhoudsbudgetten dat de financiële deskundige zal willen snoeien : waarom een technische installatie onderhouden die toch nooit dienst zal doen (tenminste zo hoopt men) ? ...

De twee eigenschappen die ik kom uiteen te zetten : de verplichting van een menselijke actie en de verplichting van doorlopend onderhoud zijn de redenen waarom preventieambtenaren denken dat, in tegenstelling tot sommige lofzangers van Fire Safety Engineering, deze technieken geen wondermiddel zijn en dat ze in vele gevallen niet alleen mogen gebruikt worden. Brandpreventie moet echter een doordacht evenwicht nastreven van deze drie technieken (RWA, sprinklers en detectie) en tussen de actieve en passieve maatregelen voor brandveiligheid ...

Het is in het alledaagse dat het belang van duplicatie op het gebied van brandveiligheid duidelijk te zien is. Ik haal slechts één voorbeeld aan : de brand in de fabriek Mabelpap te Verviers op 06-08-2002. De brand zorgde hier voor een explosie, waardoor het sprinklersysteem op minder dan 1 m van de grond terechtkwam en de uitlaatkleppen niet geopend konden worden, ... Enkel de brandwerende compartimentdeuren bleven dan nog over om de branduitbreiding te beperken. Een zicht vanuit de lucht op de fabriek laat toe verschillende lessen te trekken ...

Detectiesystemen hebben aan bedrijfszekerheid gewonnen. We kunnen dit bevestigen, ondanks het feit dat ze eerder nadelig uit de statistieken komen. Er zijn nog evoluties in het vooruitzicht, zoals communicatie tussen de detector en de centrale met behulp van elektromagnetische golven. Het gevaar schuilt misschien in de integratie van een automatisch detectiesysteem in een supercomputer die de risico's van een gebouw of een bedrijf beheert, waarbij door een voortdurende verfijning van de sturing, men uiteindelijk niet meer weet wat er aan de hand is. Een te veel aan procedures belemmert het menselijk initiatief : het beheer van kerncentrales heeft dit duidelijk aangetoond ...

Al deze systemen zijn ontworpen door de mens. Het is hij die ze moet installeren om een maximale doeltreffendheid te bekomen, die ze moet testen in alle mogelijke configuraties en die ze moet onderhouden. Het is vooral hij die informatie zal moeten verzamelen en beslissen welke stappen moeten genomen worden voor het efficiënt bestrijden van een brand.

"Ik ben woedend wanneer ik hoor dat de mens steeds de zwakke schakel is in de veiligheidsketting, want het is op de schouders van het personeel ter plaatse dat de goede afhandeling van een incident rust. Op dat ogenblik is het te laat om zich af te vragen of ze goed opgeleid zijn, of de nodige budgetten besteed zijn (N.v.d.r. voldoende personeel in tehuizen tijdens de nacht), of ze voldoende initiatief mogen nemen, of er simulatieoefeningen georganiseerd zijn ?"

Geloof me, de rol van de mens is essentieel. Bij een brandinterventie is de rol van de eerste interventieploeg van fundamenteel belang, omdat zij de eerste maatregelen nemen en correcte en gedetailleerde informatie kunnen doorspelen naar de externe hulpdiensten.

Om huishoudelijke ongevallen te bespreken en in het bijzonder brand, zouden de hulpdiensten gelukkig zijn indien ze over evenveel uren konden beschikken als de verkeerspreventiediensten ...".



Figuur : een industriële opslagplaats van 7200 m² Nord Rognac (Frankrijk) - zaterdag 15 juni 1996 (bron CIMBETON) : De brandmuren in beton hebben perfect de brand geïsoleerd en zijn voortplanting naar naburige opslagplaatsen vermeden.

5. Thermische verschijnselen

5.1. Mechanismen van warmteoverdracht

Er zijn drie basismechanismen [38] voor warmteoverdracht :

- convectie ;
- straling ;
- geleiding.

De drie mechanismen beïnvloeden elkaar gedurende een brand. Afhankelijk van het tijdstip en de plaats is één van de mechanismen overheersend.

Convectie is de wijze van warmteoverdracht naar een vaste stof vanuit een omringend gas in beweging. In het begin van de brand is dit verschijnsel overwegend tussen de omgeving en het constructie-element. De warmteflux q_c , uitgedrukt in W/m^2 , die uitgewisseld wordt tussen een gas met temperatuur T_g en een wand met temperatuur T_p is gelijk aan :

$$q_c = \alpha_c \cdot (T_g - T_p)$$

met α_c de convectiecoëfficiënt die varieert tussen 4 en $50 W/m^2K$ volgens de beschouwde kant van de wand (al dan niet blootgesteld aan de brand) en de gekozen temperatuurcurve.

Straling is overdracht van energie door middel van elektromagnetische golven en vereist geen specifiek milieu tussen de stralingsbron en de ontvanger. Dit mechanisme is overheersend tijdens de branduitbreiding en wanneer de brand zijn volle intensiteit bereikt heeft. De warmteflux q_r die uitgewisseld wordt tussen de omgeving (wanden + gas) op temperatuur T_g en de beschouwde wand met temperatuur T_p is gelijk aan :

$$q_r = \Phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot (T_g^4 - T_p^4)$$

waarbij:

Φ = de geometrische stralingsfactor, die gelijk is aan 1 voor rechthoekige en cirkelvormige dwarsdoorsneden en kleiner dan 1 in de andere gevallen. Dit concept is gebaseerd op de werkelijke energieflex die terecht komt op oppervlakken blootgesteld aan warme gassen ;

ε = conventionele factor die betrekking heeft op de globale relatieve emissiviteit tussen de omgeving en de beschouwde wand. Volgens de Europese normen (EN) voor de brandweerstand van betonconstructies, is 0,8 de standaardwaarde (*default value*) ; 0,7 voor een betonoppervlak ; 0,8 voor een staaloppervlak en 0,4 voor een oppervlak in roestvrij staal. In de Europese voornormen (ENV) werd als standaardwaarde $0,8 \cdot 0,7 = 0,56$ genomen;

σ_0 = de constante van Stefan-Boltzmann = $5,68 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$;

T_g et T_p zijn absolute temperaturen uitgedrukt in Kelvin.

Geleiding (conductie) is de wijze van warmteoverdracht in vaste stoffen. De warmtegeleidingscoëfficiënt λ karakteriseert de geschiktheid van een materiaal om warmte te geleiden. In de tabel van §5.2.3 zijn waarden van de warmtegeleidingscoëfficiënt opgenomen voor verschillende materialen. In het geval van een ééndimensionale warmtestroom is de warmteflux q_λ door geleiding loodrecht op het beschouwde vlak gelijk aan :

$$q_\lambda = \lambda \cdot (\partial T / \partial x)$$

waarbij

λ voor beton varieert tussen 2,0 en $0,6 W/m^2K$ in functie van de temperatuur. Deze variatie wordt besproken in §7.2.1

$\partial T / \partial x$ de thermische gradiënt in de wand voorstelt.

Het materiaal waaruit de wand is samengesteld zal opwarmen tengevolge van de warmteflux. De hoeveelheid opgenomen warmte per seconde en per m^3 is gelijk aan

$$q_m = \rho \cdot c \cdot (\partial T / \partial t)$$

met

c = de specifieke warmte (J/kg) die een functie is van de temperatuur (zie §7.2.1)

ρ = de volumieke massa (kg/m^3)

De temperatuur in het inwendige van het materiaal wordt bepaald door de volgende gekoppelde vergelijkingen numeriek op te lossen via eindige differenties of eindige elementen :

$$q_m = (q_c + q_r) - q_\lambda$$

deze vergelijking beschrijft de thermische balans van het wandoppervlak

$$q_m = -q_\lambda \quad \text{of} \quad \rho \cdot c \cdot (\partial T / \partial t) = -\lambda \cdot (\partial T / \partial x) \quad (1)$$

deze vergelijking beschrijft de thermische balans in het inwendige van de wand.

5.2. Belangrijkste invloedsfactoren van de gastemperatuur

De ontwikkeling van een brand [38] en van de gastemperatuur wordt bepaald door de volgende drie basisparameters : de grootte van de brandlast en zijn maximum calorisch debiet, de oppervlakte van de openingen in de buitenwanden en de thermische eigenschappen van de wanden.

5.2.1. Brandbelasting en maximum calorisch debiet (RHR)

Indien de luchttoevoer voldoende is, zodat de brand door brandstof gecontroleerd is, zijn de volgende factoren bepalend voor de ernst van de brand : de grootte van de brandbelasting, met het calorisch debiet en zijn schikking.

De brandbelasting is gegeven door :

$$q = (\sum M_i P_i) / S$$

met S = oppervlakte van het compartiment (m^2)

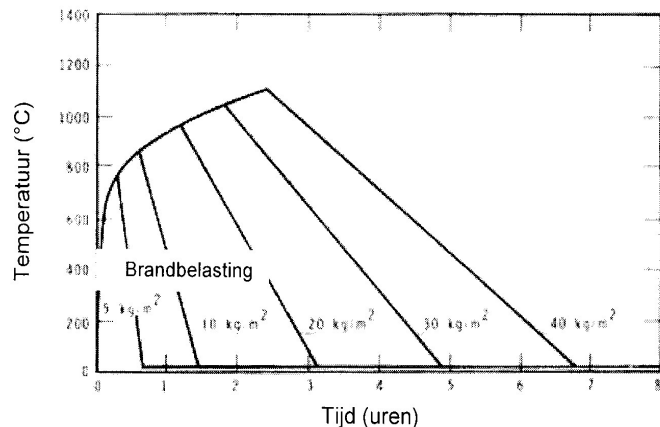
M_i = massa van het materiaal i (kg)

P_i = verbrandingswaarde (kJ/kg)

De som slaat op alle materialen die in het compartiment aanwezig zijn, ook deze van het gebouw zelf. Aangezien beton onbrandbaar is levert het geen bijdrage aan de brandbelasting.

Om historische redenen en voor het gemak van formulering, wordt de hierboven gedefinieerde brandbelasting soms vervangen door de "equivalente houtbelasting" ($1 kg$ hout stemt overeen met $17,5 MJ$). Voor het gemak van de lezer gebruiken we dit houtequivalent in plaats van $MJoules$.

In werkelijkheid moet op de brandbelasting zoals hierboven gedefinieerd een "gebruikscoefficient" toegepast worden die rekening houdt met het feit dat de meeste materialen niet volledig opbranden en dus niet alle energie vrijstellen die ze bevatten. Dit aspect houdt verband met het materiaal zelf, zijn geometrie, de oppervlakte blootgesteld aan de vlammen enz. De brandbelasting die werkelijk in de brand tussenkomt bedraagt 50 tot 90 % van de theoretische waarde zoals hierboven gedefinieerd. Volgens bijvoegsel E van NBN EN 1991-1-2 [106] mag voor materialen op basis van cellulose een verbrandingscoëfficiënt $m = 0,8$ aangenomen worden.



Figuur : Invloed van de brandbelasting op de temperatuurcurve bij brand [57]

Meer bepaald worden in het informatief bijvoegsel E van deze norm waarden gegeven van de brandbelasting. Omgerekend naar een houtequivalent in kg/m^2 , worden de volgende gemiddelde brandbelastingen vermeld voor gebouwen in functie van de aard van het gebruik :

Gebruik	Gemiddelde brandbelasting (kg hout/m^2)
Bibliotheek	86
Bewoning	45
Handelsruimte	34
Kantoor	24
Hotel	18
Schouwburg, bioscoop	17
Klaslokaal (school)	16
Ziekenhuis	13
Vervoer	6

Tabel : brandbelastingen [106]

De theoretische brandbelasting [5] kan niet gebruikt worden als absoluut criterium voor het brandgevaar. Materialen verschillen immers door het gemak waarmee ze ontvlammen en de snelheid waarmee ze branden, m.a.w. door de hoeveelheid warmte die ze vrij stellen per tijdseenheid. Het eerste kenmerk beïnvloedt de frequentie waarmee branden kunnen optreden terwijl het tweede kenmerk de intensiteit van een eventuele brand bepaalt.

De ervaring toont aan dat, bij gelijkblijvende andere parameters, de duur van een brand evenredig is met zijn dichtheid van de brandbelasting. Hieruit volgt dat een toename van de brandbelasting over het algemeen een verlenging van de brandduur zal veroorzaken maar niet noodzakelijk van de maximale gemiddelde temperatuur in het lokaal.

De manier waarop de materialen gestapeld zijn beïnvloedt de verbrandingssnelheid. Zo bijvoorbeeld "ontbladeren" papierrollen : het is noodzakelijk om ze horizontaal te stapelen (zie §8.4.1, activiteiten in industriële gebouwen).

In dit verband laten de twee parameters t_α en RHR_f toe om brandbare materialen te karakteriseren :

t_α = de tijd nodig om een calorisch debiet van 1 MW te bereiken
 RHR_f = RHR staat voor "Rate of Heat Release" : het maximum calorisch debiet geproduceerd per m^2 brandhaard bij een door brandstof gecontroleerde brand. Indicatieve waarden zijn opgenomen in de volgende tabel :

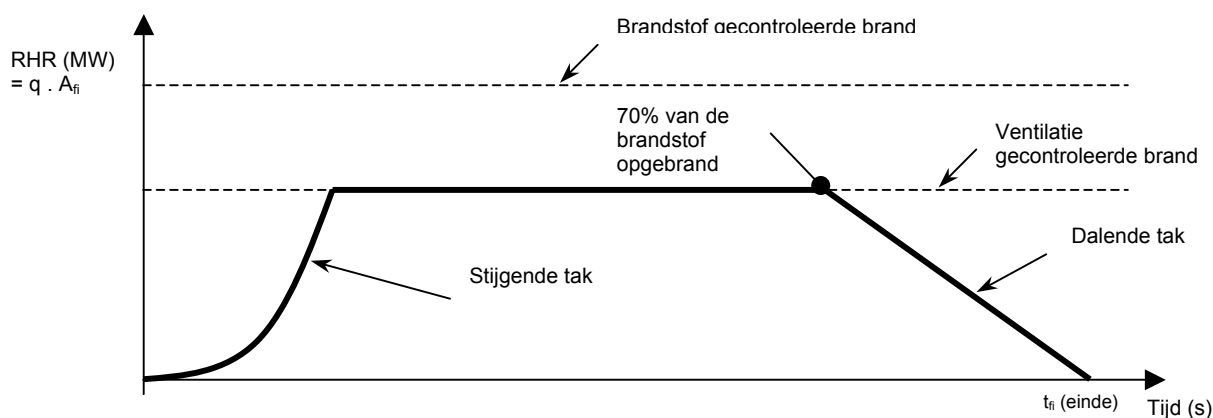
Aard van de opslag of het gebruik	RHR_f (kW/m^2)	t_α (s)
Houten paletten gestapeld tot 0,5 m hoogte	1250	
Houten paletten gestapeld tot 3 m hoogte	6000	
Plastic flessen in kartonnen dozen gestapeld tot een hoogte van 4,6 m	4320	
Stijve panelen in polystyrenschuim gestapeld tot een hoogte van 4,3 m	2900	
Winkels, bibliotheken, verkoopscentra, schouwburg- en bioscoopzalen	500	150
Kantoren, woonruimtes, ziekenhuizen, hotelkamers, klaslokalen, ...	250	300

Tabel : maximum calorisch debiet vrijkomend per m^2 brandhaard [42]

Een hoge snelheid van de brandontwikkeling wordt uiteraard gekarakteriseerd door een lage waarde van t_α . Dit is het geval voor bibliotheken, verkoopscentra, schouwburg- en bioscoopzalen. Een hoog maximum calorisch debiet doet zich voor onder dezelfde omstandigheden.

Het calorisch debiet RHR kan begrensd worden door ventilatie, hetgeen bepaald wordt door een "één zone" model (zie §6.2.3.1). Hierop gebaseerd is in EC1 een vereenvoudigde uitdrukking terug te vinden voor het maximum calorisch debiet.

Het hiernavolgend schema geeft het klassiek verloop van het calorisch debiet in functie van de tijd. Dit debiet stijgt eerst parabolisch, blijft vervolgens constant tot wanneer 70 % van de brandlast opgebruikt is en neemt tenslotte lineair af. De oppervlakte onder de curve is gelijk aan de bruikbare brandlast.



Figuur : calorisch debiet in functie van de tijd

5.2.2. Ventilatie

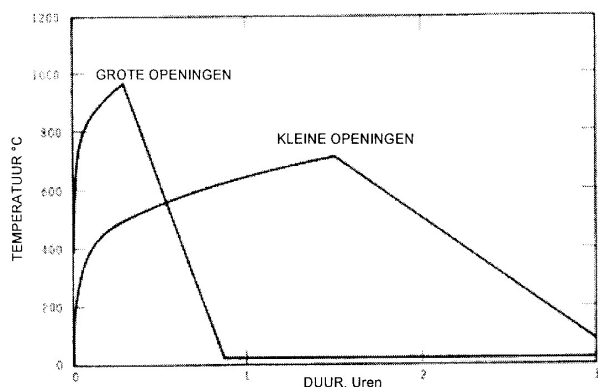
Ventilatie beïnvloedt de ontwikkeling van een brand zeer sterk. Het verschijnsel is volledig analoog aan een kachel waarbij de luchttoevoer kan geregeld worden waardoor de ontwikkeling en de intensiteit van het vuur geregeld wordt. Het ventilatiedebiet is rechtstreeks evenredig met de ventilatiefactor, ook openingsfactor O genoemd :

$$D = C^{te} \cdot O = C^{te} \cdot (A_v/A_t) \cdot (h_{eq})^{0.5}$$

waarbij:

- A_v = totale oppervlakte van de openingen in alle wanden (m^2)
- A_t = totale oppervlakte van het compartiment (muren, plafond en vloer met inbegrip van de openingen) (m^2)
- h_{eq} = gewogen gemiddelde van de hoogte van de vensters in alle muren (m)
- O = openingsfactor ($m^{0.5}$)
- D = debiet uitgedrukt in kg lucht/s

Een toename van de oppervlakte van de openingen laat een betere verbranding toe en vertaalt zich in een hogere temperatuurspiek en een steilere dalende tak.



Figuur : invloed van de oppervlakte van de openingen op de temperatuurscurve [57]

Wanneer gebruik gemaakt wordt van rookevacuatiesmonden, die automatisch ingeschakeld worden door temperatuursensoren, zorgt de bijkomende luchttoevoer voor een activering van de brand. De praktijk heeft uitgewezen dat het effect zeer positief is : door een betere zichtbaarheid is immers een vluggere interventie van de hulpdiensten mogelijk. Dankzij de verminderde uitspreiding van de rook, worden daarenboven de schade tengevolge van de rook en het vergiftigingsrisico van de bewoners verminderd.

5.2.3. Thermische karakteristieken van wanden

De thermische karakteristieken van de wanden beïnvloeden eveneens de ontwikkeling van een brand doch in mindere mate dan de brandbelasting en de ventilatie.

De warmte die ontwikkeld wordt bij het begin van de brand wordt gedeeltelijk naar buiten afgevoerd door de ventilatie en gedeeltelijk geabsorbeerd door de vloeren, de wanden en het plafond.

De temperatuur in het lokaal wordt bepaald door de thermische balans tussen warmteproductie en warmtetransport.

De warmte die moet toegevoegd worden aan een materiaal om zijn temperatuur te verhogen, hangt af van zijn **thermische effusiviteit**

$$Eff = (\lambda \cdot \rho \cdot c)^{0.5}$$

De effusiviteit is een maat voor de thermische inertie van een wand. Hoe groter ze is, hoe meer energie de wand zal opnemen bij zijn blootstelling aan brand. De opwarmingssnelheid van een wand zal des te lager zijn naarmate de thermische inertie groter is.

Indien het oppervlak van een wand blootgesteld wordt aan een plotse temperatuursverandering T , die daarna gedurende een tijd t constant gehouden wordt, dan is de totale hoeveelheid warmte die door de wand geabsorbeerd wordt gelijk aan

$$Q = 2 \cdot T \cdot (t/\pi)^{0.5} \cdot Eff$$

Berekeningen [5] tonen aan dat, door een bekleding aan te brengen op een betonwand en op een wand bedekt met een isolatielaag met lage dichtheid, de verhouding tussen de tijden waarop algehele vlamoverslag plaats vindt gelijk is aan 10, terwijl de verhouding van de effusiviteiten in de buurt van 30 ligt.

De **hoge thermische effusiviteit** van betonwanden blijkt bijzonder interessant te zijn zowel voor het thermisch comfort als voor de vertraging van de "flashover".

De thermische diffusiviteit

$$a = \lambda / (\rho \cdot c)$$

is een maat voor de snelheid waarmee de temperatuur in een materiaal evolueert. Deze grootheid verschijnt in vergelijking (1) van §5.1. Hoe groter de waarde ervan, hoe vlugger het materiaal opwarmt.



Photo : RASTRA

De diffusielengte L_{diff} is de diepte x waar de temperatuursver-

in het overgangsregime, de warmteoverdracht rechtstreeks evenredig is met de thermische effusiviteit, zoals hoger vermeld. In het geval van brand is het dus de hoge thermische effusiviteit $E_{ff} = (\lambda \cdot \rho \cdot c)^{0,5}$ die, samen met de massiviteit van betonelementen, bijzonder gunstig blijkt te zijn met betrekking tot de evolutie van de **gastemperatuur** (vertraging van de flashover).

De **temperatuursgradiënt** in een materiaal is, in permanent regime, omgekeerd evenredig met de waarde van de thermische geleidbaarheid, terwijl in het overgangsregime het temperatuursveld bepaald wordt door de thermische diffusiviteit. In het geval van brand is het dus de lage thermische diffusiviteit

$$a = \lambda / \rho \cdot c$$

die, samen met de massiviteit van betonelementen, bijzonder gunstig blijkt te zijn met betrekking tot de **temperatuursevolutie in het materiaal**, en dit eerder dan de thermische geleidbaarheid alleen.

5.3. De ernst van een brand

Samengevat wordt de ernst van een brand gekarakteriseerd door de volgende parameters :

- de duur van de brand, bepaald door de brandbelasting en de ventilatie ;
- de gemiddelde temperatuur in het compartiment, bepaald door de ventilatie en de thermische isolatie van het compartiment ;
- de snelheid waarmee de brand zich ontwikkelt en waarmee de temperatuur stijgt, die beïnvloed wordt door het thermisch gedrag van de wanden.

Materiaal	Smelttemperatuur (°C)	α ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	λ ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)	c ($\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$)	Eff ($\text{J}/\text{m}^2\text{s}^{0,5}\text{C}$)	a ($\text{m}^2/\text{s} \cdot 10^{-6}$)
Beton	1200 tot 1400	12 tot 18	2400	0,6 tot 2,0	1	1200 tot 2200	0,25 tot 0,8
Gebakken aarde	-	5 tot 7	1500	0,4 tot 0,5	0,84	710 tot 800	0,3
Staal	> 1500	12 tot 17	7850	50 tot 60	0,45	13300 tot 14600	15
Massief hout	300 (*)	3 tot 5	400 tot 1000	0,12 tot 0,16	0,12 à 0,16	80 tot 160	0,1
Rotswol	1200	-	10 tot 200	0,03 tot 0,04	0,03 tot 0,04	3 tot 18	0,2 tot 5
Plaaier	-	10 tot 12	1500 tot 1800	0,5 tot 0,8	0,84	800 tot 1100	0,4

* verbrandingstemperatuur

andering de helft bedraagt van deze aan het oppervlak. De vergelijking :

$$L_{diff} = (a \cdot t)^{0,5}$$

houdt geen rekening met de eventuele faseverschuiving in het materiaal zelf.

De hiernavolgende tabel geeft een overzicht van de thermische eigenschappen van enkele materialen :

De warmteoverdracht in een materiaal is, in permanent regime, rechtstreeks evenredig met de thermische geleidbaarheid terwijl

6. Belastingen

De bepaling van de mechanische acties is noodzakelijk voor het vastleggen van het belastingsniveau bij brand dat tussen komt bij de berekening van de brandweerstand van constructies.

De bepaling van thermische acties heeft tot doel inzicht te verschaffen in "natuurlijke branden" die te pas komen in "Fire Safety Engineering". Hierbij worden de fysische verschijnselen en de interventieomstandigheden in rekening gebracht die van toepassing zijn voor het beschouwde gebouw.

Gezien de goede prestatie van betonnen constructie-elementen met betrekking tot brand moet de ontwerper van een gebouw zich niet bekommeren over bijkomende beschermingen en moet hij geen beroep doen op complexe evaluaties of op aanvragen voor afwijkingen.

In dezelfde geest, leidt het gebruik van beton meestal zonder bijkomende kosten tot brandweerstand die de nominale curven overstijgen. De veiligheid bekomen met de andere modellen is meestal kleiner dan deze bekomen met de ISO curve. Dit geldt met uitzondering van die gevallen waar de brandbelasting extreem hoog is zoals bijvoorbeeld in bibliotheken in zoverre dat geen reductiecoëfficiënten toegepast werden om rekening te houden met actieve beveiligingsmaatregelen !

6.1. Mechanische belastingen

Belastingen op constructies tengevolge van brand worden beschouwd als accidentele belastingen. Aldus zijn in de te beschouwen belastingscombinaties de belastingscoëfficiënten lager dan in het geval van een berekening bij normale temperaturen. Deze reductie is gebaseerd op het feit dat de kans voor het gezamenlijk optreden van een brand en een extreme waarde van de belasting zeer klein is.

Er geldt meer bepaald :

belastingscombinatie bij normale temperaturen :

$$1,35G + 1,50Q$$

belastingscombinatie bij brand :

$$G + \psi_k Q + A_d$$

met

$\psi_k = \psi_2 = 0,3$	voor privégebouwen, residentiële gebouwen en kantoorgebouwen ;
$\psi_2 = 0,6$	voor handelsgebouwen en andere plaatsen met publieke toegang ;
$\psi_2 = 0,8$	voor opslagplaatsen (o.a. bibliotheken, ...).
$\psi_2 = 0$	voor de sneeuw ;
$\psi_k = \psi_1 = 0,2$	voor de wind ;
$G =$	eigengewicht ;
$Q =$	nuttige belasting of klimatische belastingen en
$A_d =$	rekenwaarde van de indirecte thermische belasting tengevolge van vervormingsverhinderende bij brand.

Toepassing van deze belastingscombinatie leidt tot een belastingsniveau in de brandsituatie dat slechts 50 tot 70 % bedraagt van het niveau dat in rekening gebracht wordt bij de dimensionering bij normale omgevingstemperatuur.

De hoogste belastingsgraad η_{fi} bij brand bedraagt 1/1,35 of 0,74. In de praktijk is er steeds een minimum nuttige belasting te beschouwen zodat de belastingsgraad praktisch gezien niet hoger is dan 0,7.

We zullen het begrip belastingsgraad verder nog gebruiken bij de bespreking van de getabelleerde waarden (§8.1.1 en §8.1.2).

6.2. Verschillende modellen voor de thermische belastingen

Er zijn verschillende manieren om een brand [18] in een gebouw te modelleren. In stijgende orde van complexiteit zijn de meest gebruikte modellen :

- de nominale curven ;
- de parametrische curven ;
- de zonemodellen ;
- de veldmodellen (CFD)

en tenslotte de modellen voor een gelokaliseerde brand die de oppervlakte van een compartiment niet gelijkmatig beïnvloedt.

Deze modellen zijn opgenomen in het deel brand van EC1 : de ISO-curve in het basisdeel en de andere modellen in de informatieve bijlagen.

6.2.1. Nominale curven

De nominale curven, waaronder de ISO curve, werden reeds hoger beschreven. Ze hebben allen de volgende kenmerken :

- de temperatuur is uniform verdeeld in het compartiment ;
- de enige beschouwde parameter is de tijd ;
- er is geen afkoelingsfase.

De nominale ASTM curve, gebruikt in de Verenigde Staten, leunt zeer dicht aan bij de ISO-curve.

6.2.2. Parametrische curven

Een parametrische curve geeft eveneens de temperatuursevoluatie in functie van de tijd. De temperatuur in het compartiment wordt uniform verondersteld maar, in tegenstelling tot de nominale curven, wordt het verloop berekend op basis van de drie voornaamste parameters namelijk: de brandbelasting, de ventilatie en de eigenschappen van de wanden.

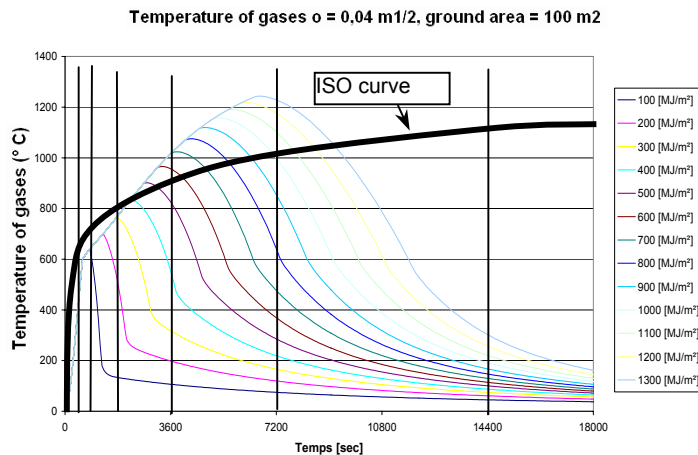
Op te merken valt dat deze curven slechts gebruikt kunnen worden in het stadium van voorontwerp, aangezien ze soms aan de onveilige kant zijn. Dit is ook vermeld in het toekomstige nationaal bijvoegsel (ANB) van Eurocode 1, deel 1-2. In het stadium van uitvoering van de constructie moet een zonemodel toegepast worden indien de ontwerper verder wil gaan dan de ISO-curve.

6.2.3. Zonemodellen

Deze modellen maken gebruik van de parameters vermeld in §5.2.

6.2.3.1. Eén-zone modellen

Eén-zone modellen zijn numerieke modellen die toelaten de evolutie van de gastemperatuur te berekenen in functie van de tijd, en dit door integratie van de gewone differentiaalvergelijkingen die de massa- en energiebalans uitdrukken. Er wordt uitgegaan van een uniforme temperatuursverdeling in het compartiment. Een voorbeeld is gegeven in de figuur hieronder.



Figuur : Voorbeeld van kromme bekomen via een zonemodel voor verschillende rekenwaarden van de brandbelasting q_d en voor een compartiment van 10 m x 10 m x 3 m (hoogte) met 12 cm dikke betonwanden bedekt met een 1,5 cm dikke pleisterlaag in het geval dat $RHR_f = 250 \text{ kW/m}^2$

6.2.3.2. Twee-zones modellen

De modellen met twee zones zijn numerieke modellen die toelaten de gastemperatuur te berekenen in functie van de tijd voor de onderste en de bovenste laag en dit op basis van de massa- en energiebalansen, uitgeschreven voor elk van de lagen, waarbinnen een uniforme temperatuursverdeling aangenomen wordt.

Een brand kan ook gemodelleerd worden via een twee-zones model dat dan op het ogenblik van de flashover overgaat in een één-zone model. Een dergelijke modellering werd ontwikkeld aan de Universiteit van Luik, meer bepaald in het kader van het programma OZONE.

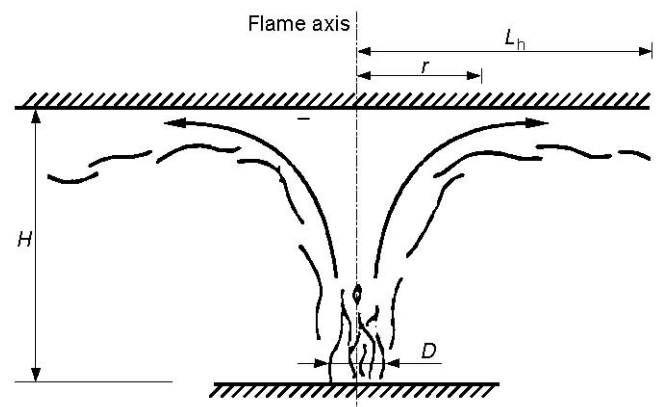
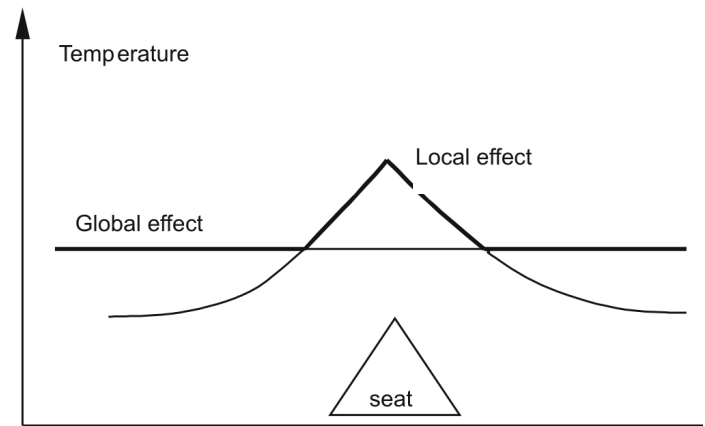
Deze modellering wordt gebruikt wanneer de omvang van de brand klein is ten opzichte van het lokaal.

De onderste laag blijft op een tamelijk lage temperatuur en bevat geen verbrandingsgassen. Deze laag is van bijzonder belang om de overlevingskansen van de gebruikers van het compartiment te beoordelen.

6.2.4. Modellen voor gelokaliseerde branden

Het deel brand van EC1 biedt eveneens de mogelijkheid een berekening uit te voeren van de lokale opwarming van gassen ter plaatse van een gelokaliseerde brand. Net als een algemene

brand kan ook dit type brand de ineenstorting van een gebouw met zich meebrengen.



Gelokaliseerde brand : model van Hasemi

6.2.5. Veldmodellen

Met de geavanceerde methodes van de numerieke stromingsmechanica (CFD : computational fluid dynamics) kan men systemen analyseren waarbij de stroming van fluida, de warmteoverdracht en aanverwante verschijnselen beschouwd worden en dit door het oplossen van de basisvergelijkingen van de stromingsmechanica.

Deze vergelijkingen zijn een wiskundige formulering van de fysische behoudswetten.

In die modellen worden de thermodynamische en aerodynamische differentiaalvergelijkingen opgelost in een zeer groot aantal punten van het compartiment om onder andere de temperatuur en de snelheidscomponenten van de rookgassen te bepalen. Deze modellen die zeer complex zijn om op te lossen en zeer gevoelig zijn aan de uitgangshypothesen zijn vooral bestemd voor het onderzoek. Ze worden onder meer gebruikt om de verspreiding van de rook en de warmte te bestuderen en eerder zelden voor de bepaling van de invloed van een brand op constructie-elementen op basis van de berekende warmteflux.

6.2.6. Welke curve en model gebruiken?

De huidige reglementering laat slechts het gebruik toe van de nominale curven. Een speciale afwijking moet aangevraagd worden bij de Federale Overheidsdienst indien de ontwerper de

brandweerstand van zijn gebouw wenst aan te tonen aan de hand van andere curven.

Bij het ontwerp van gebouwen, zal de berekening volgens de parametrische curven of de zonemodellen in plaats van de ISO-curve in sterke mate het risico op instorting van een gebouw beïnvloeden : een ISO-brand van 2 uur in bewoonde ruimtes, kantoren of andere gebouwen met een lage dichtheid van de brandbelasting, is strenger dan een brand berekend met parametrische curven of zonemodellen. Het gebruik van deze curven wordt verder besproken in het kader van een berekening via "Fire Safety Engineering".

De waarden van de brandbelasting die vermeld zijn in de literatuur moeten kritisch geïnterpreteerd worden : waarden van een andere grootte-orde dan deze opgenomen in het informatief bijvoegsel van het gedeelte brand van EC1 (zie §5.2.1) zijn te vinden in [25] (1983) (zie tabel hieronder). Voor kantoor-gebouwen (USA, Duitsland, Frankrijk, Nederland) zijn de brandbelastingen gemiddeld gelijk aan 50 kg hout/m² en, in 95 % van de gevallen, kleiner dan 90 kg/m².

Gebouwtype	Gemiddelde dichtheid van de brandbelasting (kg hout/m ²)	Maximum dichtheid van de brandbelasting (kg hout/m ²)
bewoonde gebouwen	15	35
scholen	15	50
ziekenhuizen	20	50

Enkele belangrijke verschillen nopen dus tot voorzichtigheid. We stellen voor dat in België door een meer gedetailleerde analyse de meest recente getallen onderbouwd worden. Ondermeer de categorie kantoren zou wat nader moeten geanalyseerd worden.

De opwarmingsvoorwaarden die overeenstemmen met het eerste half uur volgens de standaard brandcurve worden over het algemeen aangetroffen in talrijke lokalen. De eis van een brandweerstand van een half uur stemt grofweg overeen met een brandbelasting van 40 kg hout /m². Op die manier kan de brandweerstand verzekerd worden van bewoonde gebouwen waar men typisch een brandbelasting tussen 15 en 60 kg/m² aantreft. Overschrijding van de gemiddelde brandbelasting of ongunstige ventilatie-omstandigheden kunnen een verhoogd instortingsrisico van de draagstructuur veroorzaken.

De eis van 1 uur brandweerstand stemt overeen met een laag instortingsrisico voor de draagstructuur van bewoonde gebouwen.

Een eis van 2 uur is verantwoord voor compartimenten met een hoge brandbelasting, zoals bibliotheken en opslagplaatsen van archieven. Deze eis is eveneens verantwoord voor hoge gebouwen waar de tussenkomst van de brandweerdiensten langs binnen moet gebeuren. In dit geval zijn de gevolgen van een instorting ook zeer erg voor de omgeving.

Door die ventilatieomstandigheden te kiezen die de kleinst mogelijke hoeveelheid brandstof vereisen, kan men uitrekenen dat de ISO-branden van 30, 60, 90 en 120 minuten overeenstemmen met respectievelijk 40, 80, 120 en 160 kg hout/m².

7. Materialen

7.1. Fysische en chemische verschijnselen in het materiaal beton

Om zowel de eenvoudige als de meer complexe regels in de normvoorschriften te begrijpen, is het belangrijk om een inzicht te hebben in de invloed van hoge temperaturen op het gedrag van beton.

Proefresultaten [55]

Voor de karakterisering van het materiaal beton en meer bepaald voor wat de mechanische eigenschappen betreft, zijn opwarmingssnelheden in de orde van 2 °C per minuut te laag, aangezien ze niet overeenstemmen met de brandsituatie. Ze worden niettemin gebruikt door de onderzoekers en aanbevolen vanuit RILEM en dit om de eigenlijke materiaaleigenschappen te scheiden van de structurele effecten ten gevolge van de opwarming van kleine proefstukken (bv. kernen met diameter 6 cm en hoogte 18 cm).

Meer nog dan in andere domeinen zijn proefresultaten met betrekking tot het gedrag van beton bij brand, zeer sterk afhankelijk van een groot aantal parameters :

- De opgelegde thermische cyclus speelt een belangrijke rol : opwarming, drempel met constante (hoge) temperatuur, sterkte bij hoge temperatuur, afkoeling, residuele sterkte na afkoeling tot omgevingstemperatuur, "post cooling" sterkte bepaald een zekere tijd na afkoeling, tweede opwarming, ... enz. ;
- Het belastingsniveau gedurende de opwarmingsfase beïnvloedt de mechanische eigenschappen ;
- De "verzegelingsvoorwaarden" van de proefstukken ("sealed" = geen vochtuitwisseling met de omgeving of in tegendeel "unsealed") beïnvloeden de inwendige waterdampdruk.

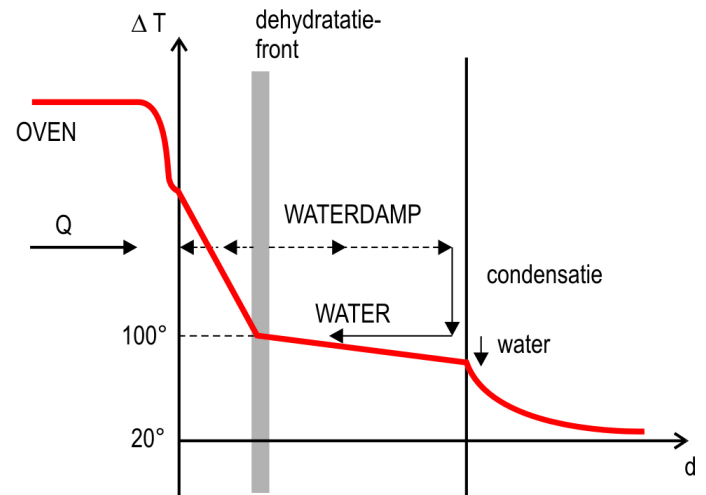
Fysische en chemische verschijnselen

In het geval van brand veroorzaakt de zeer sterke temperatuurstoename [27] fysicochemische wijzigingen in het beton zoals dehydratatie door uitdroging en decarbonatie. Deze verschijnselen veroorzaken verkortingen en sterkte- en stijfheidsverliezen van het materiaal.

De dehydratatie en decarbonatie zijn endotherme reacties hetgeen betekent dat ze energie opnemen en dus de opwarming vertragen. Deze reacties gaan dus gepaard met warmteabsorptie, die de opwarming van het aan brand blootgestelde materiaal vertraagt.

Vertrekkend van het opgewarmde oppervlak vormt zich een dehydratatie- en verdampfingsfront waar de temperatuur rond de 100 °C blijft hangen (zie figuur hierna). Indien de capillaire poriën te fijn zijn, kunnen door de toenemende dampdruk trekspanningen in het beton ontstaan die de plaatselijke treksterkte van het beton overschrijden. Dit verschijnsel is des te meer uitgesproken naarmate het vochtgehalte van het beton groter is en de opwarming sneller verloopt. Betonfragmenten

kunnen op min of meer explosieve wijze weggeslingerd worden vanaf het betonoppervlak (zie verder : "spatten van beton").



Figuur : Temperatuur in een betonwand blootgesteld aan brand [5]

Wat het beton betreft, wordt het sterkteverlies vooral veroorzaakt door interne scheurvorming en degradatie en desintegratie van de cementsteen. De cementsteen krimpt inderdaad terwijl de granulaten uitzetten. Naast de interne scheuren stelt men bij zeer hoge temperaturen ook de vorming van scheuren vast in de interface tussen de granulaten en de cementsteen. Zoals hiervoor beschreven treden door de belangrijke temperatuurstijging verschillende transformaties op in de cementsteen die zorgen voor een afname van de cohesie.

De structuur van beton wijzigt op een uiterst complexe wijze in de loop van een brand (zie hiernavolgende tabel).

Het bulletin nr. 37 (april 2006) van het Dossier Cement gepubliceerd door FEBELCEM geeft over 2 pagina's in §5 een overzicht van de fysische en chemische verschijnselen van een beton onderworpen aan brand. De reststerkte van beton en staal wordt eveneens behandeld.

De nadelige effecten van de warmte, zoals hierna vermeld, treden over het algemeen enkel op in de buitenste laag met een dikte van 3 tot 5 cm.

Zelfs in beschadigde toestand werkt het beton nog als een isolerende laag, die de dragende kern van een doorsnede beschermt tegen het volle effect van de hoge temperaturen.

De veranderingen [55] die optreden in het beton bij "lage" temperaturen (< 300 °C) weerspiegelen vooral wijzigingen in de cementsteen, aangezien alle gebruikelijke granulaten stabiel blijven tot 350 °C. Wel werd aangetoond dat riviergrind van de Theems, reeds bij deze temperatuur uiteenspat en dit in tegenstelling tot het uitstekend gedrag van de andere granulaten.

Gedrag van cellenbeton

We wijzen nog op het gedrag van cellenbeton dat onder andere gebruikt wordt in het metselwerk van de ovens waarin brandwerende deuren beproefd worden !

Explosief afspatten van beton (« spalling »).

Dit fenomeen komt vooral voor bij balken in voorgespannen beton waar de thermische spanningen veroorzaakt door

dehydratatie gesuperponeerd worden op de zeer hoge spanningen in het beton, en waar het lijf van de balk ingeklemd zit in massievere flenzen. Door een constructie-element in te klemmen worden de vervormingen van dat element belemmerd en geblokkeerd. De analyse van de stabiliteit van een constructie-element dient rekening te houden met de superpositie van deze spanningen.

Om explosief afspatten van het beton te beletten, beperkt de Eurocode de drukspanning in beton door het verplicht maken van een minimale lijfdikte in functie van de gewenste brandweerstand (zie tabel §8.1.2.4). Deze verplichting is gericht op het vermijden van een brutale breuk van het balklijf.

Fysisch gedrag van betonelementen

Bijvoorbeeld, in het geval van een kolom blootgesteld aan brand [5] op de vier zijden raakt het oppervlak snel verhit en het beton wil uitzetten. Zijn uitzetting wordt verhinderd door de kern van de kolom die koud blijft. Op de kern wordt trekkracht uitgeoefend en op de buitenkant van de kolom druk.

De thermische spanningen komen boven op de spanningen die resulteren uit de uitgeoefende belastingen. Als gevolg hiervan wordt de buitenlaag van het beton, waarvan de weerstand afneemt met de temperatuurverhoging, onderworpen aan zeer hoge spanningen, die de bezwijkweerstand naderen. Deze spanningen, gecombineerd met de effecten van de dehydratatie en de uitzetting van de staven, verklaren de betonscherven die bij tests werden waargenomen.

Deze scherven komen het eerst voor bij het beton dat de wapeningen van de hoeken bedekt en daarna op de zijanten van de kolommen. Het afsplinteren veroorzaakt een vermindering van de doorsnede van het beton en een vergroting van de buiging, want de excentriciteit van de belasting wordt plaatselijk verhoogd. Wapeningen die niet langer bedekt zijn, verhitten bovendien sneller dan waar ze nog beschermd zijn door beton. Er wordt rekening gehouden met dit gedrag bij het nazicht van de structuurelementen door de Eurocodes.

Reactie van beton op blootstelling aan hoge temperaturen	
Temperatuur in het beton (°C)	Reactie van het beton
< 100	In dit temperatuursgebied vertoont beton enkel een uitzetting en ondervindt het normaal gezien geen beschadigingen.
> 100	Verlies van het vrij water ; het niet-chemisch gebonden water verdampt uit de capillaire poriën.
100 tot 800	Verlies van het chemisch gebonden water in het CSH.
> 300	De cementsteen krimpt inderdaad terwijl de granulaten uitzetten. Een langdurige opwarming in dit temperatuursgebied reduceert in belangrijke mate de treksterkte. De ontaarding van het beton begint.
400 tot 600	Het calciumhydroxide (Ca(OH)_2) ontbindt in CaO en water (H_2O). De waterdamp kan een lokale afschilfering van het beton veroorzaken.
ong. 575	Spontane transformatie van α -kwarts in β -kwarts die gepaard gaat met een volumetoename van het beton.
> 700	Transformatie van de kalksteen (CaCO_3) in calciumoxyde (CaO – ongebluste kalk) en koolstofdioxide (CO_2) begint.
1 150 - 1 200	Beton begint te smelten : eerst de cementsteen en vervolgens de granulaten.
1 300 - 1 400	Verbinding van de kalk met SiO_2 en Al_2O_3 . Het beton ziet eruit als een gesmolten massa.

7.2. Mechanische en thermische karakteristieken van beton en staal

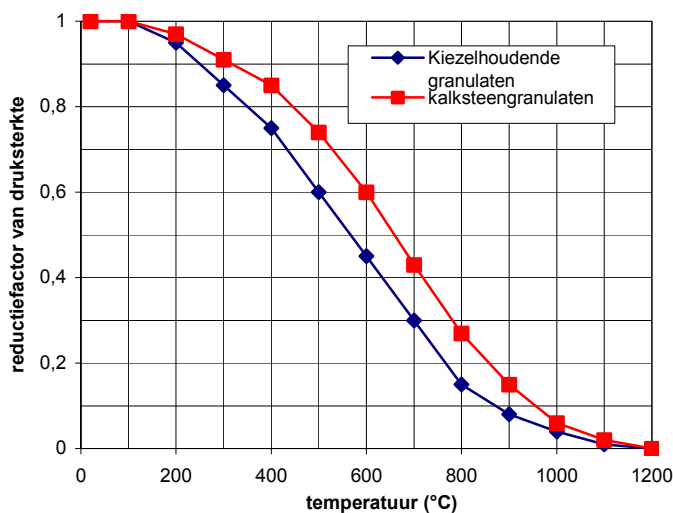
Voor het nazicht van de brandweerstand van betonelementen dient men het thermisch en mechanisch gedrag van beton en staal te kennen. Deze eigenschappen zoals hierna vermeld, zijn ontleend aan het deel 1-2 van Eurocode 2 of NBN EN 1992-1-2:2005 [107]. Deze norm zal in België niet vroeger dan in 2007 van toepassing zijn, namelijk bij het verschijnen van de ANB. In afwachting is strikt genomen NBN ENV 1992-1-2 [113] van toepassing samen met het bijhorende NTD. In werkelijkheid worden de gegevens van de EN reeds gebruikt voor specifieke aspecten zoals hogesterktebeton (HSB) (voor de overgangperiode zie §3.1.2 dat betrekking heeft op de Eurocodes).

Bij toepassing van de vereenvoudigde rekenmethodes wordt enkel gebruik gemaakt van de sterkte-eigenschappen.

Bij toepassing van de geavanceerde rekenmethodes wordt ook gebruik gemaakt van de thermische en vervormingseigenschappen. In dit verband dient men te beschikken over spanningsvervormingsdiagrammen.

7.2.1. Normaal beton

Druksterkte van normaal beton (tot C50/60)



Figuur : Evolutie van de reductiefactor van de druksterkte in functie van de temperatuur θ en het type granulaten volgens NBN EN 1992-1-2:2005

In het deel brand van EC2, wordt duidelijk gesteld dat :

Een beton dat minstens 80 % (in massa) kalksteengranulaten bevat, wordt in dit kader beschouwd als een beton met kalksteengranulaten.

Bij gebruik van getabelleerde waarden (zie verder) is voor beton met een normaal volumemassa geen nazicht vereist voor wat afsputten betreft.

Indien de afstand van de as van de wapening tot het oppervlak groter of gelijk is aan 70 mm, moet een 'huidwapening' worden voorzien om te verhinderen dat brokstukken neervallen. De

maatwijdte van dat net moet kleiner zijn dan 100×100 mm, de staafdiameter is minstens 4 mm.

Worden andere rekenmethoden toegepast, dan moet wel rekening worden gehouden met het fenomeen van afsputten. Explosief spatten van beton is onwaarschijnlijk indien het watergehalte van het beton kleiner is dan k % (in totale massa beton). Boven de k % is het nodig om meer in detail de invloed van het vochtgehalte, het granulaattype, de doorlatendheid van het beton en de opwarmingssnelheid te bestuderen.

In ieder land dat lid is van CEN (Europees Normalisatie Comité) wordt de waarde van k vastgelegd in de Nationale Bijlage. In het Belgische ontwerp van ANB wordt de waarde $k=3$, die aanbevolen wordt op Europees niveau, normatief gemaakt.

Men mag aannemen dat wanneer betonelementen ontworpen worden voor binnentoepassingen (omgevingsklasse EI, cfr. NBN B 15-001 [117]), het vochtgehalte lager is dan k % (in massa van beton) met $2,5 \% < k < 3 \%$.

Het is belangrijk op te merken dat "explosief spatten" niet mag verward worden met minder belangrijke beschadigingen zoals afschilfering, spatten ter plaatse van granulaten of afspringen van hoeken.

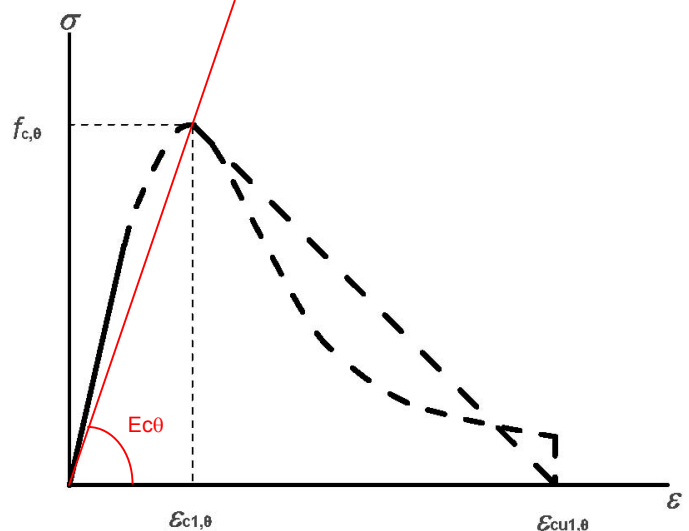
Vervorming van beton

Het spanningsvervormingsdiagram zoals voorgesteld in de volgende figuur wordt gekenmerkt door drie parameters :

- de druksterkte $f_{c,\theta}$;
- de vervorming $\epsilon_{c1,\theta}$ overeenstemmend met $f_{c,\theta}$;
- de vervorming $\epsilon_{cu1,\theta}$ die de grens van de dalende tak bepaalt.

met,

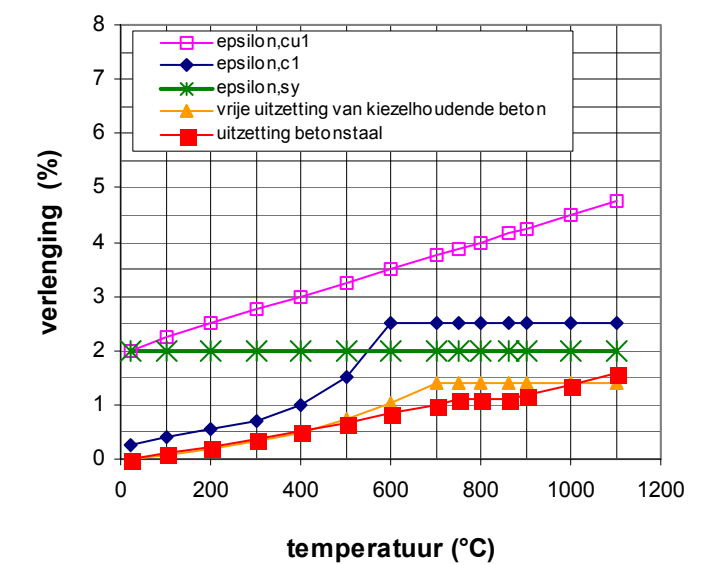
θ de beschouwde temperatuur.



Figuur : Wiskundig model van het verband spanning-vervorming voor beton onderworpen aan druk bij hoge temperaturen. Teneinde numerieke stabiliteitsproblemen te vermijden, is het aangewezen een dalende tak aan te nemen. Zowel lineaire als niet-lineaire modellen zijn toegelaten. [107]

Verhinderde vervormingen veroorzaken geen breuk van het beton of het staal. De vrije uitzetting van een beton met kiezelhoudende granulaten is immers kleiner dan $\epsilon_{c1,\theta}$. Analoo

is de vrije uitzetting van betonstaal kleiner dan $\epsilon_{sy,0}$, zoals aangetoond in de volgende figuur. ϵ_{sy} is gedefinieerd in §7.2.5.

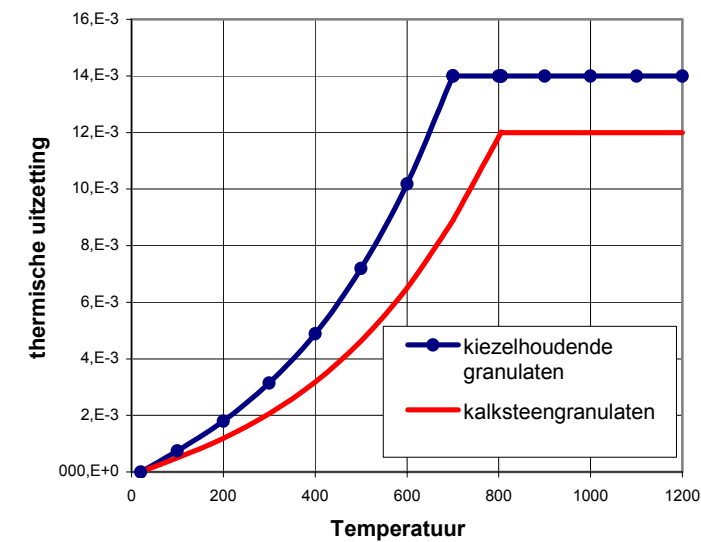


Figuur : Evolutie van de verlenging van staal en beton in functie van de temperatuur (bron FEBELCEM)

De plastificatie van beton is het fundamenteel verschijnsel waardoor beton in staat is om de zeer hoge drukspanningen op te nemen die ontstaan wanneer de betonhuid opgewarmd wordt en tevens in beton waarvan de vervorming verhinderd is.

Thermische uitzetting van beton

De thermische uitzetting $\epsilon_c(\theta)$ van beton in functie van de temperatuur is weergegeven in de volgende figuur :

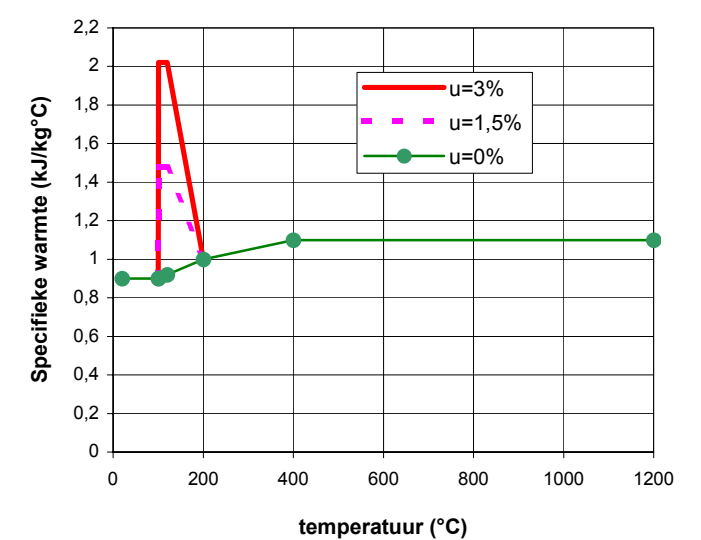


Figuur : Thermische uitzetting van beton in functie van de temperatuur [107]

Specifieke warmte van beton

De evolutie van de specifieke warmte $c_p(\theta)$ van beton in functie van de temperatuur en het vochtgehalte is voorgesteld in de volgende figuur.

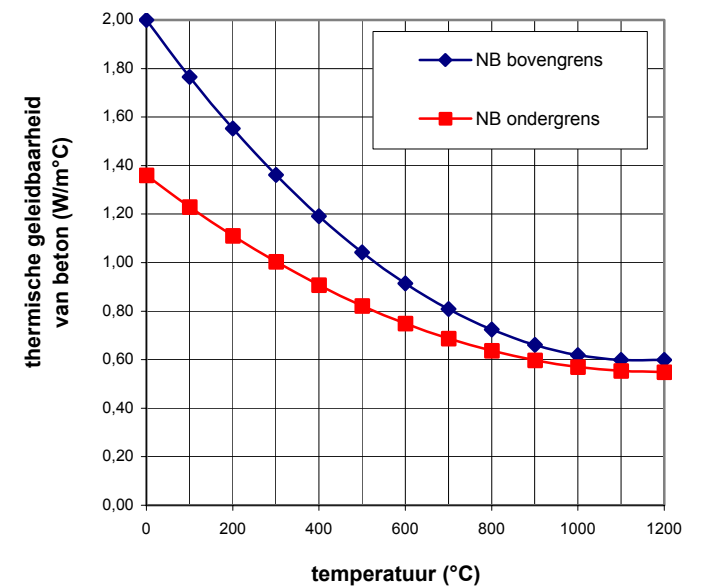
De piek die optreedt tussen 100 en 200 °C stemt overeen met de warmte die nodig is om het water in het beton te verdampen.



Figuur : Specifieke warmte van beton, $c_p(\theta)$, in functie van de temperatuur voor 3 verschillende vochtgehalten u : 0 %, 1,5 % en 3 % van de betonmassa [107]

Thermische geleidbaarheid van beton

De thermische geleidbaarheid van beton λ_c in functie van de temperatuur is weergegeven in de volgende figuur.



Figuur : Boven- en ondergrens voor de evolutie van de thermische geleidbaarheid voor het normaal beton (NB) in functie van de temperatuur [107]

De waarde van de thermische geleidbaarheid, begrepen tussen beide grenskrommen, zal vastgelegd worden in de Nationale Bijlage.

De ondergrens van de thermische geleidbaarheid werd bekomen op basis van vergelijkingen met temperaturen opgemeten tijdens brandproeven op verschillende types betonelementen.

Deze ondergrens leidt tot realistischere temperaturen in betonconstructies dan de bovengrens die eigenlijk bepaald werd uitgaande van proeven op gemengde staal-betonconstructies.

De curven voor de thermische geleidbaarheid opgenomen in ENV 1992-1-2 laten zien dat bij 200 °C de thermische

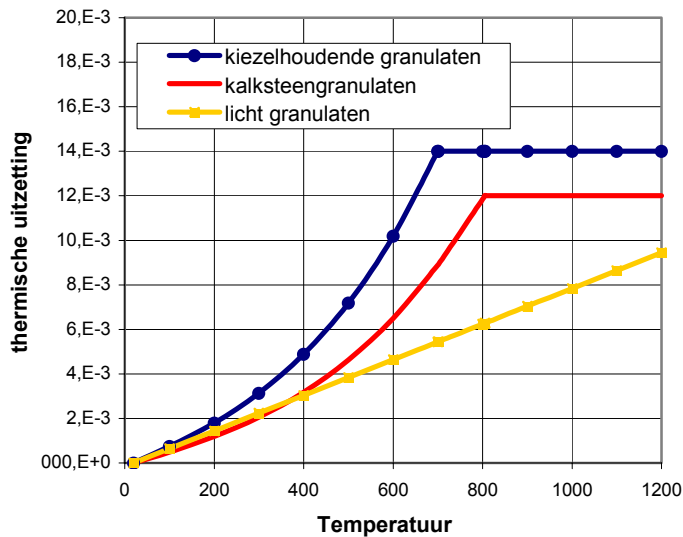
geleidbaarheid van kalksteenbeton 20 % kleiner is dan deze van beton met kiezelhoudende granulaten.

7.2.2. Licht beton

Eigenschappen van beton met lichte granulaten zijn niet opgenomen in NBN EN 1992-1-2. De volgende gegevens zijn ontleend aan NBN ENV 1992-1-2 [113].

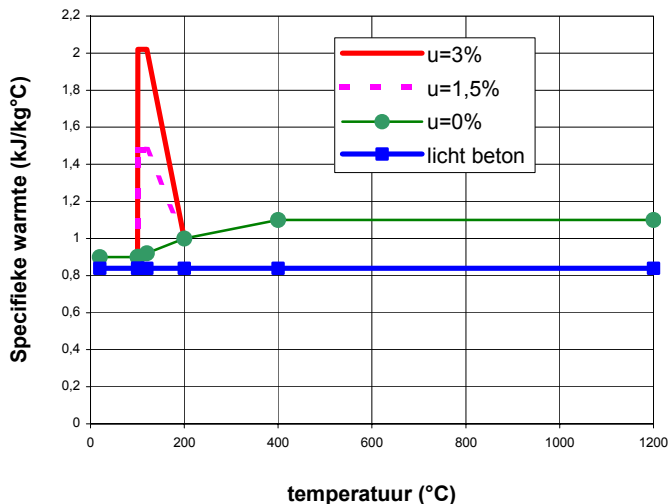
Thermische uitzetting van licht beton

De thermische uitzetting $\epsilon_c(\theta)$ van licht beton is weergegeven in de volgende figuur [113] :



Specifieke warmte van licht beton

De evolutie van de specifieke warmte $c_p(\theta)$ van licht beton in functie van de temperatuur en het vochtgehalte is weergegeven in de volgende figuur :

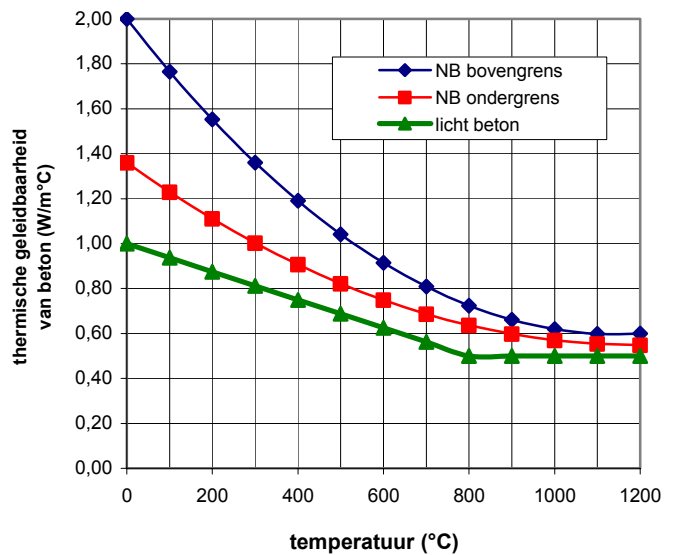


De bovenste curve geldt voor normaal beton [107]

De onderste curve geldt voor licht beton [113]

Thermische geleidbaarheid van licht beton

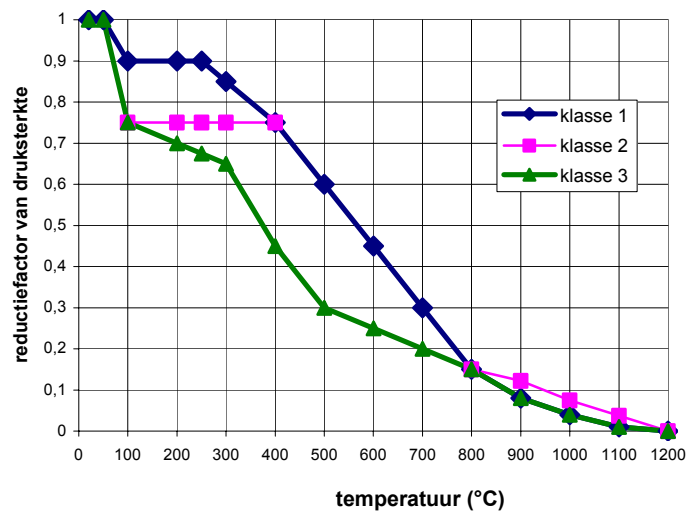
De evolutie van de thermische geleidbaarheid λ_c van licht beton in functie van de temperatuur is weergegeven in de volgende figuur [113] :



Figuur : thermische geleidbaarheid λ_c voor normaal beton (NB) [107] en voor licht beton [113] in functie van de temperatuur

7.2.3. Hogesterktebeton

De invoering van hogesterktebeton (HSB) is een nieuwigheid in EC2 en dit zowel voor het "koud" gedeelte als het "warm" gedeelte.



Figuur : Vermindering van de druksterkte van het hogesterktebeton volgens het deel "Brand" van EC2 [107] (de klassen zijn functie van de sterkte)

De klassen vermeld in het brandgedeelte van EC2 worden als volgt ingedeeld :

- klasse 1 voor C55/67 en C60/75 ;
- klasse 2 voor C70/85 en C80/95 ;
- klasse 3 voor C90/105.

Het is nodig na te gaan of het beton niet te sterk is, t.t.z. dat zijn **werkelijke sterkte** niet te hoog is ten opzichte van de voorziene sterkte. De eigenlijke sterktewinst compenseert immers de sterkteafname niet te wijten aan de verminderde doorlatendheid van het beton. Wanneer de werkelijke karakteristieke druksterkte vermoedelijk een klasse hoger is dan deze aangenomen in de berekeningen, moet gerekend worden met de reductiefactor die van toepassing is voor de hogere sterkteklasse.

De **thermische karakteristieken** die vermeld werden voor normaal beton kunnen ook toegepast worden voor hogesterktebeton.

Het gedeelte brand van Eurocode 2 bevat eveneens aanduidingen voor het nemen van speciale maatregelen met betrekking tot explosief spatten :

Voor de betonklassen C55/67 tot C80/95, volstaan de eerder vermelde regels voor normaal beton over het spatten in zoverre het gehalte silica fume lager blijft dan 6 % van de cementmassa. Voor hogere gehalten silica fume zijn de regels voor de betonklassen C met $80/95 < C \leq 90/105$ van toepassing.

Voor de betonklassen $80/95 < C \leq 90/105$ kan explosief spatten in alle situaties optreden wanneer het beton blootgesteld is aan brand. Tenminste één van de volgende maatregelen moet toegepast worden :

Methode A : een wapeningsnet aanbrengen met een nominale betondekking van 15 mm. De draden van het net hebben een diameter van tenminste 2 mm en de mazen zijn hoogstens 50 mm x 50 mm. De nominale betondekking van de hoofdwapening moet minstens gelijk zijn aan 40 mm.

NOTA : We raden deze methode af omdat het moeilijk is een dergelijk net op zijn plaats te houden bij het betonstorten. Het net kan zich dan dicht tegen het oppervlak bevinden in de 20 mm dikke randlaag met de bijhorende risico's ten aanzien van carbonatie. De voorgeschreven nominale betondekking is kleiner dan deze vereist volgens EN 1992-1-1 voor alle milieuklassen.

Methode B : een betontype gebruiken waarvoor aangetoond is (door lokale ervaring of door proeven) dat er geen spatgevaar is bij blootstelling aan brand.

Methode C : bekledingen gebruiken waarvoor aangetoond is dat er geen spatgevaar is bij blootstelling aan brand.

Methode D : een beton gebruiken dat minstens 2 kg monofilament polypropyleenvezels bevat per m³.

Deze laatste methode wordt aanbevolen indien methodes B en C niet kunnen ingeroepen worden.

7.2.4. Zelfverdichtend beton

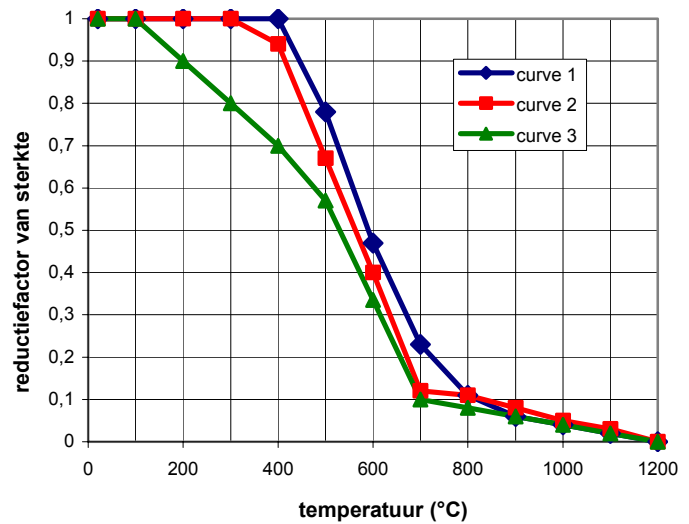
Dit beton kan tewerkgesteld worden zonder verdichting. Voor nadere details omtrent de technologie van zelfverdichtend beton verwijzen we naar Cementbulletin nr. 36 [59] dat specifiek over dit onderwerp handelt.

Het beperkt aantal beschikbare proefresultaten toont aan dat de afname van de druksterkte en het spatgedrag niet significant verschillend zijn ten opzichte van normaal verdicht beton met vergelijkbare samenstelling. Op basis van proeven werd in Frankrijk het gebruik van zelfverdichtend beton toegelaten.

7.2.5. Staal

Sterkte van betonstaal

De reductiefactor van de karakteristieke sterkte van betonstaal in functie van de temperatuur θ is weergegeven in de volgende figuur. Deze factor is afhankelijk van het staaltype (warmgewalst of koudgetrokken) en van de beschouwde staalrek :



Figuur : reductiefactor $k_s(\theta)$ voor de karakteristieke sterkte (f_{yk}) van getrokken of gedrukte wapening (aanbevolen klasse N) [107]

Legende :

Curve 1 : getrokken wapening (warmgewalst) met rekken $\geq 2\%$;

Curve 2 : getrokken wapening (koudgevormd) met rekken $\geq 2\%$

Curve 3 : getrokken of gedrukte wapening met rekken $< 2\%$.

Dit onderscheid tussen de curven komt voort uit het feit dat de experimentele resultaten aantonen dat de vervormbaarheidstrap van staal verdwijnt bij verhitting, en dus hangt de factor $k_s(\theta)$ af van de rek van de breuk.

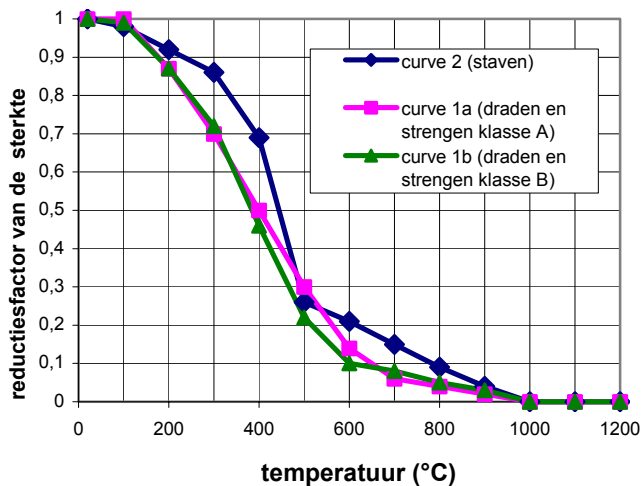
Curve 1 is dezelfde als die in de NBN ENV 1993-1-2 [112] voor de berekening van balken in een stalen geraamte.

Waarom wordt de vervorming voor de gedrukte wapening beperkt (curve 3)?

Bij kolommen of in steunpuntszones van doorlopende liggers, de wapening gelegen zijn in zones met hoge temperaturen waar het beton grotere vervormingen kan ondergaan dan de 0,2 % elastische vervorming van het staal. De vervorming beperkend door het gebruik van curve 3 wordt het risico op vroegtijdig uitknikken van de wapening tussen de beugels beperkt zodat de compatibiliteit van de staal- en betonvervormingen gegarandeerd is.

Sterkte van voorspanstaal

Bij voorspanstaal gaat de sterkteafname veel vlugger dan bij betonstaal. Dit verklaart ondermeer de grotere vereiste betondekking bij toepassing van de getabelleerde waarden ten opzichte van deze geldig voor betonstaal : 10 mm voor voorspanstaven en 15 mm voor strengen.



Figuur : Reductiefactor $k_p(\theta)$ van de karakteristieke sterkte ($\beta_{f_{pk}}$) van voorspanstaal [107]

Legende :

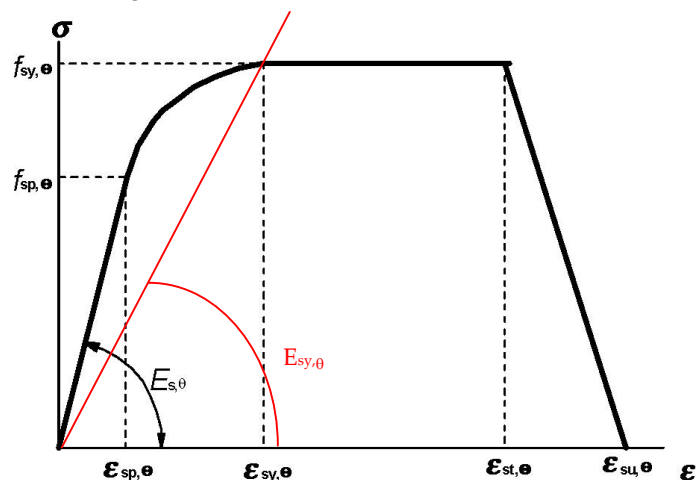
Curve 1a: koudgetrokken voorspanstaal (draden en strengen), klasse A ;

Curve 1b: koudgetrokken voorspanstaal (draden en strengen), klasse B ;

Curve 2: afgeschrikt en ontlaad voorspanstaal (staven).

Deze klassen hebben betrekking op de veiligheid. Ieder land kan aldus een keuze maken: het veiligheidsniveau is immers een nationale bevoegdheid.

Vervorming van staal



Figuur : Het spanningsvervormingsdiagram is gedefinieerd door 3 parameters : [107]

- de helling van de lineair-elastische tak $E_{s,\theta}$;

- de proportionaliteitsgrens $f_{sp,\theta}$;

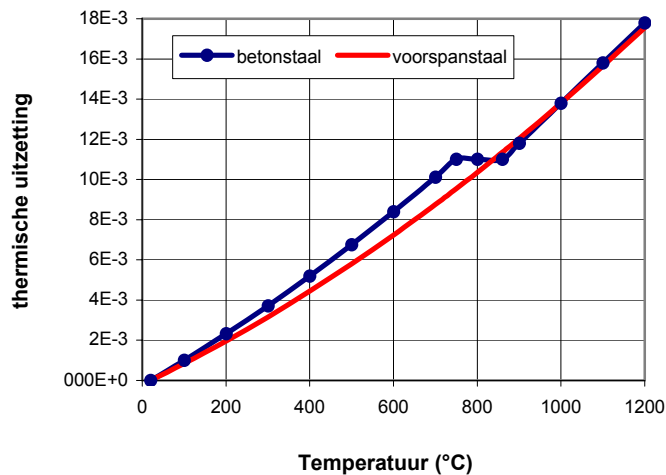
- de maximale spanning $f_{sy,\theta}$.

$\varepsilon_{sy,\theta} = 2\%$, $\varepsilon_{st,\theta} = 5\%$ et $\varepsilon_{su,\theta} = 10\%$

Het diagram kan eveneens toegepast worden voor betonstaal onderworpen aan druk.

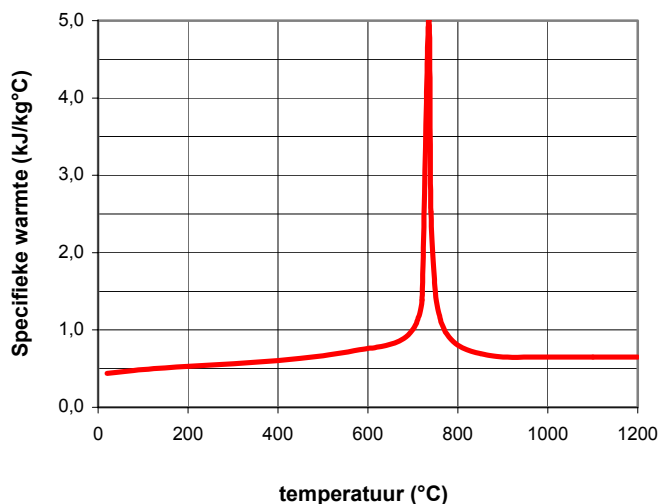
Thermische uitzetting van staal

De evolutie van de thermische uitzetting $\varepsilon_s(\theta)$ in functie van de temperatuur is weergegeven in de volgende figuur [107]:



Specifieke warmte van staal

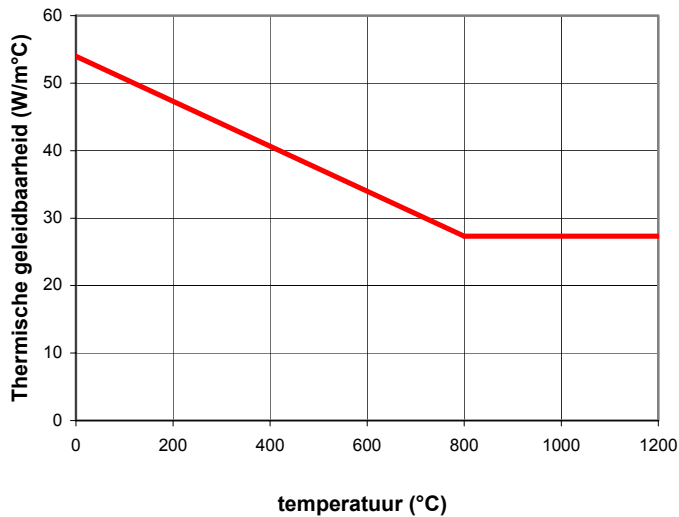
De thermische eigenschappen van staal zijn niet vastgelegd in Eurocode 2. Deze kennis is over het algemeen niet nodig, tenzij het wapeningspercentage belangrijk is. Men kan dan beroep doen op de waarden vermeld in Eurocode 3 [112].



Figuur : Specifieke warmte van koolstofstaal in functie van de temperatuur [112]

Thermische geleidbaarheid van staal

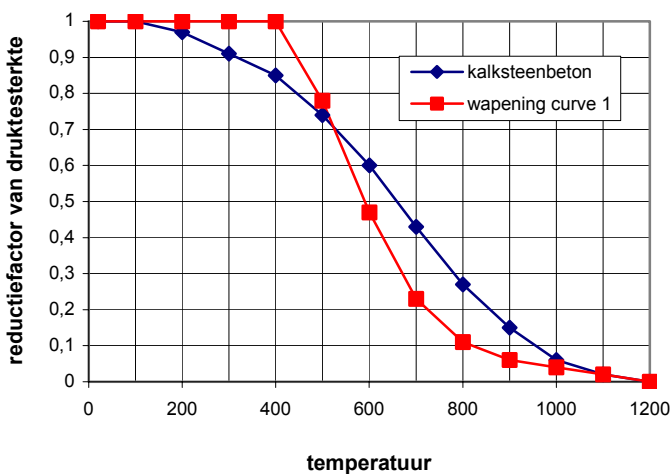
De evolutie van de thermische geleidbaarheid λ_s van staal in functie van de temperatuur is weergegeven in de volgende figuur :



Figuur : Thermische geleidbaarheid van koolstofstaal in functie van de temperatuur [112]

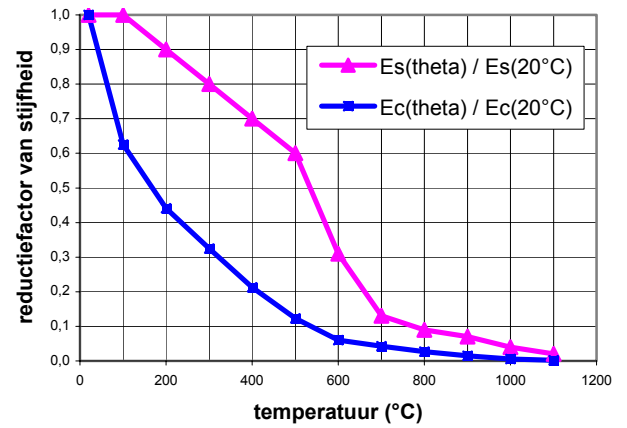
7.2.6. Vergelijking van de mechanische karakteristieken van de materialen staal en beton

De sterkteafnames van beton en staal zijn hieronder uitgezet in eenzelfde grafiek. Voor het staal werd curve 1 (staalvervorming groter dan 2 %) gekozen.



(volgens het deel "Brand" van EC2 [107])

De stijfheidsafnames van beton en staal zijn hierna samengebracht in dezelfde grafiek :



$E_{s,\theta} / E_s(20^\circ\text{C})$ zie §7.2.5

$E_{c,\theta} / E_c(20^\circ\text{C})$ zie §7.2.1

(bron FEBELCEM)

Uit de voorgaande grafiek blijkt dat de stijfheidsafname sterker uitgesproken is voor beton dan voor staal. Hierdoor kan beton, zoals reeds eerder vermeld, krachten tengevolge van vervormingsverhinderend relatief gemakkelijk opvangen. Deze vervormingsverhinderend ontstaat door de verbinding met de naburige constructie-elementen die zich deels verzetten tegen de thermische uitzetting en rotaties.

Deze belangrijke afname van de elasticiteitsmodulus van beton bij hoge temperatuur beïnvloedt de stijfheid van betonelementen onderworpen aan druk relatief weinig, vermits enkel de eerste centimeters onder het oppervlak worden aangetast. .

Staal daarentegen heeft een thermische diffusiviteit die 25 maal hoger is dan deze van beton. Dit gecombineerd met de zeer lage massiviteit van staalprofielen beïnvloedt in grote mate het knikgedrag van stalen elementen.

8. Berekening van de bescherming en het risico

8.1. Nazicht van de brandweerstand : berekening

8.1.1. Drie methodes, drie niveau's

Het is belangrijk dat architecten en voorschrijvers het onderscheid kunnen maken tussen de drie beschikbare methodes, die elk met een berekeningsniveau overeenstemmen. Enkel op methode 1 zal nader ingegaan worden. Deze methode is zeer doelgericht en eenvoudig van toepassing voor betonconstructies. Voor de andere methodes wordt verwezen naar tijdschriften [37] of rechtstreeks naar NBN EN 1992-1-2 [107]

In het deel brand van de verschillende Eurocodes, worden drie types rekenmodellen vermeld voor de berekening van de brandweerstand van constructies [37]. Op federaal niveau werd reeds een tekst opgesteld betreffende de aanvaarding van rekennota's opgesteld volgens de verschillende methodes, door de bevoegde autoriteiten. Deze tekst zal het onderwerp zijn van een koninklijk besluit [52]. Hierna volgen de 3 methodes in stijgende orde van complexiteit :

Niveau 1 : nazicht op basis van getabelleerde waarden

Het gebruik van deze methode valt onder de verantwoordelijkheid van het studiebureau, met toezicht van de gemeente die op haar beurt beroep doet op het advies van de brandweerdiensten.

Het deel 1-2 van Eurocode 2 laat toe een nazicht uit te voeren van balken, kolommen, wanden en platen in gewapend of voorgespannen beton en dit voor een ISO-brand. Deze norm is gebaseerd op tabellen (tabulated data) waarin minimale afmetingen van de dwarsdoorsnede en van de asafstand (axis distance) van de wapening tot het dichtste betonoppervlak, zijn opgenomen. De waarden opgenomen in deze tabellen werden hetzij berekend na kalibratie van de materiaalkarakteristieken en de rekenmethodes, hetzij afgeleid van empirische formules gekalibreerd vertrekkende van proefresultaten.

Deel 1-2 van de Eurocode metselwerk, geeft de minimum dikte voor wanden in functie van het type blokken dat gebruikt wordt.

Het opnemen van de belastingsgraad als parameter in sommige tabellen voor wanden en kolommen van gewapend of voorgespannen beton, laat toe de resultaten te verfijnen.

Dit type nazicht wordt beschouwd als zijnde even toegankelijk als een berekening bij normale temperatuur.

De methode van niveau 1 laat een **direct nazicht** toe van betonbalken en -platen. In het kader van een voorontwerp kan men als conservatieve benadering de belastingsgraad gelijk stellen aan 0,7 en men bekomt dan **rechtstreeks de minimum afmetingen** van de dwarsdoorsnede van kolommen of de dikte van muren.

De methodes van niveau 2 en 3 laten toe de resultaten te verfijnen en eventueel de structurele reserves tengevolge van hyperstaticiteit in rekening te brengen zoals bijvoorbeeld de continuïteit van de bovenwapening ter plaatse van tussensteunpunten en de gunstige membraaneffecten in monolitische betonplaten.

De ontwerpers van staalconstructies en van gemengde staal-betonconstructies baten deze laatste aspecten maximaal uit bij het aantonen van de brandweerstand van dergelijke constructies.

Niveau 2 : vereenvoudigde rekenmethodes

Het gebruik van deze methode valt eveneens onder de verantwoordelijkheid van het studiebureau, met toezicht van de gemeente die op haar beurt steunt op advies van de brandweerdiensten en op basis van conformiteitsattestering :

- ofwel is het studiebureau gecertificeerd door een certificatie-organisme geaccrediteerd door BELAC (EN 45013) en attesteert het zelf de conformiteit van zijn rekennota's.
- ofwel is het studiebureau niet gecertificeerd en moet de conformiteit geattesteerd worden door een certificatie-organisme geaccrediteerd door BELAC (EN 45004).

Bij een meer gedetailleerde berekening op niveau 2 wordt dezelfde werkwijze gebruikt als voor het ontwerp bij normale temperatuur. Bijkomend moet het sterkteverlies van het beton en staal in functie van de temperatuur ingevoerd worden. De betreffende temperaturen worden voor een ISO-brand bepaald aan de hand van grafieken of door middel van een rekenprogramma voor de thermische analyse van een dwarsdoorsnede. Indien de rekenwaarde van de weerstandbiedende snedekrachten minstens gelijk is aan die van de aangrijpende snedekrachten zal het constructie-element een brandweerstand hebben die minstens gelijk is aan de vereiste waarde.

In de hiernavolgende tabel zijn de veiligheidscoëfficiënten voor de materialen staal en beton opgenomen :

	Koude toestand	Warme toestand
Beton	1,76(*)	1
Betonstaal	1,15	1
Constructiestaal	1,1(**)	1

Veiligheidscoëfficiënten voor de materialen

() 1,76 = 1,5 / 0,85*

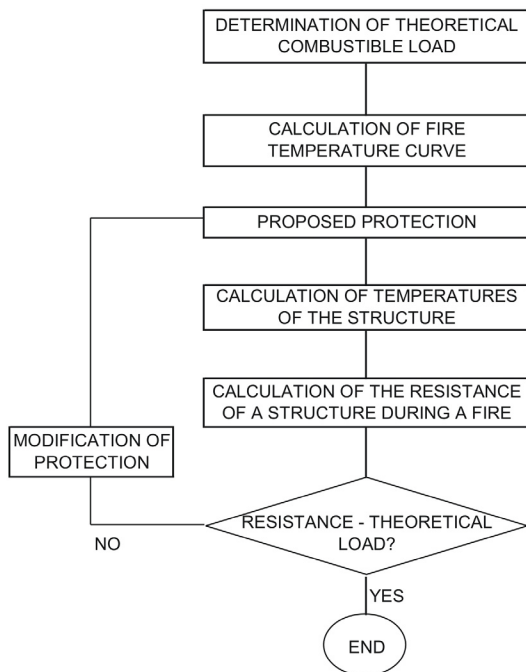
*(**) volgens ENV 1993-1-1 [116]*

Een doorgedreven berekening van een metaalconstructie door in sterke mate gebruik te maken van FSE leidt tot een beperkte veiligheid zonder enige reserve. Een betonconstructie daarentegen heeft meestal en dit zonder bijkomende kosten, een grote veiligheidsreserve die de minimum opgelegde eisen overstijgt.

Dit type berekening vereist een grondige kennis van FSE, die beschikbaar is in studie bureaus waarvan de rekennota's moeten gecertificeerd worden.

Niveau 3 : geavanceerde rekenmodellen

De rekennota's die beroep doen op geavanceerde modellen worden door de afwijkingscommissie van de FOD Binnenlandse Zaken slechts geval per geval goedgekeurd.



Figuur : Rekenmethode voor de bepaling van de theoretische brandweerstand [57]

Voor de toepassing van deze geavanceerde rekenmethodes is het gebruik van gesofisticeerde rekenprogramma's noodzakelijk waarvoor echter een grondige achtergrondkennis vereist is. Deze modellen laten ook toe een thermische analyse uit te voeren van elementen onderworpen aan een natuurlijke brand. De thermische belasting kan gekoppeld worden aan een mechanische analyse van de volledige constructie door gebruik te maken van de eindige elementenmethode. Hierbij moeten grote verplaatsingen beschouwd worden teneinde tweede orde effecten op een realistische manier in rekening te brengen. Hiervoor kan ondermeer de software SAFIR van de Universiteit van Luik gebruikt worden.

Bij de eerste twee methodes wordt beroep gedaan op de ISO opwarmingscurve. Enkel de methode van niveau 3 laat toe andere opwarmingsvoorwaarden in rekening te brengen. Daarenboven moet rekening gehouden worden met de detailleringsregels zoals vermeld in de Eurocodes.

8.1.2. Methode met getabelleerde waarden (niveau 1)

De getabelleerde waarden van EN 1992-1-2 zijn gegeven voor kolommen, balken, platen en dragende en niet-dragende wanden.

De methode is gebaseerd op het gebruik van kiezelhoudende granulaten, hetgeen een conservatieve hypothese is.

8.1.2.1. Toepassingsgebied

- De EC 2 brand is van toepassing op beton met een normale volumemassa tot C90/105 en op licht beton tot LC55/60.
- De tabellen gaan tot genormaliseerde brandweerstanden van 240 minuten ;
- De waarden gegeven in de tabellen zijn van toepassing op beton met een volumemassa begrepen tussen 2000 en 2600 kg/m³ en met kiezelhoudende granulaten ;
- In het geval van kalksteengranulaten mogen de minimale dwarsafmetingen gereduceerd worden met 10 % behalve voor kolommen en de dragende wanden;
- Bij het gebruik van deze methode moet geen bijkomend nazicht gebeuren van wringing, dwarskracht, verankering van de wapening en explosief spatten (wel moet de regel betreffende de "huidwapening" gerespecteerd worden: zie §7.2.1). We merken op dat dwarskrachtbreuken bij brand zeer zeldzaam zijn ;
- Bij het gebruik van HSB (sterkteklassen hoger dan C50/60) moet er op gelet worden dat het gebruik van de tabellen onderworpen is aan de toepassing van bijkomende regels.

8.1.2.2. Gebruik van de tabellen

In de tabellen vindt men aanduidingen terug van de vorm 200/35 en dit in functie van de vereiste brandweerstand en eventueel van de betreffende belastingsgraad. Het eerste getal geeft de minimaal vereiste dwarsdoorsnede van het element (b_{min}). Het tweede getal is de minimaal vereiste waarde van "a", de afstand tussen de as van de langswapening en het dichtst bijzijnde betonoppervlak.

Verschillende combinaties van minimale afmeting en asafstand worden voorgesteld. Een doorsnede met een grotere afmeting kan overeenkomen met een geringere dekking en omgekeerd. In een massievere doorsnede kan de warmte immers overgedragen worden naar de kern van de doorsnede in plaats van zich op te stapelen in de perifere zone, waar de wapeningen liggen.

De asafstand "a" is een nominale waarde. De nominale betondekking is dus gelijk aan

$a - \Phi/2$ (met Φ de staafdiameter) - de diameter van de eventuele beugel.

De betondekking die op de plannen aangeduid staat is een nominale waarde en komt overeen met de hoogte van de afstandhouders. Ze is de som van de minimum dekking en de tolerantietoeslag (typisch 10 mm voor ter plaatse gestort beton en 5 mm voor beton geprefabriceerd in een fabriek). Er mag 5 mm afgetrokken worden voor hogesterktebeton en voor platen (zie NBN EN 1992-1-1 [100]). De minimum betondekking is gerelateerd aan de omgevingsklassen (cfr. NBN B 15-001 [117] of

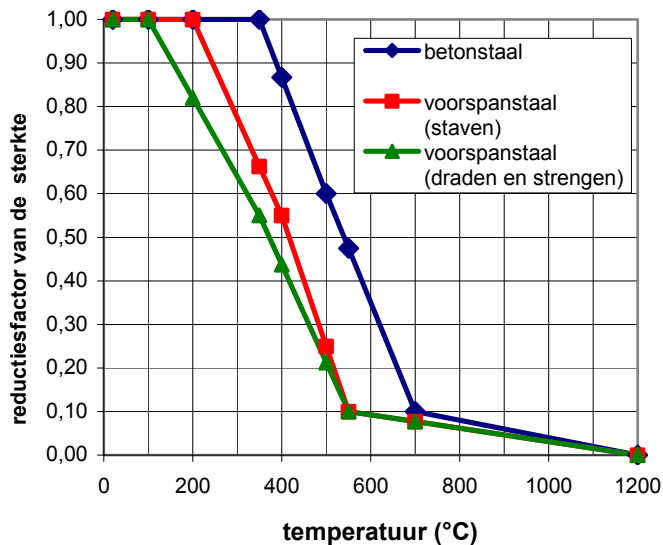
ook het boek « Betontechnologie » gepubliceerd door het BBG [70]).

Voor elk type structurelement vermeldt de norm de toepassingsvoorwaarden van de tabellen.

8.1.2.3. Asafstand

- In het geval van **meerdere wapeningslagen** (zoals in balken) wordt "a" vervangen door "a_m" corresponderend met de afstand tussen het zwaartepunt van de langswaapening en het dichtstbijzijnde betonoppervlak. Iedere staaf moet echter ook voldoen aan een minimum waarde voor "a" ;
- In het geval van balken met één wapeningslaag, moet de waarde "a" voor **hoekstaven** verhoogd worden met 10 mm ten opzichte van de waarden vermeld in de tabellen ;
- De tabellen zijn gebaseerd op een **"kritieke" staaltemperatuur** : 500 °C voor betonstaal, 400 °C voor voorspanstaven en 350 °C voor voerspandraden en –strengen. Dit verschil in kritieke temperatuur kan vertaald worden in een vermeerdering van de betondekking in het geval van voorspanning

De reductiefactor van de karakteristieke sterkte van beton- en voorspanstaal in functie van de kritieke temperatuur θ_{cr} , voor gebruik met de tabellen, wordt bepaald volgens de referentiecurven weergegeven in de onderstaande figuur [107]. Deze curven wijken enigszins af van deze opgenomen in §7.2.5 (Omdat ze afgeleid zijn van proeven die aan de hand van andere procedures zijn gerealiseerd).



Wat is de achtergrond van het begrip "kritieke temperatuur" ?

Voor een belastingsgraad van 0,7 in de brandsituatie (zie hoger in het deel mechanische belastingen §6.1), de andere factoren gelijkblijvend, zal het staal slechts onderworpen worden aan 70 % van de toelaatbare waarde bij omgevingstemperatuur (koude toestand).

Bij hoge temperaturen werkt het staal aan een spanning die 1,15 maal groter is dan in koude toestand. Dit volgt uit de verschillende veiligheidscoëfficiënten : 1,15 in koude toestand en 1,00 in warme toestand.

Opdat het staal de belasting zou kunnen opnemen, wordt de fractie van de residuele sterkte die nodig is in warme toestand

gegeven door de verhouding van de belastingsgraad in warme toestand tot de veiligheidscoëfficiënt van het staal in koude toestand :

$$k_{s, \text{nodig}} = \eta_{ii} / (\gamma_s / \gamma_{s, ii}) = 0,7 / (1,15 / 1,0) = 0,609.$$

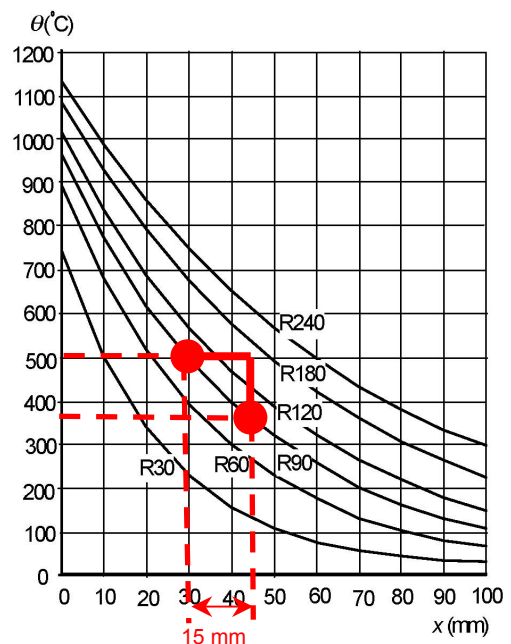
Eenvoudig gesteld komt deze waarde overeen met een temperatuur van 500 °C volgens de curve voor betonstaal zoals hiervoor vermeld.

Dezelfde waarde komt overeen met een temperatuur van 400 °C volgens curve "2" voor voorspanstaven. Volgens curve "3", geldig voor voorspanstrengen en –draden, komt de vermelde waarde overeen met een temperatuur van 350 °C.

- Dezelfde tabellen kunnen ook gebruikt worden voor voorspanstaal door de asafstand "a" te vermeerderen met
 - 10 mm voor voorspanstaven
 - 15 mm voor voerspandraden en –strengen.

Hoe kan deze toename verklaard worden ?

De onderstaande grafiek, ontleend aan EC2, geeft de temperatuursverdeling voor een ééndimensionale warmteflux zoals die voorkomt in platen. Dezelfde curven worden toegepast voor holle vloerplaten, ook meer courant welfsels genoemd.



Legende : x is de afstand gemeten vanaf het blootgesteld oppervlak

Figuur : Temperatuursverdeling in platen (dikte h = 200 mm) voor R60 tot R240 (bron [107])

De temperatuur in een punt op 30 mm van het oppervlak bedraagt na 90 minuten blootstelling 500 °C. Op hetzelfde tijdstip bedraagt de temperatuur in een punt dat 15 mm dieper gelegen is, hetzij op 45 mm, dan 350 °C.

Om dus de nominale asafstand "a" te bekomen voor voorspanstrengen, volstaat het om de waarden gegeven voor betonstaal, te vermeerderen met 15 mm.

Aanpassing van de asafstand : wanneer voor balken en platen de geplaatste wapeningsdoorsnede groter is dan de berekende waarde in koude toestand en voor een belastingsgraad η_{ii} , voorziet EC2 een eenvoudige werkwijze op

basis van de kritieke temperatuur. Voor gespannen en eenvoudig opgelegde elementen onderworpen aan buiging, kan aldus de asafstand gegeven in de tabellen, verminderd worden. Bij het ontwikkelen van de vergelijkingen die voorgesteld zijn in de EC, kan de asafstand "a" van de langswapening en het betonoppervlak bekomen door tabellen kan verminderd worden door aftrekking van de waarde Δa zoals hieronder gedefinieerd:

1. Voor betonstaal :

$$\Delta a = 24 \cdot (1 - \zeta) \text{ (mm)} \leq 20 \text{ mm}$$

2. Voor voorspanstaal :

- Staven

$$\Delta a = 18 \cdot (1 - \zeta) \text{ (mm)} \leq 15 \text{ mm},$$

- Draden en (hechtende) strengen

$$\Delta a = 24 \cdot (1 - \zeta) \text{ (mm)} \leq 20 \text{ mm}$$

met,

$$\zeta = (A_{s,req} / A_{s,prov}) \cdot (\eta_i / 0,7), \text{ met}$$

$A_{s,req}$ = de staaldoorsnede nodig voor de bezwijkgrens-toestand volgens NBN EN 1992-1-1, en

$A_{s,prov}$ = de staaldoorsnede die werkelijk geplaatst werd.

De bovengrenzen van 15 en 20 mm corresponderen met een coëfficiënt k_s of $k_p = 0,1$ en $\zeta = 1/6$.

Toepassingsvoorbeeld :

deel 1 :

Beschouw een vloerplaat in gewapend beton (C25/30) met een dikte van 20 cm, eenvoudig opgelegd en bestemd voor een kantoorgebouw in België. Wat is de hoogte van de wapeningsafstandhouders die vereist is om een brandweerstand van 2 uur te bekomen ? De hoofdwapening bestaat uit staven met een diameter van 12 mm :

De hoogte van de afstandhouders is gelijk aan de nominale betondekking van de wapening en het is deze waarde die op de plans wordt aangeduid.

De nominale betondekking wordt rechtstreeks uit de voorgaande figuur afgeleid : met de ordinaat van 500 °C op de curve R 120 stemt een abscis $x = a = 35 \text{ mm}$ overeen. De nominale betondekking is dus $c_{nom} = a - \text{diam}/2 = 35 - 12/2 = 29 \text{ mm}$.

We controleren nu nog de eisen in verband met duurzaamheid. Door bij de minimum betondekking voor omgevingsklasse EI een tolerantieslag van 10 mm te voegen bekomt men als nominale dekking :

$$c_{nom} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

Volgens NBN B 15-002:1999 [115] en NBN EN 1992-1-1:2005 [100] mag voor platen deze waarde met 5 mm verminderd worden zodat :

$$c = 29 \text{ mm} > c_{nom} = 25 - 5 = 20 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK voor } 29 \text{ mm}$$

2° deel :

Wat is de minimum nominale betondekking indien de werkelijk geplaatste wapening 18 % meer bedraagt dan de te voorziene waarde volgens de berekeningen ?

We berekenen eerst de waarde van ζ .

In NBN EN 1991-1-1-ANB:2005 [114] vindt men als voorgeschreven gebruiksbelasting voor kantoren :

$$Q = 3,0 \text{ kN/m}^2.$$

De permanente belasting bedraagt :

$$G = 24 \cdot 0,2 = 4,8 \text{ kN/m}^2$$

In NBN EN 1990-ANB:2005 [110] vindt men 0,3 als toepasselijke waarde van ψ_2 voor categorie B (kantoren).

De belastingsgraad bedraagt dus :

$$\eta_i = (G + \psi_2 Q) / (1,35G + 1,5Q)$$

$$\eta_i = (4,8 + 0,3 \cdot 3,0) / (1,35 \cdot 4,8 + 1,5 \cdot 3,0) = 0,52$$

Tenslotte is :

$$\zeta = (A_{s,req} / A_{s,prov}) \cdot (\eta_i / 0,7) =$$

$$\zeta = (1 / 1,18) \cdot (0,52 / 0,7) = 0,63$$

Aldus wordt de vermindering :

$$\Delta a = 24 \cdot (1 - 0,63) = 9 \text{ mm} \leq 20 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow c_{nom} \text{ aanvaardbaar} = 29 - 9 = 20 \text{ mm} \geq 20 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK}$$

8.1.2.4. Isostatische balken

De hierna tabel uit EC2 'brand' geeft de afmetingen en minimale afstanden vanaf de as van de wapening tot aan het oppervlak in het geval van eenvoudig opgelegde balken in gewapend en voorgespannen beton zonder steunpuntmoment.

Specifiek voor I-balken geldt dat, wanneer de breedte b van de hiel groter is dan 1,4 keer de werkelijke dikte van het lijf, en wanneer deze hiel onvoldoende massief is, de waarden voor a (afstand tot de aslijn) uit tabel 6 moeten verhoogd worden volgens de formule uit EC2 'brand' [107].

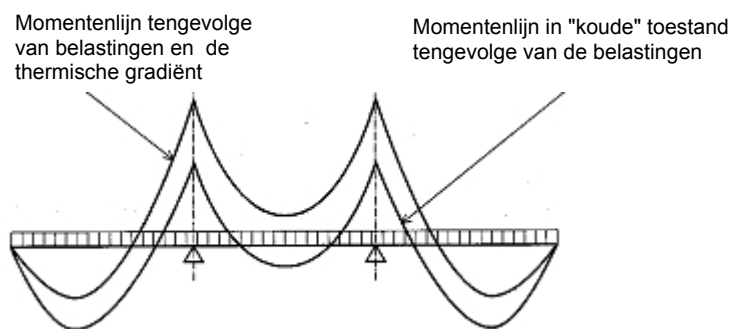
Genormaliseerde brandweerstand	Minimale afmetingen (mm)						
	Mogelijke combinaties van a en $b_{\min}$, waarbij a de gemiddelde afstand is van de as van de wapening tot het oppervlak, en $b_{\min}$ de breedte van de balk				Minimale dikte b_w van het balklijf		
					Klasse WA	Klasse WB	Klasse WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{\min}=80$ $a=25$	120 20	160 15*	200 15*	80	80	80
R 60	$b_{\min}=120$ $a=40$	160 35	200 30	300 25	100	80	100
R 90	$b_{\min}=150$ $a=55$	200 45	300 40	400 35	110	100	100
R 120	$b_{\min}=200$ $a=65$	240 60	300 55	500 50	130	120	120
R 180	$b_{\min}=240$ $a=80$	300 70	400 65	600 60	150	150	140
R 240	$b_{\min}=280$ $a=90$	350 80	500 75	700 70	170	170	160
$a_{sd} = a + 10\text{mm}$ (zie voetnoot)							
In het geval van voorgespannen balken moet de vermeerdering van de afstand van de wapeningsas tot het oppervlak beantwoorden aan §8.1.2.3.							
a_{sd} is de afstand van de as van de wapening tot de zijwand van de balk in het geval van hoekwapening (of kabel of draad) van balken met een enkele wapeningslaag. Indien $b_{\min}$ groter is dan de waarden opgegeven in kolom 4 is geen verhoging van de waarde van a_{sd} vereist.							
*De betondekking vereist door NBN EN 1992-1-1 is doorgaans bepalend.							

Tabel : Afmetingen en minimale afstanden vanaf de as van de wapening tot aan het oppervlak in het geval van eenvoudig opgelegde balken in gewapend en voorgespannen beton zonder steunpuntmoment (bron [107])

8.1.2.5. Doorlopende liggers

Zoals voor isostatische balken geeft EC2 een tabel met gereduceerde asafstanden " a ".

We beperken ons tot het vermelden van het belang om bij doorlopende liggers een deel van de bovenwapening die nodig is ter plaatse van de steunpunten, te laten doorlopen over de volledige overspanningen teneinde het optreden van negatieve momenten te kunnen opvangen. Deze treden op in de overspanningen tengevolge van de thermische gradiënten over de dwarsdoorsneden.



Figuur : Toename van de diagram van momenten bij doorlopende liggers [68]

8.1.2.6. Platen

Figuur 19, ontleend aan EC2, geeft de temperatuursverdeling voor een ééndimensionale warmteflux, zoals die voorkomt in platen. Dezelfde curven worden toegepast voor holle vloerplaten, doorgaans ook welfsels genoemd.

EC2 'brand' biedt tabellen voor :

- platen eenvoudig steunend op lijnvormige opleggingen in één of twee richtingen, zonder oplegmoment, in gewapend of voorgespannen beton ;
- doorlopende platen ;
- platen rustend op kolommen ;
- platen geribd in één of twee richtingen. Bijvoorbeeld, een cassettevloer is een geribde plaat met ribben en onderwapeningen in de twee draagrichtingen.

8.1.2.7. Kolommen

Voor het nazicht van de brandweerstand van kolommen zijn twee methodes vermeld, aangeduid met A en B. Beide methodes kunnen zonder onderscheid gebruikt worden in hun toepassingsgebied. Er wordt rekening gehouden met :

- de lengte en de slankheid van de kolom ;
- de belastingsgraad ;
- de eerste orde excentriciteit ;
- de betonsterkte ;
- de wapening ;
- de asafstand van de wapening tot het oppervlak en eindelijk,
- de nummer van langswapeningen (4 of 8).

De getabelleerde waarden zijn enkel geldig voor geschoorde constructies. Kolommen in een gebouw, die platen dragen die verbonden zijn met een centrale kern, worden als geschoord beschouwd. Een nota betreffende niet geschoorde structuren wordt vermeld in de Belgische nationale bijlage.

Methode A

Deze methode werd op punt gesteld aan de Universiteit van Luik en was eerder al opgenomen in het NTD van de voornorm. Nu is ze ook opgenomen in de Europese norm. Aan de hand van de resultaten van brandproeven op 80 kolommen uitgevoerd in 4 laboratoria van verschillende landen, werd een formule gekalibreerd die toelaat de brandweerstandsduur te voorspellen in functie van de hiervoor vermelde parameters.

Het toepassingsveld van de methode A beperkt zijn gebruik

- tot kolommen met een zijde of diameter (in geval van een vierkante of ronde kolom) van maximum 450 mm
- tot een excentriciteit e/b van de eerste orde van 0,4 en
- tot een doorknikkingslengte van 6 m in geval van brand.

In de Europese norm, werden de resultaten bekomen met deze formule omgezet in een tabel. De kniklengte van de kolom werd vastgelegd op 3 m.

Om andere combinaties $b_{\min}/a$ te bekomen kan men interpoleren of men kan een nauwkeuriger resultaat bekomen door directe toepassing van de formule.

De Belgische nationale bijlage verschaft uitgestrekte tabellen die de gebruiker een onmiddellijke lezing van de oplossingen toelaat zonder zijn toevlucht te moeten nemen tot een interpolatie.

De waarden van de tabellen van de Europese norm en onze ANB stemmen niet overeen omdat ze berekend zijn met verschillende waarden van de parameter α_{cc} (respectievelijk = 1,00 en 0,85).

Methode B

Deze methode is gebaseerd op de resultaten van een wiskundige modellering. De methodes A en B werden uitgebreid vergeleken en vertonen een goede correlatie met de resultaten van de proeven op de 80 kolommen.

Het toepassingsgebied van deze methode is ruimer, vooral indien gebruik gemaakt wordt van het informatief bijvoegsel C van het deel brand van EC2. Over het gebruik van deze bijlage

- slankheden van de kolommen tot 80 en
- relatieve excentriciteiten "e/b" van eerste orde tot 0,5.

De moeilijkheid om te interpoleren in de tabellen kan omzeild worden door het gebruik van een eenvoudig rekenprogramma.

8.1.2.8. Wanden

EC2 'brand' geeft tabellen op voor :

- dragende wanden ;
- niet-dragende wanden (EI-eis) ;
- brandwerende wanden (bijkomende eis van schokbestendigheid).

8.2. Fire Safety Engineering

Er is geen algemeen geldige definitie beschikbaar, maar de volgende omschrijving blijkt aanvaardbaar te zijn (Purkiss, 1996) :

"Fire Safety Engineering" kan gedefinieerd worden als de toepassing van wetenschappelijke principes en ingenieurstechnieken op de effecten van brand : de risico's en mogelijke gevaren worden gekwantificeerd teneinde enerzijds het verlies aan mensenlevens en schade aan bezittingen te beperken en anderzijds een optimale oplossing te bieden voor de preventie- en beschermingsmaatregelen.

Bij toepassing van "Fire Safety Engineering" wordt gebruik gemaakt van "natuurlijke branden" om de temperatuursevolutie in de compartimenten te beschrijven en het gedrag bij brand van constructies na te zien. De natuurlijke branden omvatten zowel de parametrische curven als de zonemodellen die hoger besproken werden.

Deze werkwijze wordt besproken in de informatieve bijlagen van deel 1-2 [106] van Eurocode 1 doch mag momenteel in België niet toegepast worden zonder inbreuk op de reglementering. In de nationale bijlage (ANB) zal de volgende belangrijke nota opgenomen zijn :

De gebruikte temperatuur-tijdcurven moeten door de bevoegde autoriteiten toegelaten worden hetzij rechtstreeks in de

reglementering hetzij voor ieder specifiek geval op basis van een verantwoordingsnota."

De verschillende werkwijzen voor de berekening van de brandweerstand zijn:

- de classificatie gebaseerd op de standaard ISO-curve
- het gebruik van parametrische branden
- het gebruik van de natuurlijke brandcurves gekoppeld aan reductiecoëfficiënten op de brandlast ; deze benadering is een onderdeel van Fire Safety Engineering (FSE).

De methodes leiden niet tot hetzelfde veiligheidsniveau.

Eigenaars en verzekeringsmaatschappijen moeten er zich van bewust zijn dat betonconstructies normaal gezien geklasseerd worden op basis van de standaard ISO curve. Ze zijn robuust, kunnen na een brand hersteld worden en het is mogelijk veranderingen aan te brengen gedurende de levensduur van het gebouw.

De kritische temperatuur voor staalconstructies zonder brandbescherming bedraagt volgens de Europese voornormen 540 °C met een belastingsgraad van 0,7. Voor staalprofielen wordt deze temperatuur bereikt binnen 10 tot 15 minuten of meer afhankelijk de massiviteit van de elementen en hun belastingsgraad. Deze staalsector toont ook aan dat de mechanische belastingen kleiner kunnen zijn dan deze vereist voor een standaard classificatie volgens de ISO curve. De houtindustrie heeft dezelfde interesses.

Zelfs indien aan de eisen voldaan kan worden door parametrische curven te gebruiken of FSE, bekomen eigenaars van gebouwen voor eenzelfde kostprijs een **hogere veiligheid en flexibiliteit indien ze voor beton kiezen** met een standaard klassificatie.

In de nationale Belgische Bijlage, is er een weg geopend naar verschillende curven voor het geval van grote compartimenten met beperkte brandlasten waar duidelijk geen algemene vlamoverslag kan plaats vinden. Voor dit specifiek geval en enkel indien de bevoegde autoriteiten het toestaan, mag de ISO curve vervangen worden door een gelokaliseerde brand zoals beschreven in bijvoegsel C .

In het ANB zullen de bijvoegsels C, D en G normatief gemaakt worden (zie §3.1.2 blz 23). De bijvoegsels A, B, E en F blijven informatief. Deze bijvoegsels zijn nieuw in vergelijking met de voornorm NBN ENV 1992-1-2 [118] en zijn het resultaat van de laatste ontwikkelingen op het vlak van FSE.

In bijvoegsel A worden de parametrische curven behandeld.

In bijvoegsel D worden de geavanceerde brandmodellen besproken (één en twee zones).

Bijvoegsel E, dat het meest aan kritiek onderhevig is, handelt over de brandbelastingen en de voortplantingssnelheden van een brand die moeten ingevoerd worden in de modellen opgenomen in de andere bijvoegsels. Bijvoegsel E bevat, voor wat het ANB gedeelte betreft, een zeker aantal verbeteringen die het resultaat zijn van een constructieve dialoog in de schoot van de ad hoc werkgroep die belast is met de opstelling ervan.

Bijlage F ontwikkelt de methode van de tijd gelijkwaardig aan de blootstelling aan brand. Ze staat niet toe rekening te houden met het maximale warmtedebiet.

In de bijlagen, is de dichtheid van de brandbelasting die in de berekening beschouwd wordt, niet de Europese gemiddelde waarde voor het betreffende gebouwtype. Het is evenmin de 80 % fractiel, zijnde de waarde die in 80 % van de gebouwen niet overschreden wordt. Deze waarde geldt echter als conventionele referentiewaarde.

In het kader van FSE worden bezwijkkansen voor de brandsituatie gegeven, die echter niet algemeen aanvaard zijn.

Adviseurs in FSE gebruiken de volgende interpretatie :

$$p_{f,fi} \cdot p_{fi} < p_i$$

met,

$p_{f,fi}$ = bezwijkkans in het geval van een ernstige brand ;

p_{fi} = kans dat een ernstige brand optreedt ;

p_i = streefwaarde van de bezwijkkans van een constructie-element in de bezwijkgrenstoestand in overeenstemming met NBN EN 1990 "Grondslagen van het constructief ontwerp" [109].

Aldus wordt de rekenwaarde van de belasting zodanig bepaald dat het risico op een ernstige brand, vermenigvuldigd met de bezwijkkans in het geval van een ernstige brand, gelijk is aan het risico dat algemeen aanvaard wordt bij de berekening van een constructie bij normale temperatuur. Dit betekent een bezwijkkans van de constructie van 1/1.000.000 per jaar, meer bepaald 5.10^{-5} voor een levensduur van 50 jaar voor een gebouw.

Het gaat hier om een eerder "persoonlijke" interpretatie gebaseerd op impliciete vermeldingen in het informatieve bijvoegsel E van NBN EN 1991-1-2. De bepaling van het veiligheidsniveau houdt verband met de verantwoordelijkheid van de wetgever bevoegd voor "brand", in het geval van België is dat het FOD Binnenlandse Zaken.

Het nadeel van de hierboven geschetste interpretatie ligt in het feit dat de bezwijkkans in het geval van brand afhangt van de kans voor de ontwikkeling van een ernstige brand die op zijn beurt afhangt van het gebruik van het gebouw.

Voor een gebruiksduur van 50 jaar leidt dit tot het optreden van een instorting bij 5 gebouwen op 100.000. Wanneer we het volgende aannemen :

- kans voor het optreden van een brand $1/100.000 = 10^{-5}$ per jaar en per m^2 ;
- kans voor het blussen van de brand door de gebruikers: 6/10 ;
- kans voor het beheersen van de brand door de brandweer: 9/10 ;

dan is de kans voor het optreden van een ernstige brand =

$$p_i = 10^{-5} \cdot (1-0,6) \cdot (1-0,9) = 4.10^{-7} \text{ per jaar en per } m^2$$

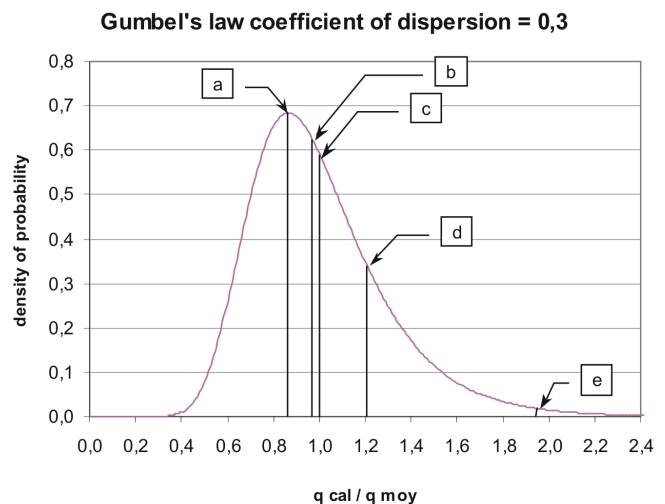
(zie figuur : voorbeeld van een gebeurtenissenboom §8.3.2.3 blz 63)

Dit betekent dat wanneer een brand ontstaat in een compartiment van $200 m^2$, de beschouwde dichtheid van de brandbelasting bepaald zal worden zodanig dat de bezwijkkans voor een periode van 50 jaar gelijk is aan

$$5.10^{-5} / (4.10^{-7} \cdot 200.50) = 1,25 \%$$

Dit komt erop neer te aanvaarden dat 1,25 gebouw op 100 instort bij een ernstige brand (niet gecontroleerd, met flash-over bij voorbeeld).

Er werd aangetoond dat de dichtheid van de brandbelasting een Gumbel-distributie van het type I volgt. Deze verdelingswet wordt ook in andere gebieden gebruikt (bv. de financiële en kredietsector) aangezien ze een asymmetrische vorm vertoont, hetgeen ook het geval blijkt te zijn voor brandbelastingen : er is noodzakelijkerwijze een minimum aan brandstof in een gebouw aanwezig, maar daarentegen is er geen absoluut maximum. Bijgevolg is het gemiddelde (c) verschoven ten opzichte van de mediaan (b = 50 % fractiel) en ten opzichte van de modus (a = meest waarschijnlijke waarde) (zie hiernavolgende figuur).



Kansverdelingsfunctie uitgedrukt als de verhouding van de dichtheid van de brandbelasting van het beschouwde compartiment, tot de gemiddelde dichtheid van de brandbelasting voor het beschouwde gebouwtype.

a = waarde met de meeste kans om op te treden (modus) (0,87. q_{moy}) ;

b = 50 %-fractiel (mediaan) (0,95. q_{moy}) ;

c = gemiddelde (q_{moy}) ;

d = 80 %-fractiel (1,22. q_{moy}) ;

e = 99 %- fractiel (1,93. q_{moy}).

De oppervlakte onder de kromme links van de verticale lijnen, geeft de kans dat de dichtheid van de brandbelasting kleiner is dan een gegeven fractiel.

De variatiecoëfficiënt is de verhouding van de standaardafwijking tot de gemiddelde waarde.

De rekenwaarde van de dichtheid van de brandbelasting die, in het geval van een ernstige brand, een bezwijkkans oplevert van 1 gebouw op 100, wordt overschreden gedurende 1 % van de levensduur van het gebouw.

In het beschouwde geval zou, op basis van een Gumbel distributie, de corresponderende brandbelasting overeenstemmen met een beoogde fractiel van

$$(100 \% - 1 \%) = 99 \% = 1,58 \cdot 80 \% \text{-fractiel}$$

of nog : $1,93 \cdot (\text{gemiddelde waarde}).$

In het geval van bewoonde gebouwen is dit gelijkwaardig met

$$1,93 \cdot 45 = 87 \text{ kg hout/m}^2.$$

Nemen we als verbrandingscoëfficiënt $m = 0,8$ dan loopt in het beschouwde voorbeeld de dichtheid van de brandbelasting op tot

$$0,8 \cdot 87 \cdot 17,5 = 1218 \text{ MJ/m}^2.$$

De berekening van de brandbelasting $q_{t,d}$ kan gebeuren volgens twee niveau's van complexiteit :

- de algemene methode : zoals in het hierboven behandelde voorbeeld wordt op probabilistische wijze een globaal coëfficiënt afgeleid die overeenstemt met de 80 %-fractiel.
- de vereenvoudigde methode : voor elke parameter (oppervlakte van het compartiment, aard van het gebruik, invloed van sprinklers, ...) wordt een partieel coëfficiënt gebruikt. Het product van al deze coëfficiënten geeft aldus een globaal coëfficiënt dat de 80 %-fractiel bepaalt (conservatieve benadering).

In de afleiding van de vereenvoudigde methode wordt aangetoond dat, om de beoogde fractiel te bekomen, de brandbelasting overeenstemmend met de 80 %-fractiel moet vermenigvuldigd worden met een coëfficiënt die afhangt van de vloeroppervlakte van het compartiment (δ_{q1}) en van de aard van het gebruik van het gebouw (δ_{q2}). Deze coëfficiënten zijn opgenomen in de volgende tabel :

Vloeroppervlakte van het compartiment (m ²)	Coëff. δ_{q1}	Voorbeelden van gebruik	Coëff. δ_{q2}
25	1,10	Kunstgalerij, museum, zwembad	0,78
250	1,50	Kantoren, bewoning, hotel, papierhandel	1,00
2 500	1,90	Fabriek van machines en motoren	1,22
5 000	2,00	Scheikundig labo	1,44
10 000	2,13	Fabriek van vuurwerk of van verf	1,66

Coëfficiënten δ_{q1} en δ_{q2} (tabel E.1 van NBN EN 1991-1-2)

In het onderzoeksrapport van de NFSC [42] wordt erop gewezen dat voor ieder type gebouw of gebruik, een specifieke studie zou moeten uitgevoerd worden om de kans op de ontwikkeling van een ernstige brand te bepalen. Zo dient bijvoorbeeld in het geval van een vuurwerkfabriek, het risico met een factor 1000 vermenigvuldigd te worden. Voor wat betreft de coëfficiënten van toepassing op de brandbelasting, wordt deze factor 1000 omgezet in een activatiefactor van 1,66. De ietwat grove afleiding van deze activatiefactor, te wijten aan onvoldoende statistische gegevens, moet aanzetten tot de grootste omzichtigheid.

In het kader van de bescherming van het patrimonium, waar het dikwijls gaat om stukken van onschatbare waarde of beschermde collecties in kunstgalerijen en musea, kan men een hogere gevolgklasse beschouwen. Door de overgang van de

gevolgklasse CC2 naar de klasse CC3 wordt de nagestreefde bezwijkkans een factor 10 kleiner. Op de dichtheid van de brandbelasting moet dan een bijkomende coëfficiënt 1,22 toegepast worden.

Aan de inhoud van de ANB zou, voor een beter begrip van het risico verbonden aan het gebruik van het gebouw, best een bijkomend element toegevoegd worden met name het in rekening brengen van het gebouw in zijn geheel in het geval van meerdere overlappende compartimenten en niet één van de compartimenten. Als het ineensinken van een compartiment, het ineensinken van een andere compartimenten tot gevolg kan hebben, kan een veiligheidsbenadering van de evaluatie δ_{q1} gebaseerd worden op de toevoeging van de oppervlaktes van deze compartimenten.

Deze toevoeging houdt echter nog geen rekening met de financiële consequenties van de instorting van een min of meer belangrijk gebouw. Het is mogelijk de veiligheidsfactor voor de brandsituatie aan te passen door minimalisatie van de totale kostprijs die bekomen wordt als de som van de kostprijs voor de brandveiligheid en de gewogen waarde van het gebouw zelf, de inhoud en de indirecte verliezen. Op deze lacune in de Eurocode filosofie wordt meer in detail ingegaan in de paragraaf gewijd aan de kwantitatieve methodes voor de risicoëvaluatie. Een bescheiden en ruwe aanpassing van de beoogde faalkans is mogelijk door gebruik te maken van de verschillen tussen de gevolgklassen opgenomen in de Eurocode "Grondslagen van het constructief ontwerp" [109].

Grondig rekening houdend met de actieve beschermingsmaatregelen

Hoger werd aangetoond hoe de interventie van de gebruikers en van de brandweer, de oppervlakte van het compartiment, het gebouwtype en de gevolgklasse in rekening kunnen worden gebracht. Bij toepassing van FSE gaan ontwerpers nog verder: in het kader van de eerder vermelde semi-probabilistische methode wordt voor de vermindering van de dichtheid van de brandbelasting rekening gehouden met de actieve maatregelen, zoals het gebruik van detectoren en automatische transmissie, sprinklers, onafhankelijke waterbevoorrading en extreem korte interventietijden van de hulpdiensten.

In de meest geavanceerde versie houdt "Fire Safety Engineering" (zie §8.2) met behulp van reductiefactoren rekening met de acties van de gebruikers, de hulpdiensten, sprinklers, alarmen enz. om een inherent gebrek aan brandweerstand te compenseren.

Deze beschikbare hulpmiddelen zijn relatief nieuw [50] en **enkel zeer gekwalificeerde en geoefende personen kunnen ze gebruiken.**

Daarenboven moet tegenwoordig een afwijking aangevraagd worden bij de bevoegde instanties om de voordelen ervan te kunnen benutten.

Voor brandmuren, is het veilig om een brandbestendigheid te eisen gedurende de hele duur van de brand zonder rekening te houden met actieve beschermingsmaatregelen en menselijke tussenkomst. Aan deze eis wordt voldaan door de brandmuren REI 120, REI 240 of REI 360 in functie van de omstandigheden van de brand.

In juni 2005 antwoordde Prof. Jose Torero (Universiteit van Edinburg), één van de wereldexperten op het vlak van "Fire Engineering" (FE) als volgt, op het kwalificatief "zwarte kunst", dat soms geassocieerd wordt met FE [50] :

"De industrie moet FE voorzichtig gebruiken. FE heeft weliswaar een wetenschappelijke basis, maar deze is nog niet zo ver ontwikkeld dat we beschikken over gebruiksvriendelijke hulpmiddelen die robuust en betrouwbaar zijn en door iedereen kunnen gebruikt worden. In dit stadium is het nog een zaak van specialisten. De industrie moet specialisten zoeken met geschikte referenties en een solide vorming. Nochtans wordt FE veel toegepast door personen zonder gepaste vorming : het zijn deze die de "hekserij" invoeren als substituut van een grondige kennis. De industrie moet zeer voorzichtig zijn en zich omringen met bekwame professionals wanneer men voor een project beroep moet doen op FE."

De kans [42] per jaar op een brand, ernstig genoeg om de draagkracht van een bouwconstructie in gevaar te brengen, volgt uit:

$$p_{fi} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot A_{fi}$$

met,

p_1 = de kans op een ernstige brand, met daarin begrepen het effect van het optreden van de aanwezigen en de overheidsbrandweer (per m² vloeroppervlak en per jaar).

p_2 = een reductiefactor, afhankelijk van type brandweer (beroeps vs. vrijwillig) en van de tijd tussen alarmering en interventie door de brandweer.

p_3 = een reductiefactor waarmee het effect van automatische branddetectie (rook, warmte) en/of automatische melding aan de brandweer in rekening wordt gebracht.

p_4 = een reductiefactor waarmee het effect van automatische brandblussing in rekening wordt gebracht.

A_{fi} = het vloeroppervlak van het brandcompartiment.

Aldus laat het gebruik van sprinklersystemen met een efficiëntie van 98 % (95 %) toe om de brandbelasting te vermenigvuldigen met een partieel coëfficiënt δ_{n1} gelijk aan 0,61 (0,70).

Het is belangrijk op te merken dat al deze factoren enkel toepasselijk zijn in zoverre de semi-probabilistische methode aanvaard wordt. Indien bijvoorbeeld de dichtheid van de brandbelasting constant is (geval waarbij een deel van de brandbelasting gekend is) dan moet deze belasting als dusdanig in rekening gebracht worden zonder vermeerderings- of verminderingfactoren. Voor dit deel van de belasting is dus een deterministische benadering van toepassing.

Voor verzekeringsmaatschappijen die hun verliezen en baten kunnen verdelen over een groot aantal schadegevallen, kan de semi-probabilistische aanpak verantwoord worden. Het is echter moeilijker om deze aanpak aanvaard te krijgen door eigenaars en uitbaters. Indien bijvoorbeeld, in het kader van differentiatie van de betrouwbaarheid van actieve maatregelen, meer beroep zou gedaan worden op staalconstructies dan zou dit waarschijnlijk het aantal schadegevallen verhogen. Deze structurele veranderingen zouden door de verzekeraars zonder

problemen kunnen opgenomen worden via een premieverhoging, terwijl men in de norm gewoon de statistieken uitmiddelt. Er zou dus ook op het vlak van performantie een differentiatie moeten ingevoerd worden.

In de semi-probabilistische benadering wordt het succesvol functioneren van de verschillende actieve maatregelen als onafhankelijke gebeurtenissen beschouwd hetgeen toelaat het product te nemen van de corresponderende kansen (zie ook het voorbeeld van de gebeurtenissenboom in §8.3.2.3 handelend over de kwantitatieve methodes).

De hypothese dat het succesvol doven van een brand door de brandweerdiensten onafhankelijk is van het succesvol functioneren van een sprinklersysteem is voor discussie vatbaar. Het resultaat van de actie van de brandweerdiensten hangt af van de werking van sprinklers

Eigenlijk is de gebeurtenissenboom die wordt voorgesteld in §8.3.2.3 niet helemaal correct. Dit is zelfs nadrukkelijk erkend in de definitie van de factoren p_3 en p_4 . Het zijn geen kansberekeningen van de zwakte van de geassocieerde actieve metingen maar factoren van de vermindering van de zwakte van brandweerlui in hun strijd tegen een brand.

Dit is in elk geval duidelijk voor verklikkers die nooit een brand gaan doven. De betrouwbaarheid van de werking van rookmelders van 72 % tot 84 % (meer bepaald de percentages van zwakte van 28 % tot 16 %) zijn vermeld in de studie opgenomen in [53] in de bibliografie. Sindsdien lijkt het niet meer mogelijk om factoren te bekomen

$$p_3 = 0,25 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 1,56 \%$$

zoals vermeld in de EC1 Brand : p_3 moet groter zijn dan het minimum van 16 %!

Eén van de moeilijkheden bij de invoering van FSE komt voort uit het feit dat de aangenomen hypothesen vatbaar zijn voor discussie en dat er geen unanimitieit over bereikt wordt. De kans voor het optreden van een brand, het gedrag van de gebruikers en de bezoekers, het succes van de brandweerinterventies (grootte van de ploegen, kennis van de plaatselijke omstandigheden) : het zijn zoveel parameters die functie zijn van het menselijk gedrag en van reglementeringen eigen aan ieder land, zowel op het vlak van opvatting als controle van het functioneren van de installaties en tenslotte de verdeling van de brandbelasting.

Het is nuttig op te merken dat, volgens het rapport van de NFSC [44], een gemiddelde kans op een succesvolle tussenkomst van de brandweerdiensten van 9/10, overeenstemt met de interventie van een professionele hulpploeg binnen de 10 tot 20 minuten na ontvangst van de oproep. Dezelfde slaagkans zou bekomen worden voor een hulpploeg samengesteld uit vrijwilligers met een interventietijd van minder dan 10 minuten.

Het begrip "effectieve interventietijd" kan op uiteenlopende gevallen betrekking hebben, vooral bij hoge risico's : gaat het over de aankomst ter plaatse van de hulpdiensten, het functioneren van de eerste brandspuit of van "n" brandspuiten bij een progressieve interventie ?

De toename van de interventietijden vermindert uiteraard de kans op succes.

De schatting van de parameters van de statistische distributiefunctie van de dichtheid van de brandbelasting stelt bepaalde problemen, meer bepaald wanneer de variatie-coëfficiënt groter is dan 0,3. Daarom werd in de Belgische ANB één waarde aangenomen voor deze coëfficiënt.

Indien een brand ontstaat tengevolge van een kortsluiting of van brandstichting, wordt een gebouw dat ver verwijderd is van een brandweerkazerne of waar niemand 's nachts verblijft (industriële hall, kantoor), volgens de hypothesen van de FSE berekend met een interventie van bewoners en brandweerdiensten die niet effectief is. Dikwijls zal de actie van de brandweerdiensten zich dan ook beperken tot de voorkoming van branduitbreiding naar de aanpalende gebouwen. Impliciet is het veiligheidsniveau dus niet identiek voor bezittingen en activiteiten en voor personen. In werkelijkheid wordt 30 % van de branden veroorzaakt door brandstichting.

De brandbelastingen [49] die momenteel bij FSE in rekening gebracht worden bij de modellering van "natuurlijke" branden, zijn gemiddelde waarden over het compartiment. In gebouwen komt het echter zelden voor dat de brandbelasting effectief uniform verdeeld is. Een lokale concentratie van brandbaar materiaal kan de instorting van een dragend element veroorzaken door een zeer geconcentreerde thermische actie. Deze instorting kan vervolgens het bezwijken van het compartiment veroorzaken.

De technieken en hypothesen van de FSE waarbij de actieve maatregelen in rekening gebracht worden, moeten zich nog bewijzen en een antwoord bieden op een aantal bezwaren alvorens een voldoende solide basis te vormen die kan opgenomen worden in het normatief gedeelte van Eurocode 1 en a fortiori in de reglementering. Talrijke Europese landen, waaronder Frankrijk en Duitsland, om slechts de grote buurlanden te noemen, hebben deze werkwijze niet opgenomen in hun nationale bijlage bij EC1.

Daarenboven kan een nazicht van de constructie ook gebeuren aan de hand van parametrische curven of zonemodellen :

- tot de totale verbranding van de brandstof.
- tot een bepaalde vooropgestelde tijd t , zoals bijvoorbeeld vastgelegd in de huidige reglementering die gebaseerd is op een ISO brand. Het gedrag van de constructie na deze tijd wordt niet onderzocht en er wordt niet nagegaan of het gebouw daarna al dan niet instort.

De tweede oplossing leidt uiteraard tot een lagere veiligheid dan de eerste. Het gaat hier om een aanpassing van de brandveiligheid waarbij voorzichtigheid geboden is. In het ontwerp van de ANB voor NBN EN 1991-1-2 werd deze oplossing gelukkig niet weerhouden aangezien er geen vooropgestelde tijd vastgelegd werd. Er moet bovendien opgemerkt worden dat, alhoewel de tweede mogelijkheid open gelaten werd in EC1, in bijna alle publicaties met betrekking tot natuurlijke branden, de beschouwde constructies geanalyseerd worden voor de volledige brandcyclus, de afkoelingsfase inbegrepen.

Aangezien voor een industrieel gebouw [49], de kostprijs van de dragende structuur slechts 10 tot 30 % van de totale kostprijs van het gebouw bedraagt, zonder nog van de waarde van de

inboedel te spreken, kan men zich vragen stellen omtrent het nut van dergelijke methoden.

De algemene methode (probabilistische benadering)

Men moet zich er van bewust zijn dat de algemene methode, waarop bijvoegsel E gebaseerd is (probabilistische benadering), tot een meer frappant resultaat leidt.

Ongeacht of men een kantoorgebouw beschouwt, een bewoond gebouw of een productiehalle met een "activeringsrisico" kleiner dan of gelijk aan 1,00 (dit wordt verder uitgelegd) en indien de in bijvoegsel E voorgestelde interventie-efficiënties correct zijn (**zie de toelichting op voorgaande pagina aangaande verkliekers**), namelijk voor

- de brandweer (faalkans = 0,1) ;
- de gebruikers (faalkans = 0,4) ;
- het sprinklersysteem (multiplicatieve factor toe te passen op de faalkansen van de overheidsbrandweer en de aanwezigen = 0,02) ;
- de rookdetectoren (multiplicatieve factor toe te passen op de faalkansen van brandweer en gebruikers = 0,0625) ;
- de automatische melding aan de overheidsbrandweer (multiplicatieve factor toe te passen op de faalkansen van de overheidsbrandweer en de aanwezigen = 0,25)

bekomt men een faalkans voor het geheel van deze interventies gelijk aan

$$0,1 \cdot 0,4 \cdot 0,02 \cdot 0,0625 \cdot 0,25 = 1,25 \cdot 10^{-5}$$

of 1 geval op 80 000. De kans dat een ernstige brand optreedt en dat een gebouw met een oppervlakte van 8 000 m², uitgerust met alle vermelde maatregelen, bezwijkt is dus

$$p_{occ.p\acute{d}efai\acute{l}ance} = (10^{-5} \cdot 50 \cdot 8\,000) \cdot 1,25 \cdot 10^{-5} = 5 \cdot 10^{-5} \leq 5 \cdot 10^{-5}.$$

Alhoewel strikt genomen deze bewijskans kleiner is dan de nagestreefde kans, zou dit betekenen dat een constructie totaal geen intrinsieke brandweerstand zou moeten bezitten voor elke oppervlakte kleiner dan 8 000 m², indien de bevoegde autoriteiten een andere werkwijze toelaten dan de ISO methode.

Indien de automatische transmissie niet in rekening gebracht wordt valt de faalkans terug op 1 geval op 20 000 en moet een constructie geen intrinsieke brandweerstand bezitten voor elke oppervlakte kleiner dan 2 000 m².

Het is enkel indien de bezwijkkans van een gebouw groter is dan de nagestreefde kans dat een nazicht van de constructie met een gereduceerde dichtheid van de brandbelasting zou moeten uitgevoerd worden.

Voor een gebouw van 2 000 m², leidt de toepassing van de algemene methode ertoe, in geval van zware brand, geen enkele brandweerstand te vragen van de structuur.

De toepassing van de partiële coëfficiëntmethode, daarentegen, leidt in 61 % van de gevallen tot het in vraag stellen van het voortbestaan van de structuur in geval van zware brand. Dit zijn de gevallen waar de brandbelasting lager is dan $q(61\%)$. Meer bepaald,

$$1,90 \cdot 0,61 \cdot 0,73 \cdot q(80\%) = 0,74 \cdot q(80\%) = 1,03 \cdot q_{moy} = q(61\%)$$

Voor het beschouwde voorbeeld levert de conservatieve methode met de partiële factoren (bijlage E van EC1) resultaten op die redelijk kunnen lijken (een minimale weerstand die overeenkomt met 61 % fractiel), terwijl toepassing van de algemene methode leidt tot de tegengestelde indruk (geen minimale eis). De algemene methode werd niet opgenomen in de Eurocode aangezien ze beroep doet op probabilistische begrippen en op de betrouwbaarheidsanalyse die door de opstellers als te complex beoordeeld werden voor toepassing door "gewone" gebruikers. De "overtuigende" resultaten bekomen door toepassing van de methode met de coëfficiënten uit bijlage E verduistert de "minder overtuigende" resultaten die kunnen bekomen worden door deskundigen in FSE.

Het is evident dat in het geval van een nachtelijke brand (70 % buiten de werkuren voor opslagplaatsen : kortsluitingen, criminele daden, vandalisme) de efficiëntie van de rookdetectoren en van de brandweerdiensten drastisch afneemt zodat de kans dat een algemene brand plaats vindt groter zal worden dan 1/20 000. Deze methode is dan ook duidelijk aan de onveilige kant en komt niet overtuigend over. In het rapport van de "US National Institute for Standards & Technology (NIST)" van juni 2005 wordt deze aanpak afgezwakt.

Het NIST rapport (11 september : death of fire engineering ?) [54]

Het omvangrijke eindrapport over de instorting van het World Trade Center omvat 43 hoofdstukken (10 000 bladzijden) die het resultaat zijn van het onderzoek uitgevoerd door het NIST. Het opstellen ervan heeft drie jaar geduurd en kostte bijna 15 miljoen euro.



World Trade Center (bron www.nceplus.co.uk)

De groep deskundigen die belast was met dit onderzoek heeft 30 aanbevelingen opgesteld om de veiligheid van hoge gebouwen te verbeteren. De 5 meest toepasselijke aanbevelingen in het kader van deze brochure betreffen :

- het algemeen concept om progressieve instorting te vermijden ;
- het nazicht of een ongecontroleerde brand kan optreden zonder lokale of globale instorting van de draagstructuur te veroorzaken ;
- de verbetering van het gedrag en de duplicatie van actieve beschermingssystemen tegen brand ;

- het verstrengen van de reglementering met betrekking tot sprinklers en evacuatiewegen in bestaande gebouwen ;
- de maximum afstand tussen noodtrappen ; versterking van trapkokers en het aannemen van een coherente signalisatie.

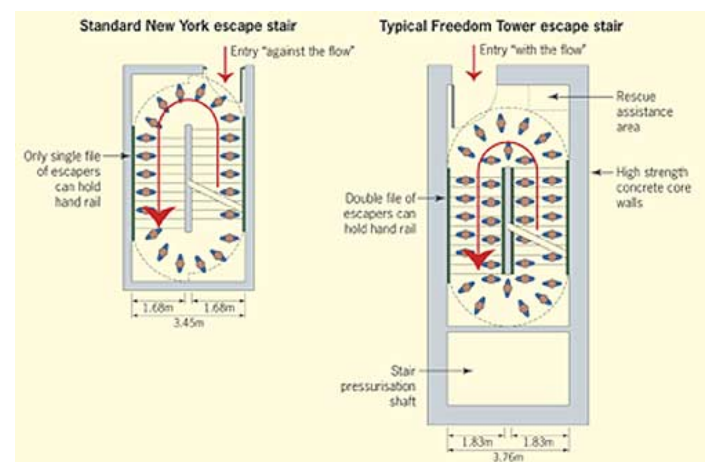
De andere aanbevelingen kunnen geraadpleegd worden op <http://www.nceplus.co.uk/> en gaan, **zolang het onderzoek niet afgerond is, in de richting van het niet gebruiken van veiligheidsconcepten voor brand die gebaseerd zijn op performantiële methodes.**

Het is belangrijk eraan te herinneren dat de normen de grondslag vormen van de technische aspecten van een reglementering [3]. Het is pas nadat normen hun degelijkheid bewezen hebben en een zekere graad van maturiteit bereikt hebben dat ze kunnen opgenomen worden in reglementen. Het zou niet aangewezen zijn deze etappes over te slaan, alhoewel ze een twintigtal jaar in beslag kunnen nemen.

De sleutelwoorden van deze aanbevelingen zijn : ontwikkeling, analyse van de reglementering, methodes, proeven, onderzoek, gebruiksvoorwaarden, hulpmiddelen voor het concept, communicatiesystemen, training, inspectie, certificatie, registratie, samenwerking tussen architecten en brandspecialisten.

In de nieuwe "Freedom Tower" is een centrale kern voorzien in hogesterktebeton C80/95 met 900 mm dikke wanden. Hij zal kunnen doorgaan als veiligste wolkenkrabber ter wereld met kantoorfuncties door :

- twee waterkolommen die omhoog gaan in de centrale kern en verbonden zijn aan de top om de waterbevoorrading te handhaven in het geval van breuk van één van de kolommen.
- Een hogere dichtheid van de sprinklers : 1/15 m² (OH) in plaats van 1/22 m² (LH) (zie §4.2.2), met behoud van het debiet gedurende 60 min in plaats van 30 min en trapkokers die duidelijk ruimer en robuuster zijn



(bron : www.nceplus.co.uk).

Om zijn competitiviteit te verbeteren [13], heeft de staalsector gezocht om de dimensionering te verfijnen, maar steeds in de zin van een vermindering van de brandbelasting (afhankelijk van de hoeveelheid brandbaar materiaal in een gebouw). Dit leidt er toe dat de veiligheid tot het strikte minimum beperkt wordt op basis van een reeks hypothesen. Om een brandbelasting in rekening te brengen die aangepast is aan de specifieke configuratie van een gebouw werden andere temperatuurscurves ontwikkeld die hoofdzakelijk de brandbelasting en de openingen, zoals vensters, in rekening brengen. Deze branden zijn meestal minder streng dan branden overeenstemmend met de ISO-curve. De toepassing van deze curven moeten gebeuren met de grootste waakzaamheid aangezien de brandbelasting sterk kan verschillen van gebouw tot gebouw en van land tot land. Bij verandering van de bestemming van een gebouw kunnen bovendien zowel de brandbelasting als de openingen veranderingen ondergaan ten opzichte van het oorspronkelijke concept. In dit geval kan de keuze van andere curven dan de ISO curve een belangrijke herziening van de constructie nodig maken.

8.3. Het brandrisico

8.3.1. Prescriptieve en performantiële regelgeving

Traditioneel is in de regelgeving [36] de behandeling van de brandveiligheid gebaseerd op prescriptieve regels. Dit geldt in het bijzonder voor de veiligheid van personen in het geval van brand.

De verbeterde inzichten in het verschijnsel brand, de verhoogde vraag naar een flexibele indeling bij de conceptie van een gebouw, kosten/batenanalyses en de implementatie van nieuwe technologieën hebben geleid tot de ontwikkelingen in de richting van performantiële reglementen. In de laatste 20 jaar vond deze ontwikkeling plaats in verschillende landen zoals bijvoorbeeld in 1994 in Zweden. Een performantiële reglementering legt de na te streven objectieven vast zonder in te gaan op de manier waarop deze objectieven concreet moeten gerealiseerd worden.

Voor klassieke gebouwen zijn de getabelleerde en de vereenvoudigde methodes het meest efficiënt. Voor meer uitzonderlijke gebouwen, komen regelmatig incompatibiliteiten te voorschijn tussen brandbescherming en architecturale en structurele aspecten of de commerciële activiteiten in een gebouw. In deze gevallen kan de toepassing van de methodes van risicoanalyse een oplossing bieden.

8.3.2. Methodes voor de inschatting van het brandrisico

Bij toepassing van "Fire Safety Engineering" (FSE) [36] kunnen risico's gedefinieerd worden als een combinatie van een frequentie of van een kans om op te treden en van de gevolgen van een bepaalde gebeurtenis. Het is dus belangrijk [8], [15], [16], [17] om de betreffende kansen en gevolgen te kunnen evalueren.

Aangezien een gedetailleerde beschrijving van deze methodes buiten het kader van dit werk valt, is het toch belangrijk een

algemeen overzicht te geven van de methodes die gebruikt worden bij FSE.

De aanvaarding [35] van een risico kan gebeuren door vergelijking met vooraf vastgelegde bovengrenzen. Men maakt een kosten/batenanalyse of een afweging van de kosten. De gebruikelijke methodes voor de beoordeling van risico's berusten op het zogenaamde ALARP principe ("As Low As Reasonably Possible").

Wat betreft het risico voor personen in het geval van branden in geïndustrialiseerde landen, wijzen statistieken op een jaarlijks dodental begrepen tussen 0,4 en 2 per honderdduizend inwoners. Het publiek [35] staat meer terughoudend om een klein aantal zware accidenten te aanvaarden dan eenzelfde risico dat gespreid is over een groter aantal accidenten van kleinere omvang. Uit talrijke studies en methodes voor de inschatting van risico's, blijkt dat de perceptie en dus de aanvaarding van een risico vermindert met het kwadraat van het aantal potentiële slachtoffers [16]: dit betekent dat de aanvaardbaarheid van 3 slachtoffers 10 maal kleiner is dan deze van 1 slachtoffer. Analooch is voor 10 slachtoffers de aanvaardbaarheid 100 maal kleiner dan voor 1 slachtoffer. Ondermeer hiermee kan verklaard worden waarom de wetgever strengere brandweerstandseisen oplegt aan hoge gebouwen dan aan lage gebouwen.

Verskillende werkwijzen werden ontwikkeld op basis van berekeningen. Ze vormen een nuttig hulpmiddel voor de inschatting van het brandrisico in functie van een groot aantal parameters. Deze methodes voor risicoanalyse kunnen ingedeeld worden in drie types: kwalitatieve, semi-kwantitatieve en kwantitatieve methodes. Deze methodes kunnen echter het oordeel en het redeneringsvermogen van geoefende personen niet vervangen voor het vastleggen van de beschermingsmaatregelen.

8.3.2.1. Kwalitatieve methodes

Kwalitatieve methodes worden dikwijls op informele wijze toegepast wanneer een vergelijk beoogd wordt en wanneer de effecten op de veiligheidsstrategie bij brand beperkt zijn. De ondervinding en de feeling van de ontwerper zijn meestal voldoende om kleine aanpassingen uit te voeren aan de erkende bestaande oplossingen of om de performantie van de verschillende veiligheidsmaatregelen op een kwantitatieve wijze te classificeren. Het performantiecriterium dat gebruikt wordt bij het nazicht is relatief en wordt uitgedrukt in termen van "even zeker als" of "niet slechter dan".

8.3.2.2. Semi-kwantitatieve methodes

De **semi-kwantitatieve methodes** zijn een eenvoudig middel in veel gevallen waar de brandveiligheid geëvalueerd moet worden maar waar door gebrek aan tijd of middelen geen gedetailleerde kwantitatieve risicoanalyse kan uitgevoerd worden. Bij het beheer van industriële risico's worden **puntenlijsten met gewichtscoefficienten** [20] evenals de **methodes met indices** ruim gebruikt om de verschillende preventieve veiligheidsmaatregelen te classificeren en er prioriteiten aan toe te kennen.

Methodes met puntenlijsten

Methodes gebaseerd op puntenlijsten werden in Zweden ontwikkeld voor ziekenhuizen als hulpmiddel voor de

brandinspectiediensten. Nochtans werd deze methode nog niet gebruikt in de conceptiefase van de brandveiligheid aangezien momenteel enkel het zoeken naar een vergelijk tussen de verschillende veiligheidsobjectieven van de reglementering impliciet toegelaten wordt. Het is bovendien niet duidelijk hoe de aspecten die niet opgenomen zijn in de reglementering, zoals organisatorische en vormingsaspecten, moeten behandeld worden terwijl ze toch de brandveiligheid van een gebouw beïnvloeden.

De methodes met indices

In de loop der jaren, werden diverse methodes gebruikt om classificaties op te stellen zoals het systeem GREENER en de NFPA methodes.

De NFPA procedures zijn toepasbaar op verschillende types gebouwen, volgens de traditie in de Verenigde Staten.

In Zweden werd een classificatieprocedure ontwikkeld voor ziekenhuizen, in de lijn van methodes gebruikt in Groot-Brittannië. Er wordt een gewichtscoefficiënt toegekend volgens de voorkeur van de bevoegde personen en dit gecombineerd met categorieën van parameters die toelaten het risico te evalueren. De SAW methode ("Simple Additive Weighting") wordt het meest toegepast.

Het GREENER systeem is gebaseerd op statistieken van Zwitserse verzekeringsmaatschappijen en werd aanvankelijk gebruikt voor industriële toepassingen.

- 1970 : methode van M. GREENER (Zwitserse ANPI) : ze laat enkel toe het risico met betrekking tot bezittingen te evalueren ; ze is sterk verspreid in Zwitserland en Oostenrijk.
- 1978 : de Franse methode ERIC (Evaluation du Risque d'Incendie par le Calcul) : bij deze methode wordt naast het risico met betrekking tot bezittingen ook het risico met betrekking tot personen beschouwd.
- 1981 : E. DE SMET (Belgische ANPI) heeft een uitgebreide versie van de methode GREENER ontwikkeld met de benaming FREME : Fire Risk Evaluation Method for Engineering.
- 10 jaar later stelt E. DE SMET een nieuwe versie van de FREME methode op punt onder de benaming FRAME (Fire Risk Assessment Method for Engineering), waarin een derde aspect van het brandrisico aan bod komt namelijk het exploitatieverlies, dat betrekking heeft op de activiteiten die plaats vinden in het beschouwde gebouw. De methode wordt in België onderwezen in de hogere cursus van de ANPI en ook aan de ingenieur-architecten van de Universiteit Gent. De methode werd reeds aanvaard door de Belgische autoriteiten (brandweerdiensten, technische inspectie) voor gevallen waar de wettelijke voorschriften als dusdanig niet konden toegepast worden. Een officiële erkenningsaanvraag van de methode werd in 2001 ingediend bij het Ministerie van Binnenlandse Zaken. Voor eenzelfde project en naargelang de expert die de gegevens invoert, kunnen de resultaten aanzienlijk verschillen

De FRAME methode berust op drie basisbegrippen :

1. In een goed beschermd gebouw bestaat een evenwicht tussen gevaar en bescherming. Het risico wordt gedefinieerd aan de hand van een index die gelijk is aan de verhouding gevaar/bescherming. Een waarde kleiner dan 1 correspondeert met een goede bescherming van het gebouw ; een index groter dan 1 wijst op een slechte bescherming.
2. Het aspect "gevaar" wordt gedefinieerd door een index gelijk aan de verhouding van "het potentieel risico P" en het "aanvaardbaar risico A".
3. Het aspect "bescherming" kan berekend worden uitgaande van specifieke waarden voor de beschermingstechnieken : blussen met water, evacuatie, brandweerstand, manuele en automatische interventiemiddelen.

Er worden drie berekeningen uitgevoerd : een eerste berekening voor het gebouw en zijn inhoud, een tweede voor de personen die het gebouw gebruiken en een derde voor de economische activiteiten die in het gebouw plaats vinden. Bij deze drie berekeningen komen de invloedsfactoren niet op dezelfde manier tussen aangezien zowel het potentieel risico als het aanvaardbaar risico verschillend zijn naargelang het gaat om personen, bezittingen of economische activiteiten.

8.3.2.3. De kwantitatieve methodes

Berekeningen van brandveiligheid zijn gebaseerd op drempelwaarden voor het risico die niet mogen overschreden worden voor de beschouwde oplossing. De echte kwantitatieve methodes voor risicoanalyse bevatten expliciet het gecombineerd effect van de frequentie en de gevolgen van mogelijke ongevallen. In de methode beschreven in bijvoegsel E van Eurocode 1, waarbij rekening wordt gehouden met de actieve brandbeschermingsmaatregelen, wordt geen expliciet verband gelegd tussen de kans op ongevallen en de gevolgen ervan.

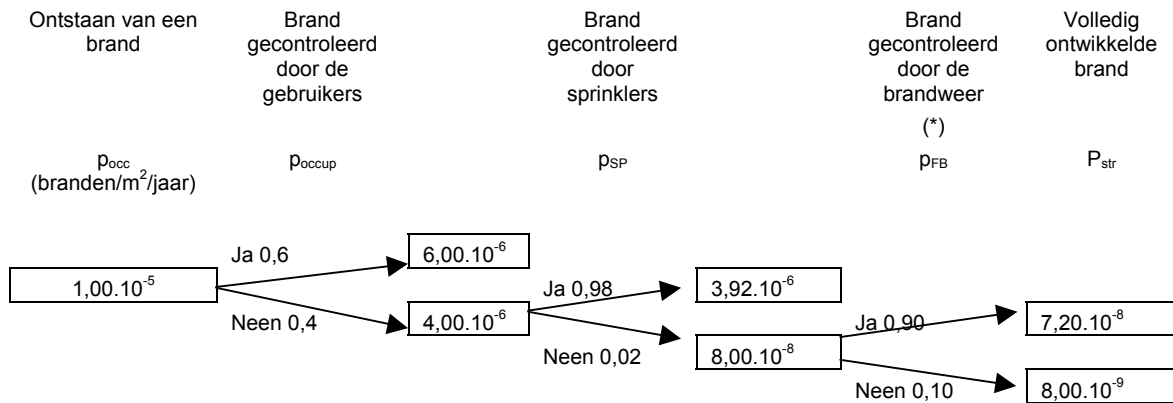
In de Eurocode "Grondslagen van het constructief ontwerp" [109] wordt slechts een grove classificatie gegeven onder de vorm van gevolgklassen per type constructie : grote, gemiddelde of kleine gevolgen met betrekking tot verlies aan mensenlevens of economische, sociale of milieugevolgen in het geval van structureel falen.

De meeste constructies worden berekend volgens klasse CC2 waarvoor de gevolgen van falen van de constructie "gemiddeld" zijn. De klassen CC1 en CC3 stemmen overeen met respectievelijk kleine en grote gevolgen (concertzalen, tribunes).

Met iedere gevolgklasse stemt een veiligheidsindex β overeen. In sommige Scandinavische landen wordt voor ieder type constructie-element een verschillende minimum waarde van de veiligheidsindex vastgelegd. Zo is de veiligheidsindex voor een kolom groter dan deze voor een secundaire balk : de gevolgen van bezwijken worden dus meer gedetailleerd in rekening gebracht.

De methodes kunnen variëren van een eenvoudige kwantitatieve analyse van het gedrag van een element (brandweerstand, de responstijd van een bepaald type branddetector, ...) tot een volledige kwantitatieve risicoanalyse,

met inbegrip van diverse gebeurtenissenbomen en het expliciet in rekening brengen van onzekerheden.



Figuur : Voorbeeld van een gebeurtenissenboom

Gebeurtenissenbomen worden veel gebruikt om het menselijk gedrag en de betrouwbaarheid van geïnstalleerde brandbeschermingssystemen in rekening te brengen. Van deze werkwijze wordt gebruik gemaakt in de methode in bijvoegsel E van Eurocode 1.

De standaard kwantitatieve analysemethoden leveren geen maat op voor de onzekerheid op het bekomen resultaat alhoewel een dergelijke maat onontbeerlijk is voor het nemen van een rationele beslissing. De bezwijkkans hangt af van de onzekerheid op de gegevens, de modellen, de vooropgestelde hypothesen en zelfs van de gevolgen van bezwijken. Een eerste oplossing bestaat erin de onzekerheden te behandelen via vereenvoudiging op basis van conservatieve aannames omtrent de karakteristieke waarden van de gegevens of door het invoeren van veiligheidscoëfficiënten.

De uitgebreide kwantitatieve methode combineert de traditionele analyse van onzekerheden en de standaard kwantitatieve methode. Door de parameters van de brandbelasting, de ventilatievoorwaarden en de responstijd (= Monte Carlo simulatie) te laten variëren kan het risicoprofiel voorgesteld worden als een gemiddelde met een bijhorend betrouwbaarheidsinterval. Hierdoor worden de variatie van het risico en de variatie van de kans voor bepaalde gevolgen, meer specifiek in rekening gebracht.

8.4. Industriële gebouwen

8.4.1. Classificatie van uitgevoerde activiteiten en brandrisico's voor industriële gebouwen

In de bijvoegsels van de NBN EN 12845 [108] zijn de risicoklassen volgens het Europees Comité voor Verzekeringen opgenomen. In het document CEA 4001:2003 van dit comité [65] wordt een classificatie gegeven van de uitgevoerde activiteiten en de brandrisico's in industriële gebouwen. De gebruikte automatische sprinklersystemen worden bepaald op basis van deze classificatie. De classificatie is gebaseerd op risico's met lage calorische potentiaal (LH = "low hazard"), gewone risico's (OH1 tot OH4) of zeer hoge risico's (HH). Bij de zeer hoge risico's wordt een onderscheid gemaakt tussen gebouwen waarin productieactiviteiten plaats vinden (HH/P1 tot HH/P4) en gebouwen voor opslag (HH/S1 tot HH/S4).

In het geval van gebouwen voor opslag, houdt het getal dat het risico weergeeft rekening met de aard van de gestockeerde goederen (gedefinieerd op basis van een product en zijn verpakking). Het getal is functie van de hoeveelheid vrijkomende warmte (kW) van de gestockeerde goederen die wordt bekomen als product van de verbrandingswarmte (kJ/kg) van de goederen en hun verbrandingssnelheid (kg/s). De verbrandingswaarde hangt af van het opgeslagen materiaal en de verbrandingssnelheid hangt af van het materiaal en de manier waarop het gestockeerd is.

Om producten in te delen in categorieën wordt in deze methode eerst het materiaal beschouwd om een materiaalfactor vast te leggen die vervolgens eventueel gewijzigd wordt volgens de stockeringsconfiguratie.

De stockeringsconfiguraties door opeenstapeling, in paletten of op rekken vormen het onderwerp van een classificatie waarvoor grenzen en eisen zijn opgelegd. De stockeringshoogte, de breedte van de gangen en de afmetingen van de afzonderlijke stockeringsblokken worden behandeld.

Het is van fundamenteel belang dat zowel de architect, de bouwheer als de bevoegde instanties kennis nemen van deze classificatie.

Meer bepaald kan eenzelfde product [49] tot twee verschillende categorieën behoren naargelang de stockeringswijze : rollen bitumenpapier of rollen karton branden gemakkelijker bij verticale stockering dan bij horizontale stockering.

Welke architect of bouwheer is zich bewust van het gevaar en de gevolgen van deze classificatie ? De verleiding is groot om, op economische gronden, te kiezen voor de klasse die overeenkomt met de kleinste brandweerstand. Maar welke exploitant zal zich later herinneren dat hij zijn rollen bitumenpapier horizontaal moet stockeren ? Of dat zijn gebouw opgevat werd voor de stockering van rollen licht karton ? Deze onwetendheid kan zware gevolgen hebben op legaal en strafrechtelijk vlak, in het geval kwetsuren of overlijdens waarbij men riskeert verzeild te geraken in eindeloze discussies met de verzekeringsmaatschappijen !

Iedere wijziging van de stockering (materiaal of configuratie) kan inderdaad het risico wijzigen : het beschermingssysteem met sprinklers moet dan aangepast worden want men riskeert niet meer te voldoen aan de eisen van de verzekering en de reglementering.

Evenzo, wanneer bij de oorspronkelijke dimensionering uitgegaan werd van natuurlijke branden moet de brandweerstand geverifieerd worden voor de nieuwe thermische belastingen.

Men spreekt meer en meer van duurzame constructies. Duurzame gebouwen laten toe om, met behoud van de dragende structuur, compartimenten te wijzigen, de activiteiten te veranderen of een nieuwe gevel te installeren.

De reserve die betonconstructies bieden ten aanzien van de brandweerstand, biedt een grotere flexibiliteit in het wijzigen van de stockering en veranderingen in het gebruik. De levensduur van betonconstructies zonder onderhoud, is een belangrijk aspect.

Er bestaan uitstekende materialen voor het uitvoeren van brandmuren, maar wat stelt men vast in de praktijk ?

Dikwijls wordt de standzekerheid van deze brandmuren, die moeten weerstaan aan branden van 2 tot 4 uur, verzekerd door een structuur met een brandweerstand van nauwelijks 15 minuten. Indien de muur niet instort door de val van de dragende structuur of beschadigd is door het instorten van een naburige constructie, zal hij zich meestal in een zodanig instabiele toestand bevinden dat hij een reëel gevaar voor de hulpdiensten betekent.

Brandmuren zijn noodzakelijk, maar ze moeten dan ook goed opgevat worden.



Honda – Aalst [58] : (bron ERGON). De kaap van 50 m is overschreden. De compartimentering wordt gerealiseerd met de balken zonder openingen.

Teneinde het werk meer flexibel te maken en een opslaghall te realiseren die zo multifunctioneel mogelijk is werd de breedte van 50 m overschreden, zonder tussenkolommen voor deze hall met een lengte van 100 m en een vrije hoogte van 10 m.

8.4.2. Branden in opslagplaatsen

René Dosne heeft in 2001 [48] een studie gemaakt over branden in opslagplaatsen.

Deze studie is enkel toegespitst op gevallen die René Dosne zelf meegemaakt heeft gedurende zijn 43 jaar lange operationele samenwerking aan de zijde van de Parijse brandweerdiensten. Deze gevallen zijn geïllustreerd voor het tijdschrift ALLO 18 (...) van deze brandweerdiensten.

Deze studie is eveneens onderbouwd door 24 jaar samenwerking met het tijdschrift "FACE AU RISQUE" van het C.N.P.P. door het verzorgen van de rubriek "leerzame branden", waarin in totaal 180 branden besproken werden waarvan een groot deel in opslagplaatsen (...)

"Na talrijke keren de dramatische strijd meegemaakt te hebben tegen krachtige branden die de mogelijkheden van de hulpdiensten dreigden te overstijgen, de ongelofelijke kracht en de ontwikkeling van het vuur ingeschat te hebben waarbij gespeeld wordt met de middelen van de hulpdiensten, de aankondigingstekenen van een algemene vlamoverslag waargenomen te hebben, van een opslagplaats die de brandweerdiensten op het laatste moment verlieten voor hij verdween in de vlammen, is het duidelijk dat oplossingen moeten geïntegreerd worden in het stadium van het ontwerp van een gebouw."

Hoeveel brandweerlui die een brand hebben zien voortschrijden in een gebouw hebben zich niet in gedachten een goede muur in metselwerk voorgesteld die plots opdoemt zodat ze de tijd hebben om hun brandspuiten te gebruiken ! (...)"



Brand in een opslagplaats aan de Loire (bron CIMBETON)



Blijvend gevaar op instorting en vervuiling (bron CIMBETON)



*Brand in het logistieke verdeelcentrum van Grenoble.
Branden in industriële gebouwen vragen meestal om de inzet van de
omvangrijkste bestrijdingsmiddelen (bron CIMBETON)*

De lichtheid van sommige constructies, de aanwezigheid van een enorme calorische potentiaal, de indrukwekkende afmetingen, het niet of verkeerd toepassen van de geldende reglementeringen en de ontoereikendheid van de brandbestrijdingsmiddelen leiden tot enorme schade: gemiddeld 750 000 euro per ramp in Frankrijk met daar bovenop nog een exploitatieverlies van miljarden euro's (...)

Deze constructies zijn omwille van economische redenen vaak zeer licht opgevat en daardoor verwoest na het eerste halfuur blootstelling aan brand. De hulpdiensten kunnen hierdoor niet doeltreffend optreden in het gebouw.

Soms kan de brand wel nog doeltreffend bestreden en beheerst worden. Het gevaar op instorting van sommige constructies dwingt de brandweer echter tot voorzichtigheid en tot het blussen van op afstand vanuit de ingang. De efficiëntie wordt hierdoor sterk verminderd.

De eerste vaststelling is het ontbreken van een minimum stabiliteit. Tussen het ontdekken van de brand en het ter plaatse zijn van de eerste brandspuit verloopt vaak 20 tot 30 minuten. Indien de dragende structuur uit niet beschermd staal is opgebouwd zal zij al rond deze tijd vervormd zijn en de omgevende muren belasten. De brandspuiten kunnen dan de betreffende ruimte niet meer bereiken. Een brandweerstand van één uur zou redelijk zijn (...)

In opslagplaatsen worden de goederen zeer snel vervangen. Men schat binnen een maximum van 30 dagen. Het is voor de brandweer onmogelijk te weten of de van toepassing zijnde maatregelen voor de opslagplaats ook overeenkomen met de gestockeerde goederen en of dit morgen nog het geval zal zijn (...)

Zo is er het voorbeeld van een meubelbewaarpplaats te Nanterre, waar de uitbater ook spuitbussen en 10 000 l brandstof opsloeg ! De vlamontwikkeling tot 15 meter boven het dak was vergelijkbaar met een brand in een depot voor koolwaterstoffen.

Oorzaken :

Branden (70 %) ontstaan voornamelijk buiten de werkuren, dit is 's nachts of gedurende het weekend. In 26 % van de gevallen is er sprake van brandstichting, waar nog een gedeelte van de niet achterhaalde oorzaken bijgeteld moet worden.

's Nachts en buiten de werkuren wordt de brand pas ontdekt als hij de buitenkant van het gebouw bereikt heeft. Bij aankomst van de hulpdiensten is de toestand dus al te ver gevorderd om nog efficiënt te kunnen optreden vooraleer alles in vuur staat en instort.

Naar gelang de zones schat men 20 tot 50 minuten vertraging tot wanneer de eerste brandspuiten kunnen ingezet worden.

Door een goede opvatting moeten opslagplaatsen gered kunnen worden ondermeer door de interventie van de hulpdiensten.

Daken en bijhorende elementen:

Een hedendaagse opslagruimte is eigenlijk een doos die aan één kant open is (een reeks poorten) en voorzien van één of twee kantoorverdiepingen.

De dragende structuur is in beton of staal en de gevels bestaan uit geprofileerde staalplaten of uit geprefabriceerde betonelementen. Het dak is bijna steeds gelijkaardig : een stalen bak bekleed met een isolerende en waterdichte bedekking, vaak bitumineus.

In geval van brand (...) zal de bitumineuze bedekking smelten door de hoge temperaturen tengevolge van warmtegeleiding via de stalen bak. Het gesmolten bitumen druipt naar beneden in de opslagplaats en zal desgevallend secundaire vuurhaarden veroorzaken.

De bijdrage van deze dakbedekking tot de totale brandstof is zeer beperkt in vergelijking met de enorme calorische potentiaal van de opgeslagen goederen. Als brandverspreider tot buiten de brandende cel speelt ze echter wel een heel belangrijke rol (...)

De bitumineuze dakbedekking zou, wanneer ze niet onderbroken is door brandmuren, moeten onderbroken worden door onbrandbare banden van een zekere breedte met een schikking in ruitpatroon (...)

Het reël gevaar verbonden aan bitumineuze bedekkingen wordt ook geïllustreerd door ongelukken bij dakwerken, waarbij het bitumen puntsgewijze gebrand wordt. Sommige hete druppels vallen in het gebouw en ontsteken een brand.

"Er bestaat geen voorbeeld van een brand dat men niet gedoofd heeft !", zegt de brandweer. De blusduur en de oppervlakte van de brandende zone maken het verschil. Het bepalen van de maximale oppervlakte van het vertrek waarbij de brand beheersbaar blijft is een moeilijke opgave.

Vanaf enkele honderden m² brand is een gevuld vertrek verloren. Het stoppen van een brand is uiterst delicaat als ze niet tegen een weerstand (muur) botst of een grote strook zonder goederen.

Een brand in een ruimte van 10 000 m² met lage en omvangrijke stockering voorzien van een voldoende ontrokkingsoppervlakte is gemakkelijker beheersbaar dan een ruimte van 2000 m² maar gevuld tot tegen het plafond (...)

Een brand blijft beheersbaar indien de hulpdiensten met hun brandspuiten de hele oppervlakte vanaf de gevels kunnen bestrijken. (35/40 m nuttige reikwijdte). Indien toegang mogelijk is langs twee tegenoverstaande zijden kan men dus tot afstanden van 80 m gaan.

Wegens de uiterst grote rookgasproductie van de huidige producten, zou de rookafvoeroppervlakte veel groter moeten zijn dan nu het geval is. Voor opslagplaatsen met een staalskelet en een dak van staal of vezelcement stelt het rookafvoerprobleem zich niet lang : de rookgassen zijn vrij vlug afgevoerd aangezien ontsnappingsopeningen ontstaan door de verhitte structuur. Bij daken opgebouwd uit betonelementen ligt dit gevoeliger.

Betonnen daken met onvoldoende afvoermogelijkheden houden de rook en warme gassen op in het compartiment. Deze branden in gesloten ruimtes creëren een oveneffect, waarbij alle toegang onmogelijk wordt en vlamoverslag niet lang uitblijft.

Compartimentering :

Brandmuren moeten boven het dak uitsteken om zo de doorlopende brandbare dakbedekking te onderbreken. Deze bedekking is immers een niet te verwaarlozen bron voor branduitbreiding naar naastliggende compartimenten.

Normaal zijn brandmuren onafhankelijk van de draagstructuur, maar bij brand kan deze situatie veranderen door de nabijheid van een stalen structuur die door zijn vervorming het geheel of gedeeltelijk instorten van de brandmuur veroorzaakt.

Bij verscheidene incidenten heeft men gemerkt dat de sluiting van branddeuren verhinderd was door een te lage plaatsing van de smeltveiligheid die het commando tot sluiting geeft. De muur kan al eerst vervormd zijn, of er kan puin neergevallen zijn waardoor de deur door het laattijdige signaal niet volledig kan sluiten. De smeltveiligheid of detector moet zo hoog mogelijk onder het dak geplaatst worden zodat zonder vertraging het signaal tot sluiting van de deur kan gegeven worden.

De inhoud :

(...) De manier van stockering (op paletten, verpakt, op metalen rekken) is soms vergelijkbaar met goed verluchte houtstapels waarin het vuur zich met gemak ontwikkelt.

De hoogte van de stapeling moet beperkt worden ten opzichte van het plafond om het optreden van vlamoverslag uit te stellen, alhoewel dit verschijnsel dikwijls vastgesteld wordt tijdens brandontwikkeling.

De rekken moeten loodrecht op de gevel geplaatst worden om zo over meer toegang en openingen te beschikken voor het bereik door de brandspuiten. In grote opslagplaatsen stelt men vaak vast dat een belangrijk centraal gedeelte buiten het bereik blijft van brandspuiten met een nuttige draagwijdte van 40 meter.

De tijdsduur tussen de ontdekking van een brand en de interventie van de brandweer is moeilijk te verminderen. Factoren zoals de afstand tot de brandweerkazerne en de verkeers- en weersomstandigheden kunnen deze tijdsduur verlengen.

Bij aankomst van de brandweer is de toestand vaak al vergevorderd en verhindert het risico op instorting hen toegang tot het gebouw (...)

Tussenkoms van de brandweer :

Al te hevige branden, geblokte toegangen (ijzeren hekkens of "gordijnen"), instortingen van de structuur die de toegang verhinderen, te grote afmetingen van opslagplaatsen waarbij de brandspuiten niet de ganse oppervlakte kunnen besproeien, onvoldoende toegang via de 4 gevels. Bovenstaande opsomming geeft aan dat de brandweer dikwijls gedwongen is om aan de gebouwgrenzen te blijven, en om zonder veel doeltreffendheid over gesloten gevels te spuiten.

Deze branden vragen gemiddeld om een waterdebiet van 400 tot 600 m³/uur, dat hoger is dan de mogelijkheden van het plaatselijk waterleidingsnet.

Vele industriezones beschikken niet over een waterleidingsnet dat aangepast is aan de brandrisico's. Hun brandpalen zijn slecht of soms niet (!) gevoed en worden "bloempotpalen" genoemd door de brandweer. Het fenomeen komt vaak voor ...

Frigoruimtes en door sandwichpanelen geïsoleerde gebouwen:

Elk jaar branden verschillende gebouwen af waarin in grote mate sandwichpanelen met een polyurethaankern gebruikt werden. Of deze panelen nu M4 of M1 zijn (zie p19), treedt door de specifieke monteringswijze een lonteffect op dat moeilijk te stoppen is daar bij brand het vuur als het ware door de wanden loopt.

Het volstaat om deze continuïteit van brandbaar materiaal te onderbreken door bij de montage onbrandbare strippen in de voegen te voorzien of door in enkele panelen polyurethaan te vervangen door onbrandbare minerale wol of glaswol. Deze brandonderbrekende zones laten de hulpdiensten toe hun apparatuur op een stevige basis te laten steunen.

Opslagplaatsen en milieuvervuiling :

Sinds Sandoz te Bazel, Nantes en Rhône Poulenc te Péage de Roussillon staan de hulpdiensten voor een keuze : toxische rookproducerende branden besproeien en zo de ondergrond vervuilen met het bluswater of het sproeien beperken om de opvangbekkens niet te laten overlopen met als gevolg dat de brand langer rook produceert (...)

De brandweerstanden van structuren, van daken, van dakbedekkingen, compartimentering, automatisch rookgasafvoer, blussen, ... mogen niet afzonderlijk bekeken worden, maar moeten geïntegreerd worden in een samenhangend ontwerp. Wat levert een onbrandbare dakbedekking op als het door een snelle instorting van de draagstructuur in het vuur valt ? Wat is een automatische blusinstallatie waard als de opslag wanordelijk, te dicht of te hoog is waardoor zijn werking gedeeltelijk te niet gedaan wordt? Wat is men met rookafvoerluiken die gedimensioneerd werden op goederen die men niet langer stockeert ? ...

Opdat een brand tot het beginstadium zou beperkt blijven moet naast een ontwerp volgens de regels van compartimentering en rookgasafvoer, ook de wijze van stapelen intelligent opgevat zijn in termen van vrije hoogte onder het plafond, de breedte van de gangen, het voorzien van eilandjes van enkele honderden m² omringd door brede gangen in het geval van cellen met grote oppervlakte. Men verliest uiteraard aan nuttig volume ! (...)"

Tekst van René Dosne: copyright vrij van rechten voor alle publicaties uitgegeven door de leden van CEMBUREAU / BIBM / ERMCO met inbegrip van de websteaks

Sandwichpanelen met metalen huid

Betonpanelen veroorzaken geen milieuverontreiniging bij brand. Daarentegen worden door de onvolledige verbranding [67] van het polyurethaanschuim uit sandwichpanelen wel schadelijke en hinderlijke rookgassen geproduceerd waardoor evacuatie en blussing bemoeilijkt wordt.

De goede isolerende eigenschappen van sandwichpanelen zijn verantwoordelijk voor een snelle temperatuurstijging in de lokalen en dus een versneld optreden van flash-over.

Voegen tussen de panelen

De montage van sandwichpanelen is zeer belangrijk en dient met de grootste zorg uitgevoerd te worden. Het schuim mag op geen enkele wijze bloot komen te liggen, anders loopt men kans op contact met vonken, vlammen, gloeiende houtskooldeeltjes in de lucht ... Het gebruik van speciale kaders rond deur- en raamopeningen kan dit risico verhelpen.

Maar een gebouw evolueert : er worden openingen gemaakt in de sandwichpanelen, wanden worden toegevoegd en weggenomen, waardoor de synthetische kern van de panelen bloot komt te liggen.

Verscheidene catastrofale branden bij gebouwen met sandwichpanelen met synthetische kern hebben tot een groeiend bewustzijn van de mogelijke gevaren geleid bij de constructeurs, de aannemers, de architecten en projectleiders.

Het gebruik van sandwichpanelen in onder meer de voedingsmiddelenindustrie brengt in dat soort gebouwen geen geschikte en doeltreffende oplossing voor het probleem van de brandveiligheid. Er blijven nog te veel onbekenden over !

Het belang van proeven op grote schaal

Vergelijking tussen de Eurobrandklassen en methodes voor proeven op grote schaal toont aan dat de indeling volgens de Euroklassen duidelijk te optimistisch is in vergelijking met deze uitgevoerd volgens proeven op grote schaal.

Dit is één van de redenen waarom verzekeringsmaatschappijen meer en meer proeven eisen op grote schaal om de veiligheid in gebouwen te verzekeren.

Hieronder zijn enkele bedenkingen opgesomd die van belang zijn voor de verschillende betrokken partijen.

Het standpunt van de verzekeraars [56]

Om de mogelijke risico's te evalueren en het bedrag van de verzekeringspremie te berekenen baseert de verzekeraar zich op 7 verschillende criteria :

1. Het risico op het ontstaan van een brand naargelang de activiteiten van het bedrijf ;
2. De nabijheid van derden ;
3. De aard van de constructie, in rekening gebracht door een classificatiemethode van gebouwen die elk onderdeel van de constructie beschouwt in functie van de stabiliteit en de brandbaarheid van de constructie-elementen. Deze methode kent een constructiecode toe in functie van de aard van de materialen. In een tabel

kan een verhoging of vermindering, die van toepassing is op de gebruikte constructie, afgelezen worden. De afwijkingen liggen tussen -25 % tot +50 %.

Het verschil in het bedrag van de verzekeringspremie tussen een gebouw met een skelet en dakbedekking in beton en een oplossing in staal is in de grootteorde van **30 % in het voordeel van beton**.

4. De wijze van verwarmen van de gebouwen ;
5. De kwaliteit van de elektrische installaties ;
6. Het voorkomen van branden : bewaking, rookverbod, afvalbeheer, vloeistoffen, gassen, onderhoud van technische installaties, bestrijding van kwaad opzet ;
7. Brandbescherming : opleiding van personeel, sprinklers, brandblussers, rookafvoerkleppen, watervoorziening, ... en **compartimentering**.

"Een opvatting van het geheel die rekening houdt met deze principes, laat toe om het bedrag van de verzekeringspremie voor brand gevoelig te verminderen, maar ook om de menselijke en economische gevolgen voor dit type incident te beperken. Reeds bij het uitwerken van het concept van een nieuw gebouw, een uitbreiding of een herinrichting is het dus aangewezen om de verzekeringsmaatschappijen te contacteren."

De APSAD-regels in Frankrijk (Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurances Dommage) met betrekking tot scheidingsmuren met een zekere brandweerstand (CF 2 h of 4 h) formuleren uitdrukkelijk de te respecteren uitstekende hoogte of lengte op het dak en de zijkanten van het gebouw.

Hetzelfde geldt voor openingen in brandwerende muren voorzien van branddeuren en doorgangen voor elektrische kabels, kanalen, leidingen en transportbanden.

Brandbestrijding.

De doeltreffendheid van de hulpdiensten hangt in eerste instantie af van de snelheid waarmee de brandweerdiensten verwittigd worden.

In het geval van brand in opslagplaatsen kunnen verschillende moeilijkheden zich voordoen :

moeilijkheid om door te dringen, de omvang van het vuur bij aankomst van de hulpdiensten, gevaar op instorting van de structuur waardoor de doeltreffendheid van de brandspuiten beperkt wordt, grote hydraulische debieten.

Brandbestrijding van opslagplaatsen heeft niet louter te maken met de externe hulpdiensten, wat ook hun middelen zijn en hun snelheid om ter plaatse te zijn met voldoende watervoorraden. Het is echter op het ontwerpniveau dat het risico op brand in rekening moet worden gebracht. Nochtans komt het te veel voor dat opslagplaatsen niets meer zijn dan "paraplu's", zonder andere ambitie dan het beschermen van de opgeslagen goederen tegen slechte weersomstandigheden en diefstal.

In stedelijke gebieden, waar de hulpdiensten snel ter plaatse zijn met voldoende krachtige middelen, komen inderdaad dezelfde verwoestingen voor als in landelijk gebied. Er zijn in een korter tijdsbestek veel meer brandspuiten in gebruik, maar men kan geen weerstand bieden tegen de brandontwikkeling in de

beschouwde cel wanneer men niet over een scherm uit een hard materiaal beschikt als steun voor de brandspuiten.

De gevels

Omwille van de hevige thermische straling bij brand is een zekere afstand tussen het beschouwde magazijn en de naburige gebouwen aangewezen. Schade aan deze gebouwen wordt zo voorkomen en bovendien blijft de toegang voor de hulpdiensten gevrijwaard.

Gezien de grondprijs en de regels voor de inplanting van een gebouw, is het interessant om deze afstand te beperken :

- door het gebruik van een talud met grond uitgegraven bij de bouw van het project ;
- door brandwerende betongevels te gebruiken.

Het gebruik van brandwerende betongevels beperkt de thermische flux naar de naburige gebouwen, de brandweer en hun materiaal. Het is van fundamenteel belang dat deze gevels op zichzelf stabiel zijn of verbonden zijn met een structuur van dezelfde brandweerstand. Zonder twijfel zijn betonstructuren hiertoe het meest aangewezen.



Brandvoortplanting langs gevels (bron CIMBETON)



Door hevige thermische straling wordt de brandweer gedwongen om afstand te houden van de brandende metalen sandwichpanelen met polyurethaanisolatie. (bron CIMBETON).

Voor risicoanalyses zijn in Frankrijk door het Ministerie van Leefmilieu de grenzen voor de thermische straling vastgelegd op 3, 5, 8, 16 en 30 kW/m². Een thermische flux van :

- 3 kW/m² veroorzaakt ernstige brandwonden bij een blootstelling gedurende 1 min voor een niet beschermde persoon ;
- 5 kW/m² is de drempel waarop glas stuk springt ;
- 8 kW/m² is de drempel waarbij een domino-effect optreedt met ernstige schade aan de structuur.

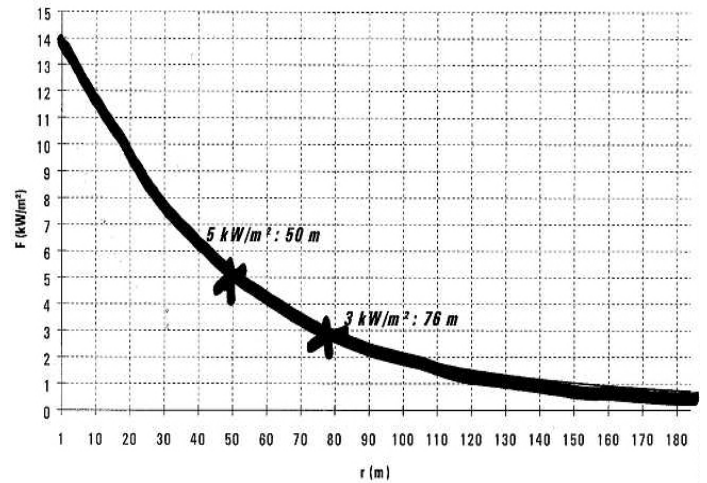
In het algemeen [5] moet deze intensiteit beperkt worden tot een waarde in de orde van 10 tot 15 kW/m².

Voor wat het "domino-effect" betreft wordt in Frankrijk het volgende vastgelegd :

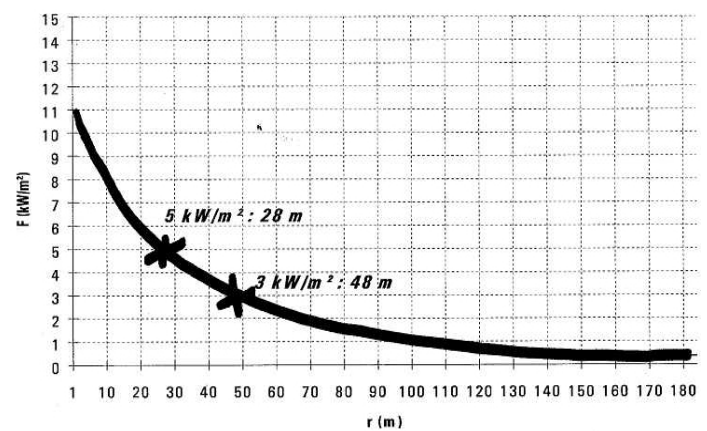
- voor de thermische effecten : 8 kW/m², stemt overeen met het begin van voortplantingsrisico's en
- voor de effecten van drukgolven (explosie) : 140 mbar, stemt overeen met het begin op risico's voor de constructies.

In Frankrijk zijn opslagplaatsen met brandlasten van meer dan 500 T of een volume hoger dan 50 000 m³ (bijvoorbeeld 5000 m² x 10 m (= h)) onderworpen aan de SEVESO-richtlijn, volgens dewelke een risicoanalyse moet worden uitgevoerd.

Deze risicoanalyses hebben aangetoond dat het gebruik van brandwerende gevels voor opslagplaatsen toelaat om de afstand waarop men zich moet terugtrekken met 40 % te verminderen.



(bron CIMBETON).



(bron CIMBETON).



Brandwerende gevels (bron CIMBETON)



Brandwerende betonnen gevelpanelen (bron CIMBETON)



Betonnen gevelpanelen met brandweerstand CF 2h (bron : CIMBETON)

Toegankelijkheid

Aangezien de meeste branden plaats vinden buiten de werkuren levert de toegang tot de terreinen vaak grote problemen op voor de brandweer aangezien men vaak meer geïnteresseerd is in inbraak- dan brandpreventie. Vaak moet de brandweer zware hulpmiddelen gebruiken om de toegang te forceren ! Hierdoor gaan tientallen minuten verloren, waarbij de brand kans heeft om zich verder uit te breiden ...

De brandweer staat dan machteloos en kan slechts rond het gebouw de tekens van een dreigende vlamoverslag observeren zonder doeltreffend te kunnen ingrijpen.

Dit toont aan dat het niet realistisch is om voor dit type gebouw een gemiddelde slaagkans voor het optreden van de brandweer van 90 % voorop te stellen.

Brandhaarden

De brandpalen bevinden zich soms te dicht bij de gevels, waar - door ze blootgesteld worden aan straling van de brand en het risico lopen op instorting. De pompeenheden, verbonden met een slang van 10 meter, worden blootgesteld aan straling. Sommige moeten besproeid worden opdat ze hun functie zouden kunnen blijven uitoefenen, andere moeten worden losgekoppeld met alle gevolgen voor de waterbevoorrading van de brandspuiten ...

Een risicoanalyse moet de risico's duidelijk maken :

- brand en explosie ;
- vervuiling (bodem, water en lucht)

en moet oplossingen voorstellen om de risico's te beperken :

- de voortplanting van de brand vermijden :
 - scheidingsmuren (brandmuren met R_f van 2 h boven het dak uitstekend – op zichzelf stabiel) ;
 - regels voor opslag (spuitbussen, scheiding van producten) ;
 - R_f minimum 2 h voor brandmuren ;
- vervuiling vermijden :
 - ter plaatse het bluswater verzamelen ;
 - oppervlakte van rookafvoerkleppen (goed gedimensioneerd).

Dit houdt in dat de brandveiligheid door veel parameters sterk wordt beïnvloed en dat men ze in rekening moet brengen van bij het ontwerpstadium en vóór de ingebruikname.

8.5. Tunnels

Bij brand kan de temperatuur [46] in tunnels oplopen tot meer dan 1000 °C. In het geval van de Mont-Blanc tunnel op 24 maart 1999 is een Italiaanse vrachtwagen die zich op 300 meter van de vlammen bevond spontaan ontvlamt onder invloed van de thermische straling (+20 kW/m²). Het zijn de banden, rubberen onderdelen en de elementen uit kunststof die getroffen werden.

Om de gedachten te vestigen geeft de volgende tabel de temperaturen waarbij voor enkele vaste stoffen en vloeistoffen spontane ontvlaming optreedt. Om een dergelijke temperatuur te hebben aan het materiaaloppervlak moeten de gassen eerst opgewarmd worden tot een hogere temperatuur :

Vaste stoffen of vloeistoffen	Temperatuur voor spontane ontvlaming (°C)
Hard hout	295
Motorolie	350 tot 500
Papier	230
Polyethyleen	350
Polystyreen	490
Stookolie	330

Er bestaan tabellen die de toelaatbare thermische drempels beschrijven voor de brandweer en gebruikers, in functie van de temperatuur, de thermische straling, de vertraging van interventie en de effecten op de mens tengevolge van de temperatuur van de ingeademde lucht.

De laatste generatie brandweerpakken zijn opgevat om de interventieploeg te beschermen tegen de thermische effecten van een flash-over.



Gat in een brandmuur (bron CIMBETON)

Tunnels en rijwegen in beton

Het laboratorium van de Universiteit van Cergy Pontoise [47] in Frankrijk heeft vergelijkende proeven uitgevoerd op het gedrag bij hoge temperatuur van asfaltmonsters. De onderzochte types asfalt zijn deze die gewoonlijk gebruikt worden voor rijwegen. De proeven werden uitgevoerd onder een thermische belasting volgens de ISO-curve, welke lager is dan de koolwaterstofcurve die normaal gebruikt wordt in tunnels. De resultaten van deze proeven toonden aan dat :

- het asfalt ontvlamt voor waarden tussen 428 °C en 530 °C na slechts 8 minuten opwarming ;
- de eerste dampen worden waargenomen 5 minuten na het begin van de opwarming. De uitgestoten gassen zijn toxisch en sommige zijn verstikkend (CO₂) en kankerverwekkend ;
- het asfalt verliest zijn mechanische eigenschappen en kan zijn hoofdfunctie niet meer volbrengen. Enkel de granulaten blijven over, maar zonder verbonden te zijn door het asfalt.

Beton brandt niet, verweekt niet en produceert geen toxische of ondoorzichtige rook bij brand. Dit gedrag vergemakkelijkt het optreden van de hulpdiensten. De bijdrage aan de brandbelasting van andere types bekledingen kan oplopen tot 25 % van de totale brandbelasting. De lagere brandbelasting vermindert de duur van de brand en bijgevolg ook de schade aan de structuur en de rechtstreekse en onrechtstreekse financiële kosten.

Bovenop dit voordeel van beton is er ook nog het beperkte onderhoud van betonnen rijwegen. Het goede gedrag van de rijweg tijdens een brand zal kortere sluitingstijden van een tunnel toelaten en zorgen voor een vermindering van wegenwerken. Afsluiting met omleidingen van de reisweg zorgt voor een overlast aan pollutie. Wegenwerken met behoud van het verkeer stellen de arbeiders bloot aan ongevallen.

Bij wegtunnels is beton dus te beschouwen als het optimale materiaal voor de rijweg.

Een gemeenschappelijke publicatie van BIBM, CEMBUREAU en ERMCO getiteld : "Improving Fire Safety in Tunnels : The concrete pavement solution" handelt over dit onderwerp. De Franstalige en Engelstalige versies zijn raadpleegbaar en te downloaden op de webstek van FEBELCEM (www.febelcem.be onder "publicaties") of van CEMBUREAU (www.cembureau.be onder "concrete")



© photo-daylight.com, copyright vrij van rechten voor alle publicaties uitgegeven door de leden van CEMBUREAU/ BIBM/ ERMCO met inbegrip van de websteks

Tunnel van Cointe (verbinding E25-E40) te Luik, in België : gebruik van een betonnen wegdek voor een betere veiligheid in tunnels.

C. Voorbeelden van het gedrag bij brand van betonconstructies

1. "Leerzame" branden



(bron : foto's meegedeeld door J. C. López Agüí)

1.1. Wat is er in Madrid gebeurd ?

[50] (bron : Pal Chana, British Cement Association).

Opvallende feiten :

- De WINDSOR, een opvallende wolkenkrabber van 29 verdiepingen in Madrid is blijven recht staan ondanks het feit dat verschillende verdiepingen in brand stonden en het vuur 26 uren gewoed heeft.
- Het enige gedeelte van het gebouw dat instortte, was de randzone met kolommen in staal, die de vloeren van de hogere verdiepingen droegen.
- Het tussentijds rapport van NIST (US National Institute for Standards & Technology) over de ramp in het World Trade Center geeft ondermeer als aanbeveling om "vaste punten" in het structuurconcept van een gebouw te voorzien. De sterke punten van het gebouw WINDSOR in Madrid waren twee "technische verdiepingen" in beton en de aanwezigheid van een centrale kern waardoor het gebouw een brand met een zeldzaam grote intensiteit kon

weerstaan.

- Dit geval is een voorbeeld van het bijzonder goed gedrag van betonstructuren die ontworpen werden volgens traditionele methodes en blootgesteld worden aan een hevige brand. Het toont ook aan wat de risico's zijn die voortvloeien uit tekortkomingen aan of het ontbreken van actieve beschermingen bij staalstructuren.

"Het WINDSOR gebouw is voltooid in 1978 en telt 32 verdiepingen, waarvan 29 bovengrondse en 3 ondergrondse. Het werd gehuurd door het accountantskantoor Deloitte en de Spaanse firma Garrigues, maar op het moment van de brand (rond 23 uur op Valentijnsdag 2005) stond het gebouw omwille van renovatiewerken leeg.

De 20 laagste verdiepingen werden gedragen door een betonnen kern en een betonstructuur. Hogerop werden de betonvloeren gedragen door een centrale structuur van betonkolommen en een reeks stalen kolommen langsheen de rand.

Twee "technische verdiepingen" in beton verlenen aan het gebouw meer weerstand : één niveau juist boven de begane grond en het andere op de 20ste verdieping.

Het torengedouw werd uitgevoerd met een beton van normale sterkte, het werd ontworpen vóór het verschijnen van de recente normen over brandweerstand en het was niet voorzien van een sprinklersysteem. Er waren renovatiewerken aan de gang die, ironisch genoeg, de installatie van actieve en passieve preventiemaatregelen inhielden.

De brand begon op de 21ste verdieping en heeft zich snel uitgebreid, zowel naar boven als naar beneden toe. De brandweerdiensten moesten zich beperken tot het insluiten van de brand. Pas na 26 uren was de brand bedwongen. Er bleef een gebouw achter dat vanaf de 5de verdieping volledig was uitgebrand. De stalen glasgevel was volledig verwoest zodat de betonkolommen vrij kwamen te staan. De stalen kolommen boven de 20ste verdieping waren volledig ingestort. Ze steunden gedeeltelijk op de bovenste technische verdieping.

Opmerkelijk is dat het gebouw is blijven staan."

De instorting van de gevels en de randzone van de hoogste niveaus met de stalen structuur heeft de betonplaat niet doen breken. De brand op de lagere verdiepingen is ontstaan door het neervallen van brandende elementen doorheen de ramen van deze verdiepingen.

De schadeloosstelling gedekt door de brandverzekering wordt op 122 miljoen euro geschat.

Interventies bij een brand met dergelijke omvang kunnen zich enkel toeleggen op de bescherming van de aanpalende gebouwen. De brand heeft zich uitgebreid via de openingen tussen de vloeren en de gevels. De Belgische reglementering legt de ontwerpers speciale voorzieningen op om deze manier van brandverspreiding te vermijden. De betonconstructie heeft stand gehouden ...



(bron : foto's meegedeeld door J. C. López Agüi)

1.2. Het viaduct van de 3 Fonteinen



Zicht onder het brugdek na de brand (bron : ANPI).

Het viaduct van de 3 Fonteinen [27], gebouwd in 1981, maakt deel uit van de autosnelweg E411 en situeert zich aan de rand van Brussel.

Tijdens de nacht van 6 op 7 december 2003 heeft de brug perfect weerstand geboden aan de brand van een houten chalet, dat zich juist onder de 22,5 meter lange hoofdbalken bevond.

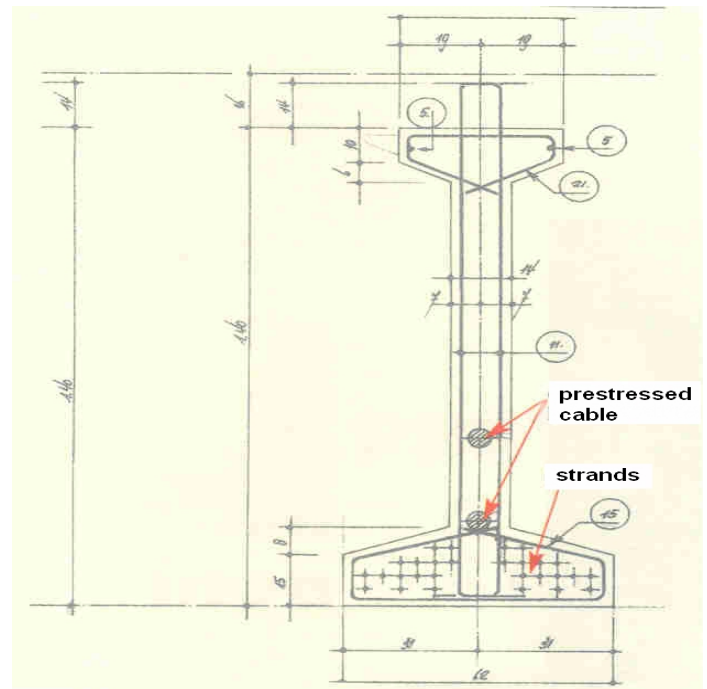
Het viaduct heeft de aanval van een grote gelokaliseerde brand ondergaan. De vuurhaard bestond uit een houten chalet van 195 m² en een mazouttank van minimum 750 l. Het hoogste punt van het dak, dat waterdicht was gemaakt met bitumenvellen, lag op 8,3 m boven de grond.

Dit laatste punt is van fundamenteel belang. Bij een gelokaliseerd brand is het immers zo dat als de vlammen het plafond niet raken, de gastemperatuur boven de vlam niet oploopt boven de 520 °C. Aangezien de hoogte tussen het viaduct en het dak van het chalet beperkt was zijn hier echter de balken en het brugdek rechtstreeks in contact gekomen met de vlammen. Volgens het brandmodel voorgesteld in bijlage C van Eurocode 1, deel 1-2 zou het oppervlak van de betonstructuren blootgesteld geweest zijn aan een temperatuur van 750 °C.

Na visuele inspectie besloot het Brussels Hoofdstedelijk Gewest de beschadigde overspanning volledig te vervangen. Er werd van de gelegenheid gebruik gemaakt om de andere overspanningen te onderwerpen aan een groot onderhoud. Er werd niet overgegaan tot een diagnose van de betreffende liggers of een eenvoudige belastingsproef. De balken werden verwijderd en opgeslagen in de nabijheid van het viaduct (zie de foto hiernaast).

Bij de balken was op verschillende plaatsen het beton afgesprongen en dit zowel aan het lijf als aan de flenzen. Op sommige plaatsen waren de voorspanstrengen en de wapening zichtbaar. Op het ondervlak van de plaat is ook beton afgesprongen en kwam de wapening bloot te liggen.

Bij de balken, voorzien van afzonderlijke voorspanstrengen en van voorspankabels (zie de schets hieronder), werden de verankeringszones van de strengen mogelijk beschadigd en ondergingen de strengen wellicht een belangrijke relaxatie.



Schets van de wapening van de hoofdbalken (bron : ANPI).



Afgesprongen beton bij de hoofdbalken (bron : FEBELCEM).

2. Ontwerp van gebouwen



North-Galaxy Towers te Brussel (Bron : ERGON)

ERGON [31] heeft een variatie in gewapend beton voorgesteld voor de realisatie in 2003 van de twee torengebouwen North-Galaxy van 30 verdiepingen naast het Rogier Centrum in Brussel. Deze variatie bleek niet alleen economischer dan het originele concept van een staalstructuur omhuld met beton, maar ook veel sneller in uitvoering. Bovendien beantwoordt deze oplossing aan de technische voorwaarden zoals voorzien in het oorspronkelijk project, zowel met betrekking tot de afmetingen van de elementen, de beschikbare plaats voor de technieken en de brandweerstand [58]

Het succes van deze toepassing van prefabbeton is te wijten aan het gebruik van hogesterktebeton (HSB) en het aanwenden van een nieuw type TT-elementen.

De snelheid van uitvoering was ook een bepalende factor : de montage van de geprefabriceerde elementen verliep zeer vlot volgens een vooropgesteld schema, aan een tempo van twee verdiepingen per acht dagen. Geen enkel torengebouw in België is ooit zo snel opgericht geweest.

De stabiliteit van de twee torens is verzekerd door een stijve kern gegoten met een klimbekisting.

De volledige voorstudie werd sterk gecompliceerd door een aantal bijkomende strikte eisen van de bouwheer. Deze eisen hadden betrekking op het beperken van het risico op een kettingreactie van instortingen ("progressive collapse"), en werden opgelegd als gevolg van de gebeurtenissen van 11 september 2001.

De brandweerstand van de kolommen in HSB werd aangetoond door berekeningen aan de Universiteit van Luik met behulp van het programma SAFIR (geavanceerde methode).

Door de begrenzing van het HSB tot de sterkteklasse C80/95 met een maximum gehalte silica fume gelijk aan 6 % van de cementmassa, kon afgezien worden van het gebruik van monofilament polypropyleenvezels, in overeenstemming met Eurocode 2 deel 1-2 [107]. Zie ook §7.2.3 met betrekking tot de karakteristieken van hogesterktebeton.

Het gebruik van prefabelementen in torengebouwen bevestigt de voordelen in vergelijking met andere systemen :

- Waarborg van een brandweerstand van 2 uren zonder bijkomende bescherming ;
- Snelheid van uitvoering ;
- Beperkte vervorming van de vloeren ;
- Betere akoestische isolatie van de vloeren ;
- Competitieve kostprijs.

Deze voordelen zijn allemaal al bevestigd op het terrein door meerdere realisaties, zoals :

- Het torengebouw Vazon in Luxemburg (19 verdiepingen) ;
- Uitbreiding van het torengebouw Madou in Brussel (15 verdiepingen) ;
- Uitbreiding van het torengebouw Botanique in Brussel (18 verdiepingen) ;
- Project North Galaxy in Brussel (30 verdiepingen).

3. Brandproeven op gebouwen

Brandproeven op individuele structuurelementen zijn nuttig voor het verbeteren van de kennis aangaande de brandweerstand van deze elementen. Zelden voert men een brandproef uit op een volledig gebouw of op een belangrijk samenstel van verschillende elementen hetgeen toelaat om hun interactie te bestuderen.

3.1. Gent 1974

In Gent werd op 13 juni 1974 [30] een industrieel gebouw in brand gestoken op een vooraf geplande wijze. Het gebouw had een oppervlakte van 12 x 8 m en een hoogte van 6 m.



(Bron : FEBE)

Alle elementen waren geprefabriceerd. De dakbalken hadden een overspanning van 18 m. De dakbedekking bestond uit verschillende betontypes : normaal en licht beton en cellenbeton.

Twee muren waren gerealiseerd in metselblokken en de andere twee bestonden uit gevelpanelen in cellenbeton en licht beton.

De brandlast van 125 kg hout per m² veroorzaakte een hevige brand gedurende één uur, waarna het hout volledig opgebrand was. Het gebouw heeft zich bijzonder goed gedragen tijdens de brand.

De drie voorgespannen hoofdbalken hebben opmerkelijk goed aan de brand weerstaan. Zij werden hersteld en onderworpen aan een belastingsproef. Deze balken vertoonden achteraf een hogere sterkte dan drie balken die niet aan de brand blootgesteld waren. De proeven werden aangevraagd door de Belgische openbare instanties.

De te downloaden film "Concrete is Fire Safe" op de webstek van de Federatie van de Betonindustrie, FEBE, (www.febe.be > febefast > publications > Video) laat toe deze proef te bekijken.

3.2. Cardington 2001



(bron BCA)

De Building Research Establishment (BRE) in Cardington (UK), heeft op 26 september 2001 een brandproef uitgevoerd op een compartiment gelegen op het gelijkvloers van een gebouwstructuur uit gewapend beton van zes verdiepingen. Deze proef maakte deel uit van het "European Concrete Building Project" en werd gefinancierd door de British Cement Association [28], FEBELCEM (Federatie van Belgische Cementfabrikanten) en CEMBUREAU (Federatie van Europese Cementfabrikanten).

Het betongebouw bestond uit 7 bouwlagen van telkens 22,5 m x 30 m. Elke bouwlaag was opgebouwd uit 12 (3x4) velden van 7,7 m x 7,7 m. Uit de proef bleek onder meer het volgende :

- de paddestoelvloer heeft stand gehouden tijdens de proef, niettegenstaande de onderwapening van de plaat bloot kwam te liggen.
- de centrale kolom in hogesterktebeton, voorzien van polypropyleenvezels, vertoonde eveneens een goed gedrag tijdens de brand.



(bron : BCA).

D. Herstelling van betonconstructies

Lessen getrokken uit branden [14], [22]

De "Concrete Society" (UK) heeft in Groot-Brittannië meer dan 100 verschillende betonconstructies onderzocht die door brand beschadigd waren. Dit leverde gedetailleerde informatie op op het vlak van prestaties, evaluatie en herstelling. De studie behelsde zowel woningen, kantoren, opslagplaatsen, fabrieken als parkings en dit met één of meerdere verdiepingen. De onderzochte constructietypes omvatten paddestoelvloeren en andere vloeren op een balkenrooster, balken en kolommen, en dit zowel prefab als ter plaatse gestort en zowel gewapend als voorgespannen. Het onderzoek naar beschadigingen en herstellingen leidde tot de volgende conclusies :

- het merendeel van de structuren werd hersteld. Tussen degenen die niet hersteld werden, zitten ook structuren die wel konden hersteld worden, maar die afgebroken werden om andere redenen dan de schade tengevolge van brand.
- bijna alle structuren gedroegen zich goed tijdens en na de brand.

Algemeen kunnen betonconstructies na brand hersteld worden. Constructies op basis van andere materialen zouden meestal onherroepelijk beschadigd zijn, zelfs bij lage brandlasten.

We nemen hier, bijna letterlijk, de tekst over uit MAG 169 van ANPI : [27]

Een betonconstructie die blootgesteld werd aan hoge temperaturen kan beschadigd zijn. In sommige gevallen kunnen de beschadigingen hersteld worden. In andere gevallen zijn ze onomkeerbaar en moet de constructie afgebroken worden.

1. Inspectiemethodes

Na een brand moet eerst een evaluatie van de structurele integriteit van de betonconstructie worden uitgevoerd. Dit onderzoek bepaalt of het gebouw nog veilig te betreden is. Vervolgens moet de omvang van de schade geëvalueerd worden en moet nagegaan worden of het gebouw te herstellen is.

1.1. Visuele beoordeling

Bij een eerste inspectie zijn afschilferingen, afgespat beton, belangrijke scheuren en vervormingen gemakkelijk te herkennen. Dit kan gebeuren met het blote oog.

Beton is vervaardigd op basis van kalksteen- of kiezelhoudende granulaten: bij opwarming verandert de kleur. De kleurverandering is te wijten aan de aanwezigheid van bepaalde ijzerachtige bestanddelen en is dus afhankelijk van het type beton. Deze kleurwijziging is blijvend, bijgevolg is het mogelijk om op basis hiervan de maximale temperatuur waaraan het beton is blootgesteld te schatten. De verschillende kleuren zijn :

- roos of rood voor temperaturen tussen 300 en 600 °C ;
- witachtig grijs voor temperaturen tussen 600 en 900 °C ;
- mat of helder geel (zeemkleurig) voor temperaturen hoger dan 900 °C.

Dit maakt een evaluatie van de betonsterkte na brand mogelijk. Praktisch gezien kan gesteld worden dat een beton met een roze verkleuring verdacht is. Een temperatuur van 300 °C komt inderdaad overeen met een blijvend verlies van een deel van de sterkte. Een witgrijze verkleuring duidt op een beton dat broos en poreus is.

Een blijvende vervorming van een constructie-element duidt bovendien op een oververhitting van de wapening.

1.2. Proefmethodes

Volgende methodes zijn beschikbaar :

- onderzoek van de druksterkte, bijvoorbeeld met een sclerometer ;
- ultrasone metingen met het oog op het detecteren van inwendige scheuren ;
- kernboringen voor drukproeven of petrografisch en microscopisch onderzoek.

2. Herstellingsmogelijkheden

Na een brand is het soms nodig om tot belangrijke herstellingswerken over te gaan. Hiervoor kunnen echter geen standaardoplossingen gegeven worden. De toestand moet immers geval per geval onderzocht worden en vervolgens wordt de beste oplossing geselecteerd. Hierbij dienen de volgende factoren in beschouwing genomen te worden :

- de sterkte van de constructie na brand ;
- blijvende vervormingen ;
- de duurzaamheid na brand en herstelling ;
- het esthetische aspect.

De keuze van de herstellingsmethode wordt in belangrijke mate bepaald door economische redenen : welke oplossing is economisch de meest voordelige ? Vervangen of herstellen van de beschadigde elementen ? Meestal zal bij een betonconstructie, die na brand blijvende vervormingen vertoont, worden

overgegaan tot vervanging van de elementen of afbraak van het gebouw.

Indien de wapening aan geen te hoge temperaturen werd blootgesteld, volstaat het om het beschadigde beton te verwijderen tot aan het gezonde beton. In de praktijk worden goede resultaten behaald door herstelling met spuitbeton, op voorwaarde dat dit gebeurt door vakmensen. Door het kleven van metalen platen of banden van koolstofvezellaminaten op het beschadigd betonoppervlak is het soms mogelijk om een plaatselijk verzwakte wapening te versterken. Dit is uiteraard specialistenwerk. In het geval van esthetische beschadigingen is het aanbrengen van een bekleding de meest evidente oplossing.

Spuitbeton

Spuitbeton wordt vaak toegepast bij herstellingen, renovaties of bijzondere constructies. In het kader van "brandveiligheid en betonconstructies" wordt spuitbeton vooral gebruikt voor herstelling van structuurelementen waar de wapening is komen bloot te liggen. Bij spuitbeton wordt het beton onder druk op de constructie gespoten. Er bestaan twee spuittechnieken : droog en nat.

Droge methode

Droge mortel wordt door een leiding op hoge druk gestuwd, waarna het door waterinjectie aan de spuitkop omgevormd wordt in beton en tegen het te herstellen oppervlak vliegt. Het gaat om een relatief ingewikkelde techniek die een zware apparatuur vereist en vooral gebruikt wordt voor omvangrijke elementen.

Natte methode

Het mengsel van cement, zand en eventueel granulaten wordt in een menger met water gemengd. Met behulp van een pomp wordt het mengsel op het te behandelen oppervlak geprojecteerd. Deze techniek is uiterst geschikt voor kleine elementen en voor elementen waarop dunne lagen moeten worden geprojecteerd. Dit is een eenvoudige techniek, waarvoor lichtere apparatuur kan gebruikt worden.

Bij opwarming [13] loop het beton kans op afspatten : dit is niet het geval bij staal ...

"In een gesloten gebouw is de vochtigheidsgraad (zie ook §7.2.1) in het beton normaal gezien lager dan die waarbij afspatten optreedt. Hogesterktebeton (60 tot 100 MPa) gedraagt zich behoorlijk indien speciale aandacht wordt besteed aan de samenstelling, het bijmengen van polypropyleenvezels of het voorzien van huidwapening. De tunnel onder het kanaal, uitgevoerd met een beton van 100 MPa zonder bijzondere voorzorgen, is toch blootgesteld geweest aan een brand van bijna 9 uur en een maximale temperatuur van bij de 1100 °C waarbij een maximale vervormingsverhinderende optrad. Staal dat aan 600 °C is blootgesteld, heeft een brandweerstand van een kwartier hetgeen toch gans iets anders is."

E. Bijlage

Bijlage 1 – Discussie in verband met sprinklersystemen

In de Verenigde Staten moet bij grote woongebouwen (meergezinswoningen, hotels, motels, kinderkribben, bejaardentehuizen) tussen alle wooneenheden en publieke ruimtes een compartimentering met 1 of 2 uur brandweerstand voorzien worden, evenals een automatisch rookdetectiesysteem en sprinklers [41].

Deze notie van duplicatie staat tegenover de notie van substitutie. Men moet dit zien als een combinatie van twee complementaire middelen om tot een hogere graad van brandbescherming te komen.

Het zou leerzaam zijn te onderzoeken of zich in België dezelfde tendensen ontwikkelen als in de Verenigde Staten, waar branden in appartementsgebouwen in verhouding 2,6 keer meer voorkomen dan in één- of tweegezinswoningen. Deze verhouding bedraagt 1,6 op basis van de statistieken van de overlijdens en 3,6 voor die van de gewonden. De gemiddelde schade per appartement is aldus bijna 2 keer hoger dan voor eengezinswoningen.

Wat zijn de oorzaken van zo'n hoog faalpercentage (16 %) bij sprinklers ?

De "National Fire Sprinkler Association" (NFSA) insisteert op de noodzaak om de sprinklers te onderwerpen aan een geschikte inspectie, volgens de van kracht zijnde norm "Inspection, Testing and Maintenance of Water-Base Fire Protection Systems". Aanbevolen wordt om de controlekleppen op de toevoerleiding op wekelijkse basis na te zien, en er zich van te verzekeren dat ze in geopende toestand staan. Zelfs met een dergelijke inspectie kan het voorkomen dat de sprinklertoevoer voor een week afgesloten is indien de klep gesloten is. De NFSA beveelt aan dat een gespecialiseerde deskundige het geheel van de sprinklerinstallatie grondig nakijkt.

De NFSA benadrukt : "Sprinklersystemen zijn ontworpen voor de bestaande of de te verwachten omstandigheden in een gebouw waar de sprinklers geïnstalleerd worden. Bij veranderingen aan het gebouw of in het gebruik moet nagegaan worden of het sprinklersysteem nog aangepast is. Zelfs indien het gebouw en zijn gebruik niet veranderen, moet de installatie opnieuw geëvalueerd worden indien de toevoer of de uitrusting van de installatie wijzigingen ondergaan."

Een betrouwbare waterbevoorrading is van bijzonder belang voor de goede werking van de automatische sprinklersystemen. Een verminderde bevoorrading of de onderbreking ervan kan het prestatievermogen van de installatie doen afnemen. Verdere verstedelijking kan de waterhoeveelheden en de waterdruk in het toevoernet verminderen. Onderbrekingen in de watertoevoer kunnen onverwachts optreden, zoals bij onderhoudswerken aan de waterleidingen binnen of buiten het

gebouw, of bij het onderhoud van het sprinklersysteem zelf. Ook natuurgebonden risico's zoals aardbevingen en stormen kunnen een rol spelen, evenals brandstichting en het gelijktijdig optreden van branden in meerdere gebouwen (aanslagen, ontploffingen van gasleidingen, ...).

Menselijke interventies kunnen eveneens de werking van sprinklers aantasten. Aanbevelingen van de NFSA zijn :

- De sprinklers nooit schilderen ;
- Niets van het sprinklersysteem wegnemen ;
- Niets opslaan in de nabijheid van de sprinklers (er moet een vrije ruimte van 45 cm zijn tussen de bovenkant van de opslag of het meubilair en de sprinklerkoppen) ;
- Fouten aan het sprinklersysteem steeds onmiddellijk melden ;
- Er op toe zien dat de kleppen op de toevoerleidingen open staan.

Is het publiek [41] er zich van bewust dat de veiligheid in gebouwen mogelijk niet van het niveau is dat men er van denkt ?

Waarschijnlijk niet. Het enige wat men kan zien zijn de sprinklerkoppen, of ze nu werken of niet. Onderzoek door een derde onafhankelijke partij voor de "Alliance for Fire Safety" heeft aangetoond dat in het algemeen, het publiek zich niet veilig voelt wanneer het verneemt dat sprinklers een faalpercentage van 16 % vertonen. In bijna alle reglementeringen wordt bij de aanwezigheid van sprinklers een belangrijke vermindering op andere beschermingssystemen toegestaan. Deze toegevingen houden in dat, in het kader van een ISO-brand, de brandweerstandsduur van de compartimentering mag gereduceerd worden, de compartimentoppervlakte mag vergroten en dat afstanden tot de nooduitgangen groter mogen zijn (zie §2.3).

Sprinklersystemen kunnen echter defect zijn ten gevolge van een onderbreking in de voeding, een ongeschikt onderhoud, brandstichting, een fout in de fabricage van de sprinklerkoppen, obstakels in de buurt van de sprinklerkoppen, verflagen op de sprinklerkoppen of zaken die eraan opgehangen zijn. Compartimentering is dus noodzakelijk om de branduitbreiding te beperken indien de sprinklers falen.

Het National Institute of Standards and Technology (NIST) heeft op 03-03-2005 als reactie op een grote brand zijn besluiten meegedeeld met betrekking tot het evenwichtig uitwerken van actieve en passieve beschermingsmaatregelen bij de brandpreventie van gebouwen. Het verslag raadt het volgende aan :

- bij gebouwen voorzien van een sprinklerinstallatie geen toegevingen meer toekennen op factoren die de evacuatie-tijd van het gebouw beïnvloeden ;
- De "Model Codes" en de reglementeringen zouden een overlapping moeten eisen van de passieve en actieve beschermingssystemen tegen brand, om zo een behoorlijk gedrag te verzekeren van de structuur wanneer de efficiëntie van één of meerdere beschermingssystemen twijfelachtig wordt door ongewenste acties van de eigenaar of de gebruikers (meer bepaald het uitschakelen van de sprinklers tijdens het onderhoud).

Het in rekening brengen van sprinklers als een vermindering van de dichtheid van de brandbelasting werd uitgelegd in het kader van Fire Safety Engineering (zie §8.2). **Deze op probabilistische grondslag bepaalde reductie mag niet samen met de hierboven vermelde toegevingen toegepast worden** (vermindering van de brandweerstandsdur van de compartimenten, vergroting van de compartimenten, ...). Bij natuurlijke branden zouden aldus de sprinklers tweemaal in rekening gebracht worden.

We gaan nu dieper in op de betrouwbaarheid van sprinklers en illustreren meer expliciet de problematiek van de kwantificering van de actieve maatregelen. De argwaan en aarzeling tegenover de toepassing van FSE, waarbij de aanwezigheid van actieve maatregelen mathematisch in rekening wordt gebracht, is te wijten aan de grote variatie in de betrouwbaarheid van actieve maatregelen en een slecht inzicht in hun werking. Dit is ondermeer het geval bij sprinklers, en dit naargelang de geraadpleegde bronnen en de verschillende landen. Het in rekening brengen van een hoge gemiddelde waarde komt op onaantvaardbare wijze bepaalde gebouwen ten goede terwijl andere onnodig gepenaliseerd worden. Hierna volgen nog enkele aanvullingen op de eerste waarden ontleend aan het verslag van 2001 van de NFPA voor de USA :

- Volgens het concept van brandveiligheid gebaseerd op een natuurlijke brand (NFSC voor Natural Fire Safety Concept) [42], dat de basis vormde van bijlage E van Eurocode 1, deel 1-2, moet een betrouwbaarheid van 98 % toegekend worden aan installaties die conform zijn aan "de reglementeringen" ;
- De statistieken in Australië vermelden voor sprinklers een betrouwbaarheid van 99,5 % (!). Dit is te verantwoorden door
 - automatische melding bij de hulpdiensten wanneer de sprinklers in werking treden. Dit verhoogt de

betrouwbaarheid van de sprinklers niet, maar wel de kans op een succesvolle interventie van de hulpdiensten ;

- Alle plannen van sprinklersystemen zijn gecontroleerd door keuringsorganismen ;
- Geïnstalleerde sprinklersystemen worden getest op basis van de specificaties opgelegd door de keuringsorganismen ;
- De sprinklersystemen worden **wekelijks onderworpen** aan een nazicht (controleklep, watertoevoer, alarm), dat vastgelegd wordt in een schriftelijk verslag ;
- Een elektronisch detectiesysteem is geïnstalleerd in hoge gebouwen.

In Zwitserland zijn alle alarmkleppen verbonden met de hulpdiensten. De sluiting van de hoofdklep geeft een melding bij de hulpdiensten, zodat het "syndroom" van de gesloten kleppen en de sluiting van de kleppen bij brandstichting voorkomen kunnen worden.

- Volgens de BS 7974 [111], zijn de aanbevolen waarden begrepen tussen 75 en 95 % (deze waarden zijn eveneens opgenomen in het verslag van Warrington Fire Research [43]) ;
- Volgens het verslag van de WG4 van het NFSC project [44] in Frankrijk, zijn waarden van 95 % toepasbaar. De helft van de gebreken zijn van menselijke aard ;
- De statistieken van het Europees Comité van Verzekeringen conform het CEA 4001 reglement, wijzen algemeen op een controle van de actieoppervlakte in 94 % van de gevallen. Het CEA 4001 reglement is gelijkwaardig met de norm NBN EN 12845 [108], met betrekking tot de berekening, de installatie en het onderhoud van de automatische blussystemen van het sprinklertype. Het equivalent van de CEA is de NFPA. Vroeger werden in België alle catastrofes aangegeven dankzij een systeem zonder franchise. Tengevolge van het verhogen van de franchise, beschikken verzekeraars tegenwoordig niet meer over betrouwbare statistieken van alle optredende branden. Sommige grote distributieketens hebben een franchise die 1,2 miljoen euro bedraagt.
- Volgens de resultaten van de NFPA op basis van de statistieken tussen 1925 en 1996, waarbij alle risicoklassen samengevoegd zijn, werden 96 % van de branden geblust. Eén enkele kop is geactiveerd geweest in 28 % van de gevallen, 2 koppen in 18 % van de gevallen, 3 in 10 % van de gevallen en 4 in 8 % van de gevallen.

Hoe moeten we dit interpreteren ?

In een document [45] opgesteld in opdracht van "Alliance for Fire Safety" vat M. Koffel een twintigtal studies over het onderwerp samen :

- Verscheidene studies lopen over periodes van meer dan 15 jaar, in tegenstelling tot de recente studie van de NFPA die betrekking heeft op een observatieperiode van 10 jaar ;

- Volgens de NFPA bedraagt het percentage branden dat gedooft wordt door sprinklers, 8 tot 33 %. In werkelijkheid is het onder controle houden van de grootte van de vuurhaard met behulp van sprinklers (actie met succes verzekerd) meestal voldoende om de brandweer toe te laten de brand te blussen.
- Branden met geringe intensiteit die geen enkele sprinklerkop geactiveerd hebben en branden die niet gerapporteerd zijn aan de hulpdiensten zijn niet opgenomen in de statistieken van de NFPA. Zo stijgt het slaagpercentage van 87 %, zoals vermeld door M. Ramachandran (New York), tot 94 % in de veronderstelling dat 1/3 van de branden niet aangegeven zijn.

Door gebrek aan bewijs van deze hypothese, weerhoudt de NFPA een operationele betrouwbaarheid van 84 %. Het rapport lijkt er op te duiden dat een betrouwbaarheid van 96 % voor automatische sprinklersystemen een overschatting is.

Het is echter belangrijk te onderlijnen dat in geval van brand deze sprinklers, zelfs met een betrouwbaarheid van 84 %, het aantal doden en het verlies van bezittingen sterk doen dalen.

De nationale Belgische bijlage van Eurocode 1 deel 1-2 introduceert meerdere waarden voor de betrouwbaarheid van automatische blusinstallaties naargelang het gebouwtype.

We hebben M. Briers ondervraagd over de normen in verband met sprinklers. M. Briers is werkzaam bij ANPI en is op Europees niveau voorzitter van WG5. Hij legt ons de Belgische praktijk uit :

- Wat verstaat men onder de basiswaarde voor de watervoeding van sprinklersystemen ?

De NBN EN 12845 [108] vermeldt dat de watervoorziening gegarandeerd moet zijn voor een bepaalde tijdsduur (zie §8.4.1 industrieel risico : voor LH 30 min, OH 60 min, en voor meer dan 90 min). De intercommunales voor waterdistributie garanderen nooit een druk-debietcurve : een opmeting wordt enkel gedaan bij het uitwerken van het systeem. In België wordt de voeding voldoende bevonden indien de resulterende curve bij een punctuele afname van 3000 l/min voor de voorziening van de brandweer, nog een voldoende debiet levert voor de sprinklerwerking. Een curve wordt opgesteld op basis van testen op de openbare waterleiding op het ogenblik van het uitwerken van het sprinklersysteem. Bovendien wordt een opmeting gedaan bij elke semestriële inspectie. Indien de resultaten niet voldoen (te wijten aan de verdeler of door de oprichting van nieuwe belangrijke bedrijven in de buurt) is het nodig om het debiet bij te sturen met behulp van overdrukpompen. Netwerken met verschillende vertakkingen zijn bedrijfszekerder dan netwerken zonder lussen.

- Wat zijn de eisen in verband met de watervoorziening van sprinklersystemen ?

Voor kleine en gewone risico's van het type OH1 en OH2, vragen de verzekeraars een gewone voedingsbron (= basisvoorziening). Voor de risico's OH3 of hoger (OH3, OH4, gevaarlijke fabricatie en opslag) kunnen de verzekeraars een voedingsbron van hoge betrouwbaarheid vragen. Dit wil zeggen een watervoorziening onafhankelijk en aanvullend aan de basisvoorziening of de aanwezigheid van een openbaar vertakt net dat 100 % debiet kan leveren vanuit iedere richting..

- Hoe wordt de capaciteit van de watervoorziening bepaald ?

Bij de installatie wordt een druk-debietcurve opgesteld. Tijdens de halfjaarlijkse inspectie door de ANPI wordt de installatie onderworpen aan een test tot het uiteinde van de lijn. De sprinkler met de meest ongunstige ligging in het hydraulisch netwerk wordt geactiveerd. Er wordt gecontroleerd of de controlepost op de hoofdleiding het alarm in werking zet.

Ten gevolge van de oprichting van bijvoorbeeld nieuwe bedrijven in een industriezone kan de druk-debietcurve ontoereikend blijken te zijn. Bij de semestriële controle door ANPI zal dit worden doorgegeven aan de bedrijven die voorzien zijn van een sprinklersysteem. Ze krijgen dan de aanbeveling om een onafhankelijke en aanvullende voorzieningsbron te installeren.

ANPI raadt de ondernemingen aan om geregeld, dit is minstens om de 3 jaar, hun watervoorziening te testen door het opstellen van een druk-debietcurve. Deze test is niet opgelegd door de NBN EN 12845, doch is zeer gemakkelijk uit te voeren met een pomp die van meet af aan uitgerust is voor dit type metingen.

Het valt te noteren dat 90 % van de sprinklerinstallaties "natte" installaties zijn, waar alle leidingen permanent water bevatten. De 10 % andere zijn "droge" installaties, waar het water pas in de leidingen komt wanneer een signaal gestuurd wordt naar een elektromagnetisch ventiel tengevolge van het openen van een sprinklerkop.

- Hoe komt de gemeente tussenbeide ?

De brandweer eist een installatie conform de norm en vraagt een bewijs van ANPI-attestering volgens de NBN EN 12845. De brandweer doet dus geen controles meer ter plaatse.

- Bestaat er een systeem van afwijkingen ?

ANPI staat geen enkele afwijking toe. Afwijkingen worden eventueel toegestaan door een Afwijdingscommissie van de verzekeraars.

- Hoe zich te verzekeren tegen het niet sluiten van de controleklep ?

Normaal is deze klep verzegeld of geblokkeerd in open toestand door een hangslot. Als ANPI merkt dat de verzegeling verbroken is, wordt een onderzoek uitgevoerd. De bevoegde instanties inzake deze materie, in dit geval de brandweer of de verzekeraar, kunnen naargelang het risico, eisen dat de klep onder toezicht staat van een dispatching, een bewakingspost of een toezichtscentrale op afstand. Het draaien van de pomp wordt gedetecteerd en de detectie van watercirculatie wordt rechtstreeks gemeld aan de brandweer. Een informatieve bijlage in de NBN EN 12845 is gewijd aan de bewaking van de installaties.

- Is de norm NBN EN 12845 van toepassing ?

Ja, het gaat inderdaad om een geharmoniseerde norm die dus een bijlage Z bevat. De problematiek van de "kits" heeft voor lange discussies gezorgd.

- Wat met de betrouwbaarheid van sprinklersystemen ?

Dit aspect heeft twee kanten...

Indien de slaagkans van sprinklers met behulp van risicoklassen bekeken wordt dan geven de statistieken in Europa :

- Voor het risico bij kantoren (klein risico) : 97,4 % slaagkans ;
- Voor het risico bij handelsgebouwen (gewoon risico) : 97,2 % slaagkans ;
- Voor het risico bij de houtindustrie (hoog risico) : 90,8 % slaagkans.

De statistieken van de CEA voor industriële gebouwen (OH1 tot HP4 en HS4) over de periode van 1985 tot 1996 vermelden een controle van de actieoppervlakte in 94 % van de gevallen. In 73 % van de gevallen blijft de brand afgebakend tot minder dan de helft van de actieoppervlakte.

De statistieken van het CEA die een recente periode bestrijken, tonen dat deze waarschijnlijkheid zelfs terugvalt tot 90 % in plaats van 94 % zoals hierboven vermeld. Deze daling kan met name verklaard worden door de toenemende toevlucht tot verpakkingen van plastic.

F. Bibliografie

1. Algemene literatuur

- [1] Brandweerstand van gebouwen, Arnold Van Acker, april 1996.
- [2] Tijdschrift van de ANPI mei 2004, artikel over certificatie, Ludwig Janssens.
- [3] "Application de la réglementation dans les projets de bâtiments nouveaux" voordracht van P. Spehl op de studiedag van 28-09-2000 « Brandpreventie in Industriële Gebouwen : Voorschriften of Richtlijnen ? ».
- [4] Cursus over brandbescherming bestemd in het kader van brandpreventie, <http://www.aresu.be/>, Helid Aresu de Seui.
- [5] Brandweerstand van gebouwen, deel 1 passieve beveiliging, dr. Ir. Aloïs Brûls en prof. Dr. Ir. Paul Vandeveld, mei 2000, ISIB.
- [6] Usine Entreprise n°3031, november 2004.
- [7] www.normen.be > Webstek ontwikkeld door de normantenne brandpreventie van het WTCB.
- [8] Evaluation du risque d'incendie dans les bâtiments à appartements multiples, afstudeerwerk van D. Goffinet, ECAM, 2004.
- [9] Le Sapeur Pompier-Belge n° 2/2003 : "Incendie d'immeuble à appartements à Mons".
- [10] NVBB Magazine nr165 mei 2003 : "Brand in de wolkenkrabber 'Les mésanges' te Bergen".
- [11] www.staatsblad.be > Belgisch Staatsblad > Geavanceerd zoeken > Woord(en) van titel : basisnormen > lijst .. Hier kan de volledige tekst van koninklijke besluiten en hun bijlagen geconsulteerd worden.
- [12] Reactie bij brand van bouwproducten : het nieuwe Europees systeem, WTCB Tijdschrift 145, januari-februari 2003.
- [13] Revue Bâtiments, oktober 2001.
- [14] Concrete and Fire, using concrete to achieve safe, efficient buildings and structures, The Concrete Centre 2004, www.concretecentre.com
- [15] FRAME : <http://www.geocities.com/framemethod/webfrans.html>
- [16] Berekening van het brandrisico en de brandveiligheid : <http://www.framemethod.be/risque.html>
- [17] De methode "Frame" : <http://www.framemethod.be/utilisation.html>
- [18] Cycle de formation, Résistance au feu des constructions, application des Eurocodes dans le cadre de la formation « Fire Safety Engineering », Pr. J.C. Dotreppe, A. Brûls, 2000.
- [19] Sécurité incendie, collection Mémento acier, 2002.
- [20] Designers' Guide to EN 1990 Eurocode : Basis of structural design, H. Gulvanessian, J-A Calgaro and M Holicky, 2002.
- [21] Bulletin du ciment suisse, La lutte contre l'incendie commence au niveau du projet, août 1981.
- [22] Assessment and repair of fire-damaged concrete structures, technical report n° 33, Concrete Society, 1990.
- [23] Beton en brand, FEBELCEM, oktober 1981.
- [24] Concrete for fire resistant construction, Cembureau report prepared with the assistance of FIP, 1979.
- [25] Résistance au feu des structures, Principes généraux et recommandations à l'usage des auteurs de projets, J.C. Dotreppe, 1983.
- [26] Passive fire protection in tunnels, CONCRETE February 2003, G. A. Khoury.
- [27] Beton en brand : schademechanisme bij brand, afsplitsen : fenomeen en hoe voorkomen, NVBB nr169 magazine, Maart 2004.
- [28] The Cardington Fire Test, Pal Chana and Bill Price (BCA), CONCRETE, January 2003.
- [29] Concrete is Fire Safe, Film, Gent, 13 juni 1974.
- [30] Un incendie volontaire, la construction moderne, septembre-décembre 1974, W. Simons.
- [31] North Galaxy, Ergon Magazine nr 36.
- [32] Het brandgedrag van de structuren, nationale Onderzoekcommissie – brand, 29 mei 1975.
- [33] Challenge : comprehensive fire protection, CPI – Concrete Plant International – n°5 – October 2002, Ulrich Neck.
- [34] Lijst van producten van categorie A « Geen bijdrage aan brand », volgens de beslissing van de Europese Commissie 94/611/CE aangepast door de beslissing 2000/605/CE van de Commissie (zie [61]).
- [35] Risk and Safety Considerations at different Project Phases, International Conference, Malta, March 21-23, 2001 on Safety, Risk and Reliability – Trends in Engineering, Niels Peter HÖJ.
- [36] Risk Concepts in Fire Safety Design, International Conference, Malta, March 21-23, 2001 on Safety, Risk and Reliability – Trends in Engineering, Hakan Frantzich, Frederik Nystedt and Johan Lundin.
- [37] Brandweerstand van constructies en de Eurocodes, deel 1, WTCB Tijdschrift 3de trimester 2001, Yves Martin.
- [38] Construction et incendie : les solutions « Les constructions privées et industrielles, les infrastructures », Studiedag AILG op 19 november 2004, Physique de l'incendie, Pr. J-C Dotreppe.

- [39] Construction et incendie : les solutions « Les constructions privées et industrielles, les infrastructures », Studiedag AILG op 19 november 2004, La protection active, Commandant J. Rahier.
- [40] Construction et incendie : les solutions « Les constructions privées et industrielles, les infrastructures », Studiedag AILG du 19 november 2004, Evolution de la réglementation belge en matière de sécurité incendie, M. Y. Picard (FOD Binnenlandse Zaken).
- [41] « Are We Protected From Fire in Buildings ? » Open forum, problems and solutions, PCI journal, January-February 2005, Stephen S. Szoke.
- [42] Natuurlijk Brandconcept (NFSC voor Natural Fire Safety Concept), teruggenomen als CEN/TC250/SC1/N300A, PROFILARBED, augustus 2001.
- [43] Fire Tech Report - Existing Technologies, Their Acceptabilities, Reliabilities And Cost" (2003), Warrington Fire Research.
- [44] Competitive steel buildings through natural fire safety concepts, technical steel research, final report, Europese Commissie, 2002.
- [45] Reliability of Automatic Sprinkler Systems, William E. Koffel, paper commissioned by the Alliance for Fire Safety.
- [46] Le Sapeur-Pompier magazine, Hors-série Tunnels, mei 2003.
- [47] Revêtement de chaussée en enrobé hydrocarboné ou en béton en situation d'incendie, Albert Noumowe, EPU Editions Publibook Université, Paris, 2003.
- [48] Synthèse sur les feux d'entrepôts, René Dosne, 2001.
- [49] Het gedrag van de betonstructuren, studiedag van de Belgische Betongroepering (BBG), 10-02-2000, conclusies, Félix Janssens.
- [50] Built to Burn? Construction Manager, magazine of the CIOB, June 2005.
- [51] Procédures de justification de la tenue au feu des structures en béton, Journée d'étude du Chapitre ACI de Paris au LCPC, 13 juin 2005, Dhionis Dhima.
- [52] Appropriation des Eurocodes faite en Belgique, Journée d'étude du Chapitre ACI de Paris, 13 juin 2005 au LCPC, P. Spehl.
- [53] Estimates of the Operational Reliability of Fire Protection Systems, R.W. Bukowski, E.K. Budnick and C.F. Schemel, International Conference on Fire Research and Engineering (ICFRE3), Third (3rd). Proceedings. Society of Fire Protection Engineers (SFPE), National Institute of Standards and Technology (NIST) and International Association of Fire Safety Science (IAFSS). October 4-8, 1999, Chicago, IL, Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 87-98 pp, 1999.
- [54] New Civil Engineer (NCE), magazine of the institution of Civil Engineers, 30 June 2005.
- [55] Fire Design of Concrete Structure, Material, structures and modeling, guide to good practice, fib, nog te verschijnen.
- [56] Conception des bâtiments d'activités en béton, - Murs séparatifs coupe-feu et façades à fonction d'écran thermique en béton réf. B67, CIMBETON, ,maart 2006.
- [57] Digeste de la construction au Canada, CBD-204-F. Calcul de la résistance au feu, T.T. Lie
zie http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/cbd/cbd204_f.html
- [58] Ergon Magazine n°40, juni 2005.
- [59] Zelfverdichtend beton, Cementbulletin nr. 36, FEBELCEM, 2005, Claude Ployaert.
- [60] <http://www.anpi.be>, webstek van de ANPI.
- [61]
http://www.bbri.be/antenne_norm/brand/french/home/norm_and_regl/norm_europe/index.html
- [62] Beslissing van de Commissie op 3 mei 2000 om de richtlijn 89/106/CEE in werk te stellen, wat betreft de classificatie van de karakteristieken van de brandweerstand van bouwproducten, bouwwerken of delen hiervan (2000/367/CE) (zie [61]).
- [63] Beslissing van de Commissie op 8 februari 2000 wat betreft de classificatie van de karakteristieken van de brandreactie van bouwproducten, bouwwerken (2000/147/CE) (voir [61].)
- [64] Postacademische opleiding, Brandweerstand van constructies – Toepassing van Eurocodes, in het kader van een algemene opleiding "Fire Safety Engineering", Prof. dr. ir. Vandeveldel (2000).
- [65] CEA 4001:2003 assurances : Specifications for Sprinkler systems- Planning and installation.
- [66] www.previ.be : Voorstelling van informatie in het domein van brandbescherming in het kader van vorming voor raadgevers in preventie, gegeven op de polytechnische faculteit te Bergen.
- [67] Tijdschrift van de ANPI, november 2005, Veiligheid van sandwichpanelen, G. Baes.
- [68] Ontwerpen van constructies in prefabbeton, Model cursus, Les 10, Brandweerstand van geprefabriceerde betonnen constructies, FEBE, 2005
- [69] « Brandbescherming door betonconstructies », Cementbulletin nr37 , FEBELCEM, 2006, J.F. Denoël.
- [70] « Betontechnologie » uitgegeven door de Belgische Betongroepering (www.gbb-bbg.be) (BBG), 608blz, 4de editie, 2006.

2. Normen

[100] NBN EN 1992-1-1:2005 Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1 : Algemene regels en regels voor gebouwen.

[101] NBN 713-010 : Brandbeveiliging in hoge gebouwen.

[102] NBN S 21-201:1980 : Brandbeveiliging in gebouwen – Terminologie.

[103] NBN S 21-202:1980 Brandbeveiliging in de gebouwen – Hoge en middelhoge gebouwen : algemene eisen.

[104] NBN S 21-203:1980 Brandbeveiliging in de gebouwen – Reactie bij brand van de materialen – hoge en middelhoge gebouwen.

[105] NBN EN 13501-1:2002: Vuurindeling van bouwwaren en bouwdelen – Deel 1 : Indeling berustend op uitkomsten van de proeven op de tegenwerking tegen vuur van bouwwaren.

[106] NBN EN 1991-1-2:2003 : Eurocode 1 : Belastingen op constructies – Deel 1-2 : Algemene belastingen – Belastingen bij brand.

[107] NBN EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-2 : Algemene regels – Ontwerp en berekening van constructies bij brand.

[108] NBN EN 12845:2004 : Vaste brandblusinstallaties – Automatische sprinklersystemen – Ontwerp en onderhoud.

[109] NBN EN 1990:2002 Eurocode : Grondslag voor constructief ontwerp.

[110] NBN EN 1990 – ANB:2005 Eurocode : Grondslag voor constructief ontwerp – Bijlage A.1 : Toepassing op gebouwen – Nationale Belgische Bijlage.

[111] BS 7974: PD7 (2003): Application of fire safety engineering principles to the design of buildings: Probabilistic risk assessment. published by the BSI in London.

[112] NBN EN 1993-1-2:2005 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-2 : Algemene regels – Ontwerp en berekening van constructies bij brand.

[113] NBN ENV 1992-1-2 + DAN:2003 Eurocode 2: Berekening van betonconstructies – Deel 1-2 : Algemene regels – Brandbeveiligend ontwerp.

[114] NBN EN 1991-1-1-ANB:2005 Eurocode 1 : Belastingen op constructie – Deel 1-1 : Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen – Nationale Belgische Bijlage.

[115] NBN B 15-002:1999 Eurocode 2: Berekening van betonconstructies – Deel 1-1 : Algemene regels en regels voor gebouwen.

[116] NBN ENV 1993-1-1 + DAN:2002 Eurocode 3 : Ontwerp van stalen draagsystemen - Deel 1-1 : Algemene regels en regels voor gebouwen samen met Belgische toepassingsrichtlijn (gehomologeerde versie + NAD)

[117] NBN B 15-001:2004 Aanvulling op NBN EN 206-1 - Beton - Specificaties, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit.

[118] NBN ENV 1991-2-2 + DAN:2002 Eurocode 1 - Grondslag voor ontwerp en belasting op draagsystemen - Deel 2-2 : Belasting op draagsystemen - Brandbeveiligend ontwerp samen met Belgische toepassingsrichtlijn (gehomologeerde versie + NAD).

3. Reglementen

[201] **KB 19 DECEMBER 1997.** Koninklijk Besluit tot wijziging van het Koninklijk Besluit van 7 juli 1994 tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de nieuwe gebouwen moeten voldoen.

[202] **KB 4 APRIL 2003.** – Koninklijk Besluit tot wijziging van het Koninklijk Besluit van 7 juli 1994 tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de nieuwe gebouwen moeten voldoen.

