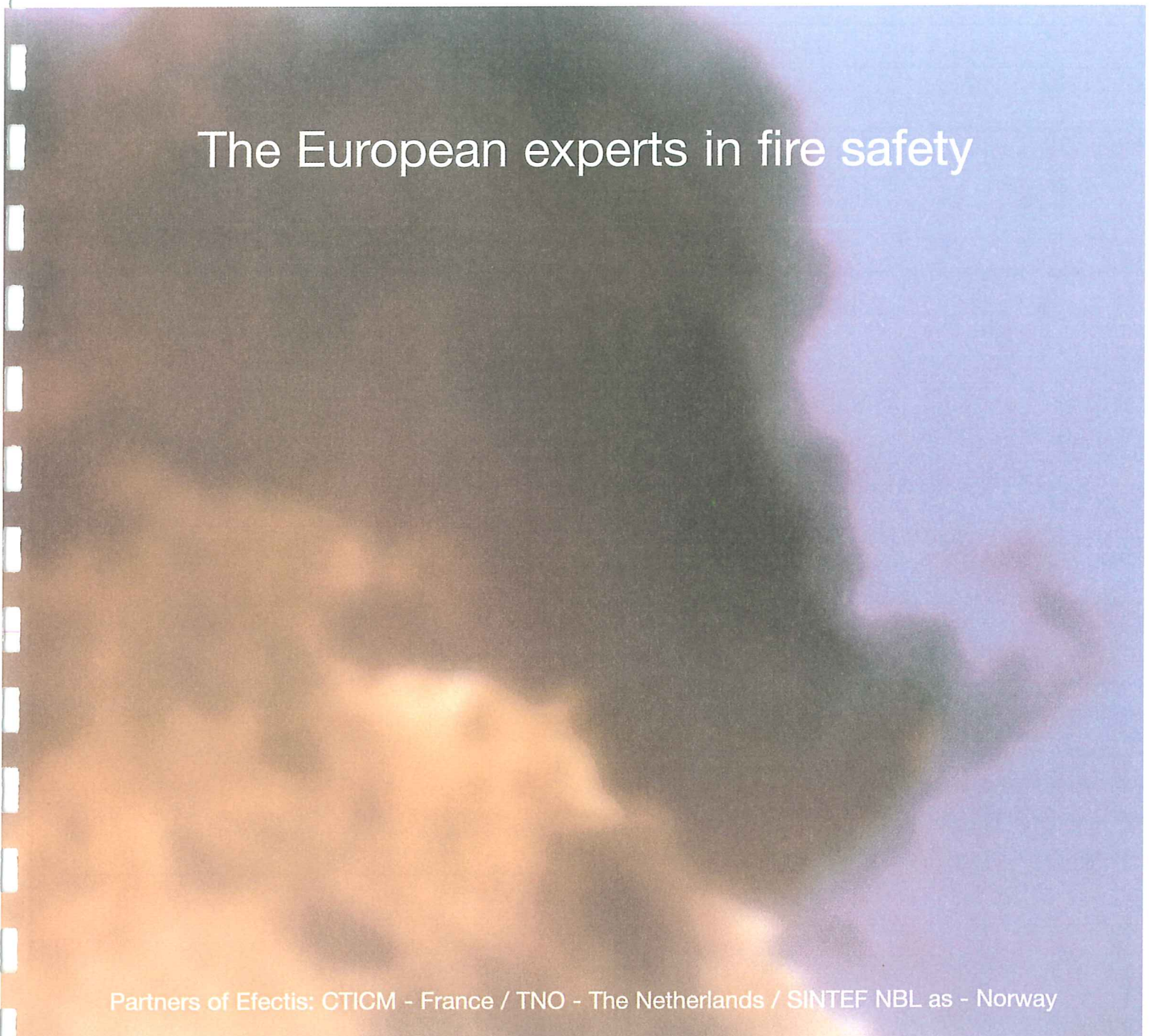


2008-Efectis-R0645

Modellering van de brandwerendheid van de
Slimline vloer met IPE-liggers vanaf IPE 240 tot
en met IPE 450



The European experts in fire safety

Efectis Nederland-rapport

2008-Efectis-R0645

**Modellering van de brandwerendheid van de
Slimline vloer met IPE-liggers vanaf IPE 240 tot
en met IPE 450**

Efectis Nederland BV
Centrum voor Brandveiligheid
Lange Kleiweg 5
Postbus 1090
2280 CB Rijswijk

www.efectis.nl

T 015 276 34 80

F 015 276 30 25

E nederland@efectis.com



Datum	September 2008
Auteur(s)	Ir. A.J. Breunese Dr.ir. C. Both
Aantal pagina's	16
Aantal bijlagen	-
Opdrachtgever	Slimline Buildings Postbus 941 3000 AX ROTTERDAM
Projectnaam	Modellering brandwerendheid Slimline vloer
Projectnummer	2008843

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van Efectis.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgevoerd, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het Efectis-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2008 Efectis Nederland BV: een TNO bedrijf

Voor u ligt een rapport van Efectis Nederland BV (voorheen TNO Centrum voor Brandveiligheid). Efectis Nederland BV en het zusterbedrijf Efectis Frankrijk, zijn sinds 1 januari 2008 volle dochters van de Efectis Holding SAS, waarin TNO en het Franse CTICM, participeren. De activiteiten van het TNO Centrum voor Brandveiligheid zijn sinds 1 juli 2006 ondergebracht in Efectis Nederland BV. Dit is ingegeven door de internationale marktontwikkelingen en klantvragen. Om de klantvragen nog beter te kunnen beantwoorden, en een breder pakket aan diensten en faciliteiten van een hoge kwaliteit aan te kunnen bieden, is de internationale samenwerking verder uitgebreid. Dit is gedaan met ervaren, en in de brandveiligheids sector bekende, partners in Noorwegen (Sintef-NBL), Spanje (Afiti-Licof), Duitsland (IFT), de Verenigde Staten (South West Research Institute) en China (TFRI). Nadere informatie hierover is te vinden op onze website.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
1.1	Onderwerp en aanpak van het onderzoek.....	3
1.2	Beperkingen van het onderzoek	3
1.3	Doelstelling	4
2	Modellering.....	5
2.1	Elementennet.....	5
2.2	Vertaalslag naar doorbuiging van de vloer.....	7
2.3	Berekende situaties.....	8
2.4	Beperkingen van het model.....	8
3	Materiaaleigenschappen	9
3.1	Beton	9
3.2	Staal.....	9
3.3	Wapeningsstaal.....	10
3.4	Verhit betonoppervlak.....	10
4	Validatie	11
5	Resultaten voor grotere IPE-liggers	13
5.1	Doorbuiging tijdens verhitting	13
5.2	Betonspanningen tijdens verhitting	14
6	Conclusies.....	16

1 Inleiding

Op 15 september 2000 werd door TNO Centrum voor Brandveiligheid (tegenwoordig Efectis Nederland BV) een brandproef uitgevoerd op een vrij opgelegde op buiging belaste Infra+ vloer. Bij deze proef werd de brandwerendheid bepaald volgens NEN 6069:1997. De proef werd gerapporteerd in TNO-rapport 2000-CVB-R02194. De Infra+ vloer wordt tegenwoordig aangeduid als de Slimline vloer. In dit rapport wordt verder de naam Slimline vloer gebruikt.

De toen beproefde vloer bestond uit een gewapend betonnen onderschil en een stalen IPE 240 ligger waarvan de onderflens ingegoten was in de onderschil. Het proefstuk had een overspanning van 7,42 meter, en werd tijdens de proef belast met een combinatie van gewichten en vijzels zodanig dat een maximaal buigend veldmoment van 30,31 kNm werd verkregen. In het rapport werd gesteld dat grotere overspanningen zijn toegestaan mits het buigend moment bij het belastinggeval brand niet groter is dan 30,31 kNm.

1.1 Onderwerp en aanpak van het onderzoek

Slimline Buildings heeft aangegeven dat zij tegenwoordig vaak grotere IPE liggers (IPE 300 t/m IPE 450) toepassen in de Slimline vloer, omdat daarmee grotere overspanningen kunnen worden gedragen. Het proefresultaat conform het rapport is echter uitsluitend geldig voor de Slimline vloer met IPE 240 liggers. Hierdoor rijzen in de praktijk vragen over de brandwerendheid die op basis van het bestaande testrapport niet beantwoord kunnen worden.

In het in dit rapport beschreven onderzoek is met een rekenmodel een beoordeling gemaakt van de invloed van de grotere IPE-liggers op de brandwerendheid, op basis van een vergelijking met de beproefde situatie. Hierbij is specifiek gekeken naar de buigend momentcapaciteit tijdens brand.

1.2 Beperkingen van het onderzoek

Naast bezwijken op buigend moment zijn in theorie nog andere bezwijkmechanismen mogelijk, zoals zijdelingse instabiliteit (kip) en bezwijken op dwarskracht, maar het gebruikte model is niet geschikt voor berekening van deze bezwijkmechanismen.

Staalconstructies kunnen bij brand iets meer kipgevoelig zijn dan bij kamertemperatuur, doordat de stijfheid van verhit staal sneller afneemt dan de vloeigrens. Bij de Slimline vloer is dit in principe ook het geval, zij het dat vanwege de inklemming van de onderflens en een deel van het lijf van de IPE-ligger in de betonnen onderschil de constructie waarschijnlijk vrij ongevoelig voor kip is.

Voor een beoordeling van bezwijken op dwarskracht is het van groot belang of en zo ja hoe veel en hoe grote gaten er in het lijf van de IPE-ligger aanwezig zijn t.b.v. kabels en leidingen, en wat de positie van deze gaten is. Vaak zal de maatgevende situatie voor dwarskrachtoetsing de locatie zijn van het gat dat zich het dichtst bij de oplegging bevindt, omdat hier de grootste dwarskracht gecombineerd wordt met de grootste locale reductie van het lijf. Het gebruikte model is niet geschikt om dit te toetsen. Hierover kan alleen op basis van een brandproef een uitspraak worden gedaan.

1.3 Doelstelling

Om een uitspraak te kunnen doen voor grotere liggertypen dan beproefd is een computermodel ontwikkeld door Efectis Nederland BV. In dit model, dat is geprogrammeerd in het eindige elementen programma Diana 9.3, wordt de temperatuursverdeling en de spanningsverdeling in de vloer berekend onder gecombineerde invloed van brand en buigend moment. De resultaten van de modellering zijn gebruikt om vast te stellen welke maximale buigend moment waarden acceptabel zijn bij grotere IPE liggers dan beproefd.

Het model is uitsluitend geschikt voor een beschouwing van de buigend moment capaciteit. Zaken als dwarskracht en zijdelingse stabiliteit blijven buiten beschouwing. Bij de modellering is uitgegaan van blootstelling van de constructie aan de standaard brandkromme conform NEN 6069:1997.

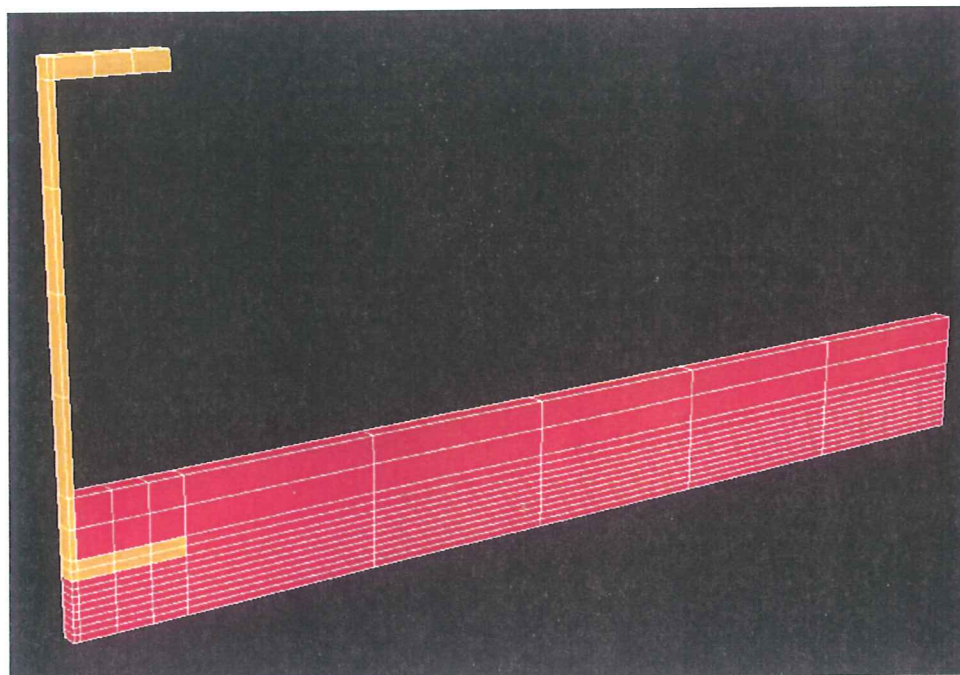
2 Modelling

Het voor deze toepassing ontwikkelde model is een semi-3D model. De doorsnede van een (kwart) vloerdeel is gemodelleerd en in de lengterichting is een arbitraire theoretische lengte van 10 mm gehanteerd, die dient om de spanningen en vervormingen in lengterichting t.g.v. buigend moment en thermische gradiënt te berekenen.

Het voordeel van deze sterke vereenvoudiging (de breedte van een vloerplaat gereduceerd met een factor vier, de lengte verkort tot 10 mm) is dat het model een vrij korte rekentijd heeft waardoor het mogelijk is om snel een aantal varianten door te rekenen.

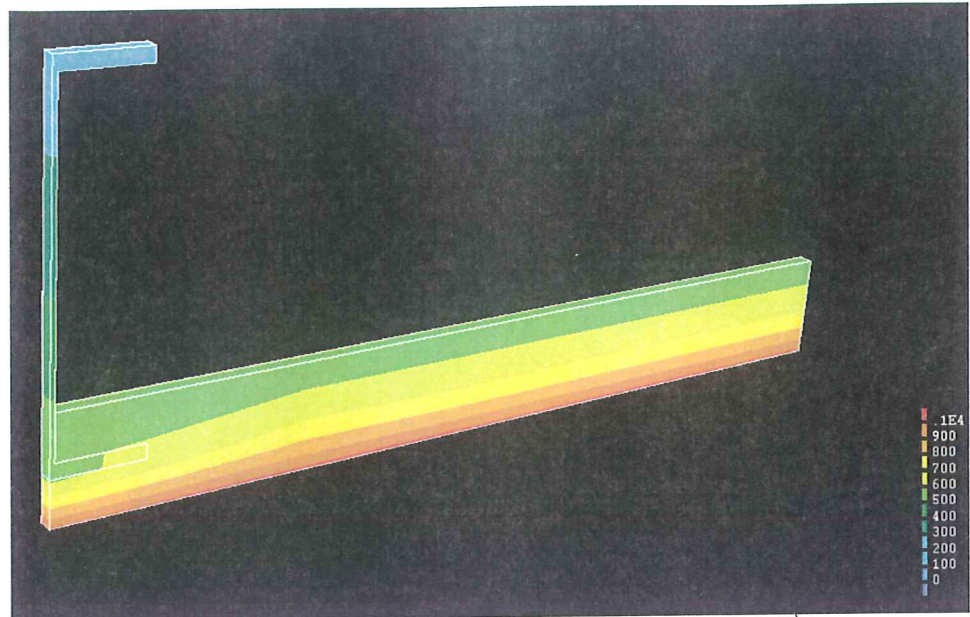
2.1 Elementennet

De vloer heeft een breedte van 2,40 meter, bestaande uit een betonnen onderschil met twee IPE-liggers. De IPE-liggers bevinden zich op $\frac{1}{4}$ en $\frac{3}{4}$ van de breedte. Uit symmetrie-oogpunt volstond modellering van slechts een kwart van de vloer, dat dus bestaat uit een halve IPE-ligger en een betonnen onderschil van 0,6 meter breed. Een overzicht van de gemodelleerde vloer is te zien in figuur 1.



Figuur 1: elementennet voor de modellering. Oranje = (halve) IPE-ligger, rood = beton.

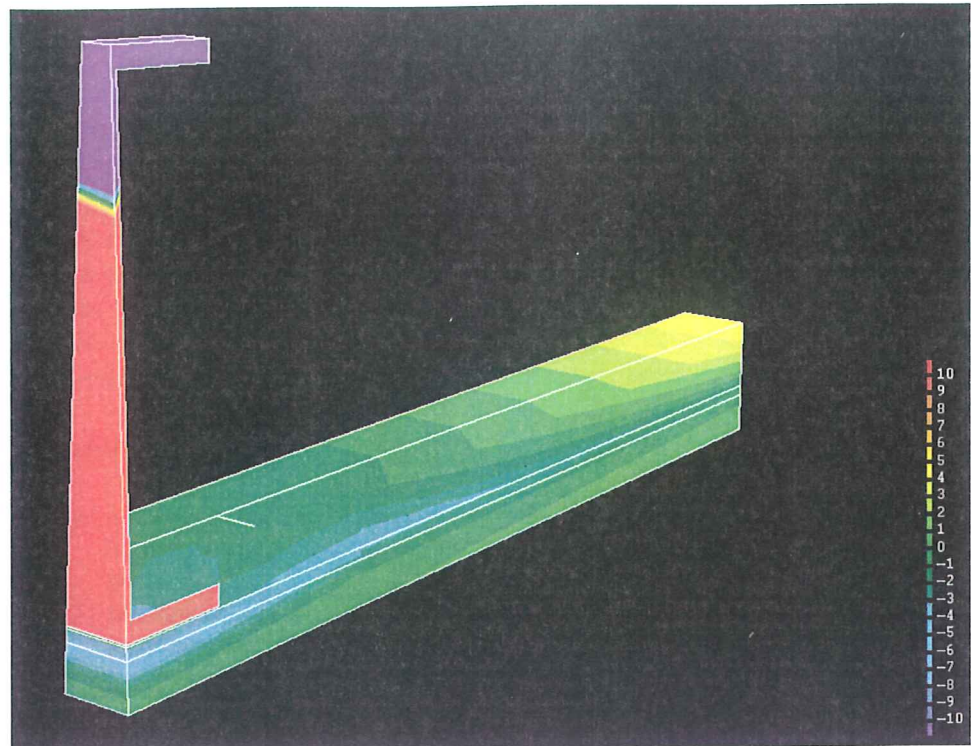
De gemodelleerde 10 mm dikke doorsnede de vloer wordt aan de onderzijde verhit volgens de standaard brandkromme. De holle ruimte boven de betonvloer is niet gemodelleerd, aangenomen wordt (conservatief) dat de bovenzijde van de constructie adiabatisch is.



Figuur 2: voorbeeld van een berekende temperatuursverdeling (IPE 240, 120 minuten) in graden Celsius.

Voor de berekening van de spanningen en rekken in het beton en staal wordt, zoals gebruikelijk in dergelijke analyses, aangenomen dat vlakke doorsneden vlak blijven (bernoulli hypothese). Dit is een goede aanname voor een constructie waarvan de lengte in de praktijk vele malen groter is dan de afmetingen van de doorsnede.

Door thermische uitzetting zal de verhitte zijde van de vloer willen verlengen terwijl de rest van de doorsnede neutraal blijft. Dit leidt tot inwendige spanningen en kromming van de vloer, zie het voorbeeld in figuur 3.

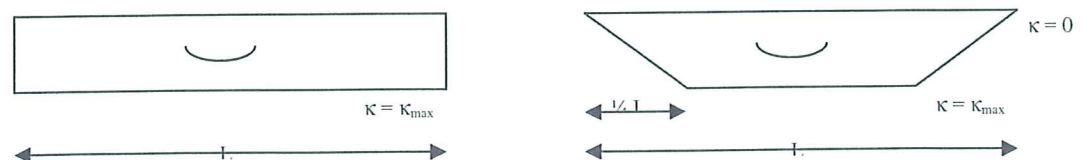


Figuur 3: voorbeeld van spanningen en kromming in de Slimline vloer met IPE 240 ligger, veroorzaakt door een combinatie van een buigend moment van 30,31 kNm en een verhittingsduur van 120 minuten. De spanningen worden weergegeven in kleurcontouren per N/mm^2 , de vervorming is sterk uitvergroot om de kromming zichtbaar te maken.

2.2 Vertaalslag naar doorbuiging van de vloer

De doorbuiging van een vloer bij een gegeven overspanning kan worden geschat doordat de kromming bekend is. Hiermee wordt de berekende doorbuiging enigszins overschat (dus conservatieve uitkomsten) doordat een constante kromming over de gehele lengte van de vloer wordt verondersteld, terwijl in de praktijk de kromming nabij de uiteinden minder groot is doordat het buigend moment hier kleiner is.

Toch is deze afwijking beperkt doordat de kromming nabij de uiteinden relatief weinig invloed heeft op de doorbuiging. Uitgaand van mechanische belasting middels een vierpuntsbuigproef met aangrijpingspunten op $0,25L$ en $0,75L$, leidt het feit dat het buigend moment en dus ook de kromming bij de oplegging gelijk aan nul is tot een reductie van slechts $1/12$ deel van de doorbuiging op het midden van de overspanning, zie figuur 4 met bijbehorende toelichting.



Figuur 4: krommingslijn bij (a) constante kromming en (b) een vierpuntsbuigproef, beide zonder kromming door thermische spanningen

Voor de situaties zoals geschetst in figuur 4 kan wiskundig worden afgeleid dat de doorbuiging in het midden van de overspanning d gelijk is aan:

bij constante kromming (a)
bij vierpuntsbuigproef (b)

$$d_{\text{const}} = 1/8 * L^2 * \kappa_{\text{max}}$$
$$d_{4\text{punts}} = 11/12 * d_{\text{const}}$$

Het verschil tussen de theoretische doorbuiging op basis van constante kromming en de optredende doorbuiging is in feite nog kleiner, doordat ten eerste de kromming door zuiver thermische spanningen ook nabij de uiteinden volledig aanwezig is en ten tweede doordat de mechanische belasting tijdens de proef niet alleen middels twee puntlasten maar deels ook door gelijkmatig verdeelde belasting werd verkregen. Voor de validatie van het model aan de hand van het proefresultaat wordt dus volstaan met een berekening van de doorbuiging uitgaand van constante kromming, wetende dat de berekende doorbuiging daarmee waarschijnlijk enkele procenten overschat wordt.

2.3 Berekende situaties

Met het model zijn drie geometrieën doorgerekend van de Slimline vloer:

- betonnen onderschil van 70 mm dik i.c.m. IPE 240 ligger (validatie a.d.h.v. proefresultaat)
- betonnen onderschil van 70 mm dik i.c.m. IPE 300 ligger
- betonnen onderschil van 70 mm dik i.c.m. IPE 450 ligger

Steeds is uitgegaan van een betondekking van 30 mm onder de onderflens van de IPE-ligger.

Voor elk van de geometrieën zijn berekeningen gemaakt met meerdere belastingniveaus om de invloed van het buigend moment (in combinatie met de thermische gradiënt door brand) te bepalen.

2.4 Beperkingen van het model

Conform de eisen in de Nederlandse regelgeving is de draagkracht tijdens brand getoetst op buigend moment, zoals dit destijds ook tijdens de proef is gedaan. In de Slimline vloer worden echter vaak gaten in de lijven van de IPE liggers aangebracht. Deze gaten hebben slechts weinig invloed op de weerstand tegen buigend moment en de optredende kromming van vloer, maar verlagen wel de dwarskrachtcapaciteit. Deze invloed kan in het model dus niet worden bepaald. Ook zijdelingse instabiliteit kan met het gebruikte model niet voorspeld worden.

3 Materiaaleigenschappen

Voor de temperatuurafhankelijke materiaaleigenschappen is gebruik gemaakt van de Eurocodes (NEN-EN 1992-1-2:2005, NEN-EN 1994-1-2:2005). Deze norm geeft geen uitsluitel voor beton dat in meerdere richtingen (twee- of drieassig) belast wordt. Daarom is uitgegaan van de eigenschappen voor éénassig belast beton. De meerassige spanningstoestand is vervolgens gemodelleerd met een vloeicriterium van Drucker-Prager.

3.1 Beton

Thermische geleiding:	temperatuurafhankelijke waarden conform de “upper limit” in EN 1992-1-2
Soortelijke warmte	temperatuurafhankelijke waarden conform EN 1992-1-2, uitgaand van een vochtgehalte van 3% (M/M)
Dichtheid	temperatuurafhankelijke waarden conform EN 1992-1-2, op basis van een initiële dichtheid van 2300 kg/m ³
Thermische uitzetting	temperatuurafhankelijke waarden conform EN 1992-1-2, geldig voor beton met riviergrind (silicious aggregate) als toeslagmateriaal
Betondruksterkte	temperatuurafhankelijke waarden conform EN 1992-1-2, op basis van een initiële druksterkte van 35 N/mm ² . De meerassige spanningstoestand wordt gerepresenteerd door een vloeicriterium van Drucker-Prager, met een interne wrijvingshoek van 10°
Stijfheid	temperatuurafhankelijke waarden zodanig gekozen dat deze aansluiten op de in EN 1992-1-2 gegeven spanning-rekrelaties, waarbij een lineaire hardening tak aanvangt op 1/3 van de druksterkte en waarbij het post-peak gedrag wordt beschreven met een lineaire softening tak.
Dwarscontractiecoëfficiënt	0.2

3.2 Staal

Thermische geleiding:	temperatuurafhankelijke waarden conform EN 1994-1-2
Soortelijke warmte	temperatuurafhankelijke waarden conform EN 1994-1-2
Dichtheid	7850 kg/m ³
Thermische uitzetting	temperatuurafhankelijke waarden conform EN 1994-1-2
Vloeigrens	temperatuurafhankelijke waarden conform EN 1994-1-2, op basis van een initiële vloeigrens van 235 N/mm ² .
Stijfheid	temperatuurafhankelijke waarden conform EN 1994-1-2, op basis van een initiële stijfheid van 210000 N/mm ² .
Dwarscontractiecoëfficiënt	0.3

3.3 Wapeningsstaal

Wapeningsnet	Ø6-150mm in beide richtingen; wapeningsafstand "a" voor staven in lengterichting $a = 29 \text{ mm}$, voor staven in dwarsrichting $a = 23 \text{ mm}$
Thermische eigenschappen	n.v.t.; wapening neemt de temperatuur aan van het omliggende beton
Thermische uitzetting	temperatuurafhankelijke waarden conform EN 1994-1-2
Vloeigrens	temperatuurafhankelijke spanning-rekrelaties conform EN 1994-1-2, op basis van een initiële vloeigrens van 500 N/mm^2 .
Stijfheid	temperatuurafhankelijke waarden conform EN 1994-1-2, op basis van een initiële stijfheid van 210000 N/mm^2 .
Dwarscontractiecoëfficiënt	0.3

3.4 Verhit betonoppervlak

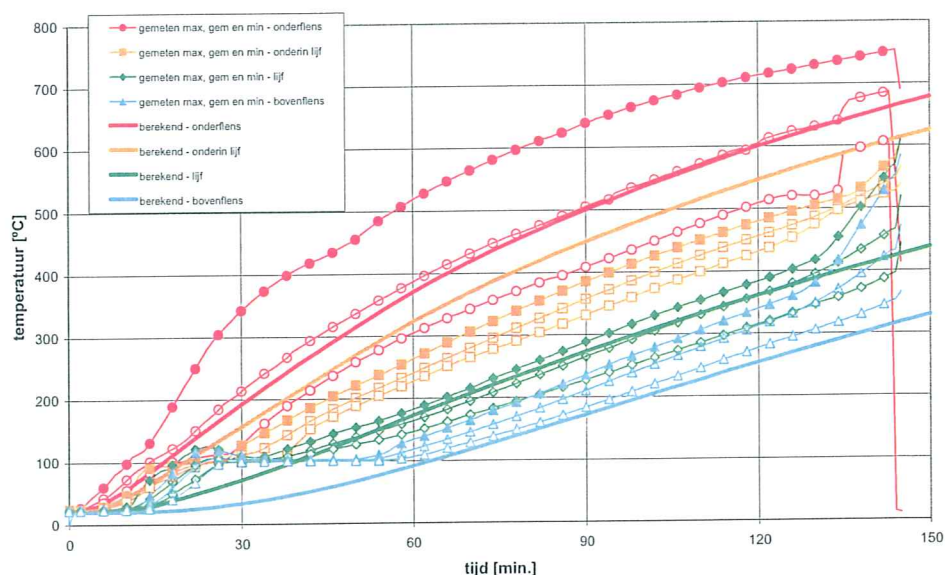
Emissie coëfficiënt	0.7
Convectie coëfficiënt	$25 \text{ W/m}^2\text{K}$

4 Validatie

Het model is gevalideerd door de berekening voor de Slimline vloer met IPE 240 ligger en een buigend moment van 30,31 kNm te vergelijken met de brandproef. De vergelijking betrof zowel de berekende en gemeten temperaturen als de berekende en gemeten doorbuiging.

Met het model zijn temperaturen in de doorsnede berekend. Op enkele punten in de doorsnede, waar tijdens de brandproef ook temperaturen gemeten zijn, is een vergelijking gemaakt tussen de meet- en rekenresultaten, zie figuur 5.

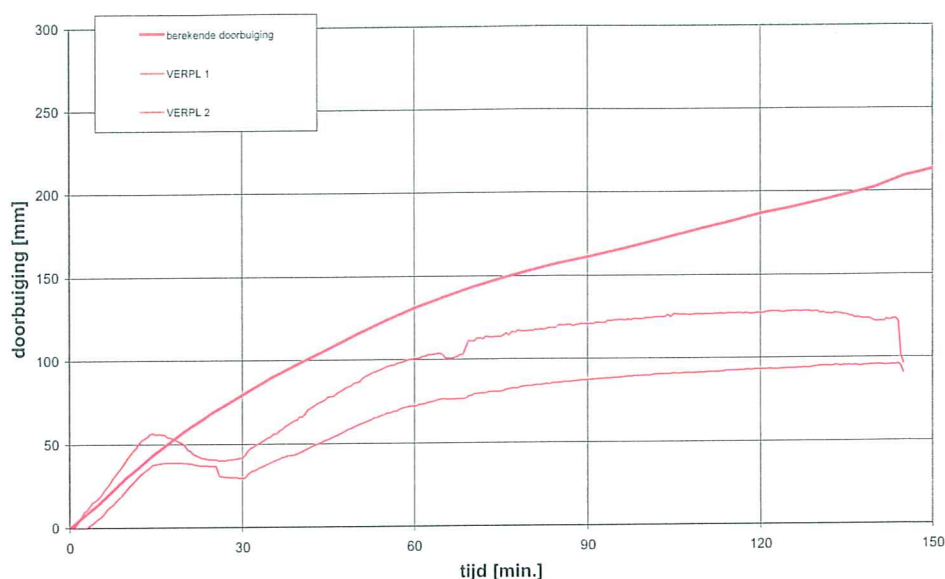
Verdamping van het in het beton aanwezige vocht en stroming van dit verdampende vocht naar het oppervlak leidt tot een plateau in de meetwaarden rondom 100°C. Het verdampingseffect kan in het voor dit doel ontwikkelde eindige elementen model alleen impliciet worden meegenomen in de vorm van extra warmtecapaciteit, het stromingseffect kan niet worden meegenomen. Daardoor kan het plateau niet uit de berekeningen volgen. Het effect hiervan is voornamelijk tussen ca. 15 en ca. 45 minuten te zien, maar voor het gedrag verder in de tijd is dit niet van belang.



Figuur 5: vergelijking van gemeten en berekende temperaturen in de doorsnede

Hoewel er een aanzienlijke spreiding is tussen de individuele meetresultaten, is de overeenkomst met de berekeningsresultaten redelijk en als afdoende nauwkeurig beoordeeld. De gemiddelde temperaturen in de onderflens en het lijf worden zeer nauwkeurig berekend. De temperatuur onderin het lijf wordt wel iets overschat, en de temperatuur op de bovenflens van de IPE-ligger worden door het model iets onderschat, enerzijds doordat mogelijk afwijkingen tussen de werkelijke en de theoretische warmtegeleiding de grootste invloed hebben op grote afstand van het verhitte oppervlak, en anderzijds doordat warmteoverdracht door straling binnen de holle ruimte in de vloer is verwaarloosd.

De doorbuiging werd tijdens de brandproef gemeten op twee punten ter hoogte van het midden van de overspanning. Deze meetwaarden zijn vergeleken met de met het model berekende doorbuiging, zie figuur 6.



Figuur 6: vergelijking van gemeten en berekende doorbuiging

In figuur 6 is te zien dat de berekende doorbuiging in dezelfde ordegrootte is als de gemeten doorbuiging, maar dat de doorbuiging wel overschat wordt door het model. Een klein deel van deze overschatting kan worden geweten aan de vereenvoudigde berekeningswijze van de doorbuiging op basis van de kromming. Daarnaast wordt deze afwijking waarschijnlijk in belangrijke mate veroorzaakt door de lichte onderschatting van de temperaturen van de bovenflens van de IPE240 ligger; als de bovenflens warmer is dan is het verschil met de onderflens kleiner en zal de thermische kromming dus afnemen. Een onderschatting van de bovenflenstemperatuur van bijvoorbeeld 50°C zou, uitgaande van een constructiehoogte van 270 mm, een overspanning van 7,42 m en een thermische uitzettingscoëfficiënt van $12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, resulteren in een theoretische overschatting van de doorbuiging van 15 mm.

Opvallend is daarnaast het tijdelijke terugveren van de doorbuiging tijdens de proef tussen 15 en 30 minuten. Dit effect komt in het model niet naar voren, maar zou te maken kunnen hebben met de verstoring van de thermische gradiënten door verdampen van vocht.

De vergelijking van het berekeningsresultaat met de meetgegevens uit de brandproef laat zien dat de nauwkeurigheid van het model voldoende is om een rekenkundige inschatting te maken van het effect van grotere IPE-liggers op de weerstand van de Slimline vloer tegen buigend moment tijdens brand. Verdere parameterstudie naar de invloedsfactoren en verklaring van de verschillen tussen test en model is in overleg met de opdrachtgever niet nodig bevonden en derhalve niet uitgevoerd.

5 Resultaten voor grotere IPE-liggers

De volgende modellen zijn gemaakt:

1. validatiecase ter vergelijking met het proefresultaat, voor een vloer met IPE 240 ligger,
2. vloer met IPE 300 ligger,
3. vloer met IPE 450 ligger.

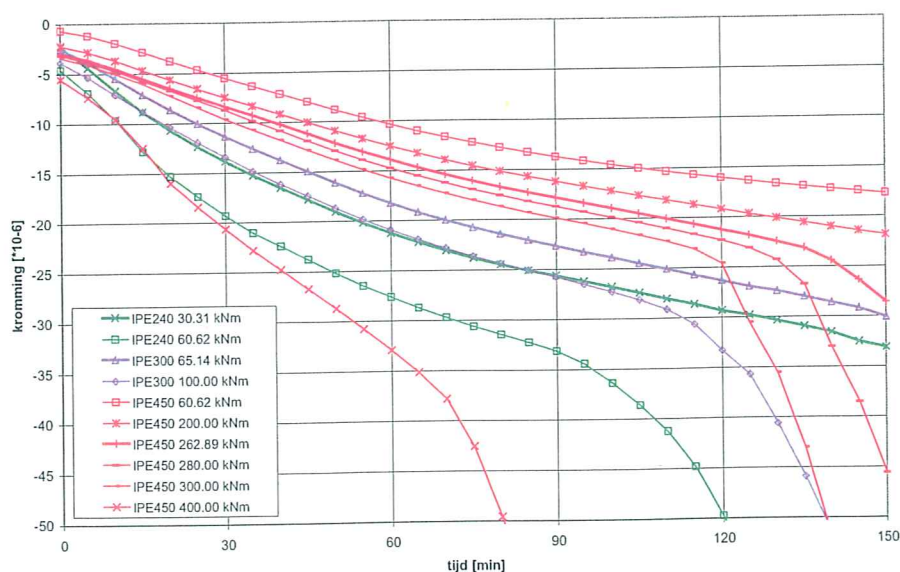
Voor elk van de geometrieën zijn berekeningen gemaakt met enkele verschillende belastingniveaus, zie tabel 1.

Tabel 1: overzicht van uitgevoerde simulaties

Type IPE-ligger	Belastingniveau (max. buigend moment)
IPE 240	30,31 kNm
IPE 240	60,62 kNm
IPE 300	65,14 kNm
IPE 300	100,00 kNm
IPE 450	60,62 kNm
IPE 450	200,00 kNm
IPE 450	262,89 kNm
IPE 450	280,00 kNm
IPE 450	300,00 kNm
IPE 450	400,00 kNm

5.1 Doorbuiging tijdens verhitting

De doorbuiging tijdens verhitting kan worden bepaald op basis van de kromming van de vloer en de overspanning, zie ook paragraaf 2.2. De kromming van de vloer is voor alle gesimuleerde situaties getoond in figuur 7.

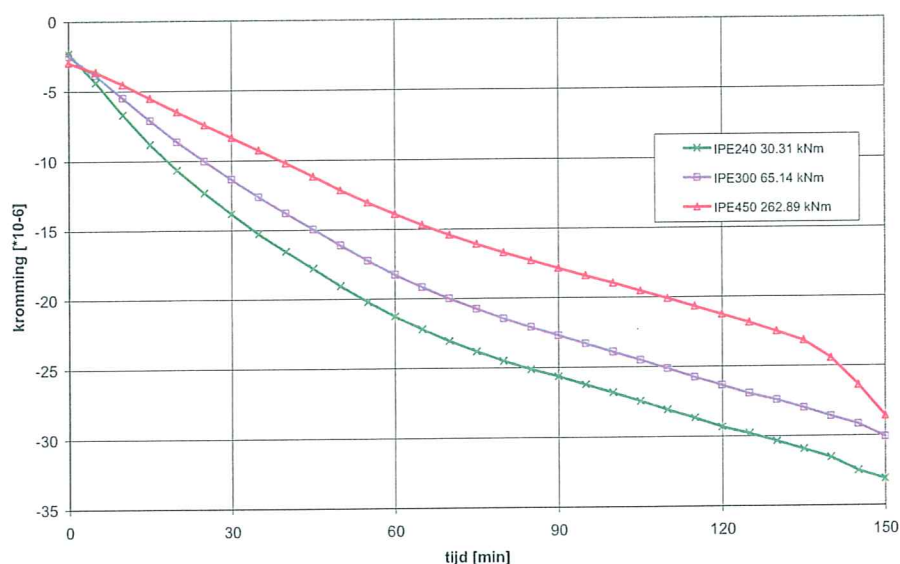


Figuur 7: kromming tijdens verhitting voor alle doorgerekende situaties

Bij de zwaar belaste vloeren is te zien dat de kromming (en dus ook de doorbuiging) op een gegeven tijdstip sterk gaat oplopen; dit zou als bezwijken op buiging beschouwd kunnen worden. Tijdens de brandproef trad een dergelijk bezwijken niet op, en ook in de simulatie van de situatie tijdens de brandproef wordt geen snelle toename van de kromming gevonden (zie de dikke groene lijn in figuur 7). Logischerwijs kunnen de grotere IPE-liggers ook bij brand een hogere belasting dragen. De simulaties laten zien dat mits de verhouding M/I_{zz_IPE} ruwweg constant blijft, er geen bezwijken op buiging optreedt binnen 120 minuten. Door de grotere liggerhoogte zal de doorbuiging ook iets kleiner zijn; vergelijk de dikke lijnen in figuur 7, alle met dezelfde verhouding M/I_{zz_IPE} , zie tabel 2. Dezelfde simulaties zijn apart getoond in figuur 8. Er kan dus worden geconcludeerd dat mits de verhouding M/I_{zz_IPE} gelijk blijft, bezwijken op buiging niet binnen 120 minuten zal optreden.

Tabel 2: buigend moment M bij gelijkblijvende verhouding M/I_{zz_IPE}

liggertype	M [kNm]	I_{zz_IPE} [cm ⁴]	M/I_{zz_IPE} [kNm/cm ⁴]
IPE 240 (beproefd)	30,31	3890	0,00779
IPE 300	65,14	8360	0,00779
IPE 450	262,89	33740	0,00779



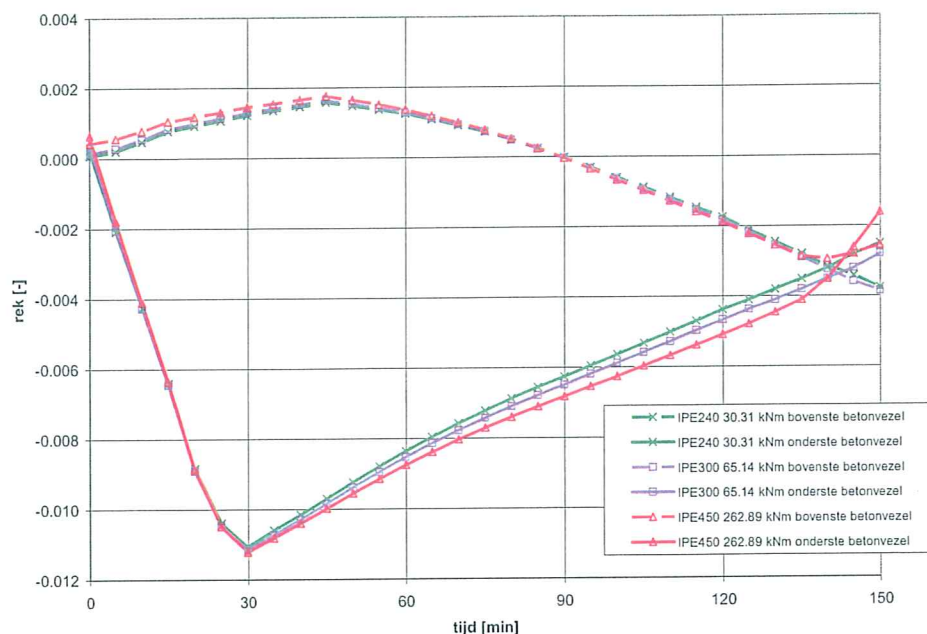
Figuur 8: kromming tijdens verhitting bij belasting M [kNm] = $0,00779 I_{zz_IPE}$ [cm⁴]

5.2 Betonspanningen tijdens verhitting

Naast de beoordeling van het buigend moment is het ook van belang om de spanningen in het beton in te schatten. De betonnen onderschil vervormt tijdens verhitting; door samenwerking met de IPE-ligger zoeken ze een gezamenlijke evenwichtssituatie. Daarbij ontstaan interne thermische spanningen door verschillen in thermische uitzetting. Deze spanningssituatie kan van grote invloed zijn op eventueel afspatten van beton. Tijdens de proef is geen noemenswaardig afspatten opgetreden en er mag dus worden verwacht dat indien bij grotere IPE-liggers een vergelijkbaar spanningsbeeld optreedt in het beton, het beton ook niet zal afspatten.

Om de spanningen in het beton te beoordelen kan het eenvoudigst naar de rekken in de doorsnede worden gekeken. Vanwege de aanname “vlakke doorsneden blijven vlak”

kan het rekveld in het beton worden gekarakteriseerd door de rek in de onderste betonvezel en de rek in de bovenste betonvezel. De optredende totale rek in een punt volgt uit de simulatie; deze totale rek bestaat uit een component thermische uitzetting en een component mechanische rek. De mechanische rek leidt tot spanningen. Daarom is het zinvol om de mechanische rek in de onderste en bovenste betonvezels te bekijken, en de vloeren met verschillende IPE-liggers op dit aspect te vergelijken. Deze vergelijking wordt getoond in figuur 9.



Figuur 9: mechanische rekken in het beton

In figuur 9 is te zien dat binnen een tijdsbestek van 120 minuten er geen significante wijzigingen in de vervorming van de betonnen onderschil optreden, zolang de vaste verhouding M/I_{zz_IPE} gehandhaafd blijft. Dit betekent dat in deze situaties ook de spanningsverdeling in het beton gelijk zal zijn, en de kans op spatten dus gelijk blijft. Aangezien in de brandproef geen afspatten optrad, mag worden aangenomen dat dit ook bij vloeren met grotere IPE-liggers niet zal optreden.

6 Conclusies

Met behulp van een eindige elementen simulatie, uitgevoerd met het programma Diana 9.3, zijn Slimline vloeren met verschillende types IPE-liggers onderzocht op buigend momentcapaciteit tijdens brand. De simulatie van de vloer met de kleinste IPE-ligger (IPE 240) is gevalideerd aan de hand van een proefresultaat. De conclusies zijn uitsluitend geldig voor het onderzochte gebied, met IPE-liggers variërend van IPE 240 tot en met IPE 450 en brandwerendheden tot en met 120 minuten.

Op basis van de simulaties kan worden gesteld dat bezwijken op buigend moment voor Slimline vloeren, met een gewapend betonnen onderschil gelijk aan de beproefde vloer in combinatie met grotere IPE-liggers, niet zal optreden binnen 120 minuten, mits het belastingniveau in buigend moment bij brandomstandigheden maximaal gelijk is aan

$$M \text{ [kNm]} \leq 0,00779 * I_{zz_IPE} \text{ [cm}^4\text{]}$$

De spanningen in het beton worden vooral veroorzaakt door thermische uitzetting. Een grotere afmeting van de ligger blijkt hierop niet van invloed te zijn wanneer deze gelijk op gaat met een toename van het buigend moment volgens bovenstaande formule. Deze spanningen zijn van belang voor het eventueel afspatten van beton tijdens brand, naast ongewijzigde eigenschappen zoals het betonmengsel en vochthuishouding in het beton. Daarom kan worden geconcludeerd dat de spatgevoeligheid van de Slimline vloer onafhankelijk is van het gebruikte type IPE-profiel.

Overige bezwijkmechanismen bij brand, zoals zijdelingse instabiliteit (kip) en bezwijken op dwarskracht kunnen niet worden gesimuleerd.



Ir. A.J. Breunese



Dr. Ir. C. Both

Voor u ligt een rapport van Efectis Nederland BV (voorheen TNO Centrum voor Brandveiligheid). Efectis Nederland BV en het zusterbedrijf Efectis Frankrijk, zijn sinds 1 januari 2008 volle dochters van de Efectis Holding SAS, waarin TNO en het Franse CTICM, participeren. De activiteiten van het TNO Centrum voor Brandveiligheid zijn sinds 1 juli 2006 ondergebracht in Efectis Nederland BV. Dit is ingegeven door de internationale marktontwikkelingen en klantvragen. Om de klantvragen nog beter te kunnen beantwoorden, en een breder pakket aan diensten en faciliteiten van een hoge kwaliteit aan te kunnen bieden, is de internationale samenwerking verder uitgebreid. Dit is gedaan met ervaren, en in de brandveiligheids sector bekende, partners in Noorwegen (Sintef-NBL), Spanje (Afiti-Licof), Duitsland (IFT), de Verenigde Staten (South West Research Institute) en China (TFRI). Nadere informatie hierover is te vinden op onze website.