

Rapport F.2007.1143.01.R001

Coolhaven te Rotterdam

Diverse brandtechnische aspecten Infra+ vloerconstructie

Status: DEFINITIEF

Adviseurs voor bouw, industrie, verkeer, milieu en software

lid

info@dgm.nl
www.dgm.nl

Brugstraat 16, Postbus 153
NL-6800 AD Arnhem
T +31 (0)26 351 21 41
F +31 (0)26 443 58 36

Eisenhowerlaan 112, Postbus 82223
NL-2508 EE Den Haag
T +31 (0)70 350 39 99
F +31 (0)70 358 47 52

Morra 2i
NL-9204 KH Drachten
T +31 (0)512 52 23 24
F +31 (0)512 52 25 19

Prof. P. Willemsstraat 21-23
NL-6224 CC Maastricht
T +31 (0)43 362 36 54
F +31 (0)43 352 00 20



Colofon

Rapportnummer:	F.2007.1143.01.R001	
Plaats en datum:	Den Haag, 1 november 2007	
Versie:	001	Status: DEFINITIEF
Opdrachtgever:	Visiplan B.V. Rotterdamseweg 402G 2629 HH DELFT	
Contactpersoon:	de heer B. van Dijk Telefoon: +31 (0)15 251 52 21 Fax: +31 (0)15 251 52 62 E-mail: b.vandijk@visiplan.nl	
Uitgevoerd door:	DGMR Bouw B.V. Informatie: ir. S. van Rosmalen E-mail: sro@dgmr.nl Telefoon: +31 (0)70 350 39 99 Fax: +31 (0)70 358 47 52	
Auteur(s):	ir. S. van Rosmalen	
Eindverantwoordelijke: Voor deze:	ing. J.T. Koudijs ir. P.H.E. van de Leur	
Secretariaat:	MEL	

©DGMR Bouw B.V. Alle rechten voorbehouden. Wilt u (delen van) dit rapport kopiëren of vermenigvuldigen, vraagt u dan schriftelijk toestemming daarvoor bij DGMR Bouw B.V.

Inhoudsopgave	Pagina
1. INLEIDING	4
2. UITGANGSPUNTEN.....	5
2.1 Omschrijving infra+ vloerconstructie.....	5
2.2 Beproeversrapport TNO.....	6
3. BEOORDELING.....	7
3.1 Invloed vuurlast in plenum Infra+ vloerconstructie.....	7
3.1.1 <i>Probleemomschrijving</i>	7
3.1.2 <i>Zelfontbrandingstemperaturen</i>	8
3.1.3 <i>Beoordeling</i>	8
3.2 Branduitbreiding ter plaatse van aansluitingen verticale brandscheidingen.....	9
3.2.1 <i>Probleemomschrijving</i>	9
3.2.2 <i>Beoordeling</i>	10
3.3 Belasting stalen liggers bij lokale vernauwing anhydriet vloer	11
3.4 Overige aspecten	12
4. CONCLUSIES	13

1. Inleiding

In het voorliggende rapport worden, ten behoeve van het project Coolhaven te Rotterdam, in opdracht van Visiplan B.V. enkele brandveiligheidsaspecten van de Infra+ vloerconstructie van fabricaat Prefab Limburg nader beoordeeld. Een en ander als gevolg van de twijfels hieromtrent van de toetsende instantie dS+V Rotterdam in relatie tot de bij de bouw geconstateerde afwijkingen. Concreet betreft het de volgende aspecten:

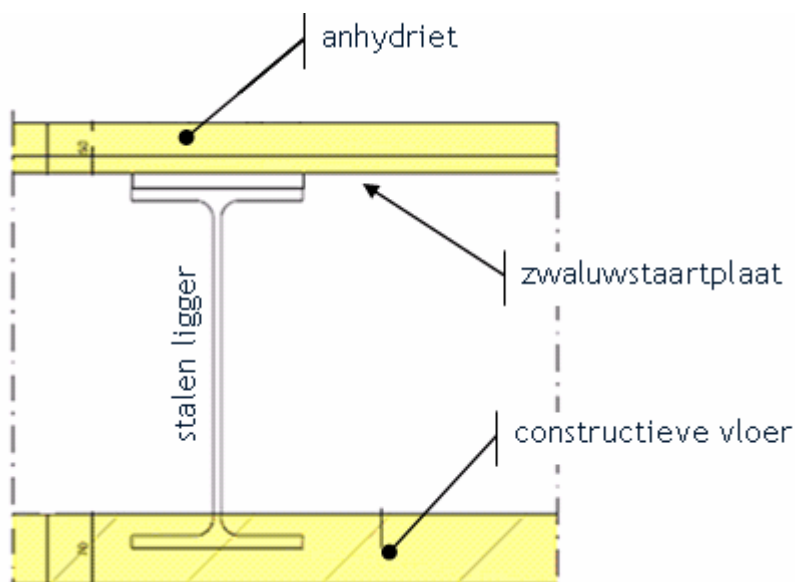
- invloed van de vuurlast in het plenum (rubbergranulaat, hout, elektra en bekabeling) op de brandtechnische eigenschappen van de vloer, met name op plaatsen waar deze vuurlast is geconcentreerd;
- gevaar voor branduitbreiding ter plaatse van aansluitingen van de vloerconstructie op een verticale brandwerende scheiding;
- invloed vernauwing anhydriet vloer op de opwarming van de stalen liggers;
- beschouwing van de nog openstaande bezwaren c.q. aandachtspunten van dS+V Rotterdam.

2. Uitgangspunten

2.1 Omschrijving infra+ vloerconstructie

In de onderstaande figuur is ter illustratie een doorsnede van de Infra+ vloer weergegeven¹. De vloer vormt in zijn geheel de fysieke afscheiding tussen twee opeenvolgende bouwlagen en is voor het hier beschouwde project als volgt opgebouwd (van boven naar onder):

- topvloer, opgebouwd uit stalen Lewis zwaluwstaartplaten met anhydriet dekvloer, gezamenlijke gemiddelde dikte 50 mm;
- stalen liggers IPE 360, met de onderflens ingestord in de betonplaat;
- gewapende betonvloer, dikte 70 mm.



Figuur 1: detail Infra+ vloerconstructie

Anhydriet (calciumfosfaat) is een watervrij gips dat zich eenvoudig laat aanbrengen en geen nadere afwerking behoeft. Tevens heeft het gunstige mechanische eigenschappen. Gezien de chemische samenstelling is de bijdrage tot brandvoortplanting klasse 1. Het plenum tussen de topvloer en de gewapende betonvloer wordt gebruikt om onder andere leidingwerk en kabelgoten weg te werken.

¹ Nadere informatie: <http://www.reppel.nl/reppel/infraplus.pdf>.

2.2 Beproeversrapport TNO

De Infra+ vloer van fabricaat Prefab Limburg is door TNO Bouw getest conform NEN 6069:1997 in het laboratorium van het Centrum voor Brandveiligheid. De resultaten van de beproeving zijn samengevat in TNO-rapport met referentie 2000-CVB-R02194 d.d. november 2000. De geteste constructie komt, met uitzondering van de topvloer, welke voor de duidelijkheid geen bijdrage levert aan de sterkte bij brand, overeen met de constructie zoals toegepast bij het project Coolhaven te Rotterdam. Ter info: 25 mm cape board pyrok platen (vezelversterkte gipsplaten) gelegen op zogenaamde omega profielen. De geteste constructie realiseert een brandwerendheid met betrekking tot de scheidende functie (WBDBO) van maar liefst 145 minuten, zowel voor het criterium *vlamdichtheid betrokken op de afdichting* als voor het criterium *thermische isolatie betrokken op de temperatuur*. Op het criterium *bezwijken* (constructieve veiligheid) wordt volgens het rapport meer dan 145 minuten gerealiseerd.

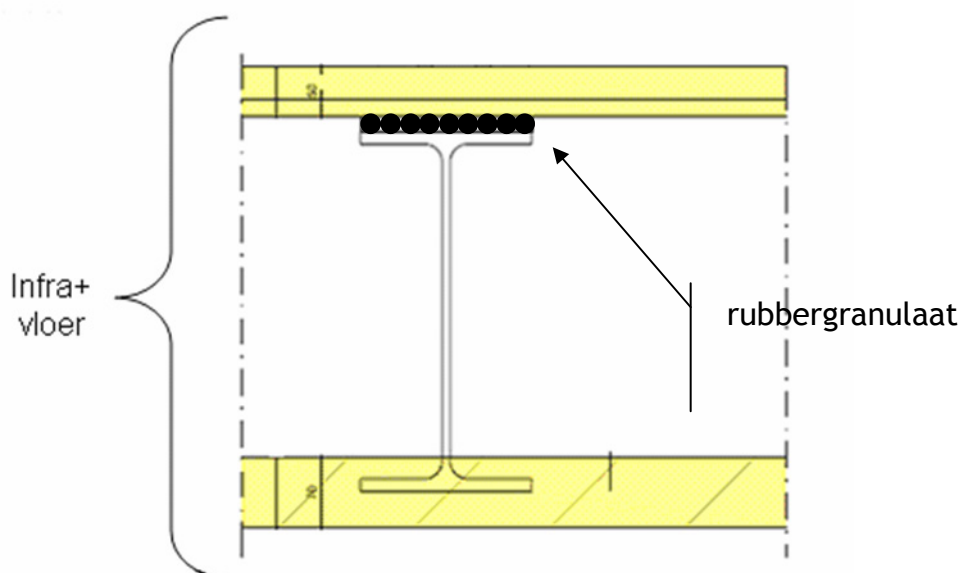
De vloerconstructie is ontworpen met het oog op het wegwerken van kanalen, leidingen en kabelgoten in het plenum. De beproefde constructie komt zodoende bij voorbaat niet overeen met de praktische toepassing.

3. Beoordeling

3.1 Invloed vuurlast in plenum Infra+ vloerconstructie

3.1.1 Probleemomschrijving

Door de bouwinspecteur is onlangs geconstateerd dat er in het plenum van de vloerconstructie diverse brandbare materialen aanwezig zijn. Zo is op de bovenflens van elke stalen ligger, ten behoeve van de geluiddemping, een kleine hoeveelheid rubbergranulaat aangebracht; de stalen Lewis zwaluwstaartplaten rusten hier anders direct op de stalen liggers. In de onderstaande figuur is dit schematisch weergegeven.



Figuur 2: Infra+ vloer met rubbergranulaat op de bovenflens van de stalen ligger

Naast het rubbergranulaat zijn op enkele locaties in het plenum ook raamwerken vervaardigd van houten balken aanwezig. De totale vuurlast in het plenum wordt conform opgave van de opdrachtgever conservatief geraamd op 2 kg vheq/m^2 .

Om de invloed van de vuurlast in kaart te brengen zijn de volgende twee aspecten belangrijk:

1. de zelfontbrandingstemperatuur in relatie tot de temperatuurontwikkeling van de lucht in het plenum; voor het rubbergranulaat is tevens de temperatuurontwikkeling van de bovenflens van de stalen liggers relevant, en;
2. bij ontbranding de invloed van het brandende materiaal op de ontbranding van de overige vuurlast.

3.1.2 Zelfontbrandingstemperaturen

Uit de literatuur volgt dat de zelfontbrandingstemperatuur van hout sterk varieert, afhankelijk van aggregatietoestand (zaagsel, snippers, balken, platen), houtsoort en vochtigheidsgraad. Een exacte waarde kan zodoende niet gemeten worden. Voor vurenhouten balken kan geconcludeerd worden dat een temperatuurtraject van 250-300°C realistisch doch kritisch is².

Rubbergranulaat wordt vervaardigd door het versnipperen van versleten autobanden. De samenstelling van het rubber van de autobanden is afhankelijk van de toepassing (snelheidsindicatie, seizoen, etc.) en bepalend voor de zelfontbrandingstemperatuur. Uit onderzoek blijkt dat de temperatuur waarbij pyrolyse begint plaats te vinden voor doorsnee moderne autobanden 200-250°C bedraagt. Na pyrolyse is, afhankelijk van de samenstelling van de vrijgekomen gassen, mogelijk nog een aanzienlijke temperatuurstijging nodig om deze spontaan te doen ontbranden (deze temperatuur kan oplopen tot boven de 400°C). Voor de beoordeling wordt er echter van uitgegaan dat de vrijgekomen gassen snel na de vorming tot ontbranding kunnen komen. Dit betekent dat bij de beoordeling het rubbergranulaat als maatgevend wordt beschouwd.

3.1.3 Beoordeling

In het beproevingsrapport van TNO is de opwarming van de lucht in de spouw en de bovenflens van de liggers op verschillende locaties als functie van de tijd gemeten. De minimale en maximale gemeten waarden zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 1
Temperatuur opbouw in het plenum bij verwarming aan de onderzijde

tijd (min)	luchttemperatuur (°C)	temperatuur bovenflens (°C)
60	145 – 195	105 – 130
70	175 – 225	130 – 160
80	200 – 265	155 – 200
90	220 – 295	180 – 225

Met deze gegevens kan het effect op de WBDBO van onder naar boven, en op de brandwerendheid op bezwijken, worden ingeschat. Uitgaande hiervan verwacht DGMR dat het rubbergranulaat vóór 80 minuten hoogstens verweekt, maar zeker niet ontsteekt. Pas na circa 80 minuten is er een realistische kans op ontsteken aanwezig waardoor er door verbranding extra warmte wordt ingebracht en zodoende een nadelige bijdrage gaat leveren aan de constructieve sterkte en aan de weerstand tegen branddoorslag. Deze ontbranding zal door de beperkte zuurstoftoevoer niet snel kunnen verlopen zodat de warmteproductie relatief beperkt blijft. Het risico op ontbranding van de aanwezige houten balken en de bijdrage hiervan is eveneens gering.

² Bron: http://www.doctorfire.com/wood_ign.pdf.

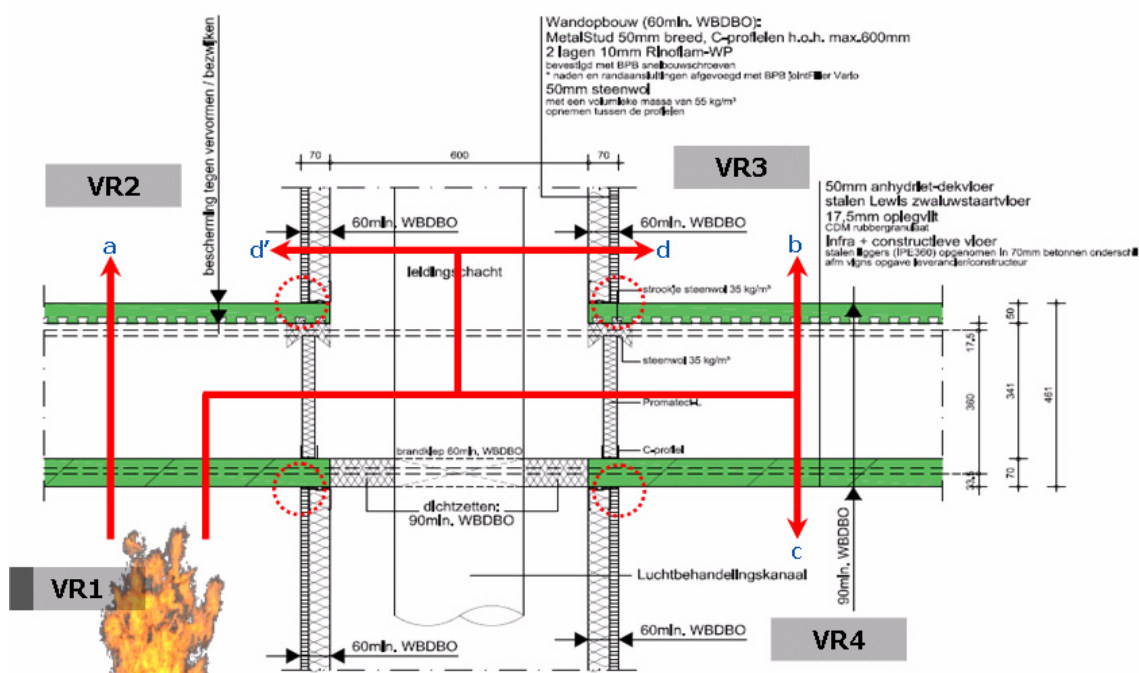
Geconcludeerd kan worden dat de vereiste WBDBO van 60 minuten op geen enkele wijze beïnvloed zal worden door de aanwezigheid van het rubbergranulaat en hout in de spouw (overigens ook niet door de aanwezigheid van andere brandbare materialen).

Als het rubbergranulaat gaat branden betekent dit niet dat de constructie dan ook direct zal bezwijken. Immers, de geringe hoeveelheid vuurlast kan niet 'ineens' volledig wegbranden (dit is alleen mogelijk bij explosieve mengsels). Wel zal op het criterium bezwijken een kortere tijdsduur worden gerealiseerd dan bij de beproefde constructie is waargenomen (> 145 min). De verbrandingsnelheid, de hoeveelheid en de locatie van de vuurlast spelen wat dit betreft een belangrijke rol. Een gedeelte van het rubber zit opgesloten en zal slechts langzaam kunnen verbranden. De warmte van de verbranding zal zich grotendeels verspreiden door de lucht bovenin de spouw, en zal maar zeer gedeeltelijk nadelig van invloed zijn op de opwarming van de staalprofielen; vervormen van de staalprofielen begint bij 470°C (aangetoond door de constructeur), bezwijken begint pas boven de 550°C. De hoeveelheid rubbergranulaat en hout is tenslotte zo gering dat de bijdrage aan de opwarming van het staal naar verwachting beperkt blijft tot maximaal enkele tientallen graden Celsius. Dat leidt zondermeer tot een verkorting van de brandwerendheid op bezwijken. Het is naar het oordeel van DGMR absoluut niet te verwachten dat na 80 minuten de brandwerendheid van meer dan 145 minuten terugloopt naar minder dan 90 minuten. De minimaal vereiste 90 minuten brandwerendheid met betrekking tot bezwijken zal dan ook zeker worden gerealiseerd.

3.2 Branduitbreiding ter plaatse van aansluitingen verticale brandscheidingen

3.2.1 Probleemomschrijving

Ter plaatse van de aansluiting van de Infra+ vloerconstructie bij verticale brandwerende scheidingsconstructies zijn bij de bouw in het plenum vooralsnog geen brandwerende voorzieningen gerealiseerd. De toetsende instantie is, naar onze mening terecht, niet overtuigd van de correctheid hiervan en vraagt zich af of er in het geval van brand gevaar voor branduitbreiding aanwezig is naar aansluitende ruimten. De mogelijke branduitbreidingstrajecten via de vloerconstructie zijn middels rode pijlen schematisch in de volgende figuur aangegeven.



Figuur 3: branduitbreidingstrajecten ter plaatse van aansluiting verticale brandscheiding bij brand in verblijfsruimte VR1

3.2.2 Beoordeling

Voor alle trajecten (a, b, c, d en d') geldt dat de luchttemperatuur in het plenum en de schachtruimte voor de beoordeling van de brandwerendheid met betrekking tot de scheidende functie (WBDBO) na 60 minuten bepalend is. Uit tabel 1 volgt dat deze 145-195°C bedraagt. Ervan uitgaande dat er open verbindingen naar de schachtruimte aanwezig zijn, en geen brandwerende voorzieningen in de vorm van brandkleppen of brandmanchetten, zal de temperatuur in de schachtruimte op hetzelfde niveau liggen. Deze situatie is maatgevend en wordt hieronder verder beoordeeld.

Branduitbreiding is fysisch gezien alleen te verwachten indien doorvoeringen in de constructies direct grenzend aan de verblijfsruimten VR2, VR3 en VR4 niet zijn voorzien van brandwerende voorzieningen. Om aan het criterium *thermische isolatie betrokken op de afdichting* te kunnen voldoen, mag de temperatuur conform NEN 6069 niet hoger dan 160°C worden³. Bij deze temperatuur is er reeds een (geringe) kans aanwezig dat als gevolg van warmtegeleiding zelfontbranding plaatsvindt van inventaris die tegen de scheidingsconstructie is geplaatst in de bedreigde verblijfsruimte. Aangezien de temperatuur ter plaatse van de doorvoering na 60 minuten niet veel afwijkt van de maximaal toegestane temperatuur, kan er ons inziens voor de trajecten a, b, d en d' worden volstaan met 30 minuten brandwerende manchetten/kleppen.

³ Deze temperatuur is zeer conservatief.

Voor traject c is dit niet voldoende, aangezien bij brand in verblijfsruimte VR4 de temperatuur in het plenum veel sneller zal oplopen dan op grond van het beproevingsrapport is waargenomen. Hier is een 60 minuten brandwerende klep/manchet noodzakelijk.

DGMR is van mening dat noch in het plenum noch in de schachtruimte aanvullende brandwerende voorzieningen in de vorm van brandkleppen of brandmanchetten noodzakelijk zijn. Belangrijke voorwaarde hierbij is wel dat eventuele kieren en naden ter plaatse van de aansluitingen deugdelijk zijn uitgevoerd, bijvoorbeeld door deze te dichtten met brandwerende kit (één en ander zoals aangegeven door rode onderbroken cirkels in figuur 3).

3.3 Belasting stalen liggers bij lokale vernauwing anhydriet vloer

In TNO-rapport 2004-CVB-R0059 d.d. april 2004 is rekenkundig onderzocht hoe de Infra+ vloer zich gedraagt bij thermische belasting van boven. Hiertoe zijn voor verschillende gemiddelde dikten van de topvloer de temperatuur als functie van de tijd bepaald, uitgaande van zowel de standaard brandkromme als een afgevlakte (gereduceerde) brandkromme.

Uit de resultaten kan worden opgemaakt dat er sprake is van twee warmtetransport regimes. Bij een gemiddelde dikte van boven de 80 mm wordt de opwarming van de Lewis zwaluwstaartplaat volledig bepaald door de weerstand tegen warmtetransport door de anhydriet vloer. Onder de 80 mm begint de temperatuurcurve steeds meer de vorm aan te nemen van de gehanteerde brandkromme. Hoe dunner de vloer wordt, hoe lager de warmteweerstand en hoe sneller de zwaluwstaartplaat zal opwarmen. Theoretisch gezien zal bij 0 mm anhydriet de berekende temperatuurkromme van de zwaluwstaartplaat dezelfde vorm hebben als van de gehanteerde brandkromme, echter aangezien slechts een deel van de vrijgekomen warmte ten goede komt aan de opwarming hiervan zullen de temperatuurniveaus aanzienlijk lager liggen.

Door de bouwinspecteur is geconstateerd dat er op enkele locaties sprake is van een vernauwing van de anhydriet vloer, soms tot 30 mm. De gemiddelde dikte per vloer is evenwel 50 mm, dit staat als eis tevens vermeld in het bouwkundig bestek. Naar aanleiding van de bespreking met dS+V Rotterdam d.d. 30 oktober 2007 is op verzoek van de bouwinspecteur deze dikte nagemeten. Uit het meetrapport volgt dat de gemiddelde dikte van 57.5 mm bedraagt. Deze resultaten zijn, conform opgave van de opdrachtgever, voorgelegd aan en goedgekeurd door de bouwinspecteur.

Indien de dikte van de topvloer gemiddeld 30 mm zou bedragen dan is het, uitgaande van de standaard brandkromme, niet met zekerheid aan te geven of de Infra+ vloerconstructie door opwarming van de stalen liggers nog aan het gestelde criterium van 90 minuten zal kunnen voldoen. Uitgaande van de afgevlakte brandkromme kan, door de berekende temperatuurontwikkelingen globaal te extrapoleren, wel worden geconcludeerd dat de staalprofielen na 90 minuten niet tot boven de 400°C zullen worden opgewarmd en zodoende voldaan wordt aan het criterium; zoals vermeld begint vervormen van de staalprofielen bij 470°C en bezwijken boven de 550°C.

Mede gezien de gemeten gemiddelde dikte van de topvloer is het naar mening van DGMR geenszins te verwachten dat bij een lokale vernauwing aan het criterium bezwijken niet zal kunnen worden voldaan. Hier komt nog bij dat de geconstateerde vernauwingen nergens direct grenzen aan de stalen liggers. Voorts is het vanuit zuiver fysisch oogpunt ook zeer twijfelachtig dat de berekende temperatuurontwikkelingen in voornoemd rapport bij brand zullen kunnen optreden.

3.4 Overige aspecten

Hieronder staan puntsgewijs de benodigde acties en aandachtspunten naar aanleiding van de verschillende inspectierondes van de bouwinspecteur.

- doorvoeringen door de topvloer moeten voorzien worden van 30 minuten brandwerende brandmanchetten/kleppen. Soortgelijke voorzieningen zijn ook noodzakelijk bij doorvoeringen door de constructieve vloer (voor zover aanwezig), waarbij een eis van ten minste 60 minuten geldt;
- naast de doorvoeringen dienen kieren en naden ter plaatse van aansluitingen van verticale brandwerende scheidingsconstructies afgedicht te worden met brandwerende kit;
- op de tweede verdieping is geconstateerd dat er in de topvloer grote sparingen aanwezig zijn. Deze zullen bij de afwerking 30 minuten brandwerend worden afgedicht. Hiertoe wordt vooralsnog gedacht aan lamelvormige constructies vervaardigd van multiplex en aan weerszijden bekleed met promatect (totale dikte 50 mm). Mits deugdelijk bevestigd, en kieren en naden rondom afgekit met brandwerende kit, zal een brandwerendheid van 30 minuten eenvoudig gerealiseerd kunnen worden. Het op dit moment aanwezige houten raamwerk dient zuiver voor ondersteuning en zal worden verwijderd.

4. Conclusies

Invloed vuurlast in plenum

Gezien de zelfontbrandingstemperaturen zal de vereiste WBDBO van 60 minuten op geen enkele wijze beïnvloed kunnen worden door de aanwezigheid van het rubbergranulaat dan wel hout in de spouw (overigens ook niet door de aanwezigheid van andere brandbare materialen);

Gezien de zelfontbrandingstemperaturen en de te verwachten lage verbrandingsnelheden (beperkte zuurstoftoevoer, locatie rubbergranulaat) is het naar het oordeel van DGMR absoluut niet te verwachten dat na 80 minuten de brandwerendheid van meer dan 145 minuten terugloopt naar minder dan 90 minuten.

Aansluitingen Infra+ vloer

DGMR is van mening dat noch in het plenum, noch in de schachtruimte aanvullende brandwerende voorzieningen noodzakelijk zijn. Belangrijke voorwaarde hierbij is wel dat eventuele kieren en naden ter plaatse van de aansluitingen deugdelijk zijn uitgevoerd.

Lokale vernauwing anhydriet

Gezien de gemeten gemiddelde dikte van de topvloer en de locatie van de geconstateerde vernauwingen, is het naar mening van DGMR geenszins te verwachten dat als gevolg hiervan niet meer aan het criterium bezwijken wordt voldaan. Voorts is het vanuit zuiver fysisch oogpunt ook zeer twijfelachtig dat de berekende temperatuurontwikkelingen conform TNO-rapport 2004-CVB-R0059 realistisch zijn.

Den Haag, 1 november 2007

DGMR Bouw B.V.