

ONDERWIJSGEBOUW PULSE, TU DELFT

Pluspunt met kraanconstructie

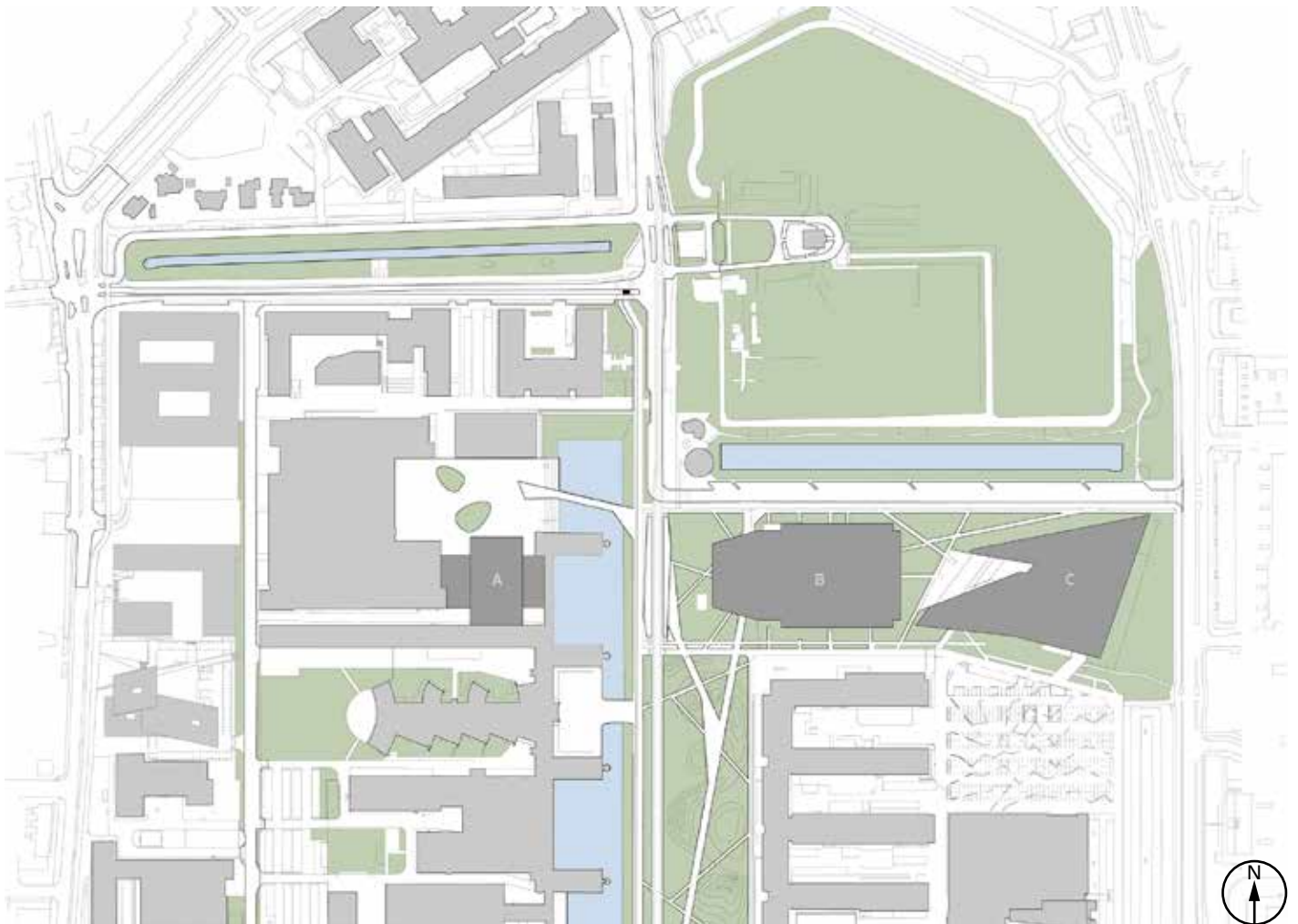
Pulse (*Practise, Unite, Learn, Share & Explore*) is het nieuwe interfacultaire onderwijscentrum van de TU Delft, met ruimte voor nieuwe onderwijsvormen. De stalen constructie met overstekten tot acht meter, is zo veel mogelijk in het zicht gehouden.

ir. C.A.A. van den Brand en ir. M.G.M. Schamp

Coen van den Brand is raadgevend ingenieur bij Royal HaskoningDHV in Rotterdam en Michel Schamp is directeur van Aronsohn Raadgevende ingenieurs in Rotterdam.

Foto: Petra Appelhof





1. Overzicht. A is Pulse. B is de Aula Congrescentrum en C is de Universiteitsbibliotheek.

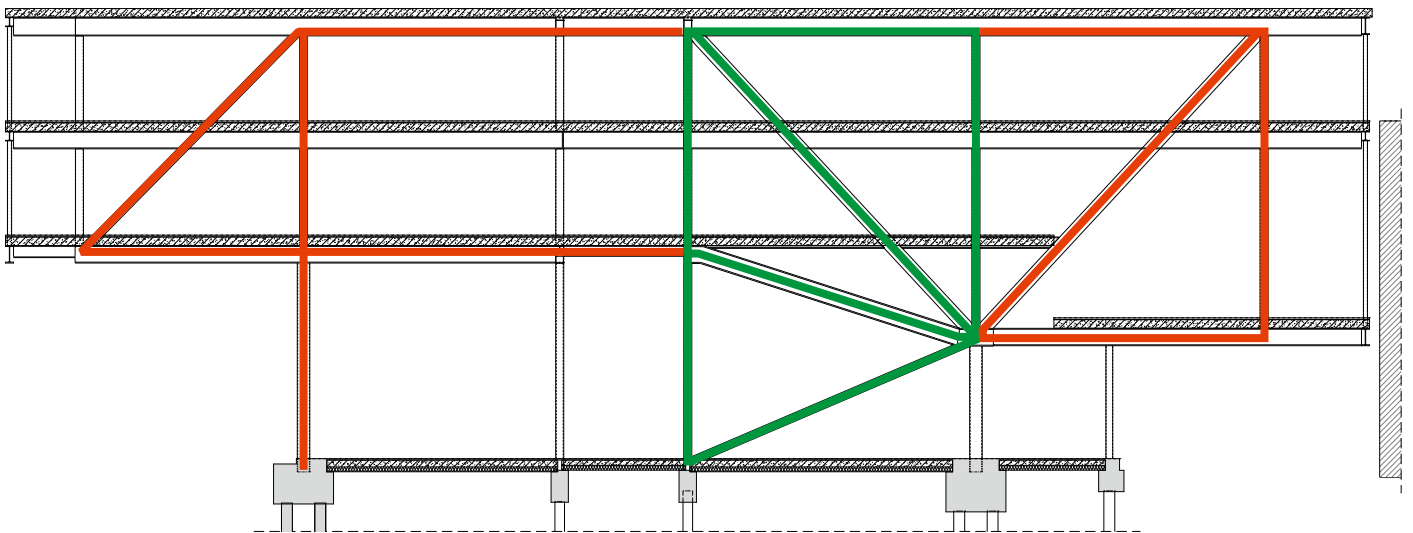
Pulse is onderdeel van de *Learning Environment* van de bibliotheek, de aula en de faculteit Industrieel Ontwerpen. Het ontwerp is tot stand gekomen in nauwe samenwerking met de TU Delft. Kennis op het gebied van onderwijsontwikkeling, duurzaamheid en techniek, komen samen in het gebouw. Het nieuwe gebouw huisvest acht vlakke zalen voor 60 tot 100 personen en drie ruimtes voor bijzondere onderwijsvormen, met in totaal 1.020 onderwijsplekken en ± 160 zelfstudieplekken. Het is energie-neutraal ontworpen en heeft het maximaal haalbare energielabel A++++. De oriëntatie van de ruimtes zorgt voor een optimale daglichttoetreding. Een geavanceerd gebouwbeheersysteem voegt naar behoefte kunstlicht,

lucht, warmte en/of koude toe. Door het gebruik van gelijkspanning, kunnen gebruikers hun laptops, tablets, smartphones en verlichting direct en zonder energieverlies aansluiten op de energietoevoer van 490 zonnepanelen (750 m²) die op het dak staan. Klimaatvloeren en -plafonds zorgen via warmte en -koudeopslag in de bodem en CO₂-gestuurde ventilatie voor het juiste klimaat en comfort.

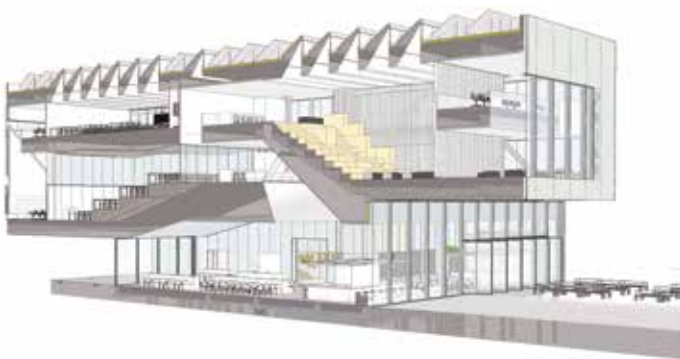
Verbindende vorm

Het interfacultaire karakter moeten ontmoetinge stimuleren tussen docenten en studenten van verschillende disciplines. Het gebouw fungeert zodoende als een belangrijk 'verkeerskruispunt' op de campus. Daarom

vormt de '+', als teken van verbinding al vanaf de vormstudiefase, het uitgangspunt voor het ontwerp. De plattegrond van de begane grond vormt de horizontale 'streep' van de + en staat in verbinding met de belendende bebouwing. Een vergelijkbaar rechthoekig volume is er 90° gedraaid bovenop gezet: de verticale streep van de +. Dit is bereikt door delen van de bovenbouw aan de voor- en achterzijde te laten uitkragen. Op wens van de architect onderscheidt het volume van de onderbouw zich duidelijk van het volume van de bovenbouw. Daarom is de gevel van de begane grond, met een glazen pui over de volledige breedte en hoogte, afwijkend vormgegeven ten opzichte van de gevel van de bovenbouw.



2. Overzicht spant (rood) en stabiliteitsverband (groen).



3. Doorsnede over het gebouw.



4. Inspiration room. Dubbel hoge ruimte met transparante gevels in het noordelijke uitkragende gedeelte.

Kraanconstructies

Voor een slanke constructie ligt de keuze voor staal voor de hand. De constructieve opzet roept de associatie op met een danspaar, waarbij de ene partner de andere steunt met een sierlijke maar instabiele houding. Slechts enkele diagonalen vangen de krachten op van de overstekken van de bovenbouw, in afbeelding 2 met rood aangegeven. In het project zijn deze kraanconstructies genoemd. De diagonaal in de achtergevel is een drukdiagonaal, waarbij de vloeren hangen aan een trek kolom.

Trek-druk diagonalen zorgen voor de stabiliteit in het vlak van de kraanconstructie, groen in afbeelding 2. De onderste diagonalen volgen hierbij de helling van trap en de

tribune van de grote collegezaal. De kraanconstructies zijn tussen de zalen en gangen geplaatst. De vloeren zorgen voor schijfwerking tussen de kraanconstructies. Kanaalplaten met druklaag overspannen 12 m in de zalen en 3 m in de gangen.

De stabiliteit in de dwarsrichting is bereikt met diagonalen doorlopend over meerdere verdiepingen. De diagonalen zijn door het hele gebouw zichtbaar en vormen zo een ruimtelijke toevoeging, zoals in de *Inspiration Room* (afb. 4).

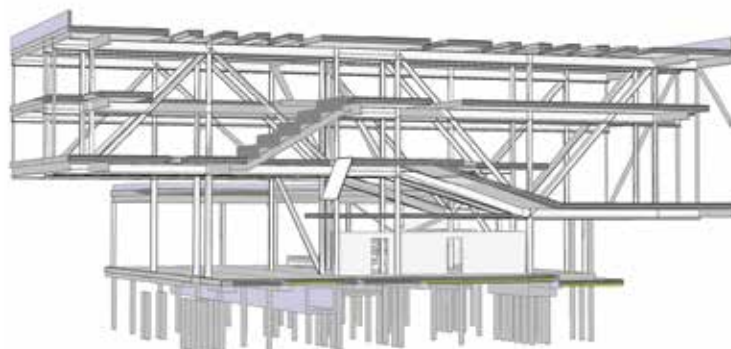
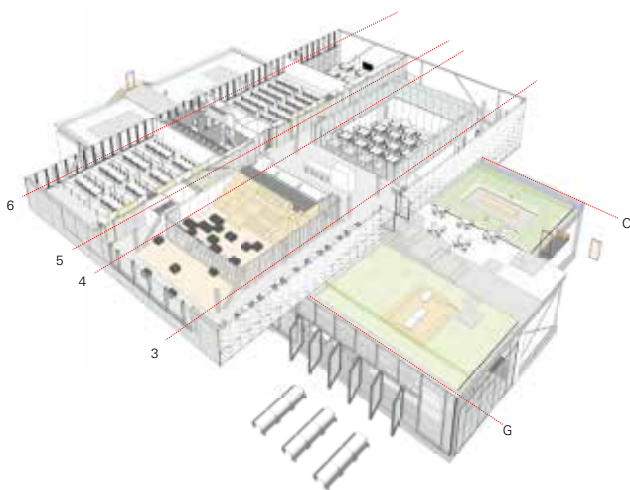
Spanten

De zalen en de gangen verschillen in hoogte en lengte, maar zijn gelijk in breedte (afb 5). Dit resulteert desondanks in grotendeels

vergelijkbare belastingen op de verschillende spanten. Hierdoor is de bovenbouw met vier vergelijkbare spanten gerealiseerd. De kolommen zijn vierkante kokers (300x300 mm), ook de diagonalen zijn kokerprofielen (300x300 mm en 300x500 mm). In de vloerliggers (HEB 650) zijn lijfsparingen gemaakt voor het doorvoeren van installaties. De westgevel is uitkragend uitgevoerd, opgehangen aan het spant, 2,4 m uit de gevel. Om de gevel zo transparant mogelijk te maken, zijn hier geen diagonalen toegepast.

Staaldetails in zicht

De constructie en installatietechniek zijn bewust in het zicht gelaten, het is immers een gebouw van de technische universiteit.



5. De kraanconstructies staan op de rode assen tussen de zalen en gangen.

6. 3D-model van de spanten.

In overleg met de architect is naar een detaillering gezocht die de esthetiek van krachtswerking toont. In de ontwerpfase is de gewenste verschijningsvorm van de staalconstructie in verschijningsvorm vastgelegd. Vanwege de grote afmetingen van de diagonalen en liggers in de kraanconstructies, zijn de elementen opgedeeld in kleinere segmenten. Op de bouw zijn ze met geboude verbindingen samengesteld. In de ontwerpfase is al gekeken in welke segmenten de staalconstructie het beste kon worden verdeeld en is de detaillering hierop afgestemd. Er is uitgegaan van montage van lineaire elementen, in *afbeelding 7* aangegeven door de profielen in verschillende kleuren. Er is een strikt onderscheid gemaakt tussen de zichtdetails en de overige aansluitingen. Daar waar de staaldetails niet in het zicht komen, mocht de aannemer ze, in overleg, naar eigen inzicht invullen. Bij het zichtwerk wilde de architect geen uitstekende platen in de koppelingen, daarom zijn schotten en verbindingsmiddelen binnen de maten van de aansluitende profielen aangebracht.

Uitvoering

De kraanconstructies dragen de verticale belastingen van de uitkragende delen af naar de fundering. Via één zijde worden de belastingen eerst omhoog gebracht naar

dakniveau om van daaruit via een gedrukte diagonaal naar de fundering te worden afgevoerd. Dit werkt pas wanneer de gehele kraanconstructie gereed is. Tijdens de bouw van de staalconstructie en de vloeren is er dus nog geen stabiele toestand. Bij elke stap tijdens de bouw moet nauwkeurig worden bekeken of de deelconstructie stabiel is en hoe de verticale belastingen worden afgevoerd. Van belang zijn daarbij ook de vervormingen van de (deel)constructies en de torsiegevoeligheid van de hoge HE-liggers tijdens het leggen van de vloeren. Daarom is de montagevolgorde en detaillering door de staalbouwer opgesteld en begeleid door coördinerend constructeur Aronsohn. De vervormingen-analyse tijdens de bouw is uitgewerkt door de constructeur.

Tijdelijke ondersteuning

Een belangrijke vraag voor de montage: hoe moeten de overstekken tijdens de bouw worden ondersteund? Er zijn twee mogelijkheden overwogen. De meest voor de hand liggende oplossing is het verticaal ondersteunen van de overstekken. De belastingen op deze ondersteuning zouden in dit geval dusdanig groot zijn, dat een fundering op staal zou wegzakken in de slappe kleibodem. Dit zou betekenen dat een extra fundering op palen moest worden gemaakt. Een beter alterna-

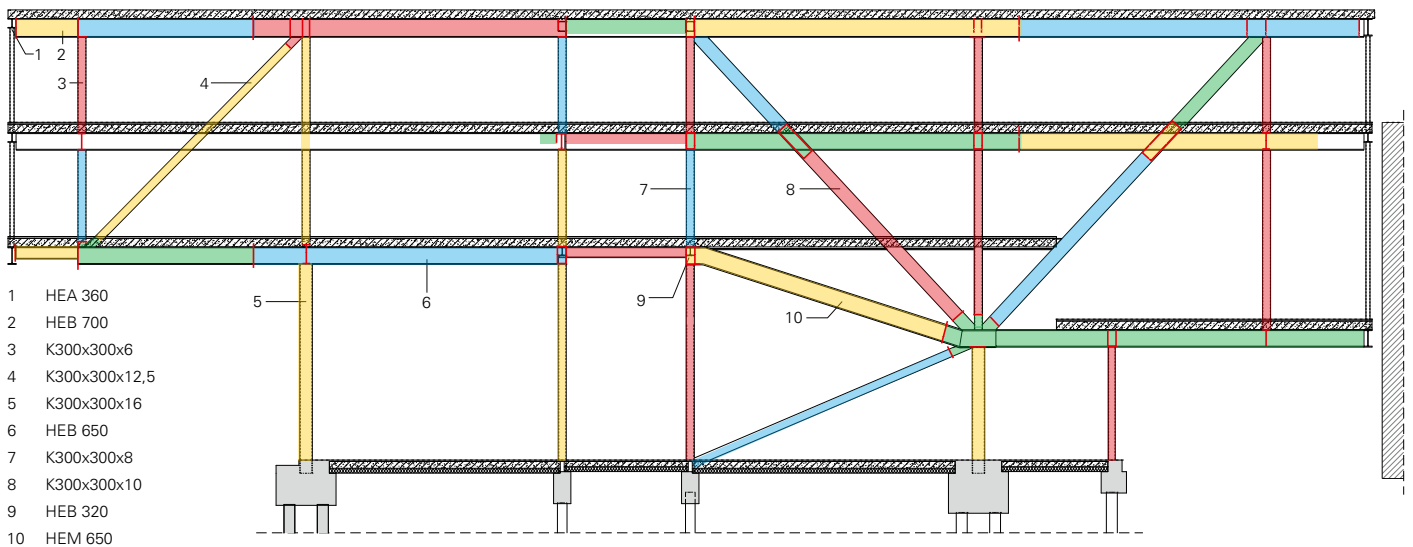
tief is het toepassen van tijdelijke schoren die de belasting direct naar de al aanwezige funderingspoeren afvoeren. In vergelijking met de kosten voor een traditionele tijdelijke ondersteuning, bleek dit een interessante oplossing te zijn. Daarom is voor deze oplossing gekozen (*afb 11 en 12*).

Bouwfasen

De coördinerend constructeur heeft op basis van het rekenmodel van de hoofdconstructeur een rekenmodel gemaakt waarin de bouwfasen zijn gemodelleerd. Hiermee kon per bouwfase worden bepaald hoe groot de krachten in de staalconstructie en de tijdelijke ondersteuning zouden worden. Zo kon worden gecontroleerd of de krachten en momenten aan het einde van de bouwfasen overeen zouden komen met de krachten in de ontwerpberekeningen. Om de belastingen op de tijdelijke schoren minimaal te houden, is in het werkplan opgenomen ze te verwijderen na het gereedkomen van de staalconstructie. De belasting op de tijdelijke ondersteuning bleef zo beperkt tot de 1^e en 2^e verdiepingvloer. De belasting op de poeren en de palen bleef tijdens de bouw lager dan de UG-waarde in de gebruiksfase. In de dwarsrichting is een deel van de constructie tijdens de bouw gestabiliseerd door de permanente schoren op as D en F tussen

Projectgegevens

Locatie Gebouw 33a, Landbergstraat 19, 2628 CE Delft • Opdracht TU Delft • Architectuur Ector Hoogstad Architecten, Rotterdam • Constructief ontwerp Royal HaskoningDHV, Rotterdam (ook projectmanagement) met Valstar Simonis, Amsterdam (installaties) en DGMR, Den Haag (bouwphysica, duurzaamheid en brandveiligheid) • Uitvoering combinatie Hurks en Kuijpers, aannemer en installateur • Coördinerend constructeur Aronsohn raadgevende ingenieurs, Rotterdam • Staalconstructie Hutten Metaal, Hardenberg • Data ontwerp: december 2014, uitvoering: najaar 2016, oplevering: september 2018 • Fotografie Petra Appelhof



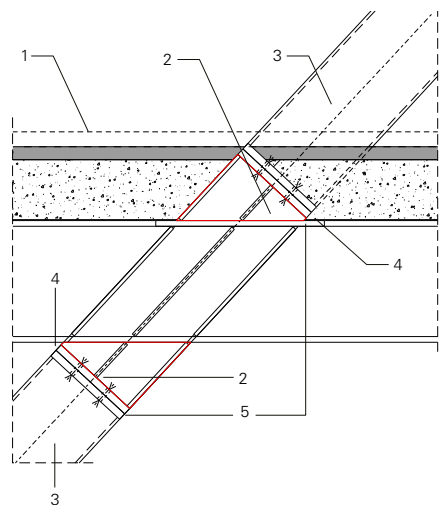
7. Bestekvoorbeeld voor onderverdelingen elementen.

as 5 en 6 (afb. 11). Voor stabiliteit uit het vlak van de kraanconstructies zijn verder gebruikelijke voorzieningen getroffen met tirfors (staaldradkabels).

Monteren verdiepingen

Na het leggen van de kanaalplaten van de 1^e verdiepingvloer en het uitharden van de aangestorte voegen, kopsleuven en hamerkopsparringen is een stabiel platform ontstaan waarop verder kon worden gebouwd. Nadat het beton voldoende was uitgehard konden de koppelbalken worden gebruikt voor de volgende vloer.

Tijdens de montage van de staalconstructie van de 2^e verdieping is de stabiliteit in lengterichting van het gebouw gewaarborgd door de diagonalen van de kraanconstructies. Voor de stabiliteit in het vlak van de kraanconstructies zijn, na het plaatsen van de vloeren inclusief druklaag, nog twee tijdelijke schoren (afb. 12) gebruikt. Deze zijn nodig omdat, na het gereedkomen van de 2^e verdiepingvloer, de twee trek-druk schoren voor de stabiliteit in de dwarsrichting nog niet compleet zijn. Na het monteren van de staalconstructie van de dakvloer, zijn de kraanconstructies compleet. De druklaag op de 2^e verdiepingvloer zorgt ervoor dat windbelasting en horizontale belastingen uit scheefstanden kunnen worden opgenomen.



- 1 staaldetailering moet binnen 80 mm bk afwerking blijven
- 2 afdichten met gezette plaat en afwerken in dezelfde kleur
- 3 K500x300x16
- 4 aansluiting met contactdruk, kopplaten gevlaakt
- 5 kop-/vloerplaten in breedte en diepte van koker vlak afwerken

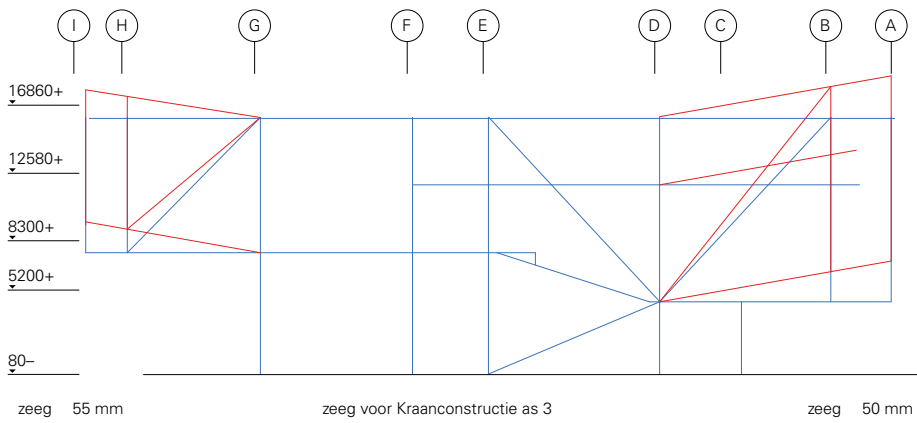
8. Bestekdetail en uitgevoerd detail (links).

Tijdelijke voorzieningen

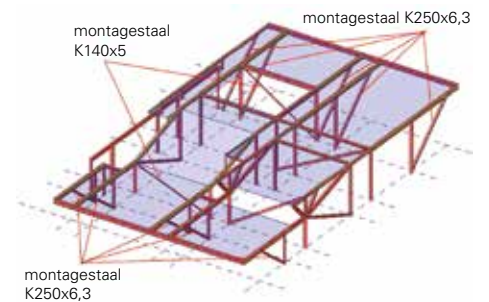
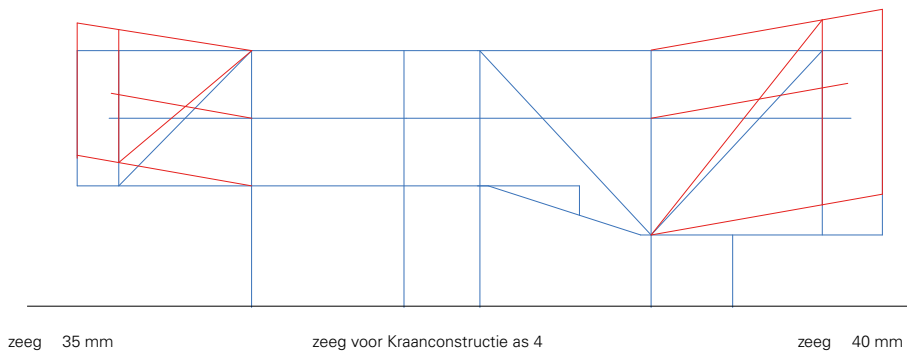
In de tijdelijke schoren zijn vijzels opgenomen om de belasting geleidelijk en gecontroleerd af te laten en spanningsloos te maken, zodat ze veilig konden worden gedemonteerd. Met het aflaten van de vijzels, nemen de aanzienlijke krachten in de kolommen en



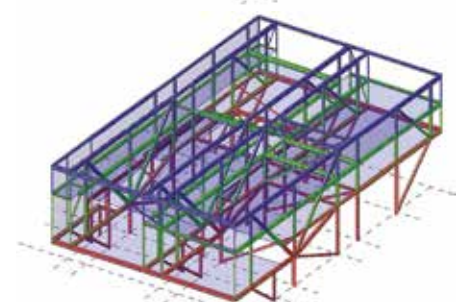
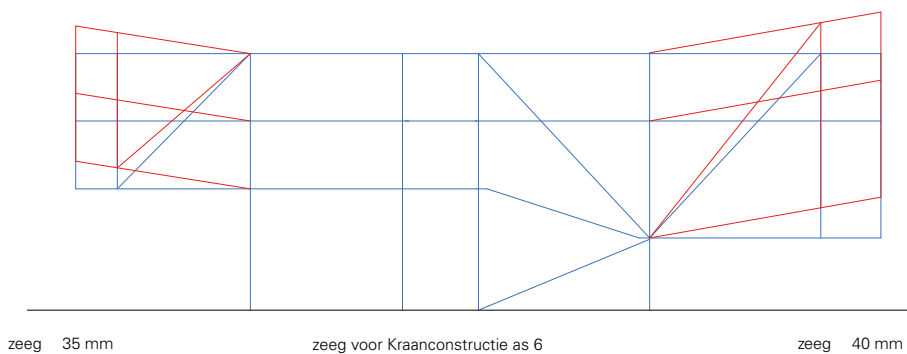
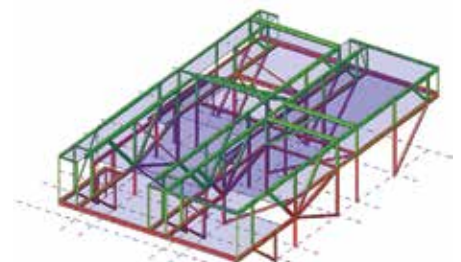
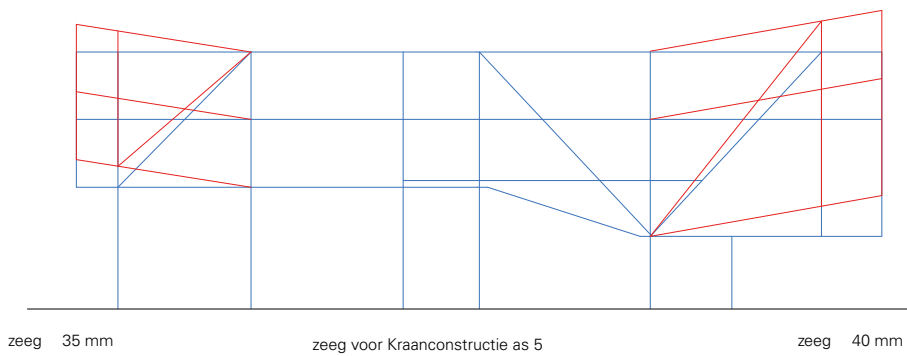
diagonalen geleidelijk toe met de belastingen uit de overstekken. Daarom konden ze pas worden verwijderd nadat de constructie in zijn geheel stabiel is, na het plaatsen van de kanaalplaten van de dakvloer en het uitharden van de aangestorte voegen en kopsleuven.



10. Pulse is energieneutraal ontworpen en heeft energielabel A+++.



11. Montage 2^e verdiepingvloer.



12. Montage 3^e verdiepingvloer.

9. Om zakking in de eindfase te beperken is de constructie opgezet.



13. Omdat de staalconstructie voor een groot deel in het zicht is geplaatst, is gekozen voor een opschuimende brandwerende coating.

Beheersen vervormingen

Het kunnen voorspellen van de vervormingen, na het verwijderen van de tijdelijke schoren onder de overstekken, is belangrijk voor de bepaling van het moment van het plaatsen van de gevels. Drukklagen en installaties worden bij voorkeur aangebracht als het gebouw wind- en waterdicht is. De te verwachten vervormingen na het plaatsen van de gevels bepalen hoe groot de toleranties in de verbindingen van de gevel met de vloeranden moeten zijn. Te kleine toleranties kunnen glasbreuk tot gevolg hebben. Te grote toleranties zouden leiden tot te grote voegen en een ongewenst gevelbeeld.

In het ontwerp is rekening gehouden met grote vervormingen (tot wel 50 mm) van de overstekken. Om de zakking in de eindfase te beperken is in het ontwerp aangegeven dat de constructie moest worden opgezet (door zegen of togen). Deze uitgangspunten zijn overgenomen in de uitwerking van de staalconstructie, in de wetenschap dat theorie en praktijk niet altijd met elkaar overeenkomen. Het komt nog wel eens voor dat een constructie niet zo ver terugzakt als voorspeld is, met alle passingsproblemen van dien. Het rekenmodel met bouwfasen is gebruikt om de zakking per bouwfase te bepalen. Tijdens de bouw zijn, per overstek, op alle hoofdliggers meetpunten aangebracht en na elke fase zijn de vervormingen gemeten en vergeleken met de voorspelde waarden. Het verloop van de zakking per fase is in de werkelijkheid grillig

verlopen. Daar waar verwachte zakking in een fase uitbleef, was de zakking in een fase ervoor of erna, juist groter dan voorspeld. De totale vervorming komt daarom wel overeen met de voorspelde waarde.

Stabiliteit hoge liggers tijdens plaatsen kanaalplaten

Een bekend fenomeen bij het leggen van kanaalplaten is het ontstaan van torsie in de hoge stalen liggers, door de excentrische oplegging van de vloeren. De kanaalplaten zijn weliswaar direct op de bovenflens van de liggers gelegd, waardoor de excentriciteit klein is, maar de liggers zijn torsieslap door de hoogte en overspanning. De belasting is aanzienlijk bij een overspanning van de kanaalplaten van 12 m, met een oplegglengte van 100 mm. In het ontwerp van de liggers is geen rekening gehouden met deze torsie, daarom moet tijdens de bouw worden voorkomen dat de liggers worden belast op torsie. In gereede toestand zorgt koppelwapening in de kopsleuven voor het beperken van de excentriciteit en torsie in de liggers. Zodra de vloer is aangestort kan de ligger niet meer wegdraaien. Omdat het om doorgaande liggers gaat, is er wel sprake van een gedrukte onderflens nabij de kolommen. De koppelliggers stabiliseren de hoofdliggers over de gehele hoogte.

Een gebruikelijke oplossing is het tijdelijk onderstempelen van de kanaalplaten naar de onderliggende vloer, zodat de liggers niet

worden belast door de kanaalplaten. Echter door de grote verdiepinghoogte zou dit te kostbaar worden. De stempels zouden veel ruimte op de onderliggende vloeren innemen en zo de bouwsnelheid beperken. Ook de gewenste positie van de tijdelijke ondersteuning bleek niet uitvoerbaar.

Daarom is gekozen de torsie in de bovenflens te voorkomen met het op regelmatige afstand (3600 mm) monteren van een stalen koppelbalken (HEA 260) aan de onderzijde van de hoofdligger en schoren. Opstaande delen bevestigd aan de koppelbalk steunen zodoende de bovenflens. Bij de schoortjes zijn verstijvingsschotten voorzien om lokale buiging van de bovenflens en het lijf van de liggers te voorkomen. De torsiestabiliteit van de liggers is op deze manier gewaarborgd. De stijfheid van de koppelbalken is zodanig bepaald, dat de hoekverdraaiing aan de uiteinden van de koppelbalken en daarmee rotatie om de as van de ligger, binnen acceptabele grenzen is gebleven.

Brandveiligheid

De brandwerendheid van de hoofdconstructie bedraagt 60 minuten (90 min met 30 min reductie). Omdat de staalconstructie voor een groot deel in het zicht is geplaatst, is gekozen voor een opschuimende coating. Deze coating is in de fabriek aangebracht, om een zo groot mogelijke controle over het uiterlijk van het oppervlak te kunnen houden. •