

Stichting
Toekomstbeeld
der Techniek



Bond voor Materialenkennis



Bouwwijs

materialen en methoden voor toekomstige gebouwen

Redactie: ir. Annemieke Venemans

DELWEL

STT 59

BOUWWIJS

... van de toekomstige gebouwen

... van de toekomstige gebouwen



... van de toekomstige gebouwen

... van de toekomstige gebouwen

... van de toekomstige gebouwen

... van de toekomstige gebouwen

... van de toekomstige gebouwen

... van de toekomstige gebouwen

Stichting
Toekomstbeeld
der Techniek



De Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT) is in 1968 opgericht door het Koninklijk Instituut van Ingenieurs.

Het werk van STT bestaat voornamelijk uit het opzetten, begeleiden en sturen van studieprojecten. Een STT-studie wordt uitgevoerd door 3 tot 4 werkgroepen onder leiding van een stuurgroep. Aan een STT-studie werken gemiddeld 30 tot 40 deskundigen mee die afkomstig zijn uit het veld, van bedrijven, onderzoeksinstituten, universiteiten, enzovoorts.

Het tastbare resultaat van een studie is een boek waarin de bevindingen worden vastgelegd. Een minder tastbaar, maar daarom niet minder belangrijk gevolg van de studie is de uitwisseling van kennis en ervaringen tussen de werkgroepleden onderling. De resultaten worden ook uitgedragen op symposia en via aandacht in de media.

STT richt zich bij haar projecten op het Nederlandse taalgebied, Nederland en Vlaanderen.

Het adres van STT is Prinsessegracht 23, Postbus 30424, 2500 GK Den Haag, telefoon (070) 3919856.

BOUWWIJS

materialen en methoden voor toekomstige gebouwen

Redactie: ir. Annemieke Venemans

1997

Delwel Uitgeverij, Den Haag

Omslagontwerp: De Boer & Van Teylingen

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Bouwwijs: materialen en methoden voor toekomstige gebouwen /
red.: Annemieke Venemans – Den Haag [etc.]: Delwel Uitgeverij. – (STT : 59)
Met register en losse samenvatting
ISBN 90-61-55-8166
Trefw.: bouwmaterialen, bouwmethoden, B&U-sector

© 1997 Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Den Haag

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

No part of this work may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publisher.

Voor de reproductie(s) zoals bedoeld in art. 16b en 17 van de Auteurswet 1912 (ten bate van eigen oefening, studie enz. en/of ten bate van organisaties, instellingen enz.) van één of meer pagina's is een vergoeding verschuldigd. Voor inlichtingen betreffende de hoogte en afdracht van de vergoeding kan men zich wenden tot de Stichting Reprorecht Amstelveen.



Inhoud

Voorwoord	9
Samenvatting	11
Summary	17
1. Materialen en methoden in de bouw	23
1.1 Inleiding	23
1.1.1 De bond voor materialenkennis	24
1.1.2 Een studie materialen	24
1.1.3 Een studie bouwmaterialen	24
1.1.4 Materialen in de bouw	24
1.1.5 Doel en richting van de studie	25
1.2 Het bouwproces	26
1.2.1 Conservatief of innovatief?	26
1.2.2 Innovatief, maar anders	27
1.2.3 De adviesraad technologiebeleid bouwnijverheid (artb)	28
1.3 Ontwikkelingen en trends	28
1.3.1 Tot slot	32
2. Essay 1: Veranderbaarheid toen en nu	33
2.1 Chronologische ontwikkeling	33
2.2 Maatafstemming	37
3. Flexibiliteit in gebouwen	39
3.1 Flexibiliteit en aanpasbaarheid	39
3.2 Een model voor het ontwerpen op veranderbaarheid	41
3.3 Het levenslange woongebouw	44
3.3.1 Installaties	46
3.3.2 Inrichting	54
3.3.3 Draagconstructie	60
3.3.4 Beheersaspecten van veranderbare huurwoningen	70
3.4 Het veranderbare kantoor	72
3.4.1 Inrichting van de werkplek	72
3.4.2 Telewerken	76
3.4.3 Klimaatinstallatie	79
3.4.4 Schil	89
3.4.5 Draagconstructie	96
3.5 Materialen en flexibiliteit	102

4. Essay 2: Duurzaam bouwen in dubio	109
4.1 Milieubelasting	109
4.2 Het nationaal pakket duurzame woningbouw	110
4.3 Vergelijking van de twee kantoren	112
4.3.1 Kantoor in Haarlem	112
4.3.2 Kantoor in Heerlen	115
4.4 Terugdringen van de milieubelasting	117
4.5 Consequenties voor het materiaalgebruik	118
4.6 Conclusies	119
5. Montage op de bouwplaats	123
5.1 Montage op de bouwplaats – waarom?	123
5.2 Stimulerende en beperkende factoren	126
5.3 Eén standaardmontage-interface?	129
5.3.1 Relaties tussen de categorieën deelontwerpen	131
5.3.2 Naar montage op de bouwplaats: twee visies op de aard van componenten	139
5.3.3 De ideale Legodoos	140
5.3.4 Simpele aansluitingen vragen om een ander type component	143
5.3.5 Aansluitingen maken op de meest geschikte plaatsen	145
5.4 Materialen en montage op de bouwplaats	147
6. Essay 3: Bouwen in Nederland en in België	149
6.1 Bouwen in Nederland	149
6.1.1 Clustering	150
6.2 Bouwen in België	151
6.3 Wonen in Nederland en in België	152
7. Hoog bouwen	155
7.1 Hoog bouwen – waarom?	155
7.2 Analogieën	159
7.3 De vergaderruimte	174
7.3.1 Constructie	174
7.3.2 Indeling	177
7.3.3 Voorzieningen	177
7.4 De torenconstructie	185
7.4.1 Inventarisatie en vergelijking van torenconstructies	185
7.4.2 Traditionele torens in traditionele materialen	192
7.4.3 Demping	195
7.5 Materialen en hoog bouwen	199
8. Essay 4: Arbeidsomstandigheden in de bouw	201
8.1 Gezondheid in de bouw	201
8.2 Kwaliteit van de arbeid	201
8.3 Risicofactoren	202
8.4 Montage op de bouwplaats	204
8.5 Lichte en sterke constructies	205

8.6	Conclusie	205
9.	Lichte en sterke constructies	207
9.1	Inleiding	207
9.2	Zoekrichtingen en mogelijkheden	208
9.2.1	Zoektocht naar mogelijkheden	209
9.2.2	Materiaaleigenschappen vergeleken	216
9.3	Constructies voor grote overspanningen	219
9.3.1	Geodetische koepels	219
9.3.2	Ruimtevakwerken	222
9.3.3	Het kabelspant	224
9.4	Signalering van nieuwe materialen	227
10.	Conclusies	233
	Bijlage A: Demontabele draagconstructie	235
	Bijlage B: Vlakvullingssysteem	241
	Bijlage C: Leidingverbindingen	253
	Bijlage D: Componenten en een maatsysteem	263
	Bijlage E: Verbindingen en materialen	273
	Bijlage F: Voorstel voor maatafstemming	281
	Organisatie van de studie	289
	STT-publicaties	293
	Subsidieverleners STT	297
	Register	299



Voorwoord

Toen ik de titel van dit boek las, klonk dat als een gebod: 'bouw wijs'. De tijd waarin ministers zulke geboden konden afgeven is gelukkig al lang voorbij. Ik zou dat dus nooit zo tegen de bouwsector durven zeggen! Ook niet willen zeggen, want ik streef immers naar meer marktwerking en minder regulering. Toch vind ik het een goed gebod.

Wijs bouwen begint volgens mij met het zoeken naar antwoorden op vragen als wát moet gebouwd worden en hoe moet gebouwd worden. Deze vragen raken de toekomst (waaraan is behoefte) en de techniek (wat is mogelijk).

Dit boek bevat veel gegevens die kunnen helpen bij het beantwoorden van die vragen.

Ik zie dit boek als een soort estafettestokje. Wie het gelezen heeft moet het snel aan een ander doorgeven, zodat die er óók weer z'n voordeel mee kan doen. Alleen lezen en doorgeven is natuurlijk niet voldoende. De kennis uit dit boek moet in de praktijk gebracht worden. Dat kan uw prestaties als ondernemer verbeteren.

Maar net als bij een estafetteploeg wordt het succes van de bouwsector niet alleen bepaald door de prestaties van de afzonderlijke deelnemers. Het resultaat wordt ook bepaald door de onderlinge samenwerking en wederzijdse ondersteuning.

Wie dit boek leest ontdekt een richting voor de estafetteploeg binnen de bouw en wordt uitgedaagd tot strategische samenwerking met de ploeggenoten.

De estafetteploeg, of liever de toekomst van de woningbouw en utiliteitsbouw wordt gekenmerkt door nieuwe en uitdagende ontwikkelingen.

Zo zal het gevecht om ruimte voor wonen, werken, vervoeren, recreatie en natuur nog heviger worden. De verdeling en benutting van de beperkt beschikbare ruimte vereisen nieuwe oplossingen. De compacte stad, ondergronds bouwen en telewerken vormen daarom de uitdagingen van de toekomst.

Daarnaast verlangen maatschappij en overheid steeds vaker bouwmethoden en producten die het milieu zo min mogelijk belasten en de levensduur van bouwwerken en bouwdelen verlengen. Bouwen moet duurzaam gebeuren.

Ook op het gebied van arbeidsomstandigheden en arbeidsproductiviteit zijn er nieuwe uitdagingen. Het bedrijfsleven krijgt steeds meer verantwoordelijkheden bij preventie en financiering van ziekteverzuim en arbeidsongeschiktheid. Hierdoor stijgt de belangstelling voor goede arbeidsomstandigheden in de bouw. Als de werkzaamheden verschuiven van de bouwplaats naar de fabriek, bijvoorbeeld door industrialisatie en prefabricage, kunnen arbeidsomstandigheden en arbeidsproductiviteit verbeteren.

De consument vraagt steeds meer woonkwaliteit en -comfort. Ook de kwaliteits-

eisen aan utiliteitsgebouwen worden steeds scherper. Met name door de nieuwe mogelijkheden die de installatiesector en de kantoorautomatisering bieden.

Tot slot vraagt de markt om een pluriform aanbod van bouwwerken. Gebruikers willen dat hun woning of bedrijfsgebouw aansluit op hun individuele wensen. Bovendien veranderen die wensen van de gebruikers gedurende de levensduur van het bouwwerk. Flexibel bouwen wordt dus steeds belangrijker.

Deze uitdagingen kunnen niet altijd afdoende beantwoord worden met de bekende, traditionele bouwmethoden en producten. Vernieuwing in de bouw is noodzakelijk. De techniek die daarvoor nodig is moet door de marktpartijen gezamenlijk worden ontwikkeld. Onder marktpartijen versta ik hier zowel het bedrijfsleven als de kennisinstellingen. De overheid ontwikkelt zelf geen concrete technologie.

Maar: de overheid wil wèl graag de ontwikkeling van technologie stimuleren. Om in de beeldspraak te blijven: de overheid wil de hindernissen op de estafettebaan wegnemen en de lopers ondersteunen en aanmoedigen. Niet voor niets wordt in de nota 'Kennis in beweging' bijzondere aandacht geschonken aan samenwerking bij technologische ontwikkelingen.

Die technologische ontwikkelingen zijn ook van het grootste belang voor wie verstandig wil bouwen.

Ik schreef aan het begin van dit voorwoord: wijs bouwen begint met nadenken over toekomst en techniek. Een Stichting die in haar naam de woorden Toekomst en Techniek heeft vermeld zal dat slechts kunnen beamen. Dat blijkt ook in de praktijk. Daarom heeft de STT een verkenning uitgevoerd naar de maatschappelijke en technische ontwikkelingen die van invloed zijn op de bouw.

De resultaten van die verkenning staan in dit boek. Ik beschouw het als een waardevolle bijdrage aan de gedachtewisseling over de toekomst en techniek voor de bouw. Ik geef het estafettestokje dan nu ook graag over aan de echte deskundigen. Ik hoop dat velen hun voordeel met dit boek zullen doen.

dr. G.J. Wijers
Minister van Economische Zaken



Samenvatting

*ir. M.J. Venemans**

In een poging de ontwikkeling van materialen beter af te stemmen op de (toekomstige) behoefte in de bouwsector op middellange termijn (2015) en om de toepassing van materiaaltechnologie te vergroten, hebben de besturen van STT en de Bond voor Materialenkennis in 1995 besloten tot het opzetten van het project Materialen in de bouw. Doel van dit project was om door het betrekken van alle partijen, met name ook gebruikers en producenten, een toekomstbeeld van de woning- en utiliteitsbouw te ontwikkelen en uit de functionele eisen aan materialen de behoefte aan nieuwe materialen en bouwwijzen (in de ruimste zin, dus ook componenten en bouwdelen) af te leiden.

Verschillende maatschappelijke ontwikkelingen zijn van invloed op de bouw. Ruimteschaarste, industrialisatie, mondiger consumenten, en een streven naar duurzaamheid zijn enkele van die ontwikkelingen. Deze ontwikkelingen zijn tot vier situaties geclusterd, die naar het inzicht van de stuurgroep haalbaar zijn en bijdragen aan een verstandige bouwwijze ('bouwwijs') rond 2015. De trends die naar die situaties leiden zijn achtereenvolgens Flexibiliteit in gebouwen, Montage op de bouwplaats, Hoog bouwen en Lichte en sterke constructies. Vier werkgroepen hebben zich vervolgens over die trends gebogen met als doel te beschrijven hoe de situaties met innovatieve materialen en methoden kunnen worden gerealiseerd. Aandachtspunten waren verder energie en milieu, arbeidsomstandigheden, economie en veiligheid.

FLEXIBILITEIT IN GEBOUWEN

'Flexibiliteit' is de laatste jaren een veel gebruikt begrip. Net als de term 'aanpasbaarheid' geeft het de mogelijkheid aan waarin een gebouw kan worden veranderd als de behoefte van een bewoner of gebruiker verandert. In dit project is flexibiliteit gedefinieerd als de mogelijkheid dat de systemen in een gebouw veranderen met betrekking tot de ruimtelijke indeling (plaats, afmetingen, oriëntatie, enz.); aanpasbaarheid geeft de veranderbaarheid weer in termen van prestaties van deelontwerpen van een gebouw (bijv. draagvermogen en isolatiewaarde). De twee begrippen zijn ieder een vorm van 'veranderbaarheid'. Aan de hand van een model voor 'design for changeability' van gebouwen wordt dit begrip uitgewerkt voor verschillende gebouwssystemen. Het voordeel van dit model is de introductie van 'systeemen denken'. Omdat woningen en kantoren in de huidige bouwpraktijk aan verschillende eisen moeten voldoen, zijn deze twee bouwtypen verder apart

* Annemieke Venemans is projectleider bij de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT).

behandeld. Achtereenvolgens worden installaties, inrichting, draagconstructie en beheersaspecten van een 'levenslang woongebouw' besproken. Van een 'veranderbaar kantoor' worden de inrichting van de werkplek, telewerken, klimaatinstallaties, schil en draagconstructie beschreven.

Overdimensionering blijkt bij verschillende gebouwssystemen een economisch haalbare manier om veranderbaarheid te realiseren. Modulariteit speelt ook een rol in dit opzicht; het is soms zelfs essentieel voor veranderbaarheid. In het kader van het project is een ontwerpprijsvraag georganiseerd. Onder de titel 'Changeable building for living and working in 2015' werden studenten uitgedaagd een nieuwe vorm te vinden voor gebouwen waarin zowel gewoond als gewerkt kan worden.

MONTAGE OP DE BOUWPLAATS

De economische levensduur van een bepaalde fase in het gebruik van een gebouw is (in het algemeen) korter dan de technische levensduur van de meeste componenten van dat gebouw. Door ervoor te zorgen dat (een deel van) het gebouw kan worden gedemonteerd tot de samenstellende onderdelen en deze in een andere compositie weer samen te voegen tot een ander gebouw, lijkt het mogelijk om te voldoen aan de algemene wens tot duurzaam bouwen. Componenten zouden dan niet alleen worden gedemonteerd maar ook 'gehermonteerd' – het ultieme hergebruik van gebouwdelen. De verbinding tussen de componenten speelt hierbij een grote rol: hoe ziet een de- en hermonteerbare aansluiting tussen de componenten van een gebouw voor verschillende bouwdelen eruit? In de ene visie wordt de gewenste veranderbaarheid gerealiseerd in de aansluitingen tussen componenten, zoals bij Lego. De andere visie gaat ervan uit dat de overgangen tussen verschillende materialen en richtingen in de component vallen; de aansluitingen die op de bouwplaats worden gemaakt zijn dan slechts tweedimensionaal. Voor de (meer ingewikkelde) aansluitingen tussen verschillende combinaties in de Legodoos worden eisen geformuleerd; deze worden steeds geïllustreerd met voorbeelden van prototypen of buitenlandse systemen.

Naar verwachting zullen de twee denkwijzen naast elkaar een plaats in de markt krijgen; voornamelijk naast de traditionele manier van bouwen op de bouwplaats.

HOOG BOUWEN

Bouwen met minder ruimtebeslag betekent de diepte of de hoogte in. Hoog bouwen werd gekozen door de reeds grote belangstelling voor ondergronds bouwen. De werkgroep heeft zelf een ontwerpdracht geformuleerd om deze keuze uit te werken.

Door analyse van een aantal analogieën met de dieren- en plantenwereld wordt de filosofie van de systemen in hoogbouw verduidelijkt. Vervolgens wordt een aanzet gegeven voor andersoortige benaderingen van constructie- en materiaaltoepassingen.

Bij het ontwerpen van een vergaderruimte op 300 m hoogte op een grondvlak van 15 x 15 m² komen de problemen sterk vergroot naar voren. De eigenlijke vergader-

ruimte en de constructie (hoe komt die ruimte op 300 m hoogte) zijn apart uitgewerkt.

Voor voldoende vergadercomfort is afstemming nodig tussen de gebouwschil en de techniek. Materialen en technieken zijn gekozen op basis van de nieuwste inzichten in milieubewust bouwen en een minimaal gebruik van fossiele energie. *No regret*-strategieën en minder milieubelastende materialen leiden tot een relatief duurzaam ontwerp.

In theorie zijn er vier principieel verschillende concepten denkbaar voor de benodigde constructie. Twee daarvan, de starre toren en de flexibele toren met hulpsysteem, worden verder uitgewerkt in verschillende materialen. Veel aandacht wordt besteed aan de demping van hinderlijke trillingen en het beperken van de verplaatsing met passieve of actieve systemen.

LICHTE EN STERKE CONSTRUCTIES

Ook de werkgroep Lichte en sterke constructies heeft via een concrete ontwerpdracht gezocht naar nieuwe materialen en methoden.

Om verschillende redenen wil men constructies toepassen die licht en sterk zijn en ogen. Materiaalbesparing, esthetiek en lagere transportkosten zijn de belangrijkste redenen. De toepassingsmogelijkheden van lichte constructies zullen ook in de toekomst beperkt blijven tot hoge of prestigieuze utiliteitsgebouwen en tot grote (al dan niet vrije) overspanningen.

Na signalering van verschillende zoekrichtingen en vergelijking van verschillende materiaaleigenschappen wordt een vrije overspanning van 200 m in verschillende constructies uitgewerkt. In het ontwerp van een kabelspant wordt een aantal nieuwe combinaties van bouwdeelen en materialen verwerkt. Tot slot worden enkele nieuwe materialen beschreven.

DUURZAAM BOUWEN

Onder 'duurzaam bouwen' wordt verstaan het streven naar een duurzame ontwikkeling in de bouwsector door een combinatie van milieubewust, functioneel, degelijk (technisch duurzaam) en economisch plannen, ontwerpen, bouwen en beheren. Duurzaam bouwen is belangrijk. Onder duurzame ontwikkeling verstaat men 'een ontwikkeling die voorziet in de behoefte van de huidige generatie zonder daarmee voor de toekomstige generaties de mogelijkheid in gevaar te brengen om ook in hun behoeften te voorzien'. Er zijn veel meningen over de beste manier om duurzaam bouwen te bereiken. Gebouwen die na een geplande korte levensduur worden afgebroken met weinig afval en energieverstopping kunnen ook duurzaam zijn. Verschil van mening is er ook over de juiste manier om duurzaamheid te meten. Het ontbreekt nog aan goede instrumenten en methoden en inzicht in alle lange-termijneffecten. Ook over de waardering van die effecten is geen overeenstemming. Het Nationaal pakket Duurzaam bouwen, in eerste instantie alleen nog voor de woningbouw, is echter een grote stap voorwaarts.

Veel milieuwinst kan worden bereikt door koeling in kantoren overbodig te maken (door het buitensluiten van de zon en het vergroten van het warmte-accumulerend

vermogen van het gebouw) en door nieuwe kantoorinrichtingsconcepten die geen hele werkplek per werknemer kennen. Ook terugwinning van de warmte uit geventileerde lucht bespaart kosten en energie. De eerste prioriteit bij duurzaam bouwen zou op dit moment dan ook niet de keuze van het toegepaste materiaal moeten zijn, maar minder energiegebruik, vooral in de gebruiksfase.

VERANDERBAARHEID TOEN EN NU

In het verleden zijn verschillende pogingen gedaan om te komen tot industriële bouwen, al dan niet met modulaire coördinatie. Een nieuwe studie die aandacht besteedt aan bouwen en materialen komt deze onderwerpen onherroepelijk tegen en kan niet voorbijgaan aan deze historische experimenten.

Via Le Corbusier en Bemis komt deze terugblik bij Habraken, die theorieën ontwikkelde over 'de open vorm' als manier om variatie te combineren met een betere kwaliteit van het gebouw. Geëigend middel daartoe was de splitsing van het gebouw in drager en inbouw. De energiecrisis rond 1973 en de daaruit volgende economische crisis heeft de aandacht voor flexibiliteit sterk getemperd. De huidige hernieuwde aandacht voor veranderbaarheid van gebouwen wordt onder andere ingegeven door de wens om de levensduur te verlengen en de hoeveelheid bouw- en sloopafval te verminderen.

ARBEIDSOMSTANDIGHEDEN

Door de aard van het werk in de bouwsector kampen relatief veel werknemers met gezondheidsklachten. Verbetering van arbeidsomstandigheden in de bouw is niet altijd even eenvoudig omdat iedere bouwplaats in omstandigheden en bouwwerk uniek is. Bovendien zijn bij de verschillende fasen van het bouwproces vaak andere bedrijven betrokken. Sinds de invoering van het Bouwprocesbesluit in 1994 is de opdrachtgever echter ook verantwoordelijk voor de arbeidsomstandigheden tijdens het hele bouwproces. Vooral de trends naar meer montage op de bouwplaats en naar het gebruik van lichtere materialen zullen gevolgen hebben voor de gezondheid en het welzijn van de werknemers in de bouw.

De fysieke arbeidsomstandigheden van grote groepen bouwvakkers zullen waarschijnlijk wel verbeteren als een groot deel van de werkzaamheden is verplaatst van een bouwplaats naar een comfortabele fabriekshal. De arbeidsinhoud van een groot aantal beroepen in de bouw zal echter sterk veranderen. Zelfsturende teams lijken hier een oplossing te bieden.

Omdat zware fysieke belasting een van de grootste risicofactoren is voor het ontstaan van klachten aan het bewegingsapparaat, lijkt het logisch dat gebruik van lichte bouwmaterialen een gunstig effect op de gezondheid heeft. Helaas nodigt het gebruik van tilbare bouwcomponenten onder grote tijdsdruk meestal uit tot het dragen van meer componenten tegelijk. Een principiële andere benadering is juist te streven naar bouwdelen die zo zwaar zijn dat ze alleen mechanisch verplaatst kunnen worden.

BOUWEN IN NEDERLAND EN IN BELGIË

In toenemende mate participeren Vlaamse deskundigen in de studies van STT. Juist in de organisatie van de bouwsector zijn er tussen Nederland en België belangrijke verschillen. Toch zijn elementen uit de studie over en weer te gebruiken. Daarnaast is het leerzaam om de aard en de oorzaak van de verschillen te evalueren.

De meest opvallende verschillen zijn de verhouding tussen eigen woningen en huurwoningen, het bijna ontbreken van een sociale huursector in België, het percentage 'eigen bouw', de fasering in het bouwen, de organisatie van de handel in bouwmaterialen, het verschil in positie tussen het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB) en TNO Bouw en de manier waarop de prijs van projecten tot stand komt.

CONCLUSIES

Op een termijn van 15 tot 20 jaar zal het accent op het optimaliseren en verder ontwikkelen van bestaande materialen liggen; spectaculair nieuwe materialen worden dan (nog) niet toegepast in de bouw vanwege het ontbreken van een duidelijke vraag en schaafeffecten. Aan de ene kant bepaalt het bouwproces de toegepaste materialen; bij montage op de bouwplaats echter speelt de gebruikte grondstof een ondergeschikte rol.

Installaties spelen een belangrijke rol in de gebouwen van de toekomst. Leidingenstelsels zijn in hoge mate bepalend voor de veranderbaarheid van het hele gebouw. Door flexibele en aanpasbare installaties toe te passen – die een iets grotere investering kunnen vergen – kunnen kosten worden bespaard in dezelfde orde van grootte als de energie- en onderhoudskosten samen. Deze veranderbaarheid wordt bereikt door overdimensionering, modulariteit, demonteerbaarheid, automatische inregeling of de juiste keuze van het distributiemedium.

Modulariteit is essentieel voor veranderbaarheid, voor fabrieksmatige productie van componenten en voor montage op de bouwplaats. Bij een goede interface tussen de componenten van een gebouw doet het materiaal van de componenten er niet toe, mits deze interface maar consequent is toegepast (vgl. lenzen en fotocamera's). Omdat de voordelen van lichte en sterke materialen en constructies niet opwegen tegen de nadelen, zullen deze niet op grote schaal in de woningbouw worden toegepast. De fundering heeft daarvoor een te klein aandeel in de stichtingskosten van een woning. Wel zullen lichte en sterke materialen en constructies worden toegepast in kantoren en andere utiliteitsgebouwen (bijv. fabriekshallen). Als een licht gebouw voldoet aan de eisen van geluid- en warmte-accumulatie, te demonteren is en de componenten zijn te hergebruiken, is lichter bouwen ook duurzaam. Vanaf het begin integraal ontwerpen leidt bij voldoende volume tot de laagste integrale kostprijs, omdat er in dat geval achteraf geen aanvullende eisen worden gesteld.



Summary

*M.J. Venemans, M.Sc.**

In order to synchronise materials development with the near future needs of the building industry as well as to improve the application of materials technology in general, the board of directors of both STT and the Netherlands Society for Materials Science decided in 1995 to initiate a study project dedicated to innovation of materials and methods. Goal of the project was to develop a future scenario of ways and means by a widely recognised multidisciplinary group of experts, consisting of builders, suppliers, architects, users and others and, subsequently, to define the demand for new materials and construction methods from the functional requirements. Such an approach is known as constructive technology assessment. A broad definition of materials was used, including components and assemblies. Several societal developments currently influence the building industry. Shortage of space, process industrialisation, consumer demand articulation and a general move towards 'sustainability' are just some of them. These and other developments were clustered into four 'situations' that, to the opinion of the steering committee of the project, seemed plausible, feasible and desirable in the year 2015. The trends leading to these situations were labelled as Flexibility, Assembly at the building site, Tall building and Light and strong constructions.

Four task groups then studied those trends in depth in order to determine in what way these trends could be realised with innovative methods and materials ('buildingwise'). Therefore the study was demand driven with an emphasis on technology development. During this study process crosscutting themes of general significance were energy and environment, occupational safety and health, and economy.

FLEXIBILITY IN BUILDINGS

The term flexibility is often used. Like adaptability it describes the possibility to change buildings according to the changing needs of users. Within the project, 'flexibility' has been defined as the changeability of buildings with respect to spatial design aspects, such as size and orientation. Adaptability is the term used for changeability of the performance of sections or functions of the building, for instance the load bearing capability of the support structure or the insulation value of the skin. In other words, changeability is the combined result of flexibility and adaptability. A theoretical model was designed that allows for systems approach in applying the concept of changeability to various buildings and substructures. The model was then applied while distinction was being made between homes and utility

* Annemieke Venemans is projectleader at the STT Netherlands Study Centre for Technology Trends.

buildings, since these have to adhere to different building codes. Installations, interior design, load bearing capabilities and facility management of a 'lifelong residential building' were analysed. Also, a 'changeable office' was run through a similar routine. One of the exiting results was that in both cases oversizing with respect to current standards turned out to be an economically feasible way of introducing changeability. Modularity was found to be another important general feature allowing for changeability, in some cases even an essential requirement. Based upon these findings, a student design competition was initiated. With the title 'changeable building for living and working in 2015' students were challenged to come up with creative ideas for the combination of both functions in one, changeable building.

ASSEMBLY AT THE BUILDING SITE

The economical duration of a certain phase in the use of a building is (generally) shorter than the technical lifespan of most of its components. Rather than destroying structures and systems while changing or demolishing the building to fit a new phase, it should be possible to disassemble sections back into components and to reassemble them in the new desired combination. This concept fits the general drive towards sustainability. Reassembly is the ultimate form of recycling. The interface between components plays a crucial role in this: what does a reusable interface between various building components look like? One vision incorporates the desired reassembly-variability into the interfaces themselves. This is called the Lego-approach. The other vision uses the KISS-principle: Keep the Interfaces Simple, Stupid. Consequently, in the latter case, the components will need to be more complex and may need to be exchanged with stock components in the reassembly procedure. Both visions are visualised with interface-design concepts. It is expected that both approaches can fill niche markets in addition to conventional ways of building at the building site.

TALL BUILDING

Less available building space calls for a more three-dimensional approach, either downward or upward. Since the general interest in underground structures is already very significant, the task force was asked to study the upward approach, i.e. a tall building. The group then put itself under a strenuous contract to design a very slim structure. The task force started by analysing similar biological structures in both the animal and plant realm. The system-analogies that were found provided input for shifts in the business-as-usual methods and materials. The task was to design a meeting room at an elevation of 300 meters above ground level, resting on a base of 15 x 15 square meters. This created a driving force for extreme materials functionality. The meeting unit and the supporting structure were designed separately. A no regret approach was chosen with respect to energy use, resulting in the lowest possible demand on fossil energy resources and environmental load, while still being able to conduct comfortable meetings in the unit.

Theoretically four different constructions are possible to serve as support. Two of

them, a rigid tower on one hand, and a flexible, reactive tower on the other hand, are both designed using various materials. Attenuation of oscillation and reduction of movement in the structures could be achieved both with passive and active systems.

LIGHT AND STRONG CONSTRUCTIONS

This task force, like the previous one, chose to challenge itself with a specific design task as a starting point for materials functionality. Some reasons why people want light and strong constructions and appearances are materials savings, aesthetics and reduction of transport cost. The task force however quickly came to the conclusion that the application of light constructions and light and strong materials will be limited to tall or prestigious utility buildings and wide free-hanging spans. For general housing, light and strong materials are yet too costly. Also they lack the thermal and sound barrier function that conventional building materials such as concrete offer.

Having concluded this, the task force then set out to design a free-hanging span of 200 meters wide, using new combinations of constructions and materials. At the end of this chapter some yet undeveloped materials and components are described.

SUSTAINABLE BUILDING

This crosscutting term needs to be specified, particularly because the Dutch language does not distinguish between 'durable' and 'sustainable'. The term is therefore defined as sustainable development in the building industry by a combination of environmentally friendly, functional, durable and economical planning, designing, building and maintaining. It is an important issue, with sustainable development meaning a development that fulfils the needs of the current generation while allowing for fulfilment of the needs of future generations. Opinions on the best way to implement sustainable building are abundant. 'Built like a rock' is one, but buildings that can be taken down after a short lifespan with minimal energy use and waste can be sustainable as well. Opinions also differ on how to measure sustainability properly. There is a lack of instruments, methods and insight in long term effects. The Dutch government has come up with the 'National Package for Sustainable Building' for homes, which may be regarded as a leap forward. Environmental benefit is gained by rendering air-conditioning in building obsolete. This is possible in the Netherlands' climate with simple techniques, such as shading from direct sunlight and increasing the heat accumulation capacity of the building, as well as innovative interior design in which workers share workplaces. Regeneration of heat from ventilated air can add considerably to the savings. Therefore, the first priority that determines the design and materials use in buildings clearly should be energy conservation, in particular nowadays during the use of the building.

CHANGEABILITY THEN AND NOW

In the past many attempts have been made at industrialisation of the building process, often on the basis of modular co-ordination. A new study on building methods and materials cannot circumnavigate this issue and the historical landmark experiments. In retrospect, via Le Corbusier and Bemis, one arrives at Habraken, who developed theories about the 'open form' as a way of combining variability with increased quality. A crucial approach in this was the functional separation of the building into the supporting structure and the interior elements. The energy-crisis of 1973 and the subsequent economical downturn has diminished the attention for flexibility. New interest in changeability is sparked by the desire to increase the lifespan of the economical use of buildings and to reduce the amount of waste, particularly from demolition.

WORKING CONDITIONS

As a result of the nature of the labour in the building industry many workers have health problems. However, it is not an easy task to generally improve the working conditions since every job is unique in its location and progress. Also a large number of companies is involved in building projects, creating shared and thus unfocussed responsibility. However, as of 1994 a new Dutch law dictates that overall working conditions are also the responsibility of the customer.

Particularly the trends leading to increased assembly at the building site and the use of light materials will have impact on the health and well-being of construction workers. The physical conditions will no doubt largely improve with industrialisation of the building process as it moves toward comfortable production halls. The labour content may be affected negatively. Self-guiding teams can counteract this effect.

Since physical stress is one of the most important factors leading to strain of the general motion apparatus, it seems only logical that light building materials will ameliorate the effects. Unfortunately, experience shows that the lighter the components, the more one carries, especially as long as time is an important factor. A principally different approach would be to increase the weight of components, so that they have to be mechanically moved.

BUILDING IN THE NETHERLANDS AND IN BELGIUM

Increasingly, professionals of the Flanders community participate in Dutch studies. The management aspects of the building industries of Belgium and The Netherlands differ widely however. Nevertheless, various elements of the project are suited for both. In addition, it turned out to be an educational experience to analyse the differences. Striking differences are the ratio between rental homes and private owners, the non-existence of the cheap 'social' rental homes in Belgium, the relatively high number of do-it-yourself projects in Belgium, the difference in serial phasing of the building process, the suppliers market, the fundamental difference

in the position of the R&D building institutes (WTCB and TNO Bouw) and the method that leads to the final cost of the project.

CONCLUSIONS

In 15 to 20 years from now, existing materials and methods will have been improved, but one will not see any materials that are spectacularly different from 1997. In order to speed up the development, further demand articulation is necessary, leading to an economy of scale effects. Materials and methods are decided upon as a result of the used construction procedure. Increased assembly determines the interfaces, not the components to be connected. Technical installations, such as cables and pipes largely determine the degree of changeability. Application of flexible and adaptable installations, which may need a bigger investment, may offer savings of the same magnitude as energy expenditure and maintenance. Changeability can be realised by oversizing, modularity, reassemblability, self-adjustment and the right choice for the distribution medium.

Modularity is essential for changeability, industrial production of components and assembling at the building site. With the proper interface between components, the material used for the components is not significant as long as this interface is used consequently throughout the building.

With the drawbacks not outweighing the advantages, light and strong materials and constructions will not be used in homes on a large scale. The foundation costs are not significant in the total budget and therefore no factor in favour of light materials. Light and strong materials and constructions will however be used in offices and other utilities (such as factory halls). If a light building measures up to the requirements of heat conservation, sound proofing, (dis)assemblability and recyclability of components, than a light building can be sustainable as well. To design concurrently from the outset, taking into account all factors that are of influence to the building throughout its lifespan, is to save money by preventing additional costs later on.



1. Materialen en methoden in de bouw

*ir. M.J. Venemans en drs. F.J.G. van de Linde**

1.1 INLEIDING

In 1986 publiceerde STT 'Nieuwe toepassingen van materialen' [Van Griethuysen, 1986]. Deze studie werd in november 1986 afgesloten met een symposium in samenwerking met de Bond voor Materialenkennis. Sindsdien is door de Ministers van Economische Zaken en van Onderwijs en Wetenschappen de Adviesgroep Materialen (AGM) ingesteld met de opdracht advies uit te brengen over het te voeren materialenbeleid. De AGM bracht in 1991 zijn eindadvies [AGM, 1991] uit. Dit bestrijkt een breed terrein; het gaat in op programmering, organisatie, kennisoverdracht en financiering en richt zich op industrie, onderzoek en onderwijs. De AGM heeft zich beperkt tot metalen, polymeren en technische keramiek. In een later stadium zijn ook functionele materialen onderzocht. De Nederlandse prioriteiten blijken te liggen bij materialen met specifieke elektrische, magnetische of optische eigenschappen en materialen voor dunne lagen en films. Belangrijke structurele materialen zoals hout, textiel, steen, beton, glas en aardewerk (typisch materialen voor de bouw) kregen weinig aandacht in dit eindadvies.

In november 1993 verscheen de Beleidsrapportage van de Staatssecretaris van Onderwijs en Wetenschappen naar aanleiding van het AGM-eindadvies [Tindemans, 1993]. Deze rapportage gaat niet alleen in op het AGM-advies, maar ook op de ontwikkelingen die sinds 1986 hebben plaatsgevonden. De ontwikkeling van materialen beslaat een breed en complex terrein; meer dan 50 instanties blijken een rol te spelen. Er blijkt een hoge mate van consensus te bestaan over het belang van hoogwaardig materiaalkundig onderzoek en onderwijs, dat vooral gericht is op belangrijke toepassingen voor de industrie. Consensus bestaat er ook over de prioriteiten, de organisatie en de kennisoverdracht. Er zijn substantiële middelen ter beschikking gesteld, onder andere via het Programma Bedrijfsgerichte Technologie Stimulering (PBTS-regeling) Materiaaltechnologie. Voor 1995 bedroeg het budget 21 miljoen gulden. Met ingang van 1997 is deze regeling opgeheven.

Dit zijn enkele van de vele aanleidingen om terug te blikken en samen met de Bond voor Materialenkennis bij de bereikte vooruitgang stil te staan.

* Annemieke Venemans is projectleider bij de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT). Erik van de Linde is sinds 1 oktober 1995 directeur van STT.

1.1.1 DE BOND VOOR MATERIALENKENNIS

De Bond voor Materialenkennis is een wijdvertakt netwerk, waarvan veel materiaalspecialisten lid zijn. De Bond zelf is weer aangesloten bij de FEMS (Federation of European Materials Societies) en in die hoedanigheid is zij organisator van Euromat'97, het (jaarlijks) materialencongres van de FEMS in april 1997.

De Bond heeft ook een Raad van Advies die tot taak heeft om periodiek een visie op materiaalgebied of een deel hiervan te geven, en om nationale en internationale ontwikkelingen in de industriële behoefte aan kennis over materiaaltechnologie te signaleren.

De Bond bundelt kennis en kunde, maar heeft geen faciliteiten om een studieproject op te zetten. Daarom heeft men contact gezocht met STT. Men was van mening dat een dergelijk initiatief van twee non-gouvernementele instellingen zoals STT en de Bond een waardevolle bijdrage aan het wetenschaps- en technologiebeleid en aan de technologieontwikkeling kan leveren. Mede met het oog op presentatie van de resultaten van deze gezamenlijke studie op Euromat'97 zijn STT en de Bond tijdig met deze studie begonnen. Het feit dat een decennium na de eerste samenwerking tussen beide instellingen wederom een onderzoeksresultaat wordt geboekt in de vorm van het onderhavige boek, bevestigt de behoefte aan herhaling van het eerdere succes.

1.1.2 EEN STUDIE MATERIALEN

In het najaar van 1994 zijn de eerste gesprekken gevoerd met de Bond voor Materialenkennis door de (toenmalige) directeur van STT, ir. H.G. de Cock, en de bestuursleden ir. W.A. Koumans en prof.ir. J. Witteveen. Van de zijde van de Bond waren ing. H. Bosselaar, ir. J. Delcour, ir. A.J. Eenennaam, prof.dr.ir. Ch.F. Hendriks en dr. A.P.M. van der Veeke bij deze gesprekken betrokken.

Uit deze gesprekken bleek dat ondanks alle eensgezindheid in de AGM de meeste inspanningen van de laatste jaren op de korte termijn zijn gericht en dat er onvoldoende vooruit wordt gekeken. Het leek nodig om de techniek- en materiaalontwikkeling beter af te stemmen op de toekomstige behoefte van producenten en gebruikers van materialen.

1.1.3 EEN STUDIE BOUWMATERIALEN

In de sectie Bouwmaterialen van de Bond voor Materialenkennis leefde tegelijkertijd het idee om na te gaan of materiaaltechnologie uit andere sectoren is toe te passen in de bouw. In deze beschouwing zouden aspecten zoals het milieu, arbeidsomstandigheden, kosteneffectieve productie en aanpasbaarheid aan de individuele eisen van de gebruiker moeten worden meegenomen.

1.1.4 MATERIALEN IN DE BOUW

Een bundeling van beide initiatieven leidde tot de volgende projectopzet:

- uit de ontwikkeling van het toekomstbeeld van de bouw en de functionele eisen aan materialen en bouwdelen de behoefte aan materialen en bouwwijzen (in de ruimste zin) afleiden;
- alle partijen daarbij betrekken, vooral de leveranciers en de gebruikers van de materialen met als doel:
 - een agenda voor technologie-ontwikkeling op het gebied van materialen en bouwwijzen;
 - de resultaten uitdragen en bruikbaar maken, indien mogelijk met behulp van een of meer demonstratieprojecten.

De besturen van Bond en STT hebben deze aanpak goedgekeurd en de heren Hendriks, Siemes en Van der Veek namen namens de Bond zitting in de stuurgroep van het project.

De studie beperkt zich tot de woning- en utiliteitsbouw, omdat deze sector veruit de grootste is (zoals uit tabel 1.1 blijkt) en hier de meeste ontwikkelingen worden verwacht. Bovendien passen de gekozen trends als totaal het beste in deze sector.

sector	aantal bedrijven		aantal werknemers [1000]		toegevoegde waarde [10 ³ gld]	
Woning- en utiliteitsbouw	10.515	35%	136,0	37%	11.077	38%
Grond-, weg- en waterbouwkunde	2.722	9%	59,0	16%	4.867	17%
Installatiebedrijven	7.219	24%	99,4	27%	7.047	24%
Afwerken van gebouwen	7.679	26%	51,7	14%	3.960	14%
Overige	1.869	6%	21,2	6%	1.943	7%
Totaal bouwnijverheid	30.004	100%	367,3	100%	28.894	100%

Tabel 1.1 Productie en verbruik van de bouwnijverheid in 1995

Bron: CBS

1.1.5 DOEL EN RICHTING VAN DE STUDIE

Doel van het project was het schetsen van een toekomstbeeld van de woning- en utiliteitsbouw met het oog op de toe te passen materialen, die op hun beurt weer gekoppeld zijn aan methoden, het bevorderen van product- en procesinnovaties, en het opstellen van een technologie-agenda. De vraagstelling luidde:

- is meer interdisciplinaire samenwerking in de materiaaltechnologie mogelijk;
- kan dit leiden tot een stimulans om op economische wijze te komen tot 'innovatief' bouwen;
- wordt dit bevorderd door implementatie van nieuwe materialen en technologie uit andere sectoren?

Door alle partijen bij het project te betrekken is het mogelijk – zo was de veronderstelling – een aantal ontwikkelingen op het gebied van de toekomst van de bouw te

schetsen, de functionele eisen aan materialen en bouwdelen te analyseren en aanzetten te doen voor nieuwe materialen of nieuwe toepassingen.

Materialen worden in dit kader gezien als grondstoffen (zand, grind, hout), componenten (producten, bijv. bevestigingsmaterialen, buizen, profielen) en bouwdelen (samengestelde constructies, bijv. kozijnen, installaties).

Nieuwe materialen kunnen ook verbeteringen, combinaties of andere verschijningsvormen van reeds toegepaste materialen zijn.

Onder methode wordt de bouwwijze verstaan, variërend van ambachtelijk via modulair naar industrieel.

De studie wil kijken naar materialen en methoden op een termijn van 15 tot 20 jaar. Op een dergelijke termijn kunnen de geschetste ontwikkelingen zo realistisch zijn dat de studie eventueel kan uitmonden in een demonstratieproject.

De aandachtspunten die als een rode draad door het studieproject lopen zijn economie (rentabiliteit van oplossingen, onderzoeksinfrastructuur), energie (energiehuishouding van gebouwen, energiegebruik bij transport), logistiek, milieu (beperking van afval, beschikbaarheid van grondstoffen, binnenklimaat, hergebruik/recycling van elementen en materialen), de rol van de overheid, en veiligheid en arbeidsomstandigheden. Omdat STT ernaar streeft deskundigen uit Vlaanderen bij alle projecten te betrekken, vormden de regionale overeenkomsten en verschillen tussen de sectoren een extra stimulans om de gevolgde bouwmethoden en de structuur van de sector als sturende factor in het uiteindelijke materiaalgebruik te analyseren.

1.2 HET BOUWPROCES

1.2.1 CONSERVATIEF OF INNOVATIEF?

Het bouwproces kent een aantal karakteristieke eigenschappen. Afgezien van sommige delen van de woningbouw vervaardigt de bouw eigenlijk alleen prototypen. Elk project (in zijn totaliteit) is een nieuwe ontwikkeling, hoewel de onderdelen (bijv. het metselen of het asfalteren) op zich wel degelijk een repeterend karakter kennen.

In de bouw komt een gescheiden verantwoordelijkheid voor ontwerp en uitvoering vaak voor. Een aannemer moet een werk uitvoeren, maar hij kan nauwelijks zelf bepalen hoe hij dat doet. Bij conflicten (over tijd, geld, kwaliteit) is het vaak onduidelijk wie daarvoor aansprakelijk kan worden gesteld. Men gaat dus bij voorkeur uit van bekende en bewezen constructies en materialen, ook al omdat de aansprakelijkheidstermijn erg lang kan zijn.

Constructies kenmerken zich door een zeer lange levensduur (soms 100 jaar of meer). Woningen worden tegenwoordig gebouwd met de bedoeling om 80 jaar mee te gaan. Opdrachtgevers voelen zich dan ook niet vaak geroepen om met nieuwe materialen te experimenteren: zij moeten immers nog jaren met het product doen. De levensduur van nieuwe materialen of toepassingen moet zich eerst in de praktijk bewijzen.

Mede omdat voornamelijk op prijs wordt geconcurrerd, hebben bouwbedrijven tamelijk magere bedrijfsrendementen. Er is dus weinig ruimte om risico's te nemen.

De aan de bouw toeleverende sectoren brengen in economisch opzicht de offers voor het ontwikkelen en produceren van technische vernieuwingen. Architecten, opdrachtgevers en bouwbedrijven spelen een grote rol bij het accepteren van vernieuwingen in de bouwtechniek. Dit alles leidt tot een zekere mate van conservatisme.

Een veelgebruikte indicator voor de innovatieve kracht van een sector is R&D als percentage van de omzet. De bouw (met 0,3 tot 0,5% van de omzet) scoort dan laag vergeleken met het nationale gemiddelde (circa 2,5%). In sommige bedrijfstakken wordt 10% of meer aan R&D uitgegeven. Op het eerste gezicht geven de cijfers dus aan dat de bouw niet erg innovatief is. Echter, in de algemeen geaccepteerde definitie van R&D (OESO) worden alleen de veel beter te meten grootschalige inspanningen meegerekend. Kleinschalige innovatie wordt niet meegeteld, terwijl deze vernieuwing alles bij elkaar opgeteld juist de meest belangrijke vorm van vooruitgang is. Omdat de bouw vooral kan worden getypeerd door die kleinschalige innovatie, ontstaat een vertekend beeld. Ook projectgebonden activiteiten worden nauwelijks meegeteld in de formele definitie. Argument daarbij is dat kennis in projecten eenmalig is en daarna verloren gaat. In de eerste plaats is dit niet de praktijk (er wordt wel degelijk geleerd van projecten, hoewel dat altijd beter kan), ten tweede zijn ook de leereffecten van fundamenteel onderzoek vaak mager. Een bedrijfstak die bijna alleen prototypen bouwt komt er dan wel erg bekaaid af. Ontwerp en voorbereiding van de productie worden in de automobielenindustrie wel meegerekend, maar in de offshore en in de bouw (beide typische projecten-bedrijfstakken) niet. Telt men dat allemaal wel mee, dan geeft de bouw zo'n 5% van de omzet uit aan vernieuwing en verbetering. (Alle bovenstaande gegevens zijn afkomstig uit [Pries, 1995].)

1.2.2 INNOVATIEF, MAAR ANDERS

De bouw is dus weliswaar conservatief, maar tevens innovatief. Dit uit zich echter op een andere manier dan gebruikelijk is in de meeste sectoren.

- Het grootste deel van de vernieuwingen bestaat uit kleinschalige procesinnovaties.
- De toeleverende industrie is een belangrijke leverancier van innovaties (zo'n 70% komt uit de toelevering of wordt samen met hen ontwikkeld).
- Innovaties komen in golven voor en worden vaak geïnitieerd door catastrofes (oorlog, aardbeving, energiecrisis, regelgeving).
- Samenwerking bij innovaties wordt steeds belangrijker (in bijna 60% van alle innovaties).
- Motieven om te innoveren zijn voornamelijk te vinden in de technische mogelijkheden (75%). Slechts een kwart van alle innovaties komt voort uit een marktmotief.

De bouwmarkt is echter onderhevig aan structurele veranderingen. Er zal steeds vaker en sneller moeten worden ingespeeld op sociale, economische en technische veranderingen. Dat vraagt een gezamenlijke inspanning van alle belanghebbenden in de bedrijfstak. Een van de instrumenten daarbij is een gezamenlijk techno-

logiebeleid. Hiertoe is in Nederland in 1990 de Adviesraad Technologiebeleid Bouwnijverheid (ARTB) opgericht.

1.2.3 DE ADVIESRAAD TECHNOLOGIEBELEID BOUWNIJVERHEID (ARTB)

De ARTB is in 1990 geïnstalleerd door Coördinerend Bouwminister Alders van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Deze raad bestaat uit:

- vertegenwoordigers van de Ministeries van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Verkeer en Waterstaat en Economische Zaken, mede namens de Ministeries van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en Defensie;
- de branche-organisaties in de bouw en de installatietechniek: AVBB, BNA, NVTB, ONRI, UNETO en VNI;
- de Bouw- en Houtbond FNV en de Hout- en Bouwbond CNV.

De ARTB stelt zich tot doel om in samenwerking met alle organisaties in de bouw- en installatiebranche in brede zin en de relevante overheid een visie te bepalen op de ontwikkelingen in de bouwmarkt op de middellange en lange termijn. Deze visie moet als basis dienen voor een gezamenlijk technologiebeleid voor de bouw. Doel hiervan is:

- het scheppen van randvoorwaarden voor ondernemingen om technische vernieuwingen door te voeren;
- het verbeteren van de positie van ondernemingen en werknemers;
- het verbeteren van de positie van de bedrijfstak als geheel.

De ARTB heeft in 1993 zijn *Bouwvisie 2010* [ARTB, 1993] gepubliceerd. De belangrijkste trends hierin zijn industrialisatie, ondergronds bouwen en duurzaamheid. Aan materialen wordt niet expliciet aandacht besteed. Naar verwachting zal de ARTB de *Bouwvisie 2015* eind 1997 publiceren.

Behalve de ARTB zelf – die op dit moment functioneert onder toezicht van Staatssecretaris Tommel van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer als coördinerend bewindspersoon voor de bouw – is er een 'denktank' die het werk van de Adviesraad inhoudelijk voorbereidt. De denktank bestaat uit een onafhankelijk voorzitter, prof.ir. J.H. van Loenen, een secretaris (tot 26 november 1996 ir. D. Spekkink; sinds die datum ir.drs. J.B.M. Louwe), en een 'pool' van deskundigen, die afhankelijk van het onderwerp en ad hoc kunnen worden geraadpleegd. Namens de ARTB was de heer Spekkink als stuurgroep lid betrokken bij dit project.

1.3 ONTWIKKELINGEN EN TRENDS

Op verschillende plaatsen [ARTB, 1993; Pries, 1995] zijn uitspraken gedaan over de toekomst van de bouw. Een kleine bloemlezing van de belangrijkste uitspraken:

- In het stedelijk gebied zal de concurrentie tussen grond voor wonen, bedrijven, winkels, verkeer en recreatie toenemen. De urbanisatie van landelijke gebieden

zal doorgaan, mede omdat lokale overheden meer autonomie krijgen. Industrieën verhuizen naar de rand van stedelijke gebieden. Sommige oude industriegebieden veranderen in woongebieden, anderen blijven braak liggen.

- Rond de knooppunten van openbaar vervoer zullen *city's* ontstaan, waar steeds hoger en steeds dieper wordt gebouwd. De grond wordt multifunctioneel gebruikt. De meer gegoede burgers trekken naar luxe hoogbouwappartementen in of dichtbij de *city's* of gaan buiten de stad wonen. Middenklassers gaan naar de nieuwe stedelijke woongebieden (o.a. Vinex-locaties). Veel allochtonen en ouderen blijven in de 19e en 20ste eeuwse wijken wonen.
- Door de ontwikkeling van telecommunicatie worden mensen steeds flexibeler in hun werkplek. In kantoren zijn er weinig individuele werkplekken en is er veel ruimte voor vergaderen, overleg, ontvangsten en sociale ontmoetingen.
- Informatietechnologie zal op grotere schaal worden ingevoerd in de bouw.
- Steden en dorpen groeien niet meer langzaam ('organisch'), maar wijken worden in een keer gepland en in grote delen tegelijk gebouwd.
- Het aantal huishoudens neemt toe van 6 miljoen in 1990 tot 7,2 miljoen in 2010. De nadruk van bouwactiviteiten zal na 2010 liggen op renovatie. Woonconsumenten worden mondiger en eisen een individueel toegesneden woning voor een betaalbare prijs. Woningbouwverenigingen concentreren zich op het aanpassen, onderhouden en beheren van casco's, waarin bewoners hun eigen inbouwcomponenten 'inpluggen'.
- De energieprestatienorm (EPN) zal leiden tot een minimaal energiegebruik van nieuwbouwwoningen.
- Duurzaam bouwen wordt gemeengoed door stimulansen van de overheid, maar ook door vraag uit de markt.
- Een dreigend tekort aan geschoolde arbeidskrachten leidt tot automatisering, industrialisatie en meer aandacht voor arbeidsomstandigheden.

De stuurgroep van het project – met daarin dus onder andere vertegenwoordigers van de Bond voor Materialenkennis en de ARTB – heeft deze ontwikkelingen samengevat tot de volgende trends:

1. Montage en assemblage op de bouwplaats: een grotere rol voor de toeleverancier, minder afval, een beheerst want industrieel proces.
2. Duurzaam bouwen: 'groene' materialen en constructies, hergebruik van materialen en bouwdelen, beperking van bouw- en sloopafval.
3. Aanpasbaar bouwen: gebouwen die tegen lage kosten en met weinig moeite zijn aan te passen aan veranderd gebruik.
4. Lichte en sterke constructies: minder materiaal, lagere transportkosten, arbeidstechnisch gunstig.
5. Bouwen met minder ruimte: de hoogte of de diepte in, de oppervlakte meerdere malen gebruiken.

Het begrip trend verdient hier een toelichting. In dit geval gaat het niet om het extrapoleren van de huidige ontwikkelingen in de markt naar een moment dat 15 jaar later ligt. Veel meer dan dat vormen de hiervoor opgesomde ontwikkelingen de gewenste toekomst in de optiek van de deskundigen; niet alleen van de stuurgroep van het onderhavige project, maar bovendien ook van instanties zoals de ARTB, de Stichting Bouwresearch (SBR) en vele anderen. De verleiding bestaat

om in het kader van de methodologie van toekomstonderzoek het begrip scenario's te gebruiken als aanduiding van deze trends. Dat zou echter verwarring wekken, omdat scenario's veelal worden beschreven als diverse mogelijke ontwikkelingen, waartussen afhankelijk van de maakbaarheid van de toekomst een keuze gemaakt kan worden. In die zin zijn de trends geen scenario's, want in deelgebieden van de bouwsector zijn ze al realiteit. Daarom is destijds (in de definitiefase van het project) ook wel het begrip 'situatie' gebruikt. In 2015 zal naar het inzicht van de deskundigen in dit project de situatie in grote delen van de bouwsector als volgt zijn. Op basis van de industrialisatie van het bouwproces op de bouwplaats zelf kan men volstaan met 'droge' montage van bouwdelen. Gebouwen zullen een belangrijke mate van 'veranderbaarheid' in zich dragen, en er zullen lichte en sterke materialen en constructies worden toegepast.

Deze 'situaties' vormden de basis voor vier werkgroepen:

- Flexibiliteit in gebouwen
- Hoog bouwen
- Lichte en sterke constructies
- Montage en assemblage op de bouwplaats

De rapportage van deze werkgroepen vormt de hoofdmoot van dit boek. Daarnaast zijn vier essays opgenomen over achtereenvolgens 'Veranderbaarheid toen en nu', 'Duurzaam bouwen', 'Bouwen in Nederland en in België' en 'Arbeidsomstandigheden'. Deze onderwerpen hebben niet slechts met een werkgroep te maken, maar houden verband met alle aspecten van materialen en methoden voor toekomstige gebouwen.

De grote kennis en praktijkervaring van de deelnemers aan de studie had tot gevolg dat behalve de materialen ook de gevolgde bouwwijzen onder de loep zijn genomen. Beide aspecten zijn nu eenmaal niet los van elkaar te beschouwen. Daarom zijn de uiteindelijke inhoud en de titel van het boek aan die realiteit aangepast. Bouwwijs betekent in die zin: verstandig bouwen door met zorg gekozen materialen systematisch te koppelen aan de te volgen bouwmethode. Zo ontstaat een integrale innovatieve bouwwijze die weinig beslag legt op het milieu door minder energie- en materiaalgebruik (*input*), minder intensief onderhoud en beheer, en minder sloopafval (*output*). Dat kan afhankelijk van het gebruiksdoel een kartonnen fabriekspand opleveren dat slechts enkele jaren gebruikt hoeft te worden, of een museum dat voor de eeuwigheid gebouwd is.

TUCHT VAN DE MARKT OF VAN DE REGELS

In een ideale situatie krijgt de opdrachtgever precies het gebouw dat hij hebben wil. Tussen wat men wil en wat men krijgt, zit echter een groot verschil. Wat de woonconsument wil is volstrekt duidelijk. De woonconsument wil vooral een betaalbaar, ruim en liefst vrijstaand huis met een garage. Driekwart van de mensen wil 'in de natuur' wonen. Men is bereid om allerlei verfraaiingen achterwege te laten als dat de betaalbaarheid, de ruimte en de locatie ten goede komt. Bouwers, architecten, toeleveranciers en projectontwikkelaars zouden niets liever willen dan op die vraag inspelen. Maar de markt wordt niet door de consument en die

marktpartijen bepaald. In een land waar meer dan de helft van de huizen is gehuurd is dat in beginsel onmogelijk. De belangrijkste factor die de bouwmarkt bepaalt zijn de regels zoals het Bouwbesluit [1991], maar vooral ook lokale verordeningen. Op de bouwbeurs in Houston in 1995 was een huis te bezichtigen van polystyreen blokken. De blokken zijn met elkaar verbonden door beton erin te storten. Aan de buitenzijde was het geheel met dunne kunststofplaat afgewerkt. Veel huis voor weinig geld. Maar het Bouwbesluit maakt de introductie – er zijn pogingen geweest – van dergelijke woningen in Nederland onmogelijk. De kwaliteit van een woning wordt door die regels vrijwel aan de kilo's afgemeten. Zelfs met hout lukt het niet, men komt als vanzelf op stenen en cement. In de VS bestond ooit een firma die huizen produceerde als auto's, integraal ontworpen en industrieel vervaardigd. De woningen wogen tien ton, terwijl een gemiddelde Nederlandse woning meer dan 100 ton weegt, omdat het Bouwbesluit dat impliciet voorschrijft. De tien-ton-woningen konden via een postorderbedrijf zoals Sears & Robuck besteld worden en werden met de vrachtwagen op locatie neergezet. Deze praktijk is grotendeels voorbij, omdat de snelheid van het industriële bouwproces niet rijmde met de traagheid van andere processen, zoals het verkrijgen van grond en vergunningen, aansluiting op water, riool en elektra, en de financiële aspecten.

Gelukkig is er een trend naar het normeren van prestaties, zoals bij het Nationaal pakket Duurzaam bouwen [Jansen, 1996] en bij de energieprestatienorm. Een dergelijke open benadering – mits niet ingekapseld door lokale regels – kan de innovatieve kracht van de bouwsector in gunstige zin beïnvloeden, terwijl toch de nationale doelen gehaald worden.

DAKPANNEN OF DAKLEER

Op dit moment leggen regels in belangrijke mate de basisstructuur van woningen vast. Ruimte voor innovatie zit daardoor vooral in incrementele veranderingen. Op dat gebied zijn indrukwekkende resultaten geboekt, bijvoorbeeld in kunststofraamen deurprofielen met dubbel glas, fabrieksmatig gemonteerd met rubberprofielen zoals in de autoindustrie. Maar het blijven ramen en deuren. Een goed aanknopingspunt om incrementele veranderingen te verduidelijken is het dak. Er zijn slechts twee soorten daken: platte daken en schuine daken. Platte daken worden afgedekt met dakleer, schuine daken met pannen. In dakleer is er niet veel keus. Er wordt wel gewerkt met folie in plaats van bitumen, maar het blijft een vlakke afdekking met slechts één functie: waterdichtheid. Er zijn verschillende soorten pannen, zelfs van kunststof, maar het blijven pannen. De functie is waterdichtheid. Van een integraal nieuw dakontwerp is geen sprake. Andere functies, zoals winddichtheid, isolatie, fotovoltaïsche opwekking van energie worden toegevoegd als de ontwikkeling er rijp voor is: stapsgewijs. Integraal ontworpen kunststofdaken of kapellen bestaan wel, maar dan komt het spook van de schaalgrootte en de prijswerking om de hoek en grijpt men terug naar een conventionele techniek. Dat komt ook omdat de bouw verbrokkeld is. Een vergelijking met de autoindustrie spreekt boekdelen. Wereldwijd maken enkele tientallen fabrikanten miljoenen auto's per jaar. Regionaal maken enkele duizenden aannemers tienduizenden woningen per jaar. Professionele toetreding tot de bouw is gemakkelijk. Een troffel en een schep en je kunt

een bouwbedrijf beginnen, met alle gevolgen voor de innovatieve kracht van dat bedrijf.

1.3.1 TOT SLOT

Het boek dat voor u ligt is de weerslag van creatief groepsdenken in het beklemmende kader van de hiervoor beschreven realiteit. Eigenlijk zou een studieproject over techniek en toekomst de ketenen van markt en regels tijdelijk moeten kunnen losgooien. Sommige onderwerpen waarop STT zich richt laten dat inderdaad toe, zoals de digitalisering van het kantoor of de vervaardiging van microsystemen. Zo'n vrije aanpak zou in de bouw onmiddellijk worden afgestraft. Met de hete adem van de gehele sector in de nek hebben enkele tientallen stuur- en werkgroepleden het aangedurfd om te balanceren op de rand van het gewenste en het haalbare in de woning- en utiliteitsbouw. Deze studie heeft een enorme rijkdom aan ideeën en inzichten opgeleverd en dat is slechts te danken aan de daadkracht van de studiemedewerkers. Het is deze daadkracht die men in de hele bouwsector kan terugvinden: bouwers willen bouwen. U als lezer mag het uiteindelijke oordeel vellen over de bruikbaarheid van de gegenereerde visies. Uw oordeel zal vooral worden bepaald door de mate waarin u zich laat binden door de sector, de markt en de regels. Dat staat zo vast als een huis.

Referenties

- (AGM), DE ADVIESGROEP MATERIALEN, *Materiaal om mee te werken*, Eindrapport, Zoetermeer, 1991
- ARTB *Bouwvisie 2010*, Adviesraad Technologiebeleid Bouwnijverheid, Den Haag, 1993
- *Bouwbesluit*, Staatsblad 1991-680, zoals gewijzigd bij Staatsblad 1994-829, Staatsblad 1996-444 en Staatsblad 1997-34
- GRIETHUYSEN, A.J. VAN (red.), *Nieuwe toepassingen van materialen*, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, publicatie 43, Alphen aan den Rijn, 1986
- JANSEN, P.F.C., *Duurzaam bouwen: Nationaal pakket Woningbouw*, Stichting Bouwresearch, publicatie 359, Rotterdam, 1996
- PRIES, F., *Innovatie in de bouwnijverheid*, Rotterdam, 1995
- TINDEMANS, P.A.J., *Beleidsrapport materiaaltechnologie*, Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen, Zoetermeer, 1993



2. Essay 1

Veranderbaarheid toen en nu

*prof.dr.ir. J. Delrue en ir. M.J. Venemans**

Veranderbaarheid hangt sterk samen met een industriële fabricagemethode en maatafstemming (hoofdstuk 3). In het verleden zijn verschillende pogingen gedaan om te komen tot industrieel bouwen, al dan niet met maatafspraken. Een nieuwe studie die aandacht besteedt aan materialen en methoden voor de woning- en utiliteitsbouw, komt deze onderwerpen onherroepelijk tegen en kan niet voorbijgaan aan deze historische experimenten. Ook worden enkele meer recente initiatieven aangestipt.

2.1 CHRONOLOGISCHE ONTWIKKELING

Veranderbaarheid van gebouwen in het algemeen, en van woningen in het bijzonder is als apart onderscheiden aspect een tamelijk recent begrip in de architectuurgeschiedenis. Vroeger was in het grootste deel van de woningen de woonkamer ook slaapkamer, eetkamer, badkamer en zelfs toilet – multifunctioneel dus en zeer flexibel.

In de vakliteratuur vinden we de eerste expliciete verwijzingen naar veranderbaarheid in het eerste kwart van deze eeuw (Le Corbusier: *Maison Domino* in 1914, *Maison Citrohan* in 1922) waarin vooral de maatschappelijke behoefte aan meer aanpasbare woningen wordt geponereerd, maar waarin ook overduidelijk het gebrek aan een afdoend technisch antwoord te zien is (fig. 2.1). Het is zonder meer duidelijk dat Le Corbusier en zijn tijdgenoten geen idee hadden van een aanpasbaar leidingspakket. Fig. 2.1 doet een bijzonder droge woning vermoeden, omdat er geen enkele verwijzing naar de vele installaties van het moderne huis wordt gegeven. Het eerste voorbeeld in Nederland van een woning met een flexibele woningplategrond is het Rietveld/Schröderhuis in Utrecht (1924). De woonverdieping is door middel van schuifwanden geheel indeelbaar, waardoor aparte ruimten ontstaan om te wonen, slapen of studeren. De schuifwanden hebben verschillende tussenstanden, zodat vele variaties mogelijk zijn.

Het werk van Bemis [1936] handelt over de noodzaak van maatdiscipline voor verdere industrialisatie van de woningbouw en legt daarmee reeds duidelijk de

* Jan Delrue is directeur van Bureau Archiduk en hoogleraar Architectuur aan de Faculteit der Toegepaste Wetenschappen van de Katholieke Universiteit Leuven. Annemieke Venemans is projectleider bij de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT).

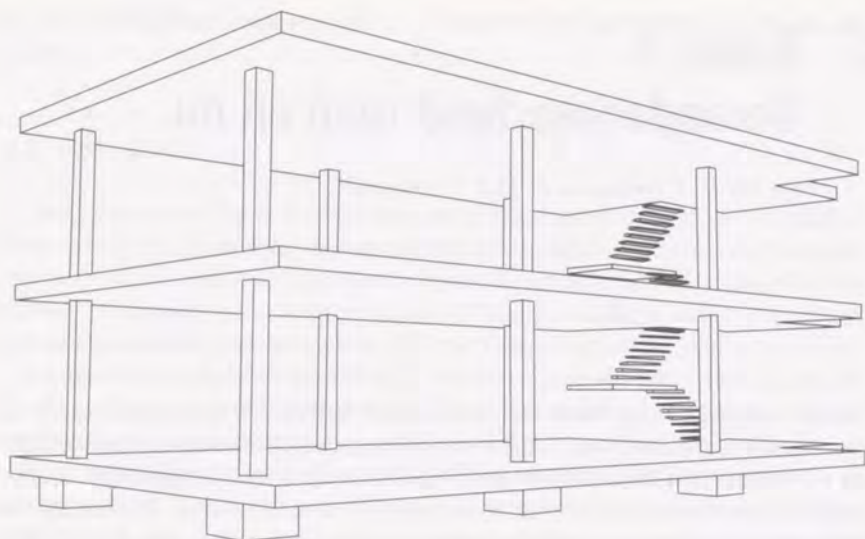


Fig. 2.1 Le Corbusier: *Maison Domino*
Bron: [Sutterland en Pontier, 1977]

relatie tussen flexibiliteit van het huis en modulaire maatordening. Ook Le Corbusier heeft in de jaren 1945-1946 een maatsysteem ontwikkeld: de Modulor, gebaseerd op de 'gouden snede' en de proporties van het menselijk lichaam (fig. 2.2).

Na de Tweede Wereldoorlog vroeg de woningnood in de meeste West-Europese landen om grote hoeveelheden niet te dure woningen die snel gebouwd konden worden. Veranderbaarheid als kwalitatieve norm werd niet nagestreefd. De traditionele bouw leek niet in staat de behoefte in een voldoende hoog tempo te vervullen. Daarmee ontstond een uitstekende maatschappelijke voedingsbodem voor nieuwe woonconcepten en bouwmethoden. Deze methoden werden gekenmerkt door een andere organisatie van het bouwproces, veel prefabricage en daarmee een grotere rol voor de toeleverende industrie en een minder ambachtelijke werkwijze (zie hoofdstuk 5). Desondanks waren deze 'nieuwe bouwtechnieken' van toen (elementenbouw) zeer uitgesproken niet veranderbaar.

Een belangrijke bijdrage in het ontwerptechnisch denken over veranderbaarheid (alhoewel hij dat zelf nooit zo heeft genoemd) komt van de Nederlander Habraken [1961] en later van de door hem geïnspireerde Stichting Architecten Research (SAR). Tegelijkertijd vindt men in andere domeinen van de architectuur (Duitse universiteiten, Amerikaanse ziekenhuizen) gelijklopende publicaties. De specifieke verdienste van Habraken en SAR is dat hij theorieën ontwikkelde over 'de open vorm' als manier om variatie te combineren met een betere kwaliteit van het gebouw. Een geëigend middel daartoe was de splitsing van het woongebouw in twee verzelfstandigde, maar wel complementaire sferen: de *structuur* (het collectieve) enerzijds, de *inbouw* (het individuele) anderzijds. De structuur – ook *drager* genoemd – staat voor het permanente deel, de inbouw vertegenwoordigt het veranderbare deel. Alle hiervoor gebruikte componenten, onderdelen en materialen vormen het *inbouwpakket*. Habraken heeft deze twee sferen ook maatschappelijk geduid: over de structuur wordt gemeenschappelijk besloten (of door professione-

len die namens de gemeenschap beslissen); beslissingen over de inbouw komen het individu en het gezin toe. Het ging Habraken vooral om de huisvesting en hoe die zo gerealiseerd kon worden dat de bewoners inspraak hadden in het collectieve bouwproces met het oog op een eigen specifieke (individuele) woonwijze, inclusief de aanpasbaarheid van de woning aan de evoluties van het gezin (zowel in de fase van uitbreiding door huwelijk en kinderen als bij de geleidelijke afbouw door het vertrek van de kinderen en het ouder worden).

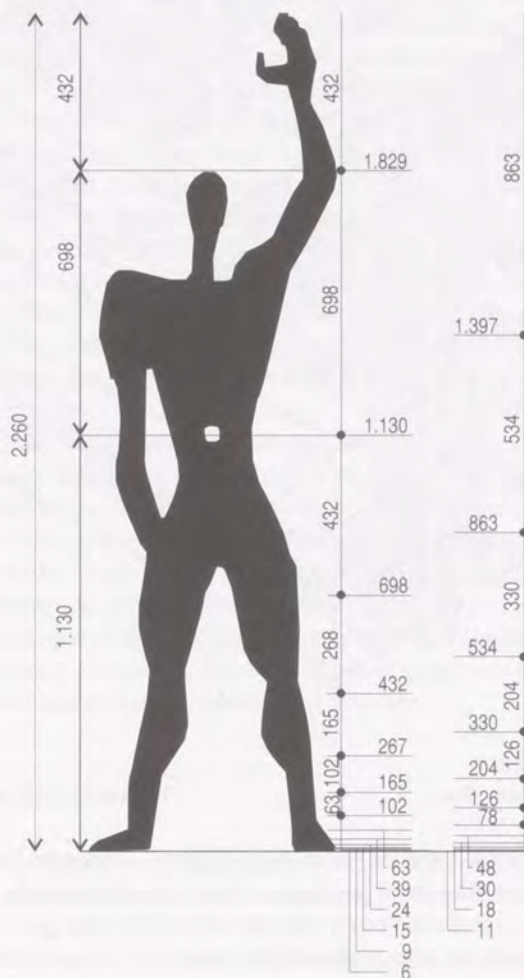


Fig. 2.2 Modulor, maatsysteem van Le Corbusier
Bron: [Sutterland en Pontier, 1977]

De veranderbaarheid van de woning bestond enerzijds in het betrekken van meer of minder sectoren (structurele kavels) in het bouwwerk, anderzijds in een aangepaste technologie van het inbouwpakket. Een typisch onderzoek naar ontwerpregels voor een grotere flexibiliteit van een woningstructuur vinden we in het experiment van de SAR met de Tweelingstructuur (fig. 2.3). De hierbij gehanteerde scenario's gingen in eerste instantie uit van gezinsuitbreiding en gezinsafbouw. De traditionele

massawoningbouw was daarbij volgens Habraken geen goed antwoord op de vraag uit de markt.

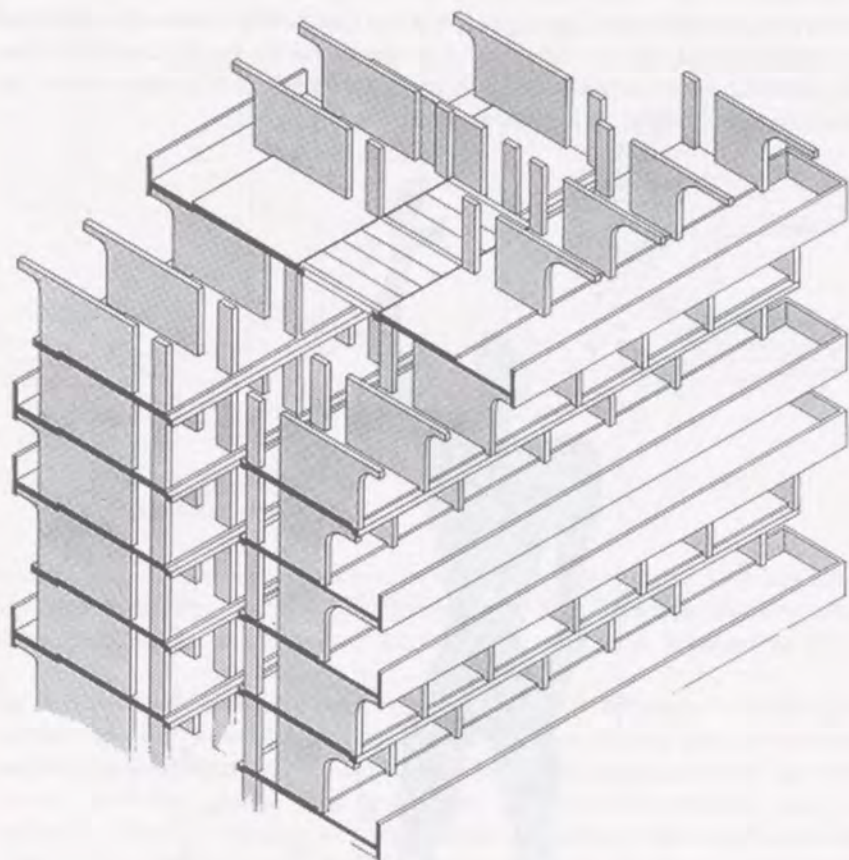


Fig. 2.3 Tweelingstructuur
Bron: [Boekholt, 1974]

De energiecrisis rond 1973 en de daaropvolgende economische crisis heeft de aandacht voor flexibiliteit sterk getemperd. Door deze crisis lag de nadruk sterk op het beperken van de bouwkosten en had men (letterlijk) geen geld over voor de iets hogere investeringen die veranderbaarheid vraagt.

De huidige hernieuwde aandacht voor veranderbaarheid van gebouwen wordt ingegeven door de wens om de levensduur van het gebouw te verlengen en de hoeveelheid bouw- en sloopafval te verminderen. In paragraaf 3.3 worden enkele 'autonome' ontwikkelingen genoemd die deze ontwikkeling stimuleren.

Een andere prikkel om industriële bouwsystemen te ontwikkelen is het streven naar goedkoper bouwen. De bezuinigingsmogelijkheden via de traditionele aanpak zijn bijna uitgeput. En dan blijkt dat het denken in termen van draagstructuren en inbouwsystemen – hoewel onder andere noemers dan de beladen termen 'drager' en 'inbouw' – structureel is verankerd in de bouwwereld.

Op verschillende plekken worden nieuwe systemen ontwikkeld. Om er twee te noemen:

- Box-woning, Jan Westra, Sjef van Hoof en Architectenbureau De Loods. De woning wordt gesplitst in een projectgebonden en een projectongebonden deel. Het projectgebonden deel, de *hard box*, is vervaardigd van industriële betonnen bouwcomponenten uit de huidige bouwpraktijk en bevat niet-specifieke ruimten, die naar believen door de bewoners kunnen worden ingedeeld. Aan de *hard box* wordt de *smart box* bevestigd. Dit projectongebonden deel wordt in zijn geheel of in delen geprefabriceerd en bevat de keuken, de natte ruimten, de entree en de trap. De *smart box* kan voldoen aan de randvoorwaarden voor een werkelijk industrieel proces. Bij de verdere ontwikkeling hiervan is een andere organisatie van het bouwproces onvermijdelijk [Bouwjaar, 1997].
- Star-frame, Koninklijke Hoogovens. Aanpassing van een in Amerika ontwikkelde techniek aan de Nederlandse omstandigheden leverde een bouwmethode met koudgeformde verzinkt stalen profielen op. In de fabriek worden complete vloer-, wand- en dakcomponenten gemaakt, die op de bouwplaats snel zijn samen te voegen tot een woningcasco met binnenwanden. Voor de buitenkant kan door architect of opdrachtgever gekozen worden uit alle gebruikelijke materialen. Alhoewel de detaillering is gestandaardiseerd, zijn de componenten ook aan te passen aan een specifiek ontwerp [Van Deelen, 1997].

Deze en en nog vele andere methoden kunnen technisch realiseerbare alternatieven zijn voor de huidige manier waarop woningen worden gebouwd.

Een merkwaardig voorbeeld van een doordachte opstelling van het leidingenpakket in een collectief woongebouw is het project NEXT21 in Osaka in Japan. Een stelsel van kokers en brede, diepe vloerkanalen laat een grondige aanpassing van elke woning toe. Tussen de permanente draagconstructie en soepele, veranderbare inbouw- en inrichtingssysteem bieden veranderbare installaties een afdoend antwoord op de nieuwe woonwensen. Dit experimentele gebouw is wel duur, maar het is ongetwijfeld het begin van een nieuwe ontwikkeling.

2.2 MAATAFSTEMMING

Bij een industriële manier van bouwen hoort een afsprakenstelsel met betrekking tot afmetingen van bouwdelen. In deze publicatie worden er verschillende uitgewerkt.

Bijlage D bevat een voorstel voor een exponentieel maatsysteem, dat is gebaseerd op een relatieve moduulmaat. Als de component groter wordt, worden ook de stapjes tussen de voorkeursmaten groter.

In bijlage F is een voorstel voor maatafstemming geformuleerd van de internationale normcommissie TC59 SC1 *Dimensional co-ordination in building construction*. Dit voorstel gaat uit van de principes dat het karakter van horizontale maten verschilt van dat van verticale maten, en dat er slechts vier categorieën maten in de bouw zijn. Ook is de maatvoering voor woningbouw anders dan die voor utiliteitsbouw.

Een andere maatreeks die wel is toegepast in systeemwoningen [Van Vugt, 1996] is de zogenaamde Getallenreeks van Fibonacci. Deze reeks is in 1877 geformuleerd

door Lucas en gebaseerd op een formule die ook in de natuur vaak voorkomt, namelijk:

$$n_i = n_{i-2} + n_{i-1}, n_1 = n_2 = 1$$

Dit levert de reeks 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, enzovoorts. Hiermee zijn alle gewenste afmetingen samen te stellen.

Ook de Modulor van Le Corbusier (fig. 2.2) is in het verleden wel toegepast.

Een goed afsprakenstelsel laat ontwerpers en producenten alle vrijheid. Het geeft de industrie de zekerheid dat haar product altijd inpasbaar is, waardoor investeringen verantwoord zijn. Architecten hebben keuzevrijheid, mits ze het assortiment kennen. De praktijk zal moeten uitwijzen welk systeem door de markt zal worden geaccepteerd. Ook is het denkbaar dat verschillende maatsystemen naast elkaar een plekje krijgen: als de aansluiting tussen de verschillende componenten toleranties kan opvangen, zou het mogelijk kunnen zijn om een Lundia-kast uit te breiden met Legosteentjes.

Referenties

- BEMIS, A.F., *The evolving house*, Cambridge, Massachusetts, 1936
- BOEKHOLT, J.T., e.a., *Denken in varianten; het methodisch ontwerpen van dragers*, Alphen aan den Rijn, 1974
- BOUWJAAR, 'Marktconformiteit' leidt niet tot goedkope woningen, *De Boxwoning als commentaar op een opgave*, Bouwjaar, Technische Universiteit Eindhoven, pp. 24-25, 1997
- DEELEN, P.F. VAN, *Prefab casco nu als compleet product te koop*, Bouwen met staal 134, pp. 28-31, januari/februari 1997
- HABRAKEN, N.J., *De dragers en de mensen, het einde van de massawoningbouw*, Amsterdam, 1961
- SUTTERLAND, H., J.H. PONTIER, *Geschiedenis der bouwkunst 2*, Delft, 1977
- VUGT, E. VAN (red.), *Pioneers of the past, professionals of the present; syllabus bij het symposium over het prototype als prelude tot een nieuwe bouwwijze*, Technische Universiteit Eindhoven, Stichting Boosting, Eindhoven, 1996

Literatuur

- FASSBINDER, H., J.P.M. VAN ELDONK, D. BOASSON, *Flexibilisering in de woningbouw in historisch perspectief*, Eindhoven, 1989
- GROENENDIJK, P., P. VOLLAARD, *Boosting in bedrijf, 35 profielen van ontwerpers, ontwikkelaars en ondernemers in de bouw*, Rotterdam, 1992
- KOOREN, J.A. (red.), *Techniek in bouw en industrie*, Stichting Bouwresearch, publicatie 102, Rotterdam, 1984
- WESTRA, J. (red.), *Tussen traditie en experiment, over ontwerpers, ontwikkelaars en ondernemers in de bouw*, Rotterdam, 1990



3. Flexibiliteit in gebouwen

'Flexibiliteit' is de laatste jaren een veel gebruikt begrip. Net als de term 'aanpasbaarheid' geeft het de mate aan waarin iets – in dit geval een gebouw – kan worden veranderd als de behoefte van een bewoner of gebruiker verandert. In dit project is flexibiliteit gedefinieerd als de mogelijkheid dat de ruimtelijke indeling (bijv. plaats, afmetingen, oriëntatie) van gebouwssystemen kan veranderen. Aanpasbaarheid geeft de mogelijkheid tot veranderen (de veranderbaarheid) weer in termen van functionele prestaties van deelontwerpen van een gebouw (bijv. draagvermogen van de constructie, en lokale koeling of verse luchttoevoer voor de installatie). De twee begrippen zijn een vorm van veranderbaarheid. De vraag naar meer veranderbare gebouwen is recent sterk toegenomen, en zal in de nabije toekomst met nog meer nadruk worden gesteld. Aan de hand van een beschreven model voor het ontwerpen van gebouwen in paragraaf 3.2 wordt deze veranderbaarheid verder uitgewerkt voor verschillende niveaus van een gebouw. Het voordeel van dit model is de introductie van 'systeemdenken'. Omdat woningen en kantoren in de huidige bouwpraktijk aan verschillende eisen moeten voldoen, zijn deze twee gebouwtypen verder apart behandeld. De werkgroep heeft twee deelgebieden in het brede domein van het bouwen als studie-object genomen:

- het wonen – dat door de langere levensverwachting aan een grondige verandering toe is – vraagt om een 'levenslang woongebouw' (par. 3.3);
- het kantoorgebouw – dat ten gevolge van de informatietechnologie grondige mutaties meemaakt – krijgt de vorm van een 'veranderbaar kantoor' (par. 3.4).

De werkgroep vertrouwt erop dat verkenningen en oplossingen in deze twee domeinen ook relevante toepassingen in andere bouwtypologieën zullen genereren. Daarnaast ligt er een uitdaging in het ontwikkelen van een nieuwe bouwtypologie, die wonen en (kantoor)werken combineert. De ontwerpprijsvraag 'Changeable building for living and working in 2015' die STT heeft uitgeschreven voor studenten architectuur, civiele techniek en materiaalkunde gaat hier verder op in.*

3.1 FLEXIBILITEIT EN AANPASBAARHEID

*ir.drs. F.K. Hutters en H.R.J. van der Kluit***

Men kan een aantal soorten veranderbaarheid onderscheiden, zoals:

* De genomineerde inzendingen zijn gebundeld; deze bundel is zolang de voorraad strekt bij STT tegen kostprijs verkrijgbaar.

** Frits Hutters was tot 1 januari 1997 adviseur bij het Innovatiecentrum Midden-Nederland en secretaris van het Platform Bouw. Hij is nu manager van het KennisPlatform Bouwen & Installeren. Hidde van der Kluit is hoofd Algemene Zaken van AEGON Nederland.

- ruimtelijke flexibiliteit: een passende huisvesting bij een verandering van de functie van het gebouw;
- aanbouwflexibiliteit: mogelijkheid om ruimten aan te bouwen of te verwijderen;
- indelingsflexibiliteit: mogelijkheid om de ruimtelijke indeling in een gebouw te wijzigen;
- flexibel gebruik: mogelijkheid om (deel)ruimten voor andere functies te bestemmen;
- technische flexibiliteit: mogelijkheid om bouwdelen of installatiesystemen aan te brengen, te vervangen, te verplaatsen, aan te passen, uit te breiden, in te stellen, te verwijderen.

Elke verandering van de bestemming van de ruimte, de omvang van het huishouden of het bedrijf, de stijl van leven en werken, het gevraagde comfortniveau, of de technologie heeft consequenties voor de bouwtechnische en installatietechnische systemen van een gebouw. Deze consequenties kunnen groot of klein zijn. De mate van veranderbaarheid duidt het gemak in tijd en in geld aan waarmee de mogelijke prestaties van een gebouw of een gedeelte daarvan kunnen worden afgestemd op een veranderende vraag.

FLEXIBEL BOUWEN

De afgelopen decennia zijn onder de noemer 'flexibel bouwen' diverse voorbeeldprojecten uitgevoerd die een antwoord trachtten te geven op de gewijzigde woonwensen in onze maatschappij.

Bekend zijn de initiatieven van Habraken, de Innovatie Groep Open Bouwen, de Stichting Architecten Research, het Productontwikkeling Consumentgerichte Inbouw-project, het Open Bouwen Ontwikkelings Model. Meer recent zijn het Interlevel-systeem, het Matura-systeem, de Unit-woning en de Esprit-woningen in Zoetermeer.

De grote variëteit aan wensen en de steeds veranderende samenstelling van een gezin konden niet worden opgevangen met standaardwoningen. Omdat dergelijke veranderbare woningen gemakkelijk met de wensen van de bewoners kunnen meeveranderen, zouden bewoners minder snel geneigd zijn om te verhuizen.

Ook in de kantorenmarkt krijgt flexibiliteit meer aandacht. Het blijkt dat 'oude' gebouwen die als monument waarde hebben eerder worden aangepast voor ander gebruik dan 'nieuwe' kantoren. Het grootste deel van deze kantoren hoort tot de betonnen gebouwen uit de jaren zestig en zeventig; de esthetische waarde ervan is in het algemeen minder groot waardoor de neiging bestaat ze te slopen in plaats van ze aan te passen. Een (positieve) uitzondering hierop is het voormalige Transitorium in Den Haag dat als voorbeeldproject van de Rijksgebouwendienst is gestript tot op het betonnen skelet en opnieuw wordt 'aangekleed' om als 'Castalia' het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport te huisvesten.

DE DISCREPANTIE

Het is jammer dat de bouwwereld een lange ontwikkeltijd kent en dat gebouwen vaak tientallen jaren blijven staan. Woningen bijvoorbeeld worden gemiddeld 80 jaar gebruikt. Het tempo van verandering van huishoudens en organisaties wordt

echter steeds hoger. Helaas zijn de gebouwen nog niet toegesneden op deze flexibele organisaties.

Bewoners en gebruikers van veranderbare gebouwen zouden ook zelf wijzigingen moeten kunnen aanbrengen. Dat zou hun woonplezier en hun betrokkenheid bij het gebouw vergroten. En daarmee kan elke categorie bewoner of gebruiker in principe het veranderbare gebouw gebruiken.

3.2 *EEN MODEL VOOR HET ONTWERPEN OP VERANDERBAARHEID*

*prof.ir. P.G.S. Rutten**

De vraag naar de prestaties van een gebouw kan veranderen tijdens het gebruik of zelfs al in de ontwerpfase. De mate waarin de mogelijke prestaties van een gebouw aansluiten op de vraag bepaalt mede de waarde van een gebouw. Omdat de interacties van een gebouw met haar omgeving complex en divers van aard zijn, is het aan te bevelen de waarde van een gebouw per specifieke relatie die een gebouw onderhoudt met de gebruiker en de omgeving, vast te stellen.

Deze waarden worden dan bepaald door het vermogen van een gebouw om aan de prestatie-eisen zoals die op dat moment in een bepaalde relatie worden gesteld, te voldoen. Zo kunnen de volgende waarden worden gedefinieerd:

1. De *basale waarde* in de relatie gebouw – mens.
2. De *gebruikswaarde* in de relatie gebouw – gehuisveste organisatie.
3. De *esthetische* of *culturele waarde* in de relatie gebouw – gemeenschap.
4. De *ecologische waarde* in de relatie gebouw – milieu.

Prestatie-eisen veranderen in de tijd. Het vermogen om door veranderingen aan een gebouw op een economische wijze deze waarden te handhaven bij een veranderende prestatie-eis, bepaalt:

5. De *strategische waarde* van een gebouw in haar relatie tot de tijd.

Voor de volledigheid wordt nog toegevoegd:

6. De *economische waarde* van een gebouw in relatie tot de eigenaar; enerzijds afhankelijk van alle eerdergenoemde waarden, anderzijds van vraag en aanbod in het economische verkeer.

Aan ieder van deze waarden liggen prestatie-eisen ten grondslag. Aan de prestatie-eisen kan worden voldaan als met bepaalde ontwerpaspecten rekening wordt gehouden. Tabel 3.1 toont een overzicht van deze prestatie-eisen en enkele ontwerpaspecten per specifieke waarde van een gebouw. De gegeven voorbeelden komen uit het vakgebied installaties.

Veranderbaarheid kan betrekking hebben op alle specifieke waarden van een gebouw. Enkele voorbeelden:

* Paul Rutten is hoogleraar Bouwfysica/Binnenmilieu aan de Faculteit der Bouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven en adviseur van TNO Bouw.

- De basale prestaties moeten omhoog, omdat in de huidige maatschappij hogere eisen worden gesteld aan het binnenmilieu dan toen het gebouw werd gebouwd.
- De functionele indeling en mix veranderen waardoor nog steeds bepaalde basale prestaties moeten worden gehaald, terwijl er meer vergaderruimten zijn in het gebouw of meer ruimten met een hoge warmtebelasting door computers, of beide.

<i>Specifieke waarde</i>	<i>Prestatie-eis</i>	<i>Ontwerpaspect</i>
Basale waarde	Bescherming	-
	Veiligheid	-
	Gezondheid	Individuele regeling
	Behaaglijkheid	Thermisch comfort Visueel comfort Luchtkwaliteit Geluidskwaliteit Ergonomie
Gebruikswaarde	Productie-ondersteuning	Functionele indeling en mix (m ² , personen, belasting en specifieke basale prestatie-eisen)
	Beheerbaarheid	Ander onderhoud Eenvoudige man-machine interface
Esthetische waarde	Beleving	Andere architectuur
Ecologische waarde ('duurzaamheid')	Integraal ketenbeheer van materialen	Materiaalintensivering Reductie van emissies Minder bouw- en sloopafval
	Energiebesparing	Energie-inhoud terugbrengen Gebruiksenergie verminderen
	Kwaliteitsverhoging	Levensduur verlengen Repareerbaarheid verbeteren Hergebruik van bouwdelen bevorderen Hinder verminderen
Strategische waarde	Veranderbaarheid	Flexibiliteit Aanpasbaarheid
Economische waarde	Marktconforme bruikbaarheid	Hergebruik van componenten

Tabel 3.1 Prestatie-eisen en ontwerpaspecten

- De productie-ondersteuning wordt verbeterd met nieuwe informatie- en communicatietechnologie.
- De wens van duurzaamheid stelt hogere eisen aan veelomvattende aspecten zoals materiaal- en energiegebruik.

De mate van veranderbaarheid van een gebouw wordt bepaald door het volgen van een aantal ontwerpbeginnselen voor ieder van de relevante disciplines of deelontwerpen afzonderlijk, en ook in relatie tot elkaar. Deze deelontwerpen zijn communicatie, inrichting, klimaat- en facilitaire installaties, schil (gevel en dak) en draagconstructie. Afhankelijk van de aard en de omvang van de veranderingen

zullen een of meer van deze deelontwerpen hierbij betrokken zijn. Bovendien is het van belang onderscheid te maken tussen ontwerpbeginselen voor veranderbaarheid op verschillende niveaus van het gebouw, dat wil zeggen van detail-, werkplek-, vertrek- en verdieping- tot gebouwniveau. In sommige gevallen is het nodig om een extra niveau, de woning, tussen gebouw en verdieping te onderscheiden. Deze ontwerpbeginselen zullen per niveau verschillen, maar ook een onderlinge invloed op elkaar uitoefenen.

Om systematisch te kunnen antwoorden op de vraag welke ontwerpbeginselen de veranderbaarheid van een gebouw beïnvloeden, is een driedimensionaal model ontwikkeld waarin op de eerste as de aard van de verandering staat aangeduid, terwijl de relevante ontwerpbeginselen worden beschreven als functies van de tweede as (niveau) en de derde as (deelontwerp), waarbij dan tevens de interrelaties met andere niveaus of deelontwerpen worden aangegeven. Een en ander wordt weergegeven in fig. 3.1.

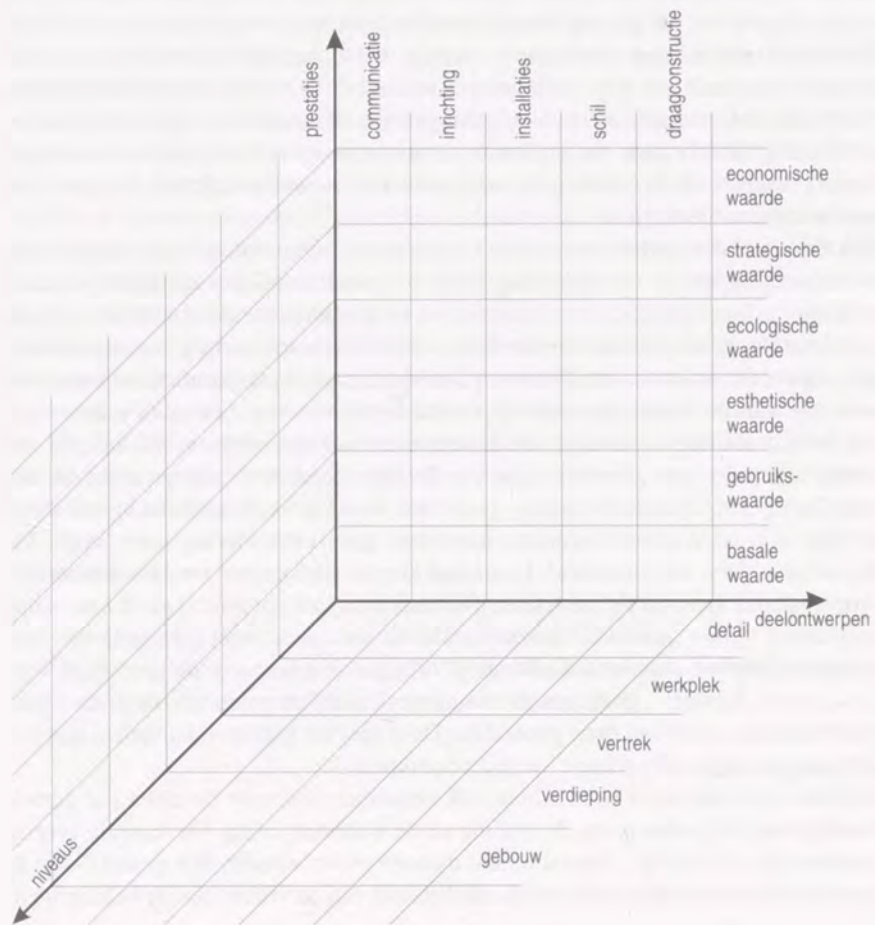


Fig. 3.1 Een model voor het ontwerpen op veranderbaarheid

Het mag duidelijk zijn, dat een verandering in een deelontwerp of op een niveau dichtbij het nulpunt van de assen consequenties heeft voor alle bovenliggende niveaus. De meest systematische aanpak is om het model van 'binnen' naar 'buiten' te hanteren; dit is bovendien het meest gebruikersvriendelijk.

Om het model te beproeven, zijn twee situaties uitgewerkt: het levenslange woongebouw (par. 3.3) en het veranderbare kantoor (par. 3.4). Deze twee gebouwtypen lijken representatief voor andere veranderbare gebouwen; als het met deze lukt, lukt het met andere vermoedelijk ook wel.

3.3 HET LEVENSLANGE WOONGEBOUW

*prof.dr.ir. J. Delrue**

Woningen zijn lange tijd ontworpen voor het standaardgezin: man, vrouw en kinderen. De laatste jaren is er echter sprake van de ontwikkeling van een pluriforme maatschappij met als gevolg een variëteit aan gedrags- en relatievormen, waarbij het standaardgezin een van de vele vormen is. De gemiddelde bezetting van een woning is gedaald van 3,51 personen per woning in 1970 tot 2,49 in 1995 [VROM, 1995]. Er ontstaan nieuwe samenwerkingsverbanden in en om de woning tussen zelfstandige individuen. Verschillende inkomensposities en -perspectieven, dagritmes, gebruik van de woning en oriëntatie op de woonomgeving zorgen voor gedifferentieerde leefstijlen.

Enkele trends die medebepalend zijn voor de vorm en inrichting van woningen zijn de beheersing van de voortplanting die zich vertaalt in minder kinderen per gezin en de intrede op grote schaal van vrouwen in arbeidsprocessen buitenshuis en de groeiende opleidingsgraad van meisjes, waardoor vrouwen meer autonomie krijgen, zowel financieel als intellectueel. Deze processen lopen parallel met een sterke toename van de levensverwachting, vooral voor vrouwen. Een gevolg hiervan is dat in tegenstelling tot vroeger het samenwonen van vier in plaats van hooguit drie (maar meestal twee) generaties van een familie steeds meer zal voorkomen. Het standaardgezin is minder bestendig geworden. In een levensbestek van bijvoorbeeld 80 jaar zijn twee opeenvolgende huwelijken geen uitzondering meer, zelfs drie huwelijken geen zeldzaamheid. Daarnaast komen alternatieve vormen van samenwonen steeds meer uit de taboesfeer. Dit maatschappelijke proces geeft aanleiding tot nieuwe typen gezinnen, samengesteld uit delen van vroegere gezinnen met eventueel nieuwe personen. Collange [1992] bedacht hiervoor de sprekende term 'patchwork-families', gezinnen met vaak sterk vertakte relatiepatronen met vaak meer leden en meer dan twee generaties. Deze nieuwe gezinnen kunnen al dan niet met aanpassingen tot op hoge leeftijd voortduren.

Al deze veranderingen hebben dan ook consequenties voor de eisen die gesteld worden aan de kwaliteit van de woning en de woonomgeving. De massale vergrijzing van de bevolking – vooral omdat mensen ouder worden dan vroeger – en de economische en intellectuele onafhankelijkheid van de vrouw zijn de belangrijkste

* Jan Delrue is directeur van Bureau Archiduk en hoogleraar Architectuur aan de Faculteit der Toegepaste Wetenschappen van de Katholieke Universiteit Leuven.

factoren die een andere bouwtypologie dan de gebruikelijke eengezinswoning zullen afdwingen.

Door de technische vooruitgang worden we tegenwoordig steeds meer in staat gesteld om gebruik te maken van allerlei comfortverhogende faciliteiten. Hoewel de gemiddelde woning nog steeds eenvoudige water-, elektra-, gas-, verwarmings- en rioleringsystemen heeft, signaleren we toch ook al systemen voor huishoudwater, bewaking, intercom, monitor, video, telefoon, ventilatie, luchtbehandeling, besturing van elektrische apparaten, brand- en inbraakalarm, centrale antenne-inrichting, zonwering, toegangscontrole, gebouwbeheer en zelfs gasstopcontacten.

Voornoemde ontwikkelingen laten zich vertalen in de wens naar meer diversiteit en veranderbaarheid, dus meer flexibiliteit in het wonen. Dit betekent dat de bewoner meer invloed zal gaan uitoefenen op het ontwerpproces in het algemeen, maar vooral nadat de woonruimte is toegewezen. De woning kan dan ingericht worden conform de leefstijl, vorm en omvang van het huishouden, het comfortniveau, de woon-werkrelatie, de gewenste kostprijs, en dergelijke.

De conclusie dat de bestaande woningvoorraad niet meer aansluit bij wijzigende omstandigheden van welke aard dan ook, ligt voor de hand. De beste oplossing is een woning die gemakkelijk kan worden aangepast aan veranderende wensen om daarmee het woongenot te verruimen en de noodzaak tot verhuizen te verkleinen. Men zou zijn hele leven in een 'levenslang woongebouw' kunnen blijven wonen. Het hier geschetste concept is daarbij een ideaalbeeld. Het gaat ervan uit dat een verdieping van een meerlagig woongebouw in elke levensfase geschikt is voor één huishouden van een of meer bewoners, inclusief een fase waarbij verminderde mobiliteit optreedt. Dat wil niet zeggen dat dezelfde bewoner gedurende zijn gehele leven noodzakelijkerwijs eenzelfde, zich steeds aanpassende woning zal bewonen. Het gebouw moet echter in staat zijn bewoners in elke fase van hun leven goed te huisvesten. Maar woongenot betekent ook: in veilige en gezonde omstandigheden van een bruikbare en betaalbare woning kunnen genieten. Gezond houdt in een kwalitatief acceptabel binnenklimaat dat kan worden bereikt met een voor dat doel geschikte installatie.

Referenties

- COLLANGE, C., *Dessine-moi une famille*, Paris, 1992
- VROM, *Volkshuisvesting in cijfers 1995*, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 1995

3.3.1 INSTALLATIES

*ir.dr.s. F.K. Hutters**

Elke verandering in de vraag naar gebouwen heeft consequenties voor de technische installaties in zulke gebouwen. Deze paragraaf scheidt een kader voor het veranderbaar ontwerpen van de technische installaties in een woonruimte als onderdeel van een woongebouw. Dit kader bestaat uit randvoorwaarden en mogelijke oplossingsrichtingen. De bedoeling hiervan is om ontwikkelaars van technische installaties en bouwproducten, maar ook architecten voldoende uitgangspunten te bieden om verder te gaan met het ontwikkelen van concrete producten.

Aan de hand van het model uit paragraaf 3.2 zullen de coördinaten installaties, respectievelijk strategische waarde en vertrek worden behandeld (fig. 3.2).

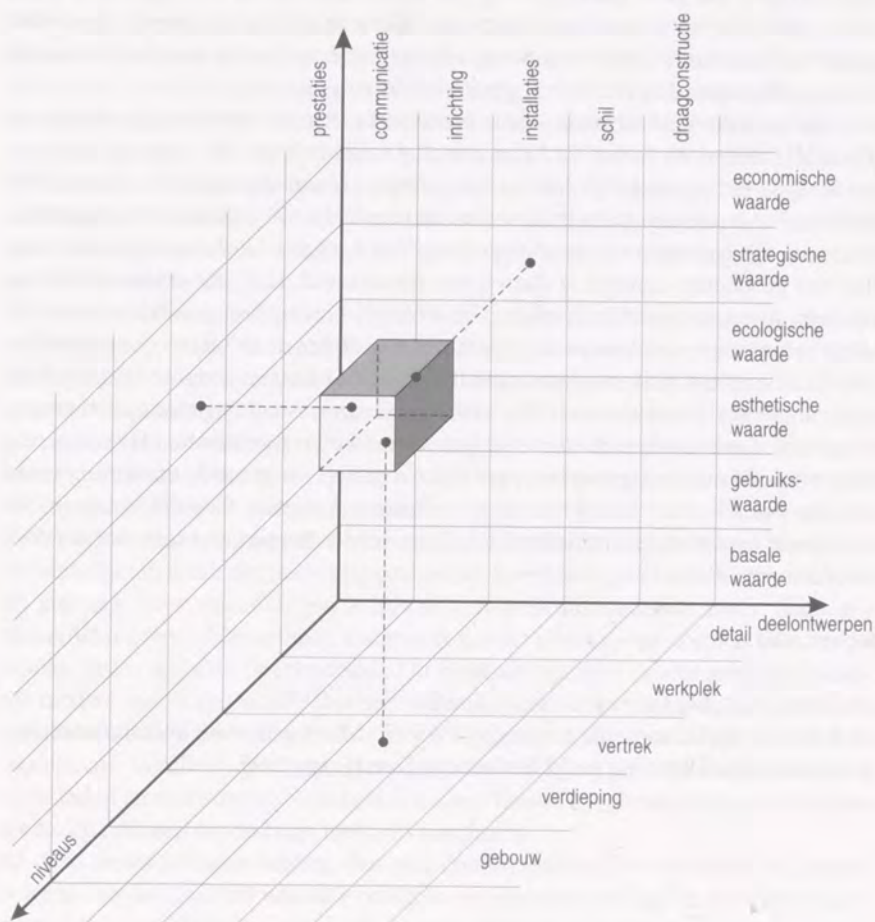


Fig. 3.2 Plaats van de paragraaf 'installaties in het woongebouw' in het model

* Voor auteursgegevens zie par. 3.1.

De gewenste aanpasbaarheid van het vertrek is vooral te bereiken door een meer flexibel ontwerp van de technische installaties. De bestaande systemen bieden – afhankelijk van de aard van de installatie – min of meer beperkte mogelijkheden voor een mogelijke vrije indeling van een woongebouw.

Installaties voor ventilatie, gas en vuil water zijn door hun afmetingen, door regelgeving of uit montagetechnisch oogpunt beperkt in deze mogelijkheden, terwijl elektra, communicatie-, informatie- en besturingssystemen nauwelijks beperkingen kennen.

Diverse projectgroepen en productontwikkelingsbureaus hebben in het recente verleden al dan niet in samenwerking met gerenommeerde fabrikanten over deze problemen nagedacht en ontwerpconcepten (of principes), en soms zelfs nieuwe producten ontwikkeld. Belangrijk is dat de flexibiliseringstechnieken van vandaag grote belemmeringen opwerpen voor toepassing van installatiesystemen zoals gebalanceerde ventilatie en centrale luchtverwarming. Het daarvoor benodigde distributiesysteem is dermate omvangrijk dat de nu ontwikkelde flexibele leidingssystematieken daartegen niet opgewassen zijn [Wagenaar, 1990].

VERSCHILLENDE ONTWERPPRINCIPES

Een van die initiatieven betrof het Innovatiegerichte Onderzoeksprogramma (IOP) Bouw. Dit project onderscheidt de volgende ontwerpprincipes [Vreedenburg, 1990]:

- Volgens het *plafondprincipe* (fig. 3.3) worden zoveel mogelijk aan- en afvoerleidingen en kanalen voor de verschillende media (water, rookgas, vuil water e.d.) in de vrije ruimte tussen bovenvloer en plafond ondergebracht. Daarbij zou dan gebruik gemaakt moeten worden van pompen om deze media te laten stromen. De hoeveelheid leidingwerk neemt bij dit concept sterk toe.
- Bij het *vloerprincipe* (fig. 3.3) worden de installaties opgenomen in speciale gleuven of goten. De aan- en afvoer van water gebeurt op traditionele wijze. Het transport van ventilatielucht via de vloer maakt het gebruik van pompfaciliteiten noodzakelijk, en mogelijk een extra dikke afwerklaag. Dit concept is minder geschikt voor ventilatiekanalen.

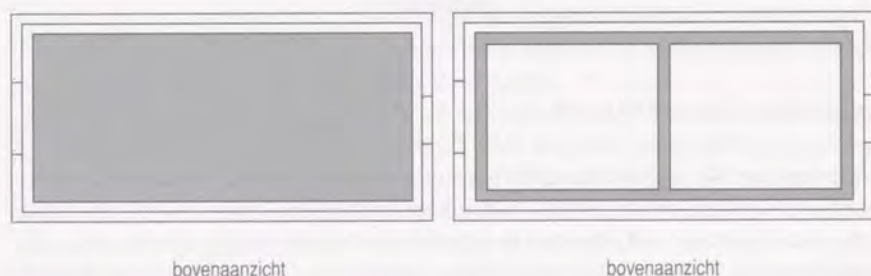


Fig. 3.3 Plafondprincipe (links) en vloerprincipe (rechts)

- Bij het *wandprincipe* (fig. 3.4) fungeren de wanden als drager voor de installaties, al dan niet in combinatie met een plint. Ook hier is het opnemen van ventilatiekanalen beperkt mogelijk. De wanden leggen ook beperkingen op aan

de indelingsvrijheid van de ruimte, omdat de installaties bij verplaatsing van de wanden losgekoppeld moeten worden.

- Het *kokerprincipe* (fig. 3.4) maakt gebruik van een zogenaamde hoofdkoker en enkele subkokers. De kokers bevatten de leidingen en kanalen voor aan- en afvoer van de verschillende media. Vooral de subkokers kunnen variabel worden geplaatst. De kokers leveren minder problemen op bij het opnemen van installaties.

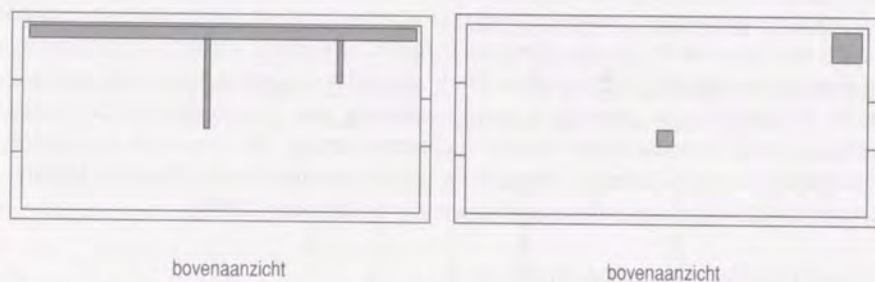


Fig. 3.4 *Wandprincipe* (links) en *kokerprincipe* (rechts)

- Bij het *opbouwprincipe* (fig. 3.5) worden alle benodigde leidingen op de wanden geplaatst; ze staan in feite geheel los van de bouwkundige voorzieningen. Het is een erg flexibele en functionele oplossing, maar omdat de leidingen in het zicht komen vindt niet iedereen deze oplossing esthetisch even verantwoord.



Fig. 3.5 *Opbouwprincipe*

VERSCHILLENDE MODELLEN

Op basis van de vijf eerdergenoemde ontwerpprincipes is een aantal modellen ontwikkeld die als uitgangspunt zouden kunnen fungeren om veranderbare technische installaties en componenten te ontwikkelen in samenhang met bouwkundige voorzieningen. De modellen worden kort beschreven; de bijbehorende illustratie zal voor zich spreken.

- Het *gootmodel* (fig. 3.6) is gebaseerd op het vloerprincipe. Alle technische installaties worden aangebracht in een netwerk van goten. Na plaatsing worden de goten gevuld en afgewerkt met een gemakkelijk te verwijderen materiaal (zoals zand en cementspecie of kunststofschuim). Een wat geavanceerdere

oplossing is denkbaar in de vorm van een standaardkunststofgoot met deksel die in de afwerklaag aangebracht kan worden (fig. 3.6).

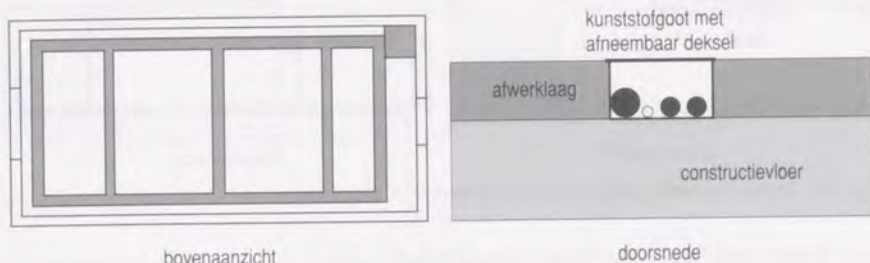


Fig. 3.6 Gootmodel (links) en standaardkunststofgoot met deksel (rechts)

- Het *kokermodel* (fig. 3.7) is gebaseerd op het kokerprincipe. De (sub)kokers zijn *stand-alone* aangebracht. Hierin kunnen de verschillende installaties ondergebracht worden. Ook is het mogelijk om de subkokers te verbinden met de hoofdkoker via vloer en of plafond.
- Het *sanitaire wandmodel* (fig. 3.7) is een combinatie van het kokerprincipe en het wandprincipe. De (geprefabriceerde) wand wordt aangesloten op de koker(s). De wand zou ook *stand-alone* aangesloten kunnen worden op de installaties in de vloer en of het plafond.

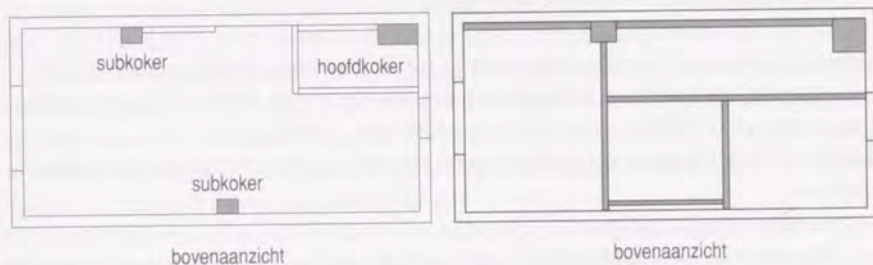


Fig. 3.7 Kokermodel (links) en sanitaire wandmodel (rechts)

- Het *unitwoningmodel* (fig. 3.8) bestaat uit geprefabriceerde eenheden, zoals keuken, badkamer en toilet, die aangesloten worden op de installaties die zich in de vloer, de wand en of het plafond bevinden.
- Bij het *opbouwmodel* (fig. 3.8) worden alle installaties volgens het opbouwprincipe aangebracht. De leidingen kunnen naar behoefte gecamoufleerd worden door plaatsing van bijvoorbeeld een koof of betimmering om het geheel in esthetisch opzicht enigszins aanvaardbaar te maken.

Met de hiervoor beschreven principes en modellen als uitgangspunt zijn de afgelopen jaren verschillende producten ontwikkeld, zoals aardgas- en waterstopcontacten, verstelbare keukenbladen en wasbakken, verstelbare toiletten, verhoogde vloeren, verwarmingselementen, flexibele leidingen en infraroodbesturing. Een aantal voorbeelden is opgenomen in bijlage C.

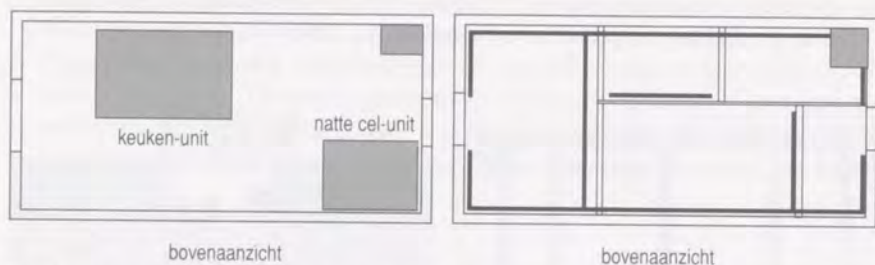


Fig. 3.8 Unitwoningmodel (links) en opbouwmodel (rechts)

ONTWERPASPECTEN BIJ TECHNISCHE INSTALLATIES

Het ontwerpen van technische installaties met als doel een meer flexibel gebruik van woningen is in zekere zin het zoeken naar optimalisatie van het woongenot: in elke situatie moeten de diverse technische installaties die zich in een verblijfsruimte kunnen bevinden een passende prestatie kunnen leveren, met per situatie een bepaalde combinatie van parameters als functie van de eisen en wensen van de bewoner. Tijdens de ontwerpfase zal bij het ontwerpen van het gebouw terdege nagedacht moeten worden over de omstandigheden die zich tijdens de gebruiksfase kunnen voordoen. Er zal ook gestreefd moeten worden naar modellen van technische installaties, waarbij een snelle en simpele aanpassing (zonder al te ingrijpende werkzaamheden) aan de veranderde omstandigheden mogelijk is en waarbij ook een gezond binnenklimaat behouden blijft.

Om de ontwerper enigszins tegemoet te treden, worden hierna enkele 'flexibiliteitsaspecten' genoemd en beknopt beschreven. Deze zijn ontleend aan de onlangs verschenen ISSO/SBR-publicatie Flexis [Geraedts, 1996].

Een flexibele technische installatie zou op zijn minst aan de volgende eisen moeten voldoen:

– *modulair en aanpasbaar*

De delen van een installatie hebben overeenkomstige functionele en ruimtelijke kenmerken, waardoor ze op grond van technische specificaties naar behoefte aan elkaar of van elkaar gekoppeld kunnen worden. Verder moeten de functie en de afmetingen van delen van de installaties uitwisselbaar zijn. Hiermee worden producten universeel en dus projectgebonden.

– *demontabel en aanpasbaar*

De installatie dient demontabel te zijn zonder dat bouwkundige ingrepen nodig zijn. Een installatie moet achteraf eenvoudig kunnen worden aangepast als reactie op veranderingen in de omgeving.

– *verkavelbaar en ontkoppelbaar*

Als antwoord op het (her)verdelen van gebruiksfuncties in gebouwen moet het ontwerp van het gebouw gebaseerd zijn op het grootst mogelijke aantal op zichzelf staande functionele kavels, en daarmee impliciet de mogelijkheid hebben om verschillende delen van de installatie los te koppelen zonder de werking van het geheel merkbaar te beïnvloeden.

– *uitbreidbaar*

Deze eis geeft aan dat de capaciteit van de installatie of van de installatiefuncties moet kunnen worden uitgebreid. Het vormt een onlosmakelijk geheel met de overige eisen waarmee bij het ontwerpen van gebouw en installatie rekening moet worden gehouden.

Voor meer details wordt verwezen naar de genoemde publicatie. Verder gelden natuurlijk de meer algemene ontwerpregels.

BESCHOUWING

Het aantal functies van de woning zal om verschillende redenen snel toenemen, en daarmee ook de behoefte aan betere installatietechnische voorzieningen. Geleidelijk ontstaat er in de vraagmarkt meer aandacht voor een mogelijke aanpasbaarheid van gebouwen. Daarvan is in de praktijk nog weinig te merken en dat heeft een aantal ontwerptechnische, uitvoeringstechnische en commerciële oorzaken. Maar net als bij andere innovaties, is dat nog slechts een kwestie van tijd.

Men kan van mening zijn dat de traditionele wijze van bouwen van na de Tweede Wereldoorlog op gespannen voet zal komen te staan met de wensen van de woonconsument en het aanbod van allerlei *high tech*-producten en systemen. Het is inderdaad niet gewenst om dergelijke systemen in te metselen of voor altijd weg te werken in de afwerklaag van de vloer, en daarmee alle mogelijkheden van aanpassen, veranderen, vernieuwen of verwijderen bij voorbaat te elimineren.

Het bepalen van het niveau van voorzieningen in woongebouwen was tot voor kort een politiek-economisch probleem. Hoe hoger het nationaal inkomen per hoofd, hoe beter de voorzieningen gemiddeld zullen zijn. Maar tot nu toe waren deze voorzieningen uniform. Nu is het moment aangebroken om installaties op een andere manier te benaderen, waardoor het mogelijk is om snel te anticiperen op de veranderingen in vraag en aanbod. Maar ook om eens en voor altijd een einde te maken aan het ongezone binnenklimaat.

De ontwikkeling van een visie over de veranderbaarheid van een woongebouw dient dan ook samen te gaan met de ontwikkeling van een flexibel installatiemodel. Aanbevolen wordt om in een zo vroeg mogelijk stadium het ontwerp van gebouw en installatie te integreren. Voor een optimale aanpassing aan veranderingen in de markt is een inventarisatie van de mogelijke verschillende soorten functies en gebruik in een wisselende samenstelling in een woongebouw noodzakelijk. Vervolgens worden de te ontwikkelen bouwkundige en installatiemodellen hierop afgestemd.

Concreet betekent dit dat technische installaties (voorzover regelgeving en techniek dat toelaten) worden ondergebracht in de inbouw van een gebouw. De verwevenheid van technische installaties met de draagconstructie en andere bouwdeelen wordt daarmee sterk gereduceerd. Zo worden de grootste voordelen behaald. Daartoe dienen vooraf wel de nodige voorzieningen getroffen te worden. In uitvoeringstechnische zin kan een scheiding in het bouwproces gerealiseerd worden (het zgn. ontkoppelde bouwproces). Het bouwproces wordt als het ware opgedeeld in twee hoofd fasen: de bouw van de draagconstructie en de schil, respectievelijk de (fijne) afbouw en de inbouw (afwerking interieur en installaties). Er zullen zich minder afstemmingsproblemen voordoen en er zullen veel bouwfouten worden voorko-

men. Deze ontwikkeling schept ook mogelijkheden voor het ontstaan van ander-soortige (gespecialiseerde) bouwbedrijven. Dat wil zeggen dat bouwbedrijven kunnen ontstaan die als hoofdaannemer optreden voor de 'ruwe' bouwactiviteiten (draagconstructie en schil), en bouwbedrijven die zich toeleggen op het aannemen van de 'fijne' bouwactiviteiten (afbouw, inbouw en installaties). Dit neemt niet weg dat zowel bij de ruwe als bij de fijne bouwactiviteiten bij voorkeur gebruik wordt gemaakt van 'droge' bouwmethoden.

KEUZE VAN HET 'IDEALE' INSTALLATIEMODEL

Een combinatie van het vloer- en plafondprincipe en een vaste koker waarin ook het meten van het gebruik kan plaatsvinden, biedt de grootste veranderbaarheid. De vaste koker is in dit model het enige niet vrij te plaatsen deel. In de ruimte onder het (systeem)plafond kunnen ventilatiekanalen, elektraleidingen (verlichtingsarmaturen, toestellen of bedieningsmotoren), zwakstroomleidingen (gegevensstromen, besturingsstromen, communicatie-, bewakings- of brandmelding-detectie-componenten) aangebracht worden. Met uitzondering van de ventilatie vinden wijzigingen of aanpassingen het meest plaats aan voornoemde installaties, hetgeen uit het oogpunt van toegankelijkheid plaatsing in de plafondruimte rechtvaardigt.

De installaties die minder frequent hoeven te worden veranderd of aangepast worden in de vloer geplaatst. Deze dienen voor de aan- en afvoer van warm en koud water, grijs water, (fijngemalen) faecaliën, de gasleiding, elektraleidingen voor schakelaars in de plint, infraroodontvangers en contactdozen, inclusief aansluitingen in het vloervlak voor het keukenblok, het toilet, de badkamer en andere 'werkplekken'. Daartoe zouden in de betonvloer stroken en of goten met een plaatselijk te verwijderen 'zacht' materiaal aangebracht moeten worden om de diverse leidingen en aansluitcomponenten snel en flexibel te kunnen plaatsen. Hierna kan een en ander glad afgewerkt worden (fig. 3.9, boven). Het is ook denkbaar om reeds tijdens de fabricage van de (prefab) betonvloer een 'zachte' strook of zelfs een afwerklaag aan te brengen, waarmee in feite een sandwich-constructie verkregen wordt (fig. 3.9, midden). Logischerwijs is er dan ook een combinatie denkbaar waarin de leidingen of kanalen worden geïntegreerd met de kanaalplaat (fig. 3.9, onder).

De zachte afwerklaag moet natuurlijk wel voldoende sterk zijn om de relevante vloerbelasting te kunnen opnemen. Te denken valt aan schuimbeton, gasbeton of een kunststofschuim. Dergelijke materialen laten zich ter plaatse eenvoudig bewerken. Een kunststofgoot met deksel in de druk- of afwerklaag behoort ook tot de mogelijkheden, maar is minder flexibel. Naar behoefte zou ook nog gebruik gemaakt kunnen worden van het wandprincipe in ruimten zoals de keuken, het toilet en de badkamer.

Kortom, omdat de binnenwanden vrij te plaatsen zijn, kan de bewoner ook in een later stadium zelf de plaats en de grootte van de ruimte, en de plaats van de toestellen bepalen. Hierdoor is het mogelijk allerlei domoticavoorzieningen in de kamers te installeren, al dan niet met infraroodstraling. Verder zou gebruik gemaakt kunnen worden van zogenaamde 'stekkerklare' inbouwproducten. Deze kunnen overal op een eenvoudige manier gekoppeld worden aan de installaties in het plafond en de

vloer. Bijlage C geeft hiervan een aantal voorbeelden. De draagconstructie zelf is daarbij voorzien van een primaire installatie in de vorm van een vaste leidingkoker, waarin zich de meterkast, de centrale verwarmingsketel en de klimaatbeheersings-eenheid bevinden. De vaste leidingkoker is uiteraard ook aangesloten op de diverse nutsvoorzieningen. Vanzelfsprekend kan de vaste leidingkoker van tevoren geheel worden geprefabriceerd, inclusief de benodigde meters, kabels en leidingen.

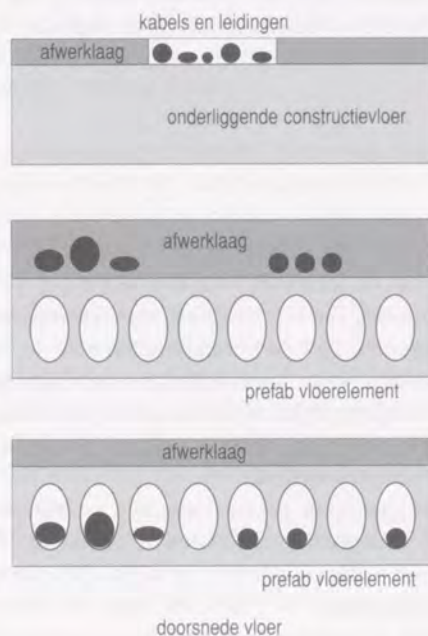


Fig. 3.9 Verschillende manieren om leidingen op te nemen in de vloer

Alles overziend zijn de perspectieven voor de verwezenlijking van levenslange woongebouwen aanwezig, zeker wanneer voor de doelgroepen verschillende gradaties van flexibiliteit en keuzevrijheid kunnen worden ontwikkeld.

Voor projectontwikkelaars en beheerders van woningen kan een en ander een belangrijk instrument zijn om het aanbod van woonruimte beter af te stemmen op de vraag. Het is mogelijk om de woning meer marktgericht te ontwikkelen. Er kan veel beter ingespeeld worden op het pakket van wensen van de consumerende bewoner voor de indeling en de inrichting. De hiervoor getoonde principes en modellen kunnen als uitgangspunt dienen om nieuwe hoogwaardige producten en systemen te ontwikkelen. Een belangrijk punt daarbij is echter dat het bedieningsgemak van zowel installatie als apparatuur de volle aandacht krijgt, maar niet ten koste van de kwaliteit van het binnenklimaat. Uiteraard zal een en ander binnen het kader van duurzaam bouwen gerealiseerd moeten worden. Vooral de toeleverende industrie zal de eerste aanzet moeten geven tot de ontwikkeling van dergelijke producten. Want alleen zij zijn om verschillende redenen in staat om de wensen van de moderne woonconsument te vertalen naar bruikbare producten. Dat dit in de praktijk niet eenvoudig is, blijkt uit het feit dat het grootste deel van de literatuur voor deze bijdrage van zeven jaar geleden dateert.

Referenties

- GERAEDTS, R.P. (red.), *Flexis, communicatie over en beoordeling van flexibiliteit tussen gebouwen en installaties*, ISSO/SBR, publicatie 375, Rotterdam, 1996
- VREEDENBURGH, E. e.a., *Leidingsystematiek in relatie tot flexibiliteit*, verslag IOP-onderzoek Leidingen, Technische Universiteit Delft, 1990
- WAGENAAR, E.J., *Nog even wachten met Open Bouwen*, Verwarming en ventilatie, nr. 5, 1990

3.3.2 INRICHTING

*prof.dr.ir. J. Delrue**

De veranderbaarheid van de inrichting van een woning is de wijze waarop en de mate waarin door aanpassing van wanden, deuren, vaste meubels en natte uitrusting een woning kan meegroeiën met de veranderingen van de bewoners tijdens hun leven. De verkenningstocht naar nieuwe technische eisen aan de verschillende niveaus van een gebouw is ingewikkeld en moeizaam. Het is zo goed als onmogelijk om alle woonsituaties te verkennen. Enkele specifieke scenario's geven echter de problemen reeds in grote trekken weer:

- Een hogere leeftijd gaat vaak gepaard met een verminderde mobiliteit. Twee gevallen in deze op zich grote groep vatten de noodzaak van een reeks aanpassingen samen en gelden ook voor andere gevallen. Dat zijn een rolstoelgebruiker en een osteoporose-patiënte.
- Een tweede huwelijk of samenwonen brengt ons op het spoor van specifieke aanpassingsbehoeften die de nieuwe gezinstypologie aan een woning stelt.

We analyseren hierna beide scenario's.

AANPASSING AAN VERMINDERDE MOBILITEIT

De steeds toenemende levensverwachting in West-Europa vraagt om geschikte woongelegenheden voor grote groepen ouderen. Deze ouderen zijn voor een groot deel alleenstaande vrouwen. De scholingsgraad van deze ouderen is ook sterk toegenomen, zodat de meesten van hen een vrij actief en zelfstandig leven blijven leiden, zij het vaak via wonen in een of ander groepsverband. Deze hoge leeftijd gaat echter vaak gepaard met een verminderde mobiliteit en of minder optimaal werkende zintuigen (gehoor, zicht).

Uiteraard zijn er ook jonge volwassenen en kinderen met mobiliteitsproblemen. Dankzij moderne technieken (o.a. domotica) kunnen ook zij in toenemende mate een meer zelfstandige huisvesting overwegen. De oplossingen voor hen zijn in hoge mate terug te voeren tot aanpassingen voor ouderen.

Aan de hand van twee gevallen zal de aanpasbaarheid van woningen in verband met verminderde mobiliteit worden verkend. Daarna wordt een aantal suggesties geformuleerd die voor een grote en groeiende groep mensen relevant is.

* Voor auteursgegevens zie par. 3.3.

Het gaat om:

1. een man met een motorische handicap die het gebruik van een rolstoel noodzakelijk maakt;
2. een vrouw die lijdt aan een hoge graad van osteoporose met als gevolg een sterk gekromde houding.

Er zijn natuurlijk veel meer handicaps; de meeste zijn echter voor hun bouwkundige gevolgen terug te voeren tot de hier als uitgangspunt genomen situaties:

- rolstoelgebruik als oplossing voor verminderde mobiliteit;
- een gebogen houding en weinig kracht.

De indeling van een gebouw in de deelontwerpen draagconstructie, schil, installaties en inrichting is gebaseerd op de complementaire kwalitatieve begrippen permanent en aanpasbaar. Aanpassingen aan de drager zijn – alhoewel technisch mogelijk – niet wenselijk daar zij enorme kosten en beheersproblemen met zich meebrengen. Paragraaf 3.3.4 gaat hier verder op in.

De inbouw kan deels zijn aangepast, maar moet vooral aanpasbaar worden bedacht. Een bouwtechniek die vlot aanpassingen toelaat moet echter nog 'uitgevonden' worden. Het grootste obstakel is dat de meeste klassieke bouwmaterialen (klei, gips, cement, hout) geen grote precisie toelaten. Vergelijk hierbij de precisie van de mechanica op basis van hoogwaardige metalen en kunststoffen, die in fracties van millimeters wordt uitgedrukt. Veel van deze materialen zijn onbetaalbaar duur voor bouwkundige toepassingen.

De oplossing voor veranderbaar bouwen zal dan ook op twee vlakken tegelijk moeten worden gezocht:

1. een draagconstructie die vanaf het begin in (bijna) alle situaties kan worden gebruikt;
2. hercombineerbare inbouw op grond van flexibele maatvast componenten.

De volgende opsomming van de consequenties op de verschillende niveaus maakt een en ander duidelijk. Fig. 3.10 geeft de plaats van deze opsomming in het model van paragraaf 3.2.

Niveau: detail

- ergonomische deur- en raamklinken;
- ergonomische kranen;
- schakelaars en stopcontacten op aanpasbare hoogte;
- standaardklikfittingen, soepele aftakkingen.

Niveau: werkplek

- een in hoogte verstelbare wastafel;
- een (deels) aanpasbaar werkvlak in de keuken;
- ligbad om te wisselen met douche (drempelvrij).

Niveau: vertrek

- ruimte om een draaicirkel van 1,50 m (liever 1,80 m) te realiseren in elk vertrek, eventueel door (delen van) de binnenwanden te verwijderen;

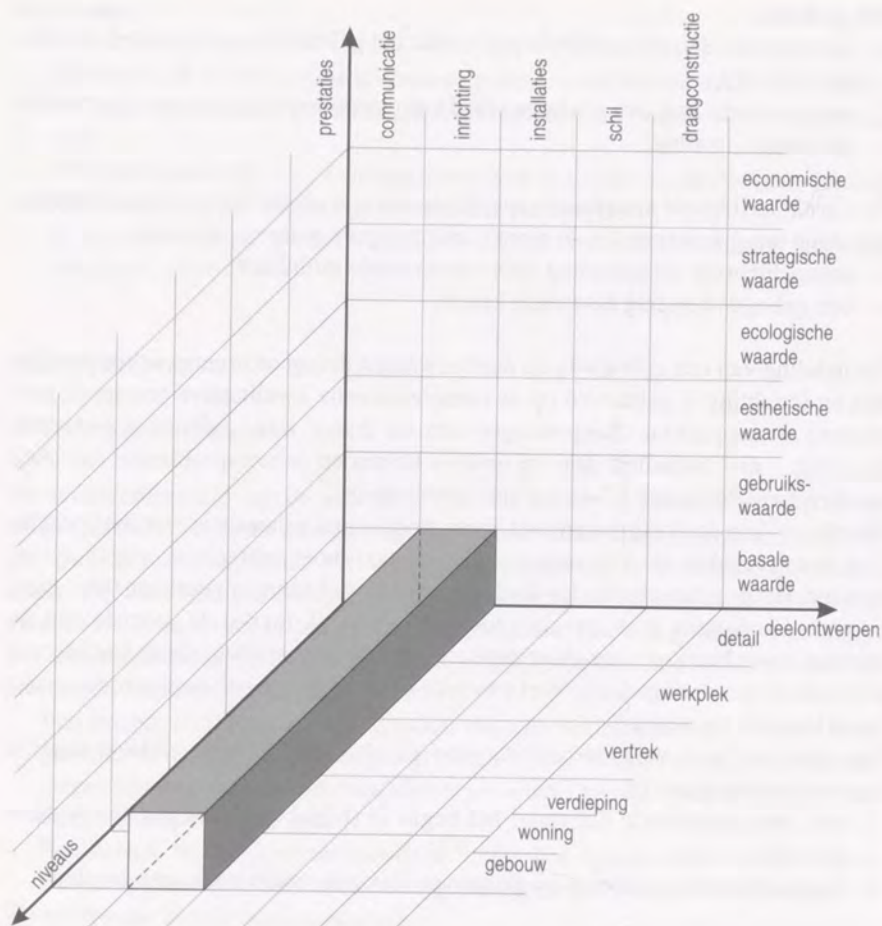


Fig. 3.10 Plaats van het scenario 'verminderde mobiliteit' in het model

- een rolstoel past onder werkvlakken (bijv. het aanrecht of een ander werkvlak in de keuken).

Niveau: verdieping

- drempels in de toegang tot woningen lager dan 2 cm;
- vloeren met kanaalstroken (β -kanaal, γ -kanaal) die aansluiten bij de verticale schachten en kokers;
- 'hoofdstraat' geschikt voor elkaar kruisende rolstoelen (fig. 3.11);
- een wachtruimte naast de toegangsdeuren (ISO-norm).

Extra niveau: woning

- (deels) wegneembare wanden met het oog op meer eenvoudige looptrajecten (minder muren en minder deuren);
- indien nodig herindeelbaar op basis van de bestaande draagconstructie, kokers en kanalen;
- geen drempels.

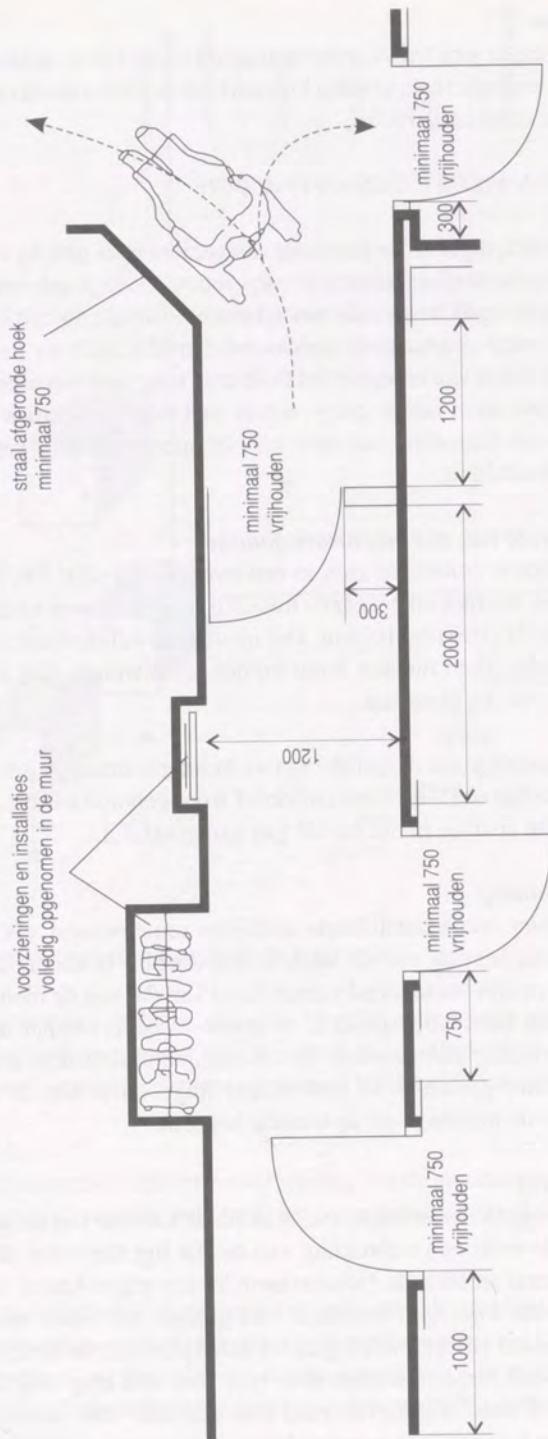


Fig. 3.11 Configuratie van de 'hoofdstraat' zodat rolstoelen elkaar kunnen passeren

Niveau: gebouw

- alle verdiepingen worden via rolstoeltoegankelijke liften ontsloten;
- de verticale leidingkokers worden bij voorkeur geplaatst naast of bij de verticale delen van de draagconstructie.

AANPASSING AAN NIEUWE GEZINSTYPOLOGIE

De vergaande wijzigingen in de structuur van gezinnen als gevolg van de economische en intellectuele onafhankelijkheid van vrouwen vraagt ook om andere woningen. Door de verhoogde frequentie van scheiding, tweede en zelfs derde huwelijk ontstaan steeds meer zogenaamde *patchwork*-families, nieuwe gezinnen die zijn samengesteld uit delen van vroegere huishoudens, maar ook met eigen kroost. Aldus ontstaat een nieuw soort talrijk gezin, echter met meer generaties onder een dak. Een voorbeeld uit tientallen kan ons op het spoor brengen van de gewenste bouwkundige flexibiliteit.

▷ Voorbeeld van een patchwork-familie

Man en vrouw verbinden zich in een tweede huwelijk. Hij heeft een adolescente dochter uit het eerste huwelijk. Zij heeft twee kinderen van 6 en 8 jaar. Hij trekt bij haar in. Het nieuwe huwelijk wordt bekroond met een baby. Haar moeder komt bij het gezin wonen. Dat zijn dus 7 personen, van 3½ generatie.

Het is meteen duidelijk dat dergelijke ontwikkelingen strenge eisen stellen aan de woning, zeker als het een flat in een collectief woongebouw betreft. Fig. 3.12 geeft de plaats van deze analyse in het model van paragraaf 3.2.

Extra niveau: woning

Het valt op dat hier zeer verschillende leeftijden samenwonen, elk met een eigen bioritme. Het slaappatroon van de adolescente dochter is anders dan dat van de grootmoeder en ze zijn beide totaal verschillend van dat van de nieuwe baby. Deze verschillen zijn nu meer uitgesproken, en intussen ook kritischer dan in het standaardgezin van twintig jaar geleden. Een duidelijke akoestische zone-indeling in de woning is zeker gewenst; dit stelt echter hoge eisen aan de materialen en componenten die de indeling van de woning bepalen.

Niveau: verdieping

Bij de beschreven gezinsuitbreiding kwam zeker de kwestie van de oppervlakte van de woning aan de orde; een uitbreiding van de flat ligt hier voor de hand daar de oudste dochter eerst en later de (schoon)moeder een eigen kamer zullen wensen. Het is in bestaande woningen helemaal niet gezegd dat zoiets mogelijk is door annexatie van ernaast gelegen woningen (of delen daarvan) of door interne herverdeling van de reeds bezette woonruimte (die dan wel krap wordt). De meeste woongebouwen in onze woningvoorraad zijn geschikt voor slechts een, hooguit twee of drie typen huishoudens in een gebouw. Een grotere variatie aan gezinnen – oud, jong, alleenstaand, standaard, groot, *patchwork* – zou een groter natuurlijk verloop in de bezetting betekenen, waardoor de kans op aanpassing van de bewoonbare oppervlakte van een woning zou toenemen.

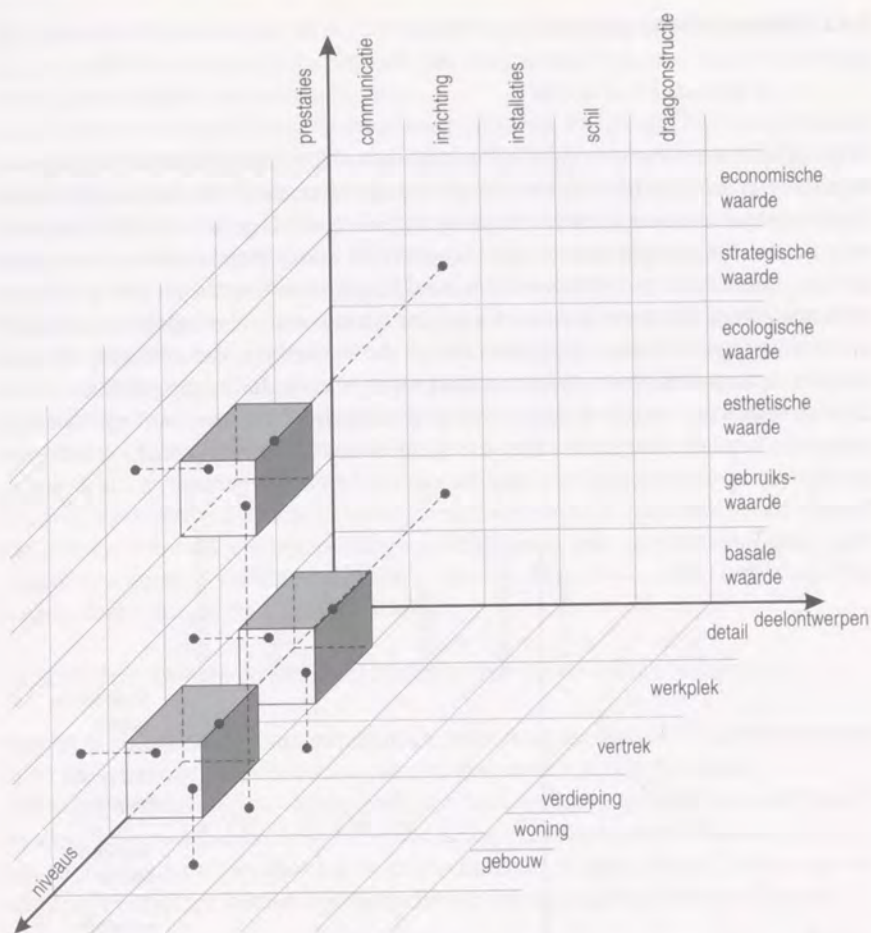


Fig. 3.12 Plaats van het scenario 'patchwork-familie' in het model

Daarnaast kan worden gedacht aan een tweede entree voor de groep jongere bewoners, zodat iedereen meer privacy heeft en onafhankelijk is. Een dubbele entree zou de leefbaarheid van meer generaties 'onder een dak' sterk vergroten.

Niveau: vertrek

In dezelfde gedachtegang zou een verdubbeling van de sanitaire ruimten (minstens een aparte douchecel voor de jongeren) het wooncomfort van deze *patchwork*-familie verhogen.

Dit is slechts een voorbeeld: er zijn vele varianten denkbaar. Maar telkens wordt de vinger gelegd op een gevoelige plek: het huidige woningbestand is – zeker in geval van collectief wonen op meer verdiepingen – nauwelijks in staat in te spelen op deze nieuwe gezinsdynamiek, die toch een groot en wellicht groeiend deel van onze samenleving uitmaakt.

3.3.3 DRAAGCONSTRUCTIE

ir. W.A.C. de Vries Robbé*

Voordat het model van paragraaf 3.2 wordt toegepast op het deelontwerp draagconstructie (fig. 3.13), is het van belang stil te staan bij de aard van de verandering en bij het niveau van beschouwen. In paragraaf 3.3.2 wordt gesteld dat de draagconstructie vanaf het begin moet zijn voorbereid op verschillende situaties en dat de inbouw aanpasbaar bedacht moet worden. Een gebouw wordt hier gezien als een onveranderbare combinatie van schil en draagconstructie, die samen een gebouw met verdiepingen vormen. Deze moeten zo ontworpen zijn dat op lagere niveaus en voor de andere deelontwerpen zoveel mogelijk verandering mogelijk is.

Een beschouwing van de factoren die de geschiktheid van een woning voor zijn bewoners bepalen, laat echter zien dat die geschiktheid medebepaald wordt door kwaliteiten op een hoger niveau dan dat van verdieping en gebouw, zoals de straat,

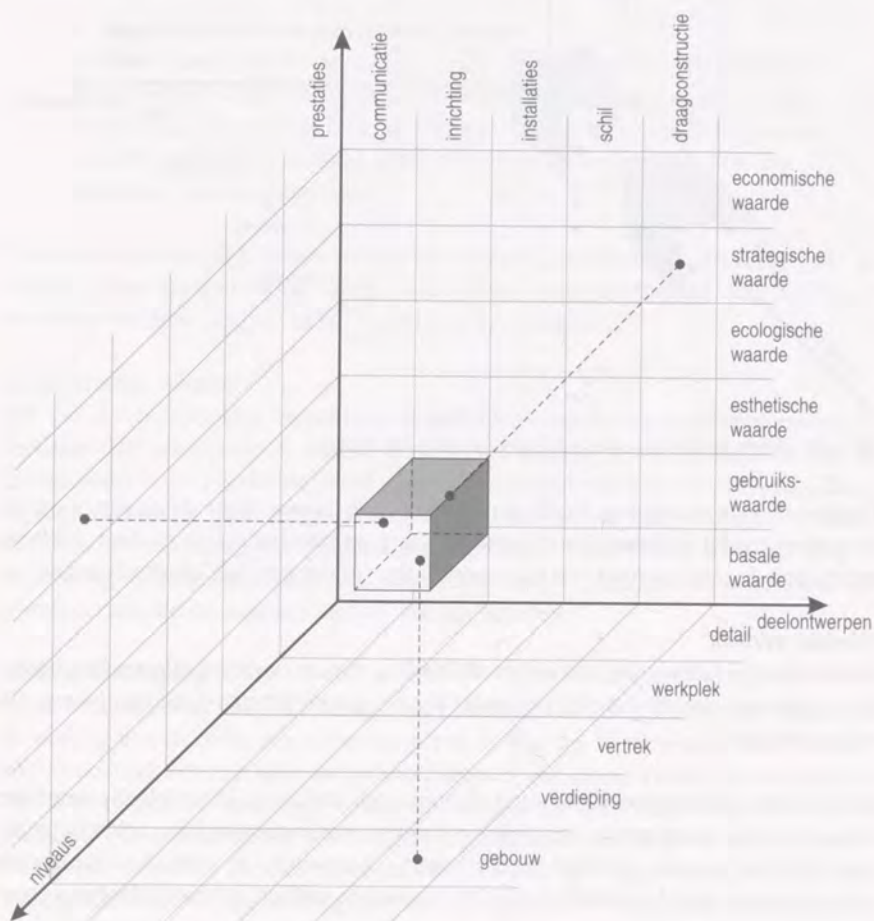


Fig. 3.13 Plaats van de paragraaf 'draagconstructie in het woongebouw' in het model

* Arnold de Vries Robbé is technisch directeur van het Staalbouw Instituut.

de buurt, de wijk en de stad, en door veranderingen die op het maatschappelijk vlak liggen, zoals de demografische opbouw van de bewoners van een straat of een wijk, en de aanwezigheid van voorzieningen.

Het slopen van relatief jonge woongebouwen is het directe gevolg van te weinig aanpasbaarheid aan veranderende esthetische, sociologische en economische eisen van het totaal aan deelontwerpen op gebouwniveau. Veranderingen op een hoger niveau zullen bijvoorbeeld tot gevolg hebben dat verdiepingen in een gebouw van bestemming zullen veranderen, bijvoorbeeld van woonbestemming tot werkbestemming, of van eengezinswoningen tot een seniorencomplex.

Zijn deze veranderingen voor een deel nog voorspelbaar, op een termijn langer dan 15 jaar zijn ze dat niet. Daarom wordt er hier voor gepleit om bij de draagconstructies van gebouwen ook uit te gaan van veranderbaarheid op gebouwniveau en deze veranderbaarheid niet alleen op verdiepingniveau in een slimme, maar onveranderbare draagconstructie en schil te zoeken.

Let wel, veranderbaarheid is geen doel maar een middel. Men kan ervan uitgaan dat voorspelbare en onvoorspelbare veranderingen van zeer verschillende aard zullen voorkomen; veranderbaarheid is dan op alle niveaus het middel om het woongebouw langer goed te laten voldoen.

AANZET TOT EEN ONTWERPSTRATEGIE VOOR DE DRAAGCONSTRUCTIE

Hoe nu te komen tot een ontwerpstrategie voor de draagconstructie die tot resultaat heeft dat het woongebouw voldoet aan de gewenste veranderbaarheid?

Om te beginnen wordt globaal in beeld gebracht welke mogelijke veranderingen in de specifieke waarden en de bijbehorende prestatie-eisen verwacht kunnen worden bij woongebouwen. Veranderingen in prestatie-eisen zullen effect hebben op verschillende ontwerpaspecten van het gebouw. Tabel 3.1 geeft hiervan een beeld.

Hoe beïnvloeden de prestaties van de draagconstructie de veranderbaarheid van de verschillende ontwerpaspecten? Of andersom, niet limitatief maar creatief bekeken vanuit het standpunt van de constructief ontwerper: welke eisen in termen van veranderbaarheid stellen de met zekerheid veranderende gewenste prestaties van het gebouw aan de draagconstructie? Dit kan ook anders worden geformuleerd: op welke manier moet de draagconstructie veranderbaar zijn om een voor alle waarden goed veranderbaar gebouw te hebben dat langdurig voor alle waarden goed zal voldoen? Als dat bekend is, kan de draagconstructie worden ontworpen met het oog op de ultieme veranderbaarheid.

Het komt vaak voor dat in draagconstructies andere functies worden geïntegreerd. Dit lijkt op het eerste gezicht aantrekkelijk onder het motto twee halen, één betalen. De keerzijde van de medaille is echter dat bij integratie functies niet meer afzonderlijk zijn aan te passen. Integratie van functies geeft bij een bedoelde verandering van de ene prestatie altijd een (soms niet gewenste) verandering van de andere prestaties.

Voorbeeld: een dragende gevel waarbij de draagfunctie gerelateerd aan belastingen, geïntegreerd is met de scheidingsfunctie, gerelateerd aan bouwfysische prestaties.

Aanpassing van de ene noch de andere prestatie is mogelijk zonder de andere prestatie te beïnvloeden.

De draagconstructie is dat deel van het gebouw dat de belastingen afdraagt naar de fundering en de stabiliteit van het gebouw waarborgt. Afhankelijk van het constructieve model vindt er meer of minder integratie van functies plaats bij de onderdelen van de draagconstructie, zoals integratie van dragen, scheiden, energie absorberen. Hoe meer de draagconstructie dient om te dragen, en hoe meer de andere functies door van de draagconstructie onafhankelijke onderdelen worden vervuld, hoe meer aanpasbaar en flexibel het gebouw wordt.

Hoewel op andere plaatsen in hoofdstuk 3 de wenselijkheid van veranderbaarheid van gebouwen in het algemeen al is benadrukt, is het goed om in relatie tot de draagconstructie even bij de noodzaak van veranderbaarheid voor woongebouwen stil te staan. Voor woongebouwen is op verdiepingniveau vooral flexibiliteit van belang. Die draagconstructie die de mogelijkheid tot vrije indeling in de woning, en een niveau hoger op de verdieping, het beste waarborgt, voldoet het beste. Op verdiepingniveau speelt aanpasbaarheid van de draagconstructie bij woongebouwen pas een rol bij een geheel ander gebruik van het gebouw met geheel andere belastingen. Op gebouwniveau speelt aanpasbaarheid wel een rol. Een toevoeging zoals optoppen (op het bestaande gebouw wordt een extra verdieping geplaatst) met daarin een woon- of kantoorfunctie, vraagt een grotere prestatie en dus aanpasbaarheid van de functie van de draagconstructie, het dragen. Overigens wordt hierbij meestal een lichte draagconstructie geplaatst op een inflexibele onderbouw met dragende wanden waarvan – zonder constructieve maatregelen – het draagvermogen voldoende is voor de extra belastingen van het optoppen.

Als we over aanpasbaarheid spreken, wekt dat wellicht de indruk dat de draagconstructie zelf in het werk aangepast moet worden. Hoewel dat bij sommige constructies zonder veel problemen mogelijk is, zal men bij een veranderbaar woongebouw eerder moeten denken aan een kritische analyse van de mogelijkheden van een geringe mate van overdimensioneren. Juist bij draagconstructies met een minimum aan functie-integratie waardoor het aandeel in de bouwkosten is teruggebracht tot een minimum (nl. alleen de kosten voor de draagfunctie), brengt het overdimensioneren nauwelijks hogere kosten met zich mee.

FLEXIBILITEIT EN VERANDERBAARHEID VAN DRIE TYPEN DRAAGCONSTRUCTIES

Omdat het doel van dit project eerder is om toekomstgericht ontwerpen te bevorderen dan om bestaande constructies in verschillende materialen uitputtend te analyseren, worden hier slechts drie typen draagconstructies voor woongebouwen beschreven: de doos, de raat (ook schijfstructuur of gietbouw genaamd) en het skelet (fig. 3.14).

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de functies van de gebouwdelen bij drie typen draagconstructies. Dit is zinvol omdat de prestaties en de verandering van de gebouwdelen bij de functie dragen van geheel andere aard zijn dan bij de functie omhullen of scheiden.

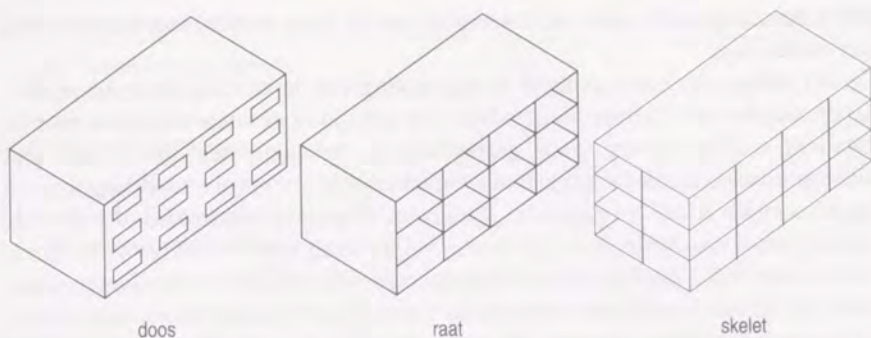


Fig. 3.14 Drie typen draagconstructies

	Doos		Raat		Skelet	
	constructie	omhulling	constructie	omhulling	constructie	omhulling
woningscheidende wand	-	omhulling	constructie	omhulling	-	omhulling
gevel	constructie	omhulling	-	omhulling	-	omhulling
kolom	-	-	-	-	constructie	-
liggers	-	-	-	-	constructie	-
vloer	constructie	omhulling	constructie	omhulling	constructie	omhulling

Tabel 3.2 Functies van de gebouwdelen in drie typen draagconstructies

Tabel 3.3 probeert inzicht te verschaffen in de veranderbaarheid van de verschillende typen draagconstructies door per onderdeel de mate van flexibiliteit en aanpasbaarheid aan te geven.

Omdat de veranderbaarheid en daarmee de toekomstwaarde van een gebouw niet door alleen flexibiliteit of alleen aanpasbaarheid, maar vooral door de combinatie van beide wordt bepaald, blijkt uit deze tabel duidelijk dat in het algemeen* slechts een type draagconstructie voldoet, namelijk het skelet.

	Doos		Raat		Skelet	
	flexibel	aanpasbaar	flexibel	aanpasbaar	flexibel	aanpasbaar
woningscheidende wand	ja	ja	nee	nee	ja	ja
gevel	nee	nee	nee	ja	mogelijk	ja
kolom	-	-	-	-	ja	ja
liggers	-	-	-	-	mogelijk	mogelijk
vloer	nee	nee	nee	nee	mogelijk	mogelijk

Tabel 3.3 Veranderbaarheid van drie typen draagconstructies

* Voorbeeld van een uitzondering: skeletconstructies voor 'natte' gebouwen met veel leidingen (ziekenhuizen en laboratoria) met ondoordacht geplaatste verticale schachten en horizontale leiding-tracés zijn helemaal niet flexibel. Goed ontworpen schijfstructuren voldoen dan beter.

Het volgende gedeelte gaat nader in op dit skelet, maar eerst vraagt tabel 3.3 nog een toelichting.

Op het niveau van een woning is de begrenzing van de woning (de woningscheidende wanden en vloeren, de gevels en het dak) in hoge mate bepalend voor de kwaliteit van het wonen, voor gezondheid en behaaglijkheid, maar ook voor milieuprestaties, zoals energiegebruik. Gevelrenovatie of gevelverandering worden op behoorlijke schaal toegepast bij gebouwen volgens het raatmodel. Bij dit in de woningbouw veel toegepaste concept is verandering van de overige omhullende delen echter niet mogelijk. Op verdiepingniveau is flexibiliteit van de woningscheidende wand een absolute eis voor andere woningtypen met een andere oppervlakte en een andere indeling. Functie-integratie maakt dit bij het raatmodel onmogelijk.

De noodzaak voor verandering is niet bij alle gebouwen hetzelfde. Voor woongebouwen weegt de mogelijke verandering van kolommen, liggers en vloeren ten behoeve van flexibiliteit en aanpasbaarheid minder zwaar dan voor een kantoorgebouw. In een woongebouw zal deze mogelijkheid pas benut worden bij een heel ander gebruik van het gebouw.

HET SKELET

Bij het type skelet dient de draagconstructie vrijwel uitsluitend voor de functie 'dragen'; de prestaties van de overige bouwdelen worden bijna niet beïnvloed. Zoals is aangetoond in tabel 3.3 biedt het skelet daardoor de mogelijkheid tot een optimale combinatie van flexibiliteit en aanpasbaarheid.

Het skelet kan in diverse materialen worden uitgevoerd, bijvoorbeeld in al dan niet voor- of nagespannen ter plaatse gestort beton, prefab-beton, of als een hout- of staalskelet met kanaalplaatvloeren, staalplaatbetonvloeren of stalen vloeren.

Flexibiliteit en aanpasbaarheid bepalen samen de strategische waarde. Zij hebben echter ook een grote invloed op de esthetische waarde, de gebruikswaarde en de basale waarde van een gebouw.

Een waarde die pas vrij recent aandacht krijgt is de ecologische waarde. Sinds zeer kort realiseert men zich dat bouwen vergaande gevolgen heeft voor het milieu. Hoewel 'duurzaam bouwen' een vaak gebezigde term is, ontbreekt anno 1997 toch nog een goed en universeel toepasbaar instrumentarium waarmee de ontwerper eenvoudig en snel de consequenties van zijn ontwerp en zijn materiaal- en conceptkeuze voor het milieu kan bepalen. De software-programma's BEDS en Eco-quantum werken al, maar zijn nog niet gevalideerd en breed geaccepteerd. Paragraaf 3.5 en hoofdstuk 4 gaan hier verder op in.

Omdat het waarschijnlijk nog geruime tijd duurt voordat een dergelijk instrumentarium werkelijk gebruiksklaar is en de Europese regelgeving op het nieuwe criterium 'milieu' zal zijn afgestemd, is het interessant om te zien hoe flexibiliteit en aanpasbaarheid van de draagconstructie de ecologische waarde beïnvloeden.

In tabel 3.4 zijn flexibiliteit en aanpasbaarheid afgezet tegen het Nederlandse milieubeleid (zie ook par. 2.2). Bij een aantal hoofddoelstellingen van het milieubeleid spelen flexibiliteit en aanpasbaarheid een rol. Dit is in de tabel aangegeven met een 'x'.

<i>Hoofddoelstelling milieubeleid</i>	<i>Flexibiliteit</i>	<i>Aanpasbaarheid</i>
Integraal ketenbeheer van materialen		
– Materiaalintensivering	x	x
– Reductie van emissies	–	–
– Minder bouw- en sloopafval	x	x
Energiebesparing		
– Energie-inhoud terugbrengen	–	–
– Gebruiksenergie verminderen	–	–
Kwaliteitsverhoging		
– Levensduur verlengen	x	x
– Repareerbaarheid verbeteren	–	x
– Hergebruik van bouwdelen bevorderen	x	–
– Hinder verminderen	x	–

Tabel 3.4 *Het Nederlandse milieubeleid en flexibiliteit en aanpasbaarheid*

OVER MATEN EN TOLERANTIES

Vaak wordt gesteld dat een algemeen aanvaard afsprakenstelsel voor de maatvoering van bouwdelen een eerste voorwaarde is om tot uitwisselbaarheid van bouwdelen te komen. De ontwikkelingen tot nu toe op dit gebied geven de indruk dat de bouw met al zijn partijen zich moeilijk modulair laat coördineren en dat dat ook in de toekomst het geval zal zijn. Uitwisselbaarheid van bouwdelen zou behalve de flexibiliteit ook het hergebruik ervan bevorderen. In paragraaf 3.3.2 is geconstateerd dat draagconstructies met een grote maatnauwkeurigheid in dat geval een absolute voorwaarde zijn om met maatvastе inbouwcomponenten flexibiliteit te creëren. Om velerlei redenen echter (bijv. trends in het bouwen en wonen, veroudering, beschadiging en verkleuring van materialen en componenten, logistiek, voorraadvorming) wordt geen levendige en grootschalige handel verwacht in bouwcomponenten die zijn vrijgekomen uit gebouwen die soms na vele jaren zijn veranderd of afgebroken. Deze handel zal beperkt blijven tot specifieke delen als kloostermoppen en kraaldelen.

Draagconstructies met grote maatnauwkeurigheid zullen echter in de toekomst om een andere reden van toenemend belang blijken te zijn. Een grote maatnauwkeurigheid van de draagconstructie maakt namelijk prefabricage, assemblage en demontage van bouwdelen mogelijk. Daarbij gaat het niet alleen om prefabricage van componenten volgens standaardmaten, maar ook om prefabricage van kleine series met unieke maten. De opkomst van flexibele productie-automatisering maakt het mogelijk om kleine series of enkelstuks bouwcomponenten zonder meerkosten te prefabriceren, zodat ook zonder branchebrede maatafspraken snel en goedkoop geassembleerd kan worden. Hoofdstuk 5 gaat hier verder op in.

Prefabricage en assemblage zijn van belang omdat zij in belangrijke mate bijdragen aan het oplossen van het probleem van bouw- en sloopafval en zorgen voor een verlenging van de levensduur.

Zoals eerder gezegd kan het skelet in diverse materialen worden uitgevoerd. In het algemeen kan men zeggen dat de flexibiliteit toeneemt naarmate de afmetingen van de onderdelen van de draagconstructie kleiner zijn.

In beton neemt een opeenstapeling van kolomconsole, ligger en vloer veel ruimte in (zie fig. F.1). Een paddestoelvloer zonder console zorgt voor meer flexibiliteit bij de plaatsing van andere bouwdelen (fig. 3.15).

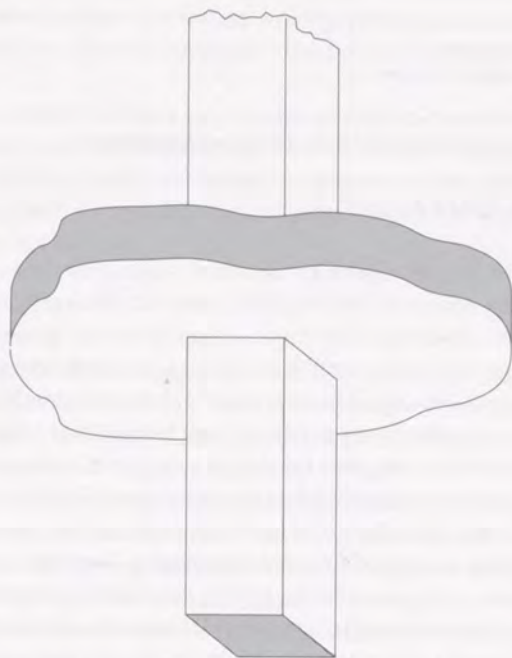


Fig. 3.15 Skelet in beton: paddestoelvloer

Ook in staal is een opeenstapeling van kolomconsole, stalen ligger inclusief brandwerende voorziening en vloer minder flexibel. Een kanaalplaat of *deep-deck*-staalplaatbetonvloer in combinatie met een geïntegreerde ligger geeft meer flexibiliteit (fig. 3.16).

De afmetingen en plaatsing van de kolommen zijn van invloed op de flexibiliteit. Voor middenkolommen van geringe afmeting is het bij woningbouw meestal wel mogelijk een indeling te vinden, waarbij de kolom in de wanden wordt opgenomen of op een niet hinderlijke plaats terechtkomt. Gevelkolommen kunnen het raster van de gevel beïnvloeden. Het is interessant te zien hoe in Zweden bewust gekozen wordt voor een zodanige kolomafstand in de gevel dat de kolomafmetingen integratie van de gevelelementen mogelijk maken. Het gevolg is een gladde binnenzijde van de gevel waarbij men volledig vrij is om woningscheidende binnenwanden aan te sluiten (fig. 3.17).

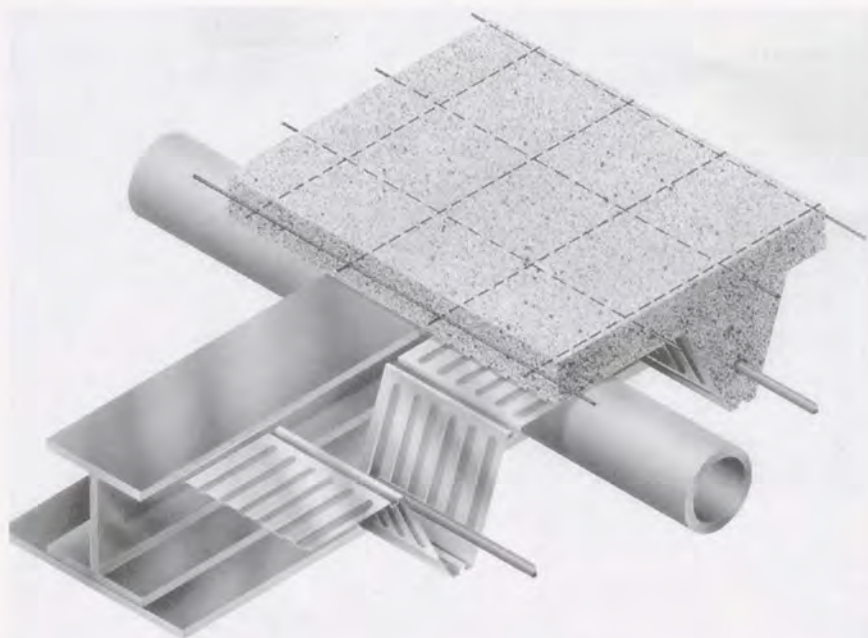


Fig. 3.16 *Skelet in staal: deep-deck-staalplaatbetonvloer*

Zoals uit tabel 3.2 blijkt is de vloer het enige bouwdeel waarbij de functies dragen en scheiden niet los van elkaar te verwezenlijken zijn. In de woningbouw worden veel betonvloeren gebruikt met zodanige afmetingen dat de massa voldoende is om aan de minimale eisen van lucht- en contactgeluidsisolatie te voldoen. Een hoger eiseniveau zou het wooncomfort overigens sterk ten goede komen. Uit het oogpunt van geluidsisolatie is een zware vloer niet per se noodzakelijk. Ervaringen in lichte bouwmethoden zoals houtskeletbouw en staalframebouw bewijzen dat ook zonder massa wanden en vloeren ruimschoots aan de eisen van geluidsisolatie kunnen voldoen. Deze lichte vloeren hebben het voordeel dat zij aanzienlijk eenvoudiger van uitsparingen kunnen worden voorzien dan zware vloeren met een monoliet karakter. Dit draagt zeker bij tot een vorm van flexibiliteit bij de verticale doorvoer van leidingen.

Vaak wordt beweerd dat de aanwezigheid van massa, dat wil zeggen zwaar bouwen, een gunstig effect zou hebben op het energiegebruik van gebouwen. Recent onderzoek door Ove Arup en het Engelse Steel Construction Institute toont aan dat dat niet of nauwelijks het geval is [Cousins en Lang, 1996; Barnard en Ogden, 1996]. In Zweden experimenteert men met licht in plaats van zwaar bouwen (fig. 3.18). Een dergelijke constructie met een staalskelet en lichte stalen vloeren is in woningen toegepast en voldoet aan de eisen voor geluidsisolatie (59 dB). Dit type heeft het voordeel dat men het met een grote maatnauwkeurigheid kan prefabriceren. Mede door de volledig droge verbinding kan dit vloerelement ook eenvoudig gedemonteerd worden, hetzij voor direct hergebruik of voor recycling. Het behoeft geen betoog dat met een dergelijke vloer de flexibiliteit en de aanpasbaarheid sterk vergroot worden.

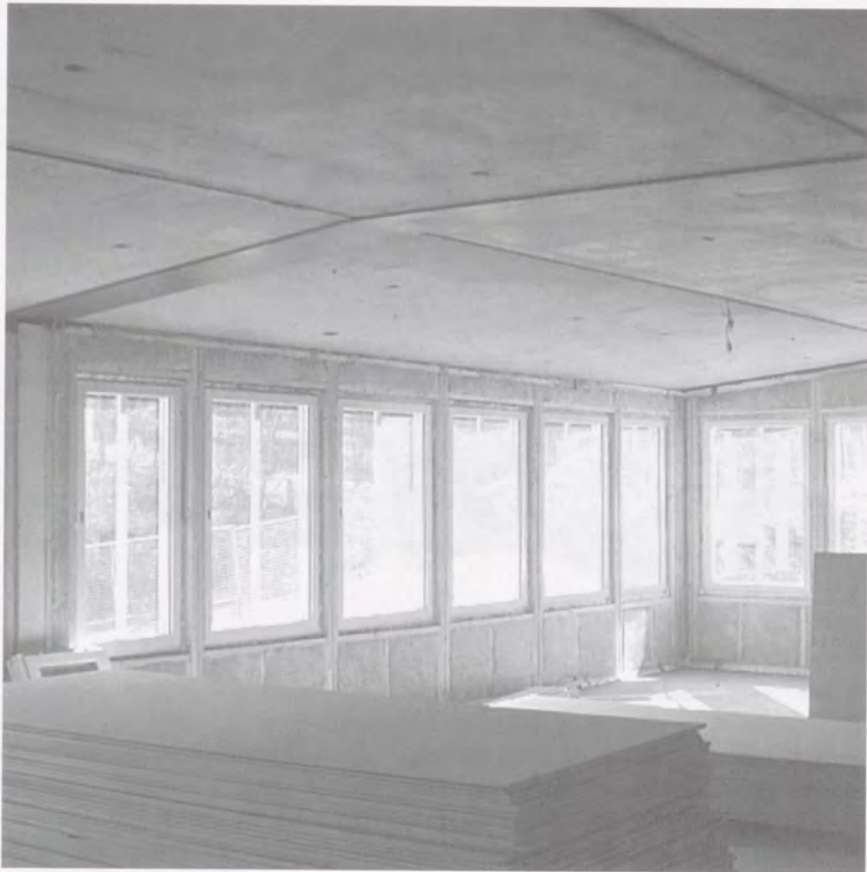


Fig. 3.17 Kolommen zodanig geïntegreerd in de gevel dat een vlakke binnenkant ontstaat

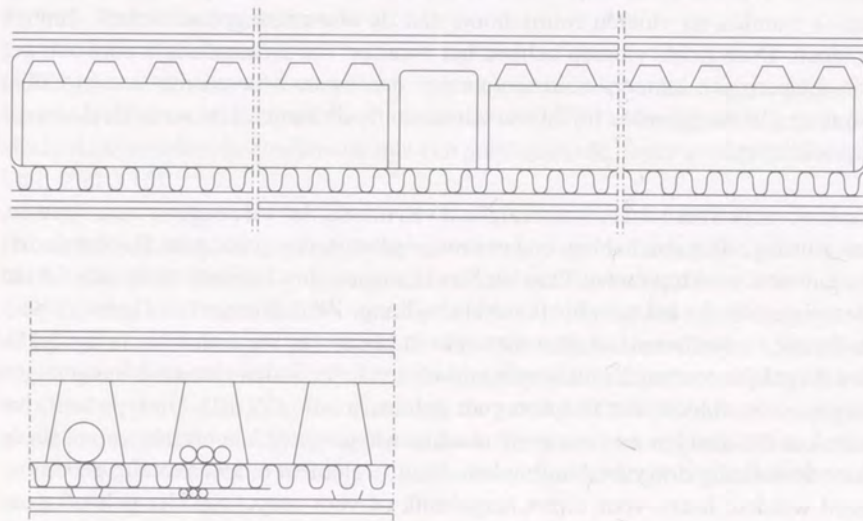


Fig. 3.18 Zweedse vloer: staalskelet en lichte stalen vloeren

Ook uit een Frans voorbeeld blijkt dat het belang van veranderbaarheid in toenemende mate onderkend wordt (fig. 3.19). Een organisatie die woongebouwen ontwikkelt, bouwt en beheert, acht de voordelen van veranderbaarheid zo groot dat zij voor de draagconstructie van nieuw te bouwen woningen een skelet kiest dat vooral in de kantorenbouw zeer veel wordt toegepast: stalen kolommen, stalen liggers en staalplaatbetonvloeren. Men vindt het geen bezwaar dat daarbij een op zich zelf volledig veranderbaar plafond nodig is. De kosten wegen op tegen de voordelen van de verkregen veranderbaarheid.



Fig. 3.19 Frans voorbeeld: stalen kolommen, stalen liggers, staalplaatbetonvloeren voor woningen in La Rochelle

Halmos [1996] gaat nog een stap verder in het denken over de voordelen van flexibiliteit en aanpasbaarheid. Hij brengt een scheiding aan tussen de draag- en scheidingsconstructie en tussen de massa voor koelen en verwarmen door deze massa onafhankelijk van de constructie te maken en buiten het gebouw te plaatsen. Hierdoor kan het gebouw materiaalextensief, dus licht gebouwd worden. Dat opent perspectieven voor nieuwe bouwontwerpen in lichte, geprefabriceerde elementen met een hoge maatnauwkeurigheid. Deze ontwerpen kunnen alle mogelijke veranderingen aan. Ze zullen vooral hoge prestaties leveren op het gebied van het milieu, gezien de eigenschappen van staal en andere lichte materialen.

CONCLUSIE

Voor woongebouwen telt de strategische waarde het zwaarst. Veranderingen in opbouw en samenstelling van de bevolking, in besteedbaar inkomen, in voorzieningen en mobiliteit zorgen ervoor dat flexibiliteit en aanpasbaarheid belangrijk zijn voor de kwaliteit van de woningvoorraad. Tot nu toe speelden bij het ontwerpen van woningen flexibiliteit en aanpasbaarheid nauwelijks een rol. Dit blijkt uit de

draagconstructie die in woongebouwen het meeste wordt toegepast, de raat. Deze constructie maakt het vrijwel onmogelijk om op één verdieping tot een andere mix van woningtypen te komen. De gegroeide onbalans tussen voorzieningen en de bewoners van wijken kan niet meer worden rechtgetrokken vanwege te weinig flexibele en aanpasbare bouwontwerpen voor woongebouwen van drie tot vijf lagen in de jaren voor en na de Tweede Wereldoorlog.

Als de bestaande verdieping niet kan worden aangepast, is optoppen een voor de hand liggende oplossing voor het gebrek aan flexibiliteit en aanpasbaarheid van de oude draagconstructie. Deze constructie blijkt in het algemeen voldoende marge te hebben voor het dragen van de extra laag.

Ontwerpen zoals de doos en vooral het skelet worden nog relatief weinig toegepast in Nederlandse woongebouwen, hoewel ze voor de woningbouw uit het oogpunt van flexibiliteit en aanpasbaarheid voor de hand liggen. Het meer toepassen van deze constructies zou de economische en ecologische waarde van de voorraad woongebouwen doen toenemen. Immers, wat en op welke manier zal veranderen is niet bekend; wel is zeker dat er dingen zullen veranderen. De ontwerper heeft de plicht daarmee in zijn ontwerp rekening te houden. Dat geldt zeker voor de draagconstructie.

Referenties

- BARNARD, N., R. OGDEN, *The thermal capacity of steel framed buildings*, Oscar Faber Consulting Engineers, Oxford Brookes University, symposium van The Steel Construction Institute, Ascot, 1996
- COUSINS, F., B. LANG, *Aspects of structural and thermal mass*, Ove Arup & Partners, symposium van The Steel Construction Institute, Ascot, 1996
- HALMOS, G.G.B., *Innovaties voor installaties*, Duurzaam bouwen, nr. 6, december 1996

3.3.4 BEHEERSASPECTEN VAN VERANDERBARE HUURWONINGEN

*ir. A.A. Koedam**

Veranderbaarheid heeft te maken met het gebruik van ruimten en componenten of een mix van deze twee. Veranderbaarheid van ruimten betekent dat vooraf eisen zijn gesteld aan de ruimten, zodat flexibel gebruik of optimaal gebruik mogelijk is. Deze eisen kosten in principe geld. Veranderbare componenten houden bijvoorbeeld in dat onderdelen uitwisselbaar, verplaatsbaar, uitbreidbaar zijn.

Veranderbaarheid wordt gewenst vanuit de volgende invalshoeken:

1. Inspelen op de wensen van gebruikers – in dit geval van bewoners – bij de ingebruikneming.
2. Inspelen op veranderende wensen van bewoners tijdens het gebruik met de bedoeling de bewoner langer in de woning te laten wonen (groeien van de woning, afstoten van ruimten, verhoogde kwaliteitseisen).

* Albert Koedam is coördinator Bouw- en Woonkwaliteit bij de Nationale Woningraad, een vereniging van circa 700 woningcorporaties.

-
3. Inspelen op veranderingen in de vraag door bijvoorbeeld demografische ontwikkelingen, zodat de woning geschikt is voor andere doelgroepen en of functies.

Het is noodzakelijk om dit onderscheid goed te maken. Hierbij is het de vraag of de tweede invalshoek uit het oogpunt van huisvesting prioriteit heeft. Langer wonen kan ongewenst zijn als de welvaart van de bewoners toeneemt (dit kan leiden tot een scheve verhouding tussen inkomen en huur; in België ligt dit anders omdat het eigen-woningbezit daar veel hoger is), onmogelijk zijn (door verandering van werkplek) of door andere factoren worden beïnvloed (buurtontwikkeling, enz.). De derde invalshoek speelt op dit moment het meeste voor beheerders. Als hieraan wordt voldaan, zijn overigens ook de andere twee impliciet mogelijk geworden.

PROBLEMEN MET EN OPLOSSINGSRICHTINGEN IN HET BEHEER

Uit het oogpunt van de beheerder van woningen zijn er verschillende problemen die veranderbaarheid op het eerste gezicht tegenhouden.

Financieel

Zoals hiervoor al is gesteld, kost veranderbaarheid geld. Hogere kosten zijn zeker, de baten zijn minder zeker. Dit betekent dat er betaalbare oplossingen moeten komen, bijvoorbeeld:

- een scheiding tussen de 'basishuisvesting' en aanvullingen daarop of wensen van bewoners (bijv. in casco – inbouw);
- andere constructies voor de financiering van componenten (bijv. door een lease-prijs die is gebaseerd op een andere afschrijvingsperiode, op niet-benutting, op restwaarde);
- compensatie op grond van maatschappelijke inverdieneffecten in de vorm van een 'groene hypotheek', lagere BTW en dergelijke.

Technisch

De beheerder of de hurende bewoner kunnen veranderingen aanbrengen. In het geval van de beheerder of verhuurder spelen vooral financiële en organisatorische aspecten een rol. Als de bewoner de verandering aanbrengt zijn er technische eisen en voorwaarden te stellen aan de uitvoering en moet men ervan uitgaan dat het gehuurde bij vertrek niet teruggebracht hoeft te worden in de oude staat. Over de technische uitvoering moeten afspraken worden gemaakt. Een mogelijke uitvoering door de bewoner zelf kan beperkt blijken te zijn door gebrek aan vakbekwaamheid.

Organisatorisch

Veranderbaarheid heeft ook andere consequenties, zoals de noodzaak om de componenten te beheren. Er is een buffervoorraad nodig; dit kan een bijkomende taak voor de beheerder zijn of een nieuwe marktdienst.

Als de verandering in de woning een aanvullende dienstverlening is, ontstaat de behoefte aan servicediensten.

Als de verandering de omvang van de woning betreft moeten de gebruikskosten worden geregistreerd en kunnen worden doorberekend, bijvoorbeeld het energiegebruik op 'vertrekniveau'.

Er is voorlichting nodig en huurders en bewoners moeten informatie krijgen en worden begeleid.

Administratief

Er is een duidelijke juridische en administratieve scheiding nodig tussen de verantwoordelijkheden en de rechten van beide partijen. Er kan meer differentiatie in contractvormen ontstaan. De overeengekomen huur- en dienstenpakketten moeten worden geregistreerd.

Het ligt in de lijn der verwachting dat huurwoningen in toenemende mate veranderbaar zullen zijn. Onder andere Woningbedrijf Het Oosten in Amsterdam en Woningstichting SWS in Eindhoven bieden huurders reeds de mogelijkheid om een 'kaal' casco te huren en daarin hun eigen inbouw te plaatsen.

3.4 HET VERANDERBARE KANTOOR

*H.R.J. van der Kluit**

Bijna wekelijks verschijnen artikelen met titels zoals 'de werkplek van de toekomst', 'kantoomoaden' en 'het klapstoelkantoor'. Nieuwe kantoorinrichtingsprojecten krijgen brede aandacht, omdat dankzij de mogelijkheden van de informatietechnologie nieuwe inrichtingsconcepten tot stand kunnen worden gebracht. De proeven van de Rijksgebouwendienst in Haarlem en Arnhem, het nieuwe kantoor van verzekeraar Interpolis in Tilburg, maar ook het opzetten van een 'hotelkantoor' in het monumentale pand van het voormalige Rijksarchief in Den Haag worden in kranten en vakliteratuur uitvoerig besproken.

Er zijn twee belangrijke motieven die deze bijzondere aandacht rechtvaardigen:

- nieuwe informatietechnologie en mobiele telecommunicatie-apparatuur maken het anders omgaan met werkplekken mogelijk;
- de huisvesting van de organisatie en de werkprocessen in de organisatie worden steeds vaker integraal bekeken waardoor *facility management* steeds meer onderdeel gaat uitmaken van het primaire proces.

Het fileprobleem in de Randstad in combinatie met het groeiende milieubesef versterkt de discussies om op een andere wijze over werkplekken na te denken. De kreet 'je werkt waar je bent' wordt steeds vaker gehoord.

3.4.1 INRICHTING VAN DE WERKPLEK

*H.R.J. van der Kluit***

Organisaties wijzigen in hoog tempo. Bezinning op de bedrijfsprocessen vereist in veel organisaties de nodige aanpassingen. Bij het herontwerp wordt vanzelfspre-

* Voor auteursgegevens zie par. 3.1.

** Voor auteursgegevens zie par. 3.1.

kend veelvuldig gebruik gemaakt van de nieuwe technische mogelijkheden. De gevolgen van het toepassen van deze nieuwe technieken zijn in de huisvesting inmiddels te merken en leiden ertoe dat nieuwe inrichtingsconcepten in bestaande en in nieuwe panden worden beproefd.

Bij het lezen van de artikelen over nieuwe ideeën voor de werkplek is het opmerkelijk dat er (nog) weinig waarde-oordelen worden uitgesproken over deze nieuwe ideeën. Daarvoor is het blijkbaar nog te vroeg en zijn de ervaringen nog te vers, maar het is wel duidelijk dat wanneer deze inrichtingstrend doorzet andere eisen aan gebouwen worden gesteld. Het woord 'gebouwen' is hier bewust gekozen omdat met het gebouw een traditioneel kantoor kan zijn bedoeld, maar ook de eigen woning of een satellietkantoor dat als telewerkplek door verschillende bedrijven kan worden gebruikt of een hotelkantoor waar je de beschikking krijgt over een kamer met bureau en (digitale) voorzieningen.

ENKELE TRENDS

In de markt voor kantoorinrichting zijn enkele trends te onderscheiden:

- Organisaties worden steeds kritischer teneinde passende huisvesting te vinden tegen aanvaardbare kosten.
- Passende huisvesting bestaat uit een optimaal gebruik van oppervlakte en een gebouwkwaliteit die bij de organisatie past of simpel aan te passen is.
- Een groeiend milieubesef vraagt om energiezuinige gebouwen met een goed binnenklimaat en (bouw)materialen die het milieu weinig of niet belasten.
- Onderhoud mag eigenlijk niets kosten en wordt – indien toch nodig – zoveel mogelijk uitbesteed aan gespecialiseerde bedrijven.

Deze ontwikkelingen hebben grote gevolgen voor de manier waarop organisaties omgaan met hun huisvesting.

ENKELE INRICHTINGSCONCEPTEN

Van Wagenbergen en Wilmes [1995] onderscheiden vier nieuwe inrichtingsconcepten, namelijk het kloosterkantoor, het combikantoor, het groepskantoor met wisselwerkplekken en het hotelkantoor. Deze concepten verschillen wezenlijk van het traditionele cellenkantoor (kamers links en rechts van de gang) en het groepsruimte kantoor uit de jaren zestig (grote ruimten waarin soms wel meer dan 40 mensen zijn gehuisvest in tal van verschillende opstellingen en inrichtingen).

Cellen- en groepsruimte kantoren passen niet meer bij de huidige werkprocessen. Tegenwoordig wordt steeds meer in (wisselende) teams gewerkt; er wordt veel meer overlegd dan vroeger. Men ontmoet elkaar vaker op informele wijze. Werkplekken zijn steeds minder bezet: men overlegt, is bij de klant, heeft verlof of is ziek. Bezettingspercentages van meer dan 50% van de normale kantoor tijd komen steeds minder voor. Bij de steeds hoger wordende kosten per m² kantoorruimte is het logisch dat naar nieuwe ruimtebesparende inrichtingsvarianten wordt gezocht.

Kloosterkantoor

In dit concept (fig. 3.20) is ruimte voor gezamenlijke activiteiten, maar daarnaast kan ieder zich terugtrekken in een 'cel' voor geconcentreerd werk. Het geheel bestaat uit een kantoorruimte gecombineerd met een aantal (kleine) ruimten voor geconcentreerd werk.

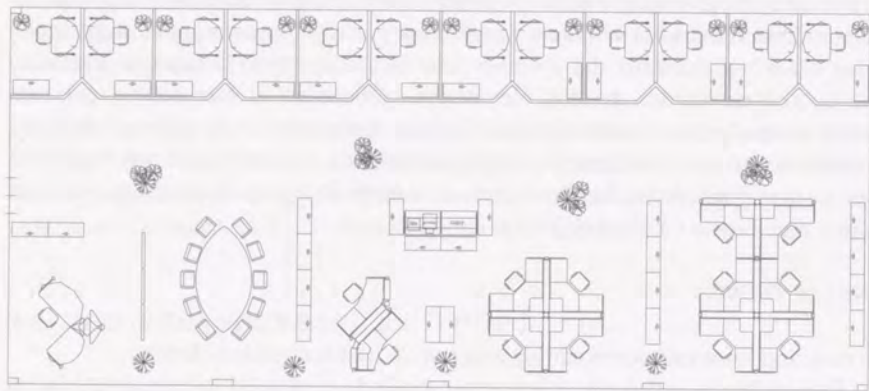


Fig. 3.20 Kloosterkantoor

Combikantoor

In het combikantoor (fig. 3.21) is uitgegaan van het idee dat iedereen beschikt over een eigen kleine werkruimte. Voor gezamenlijke activiteiten beschikt men over een gemeenschappelijke, bij voorkeur centrale ruimte. Van Wagenbergen vergelijkt deze ruimte met een marktplein, waar men elkaar ontmoet en overlegt.

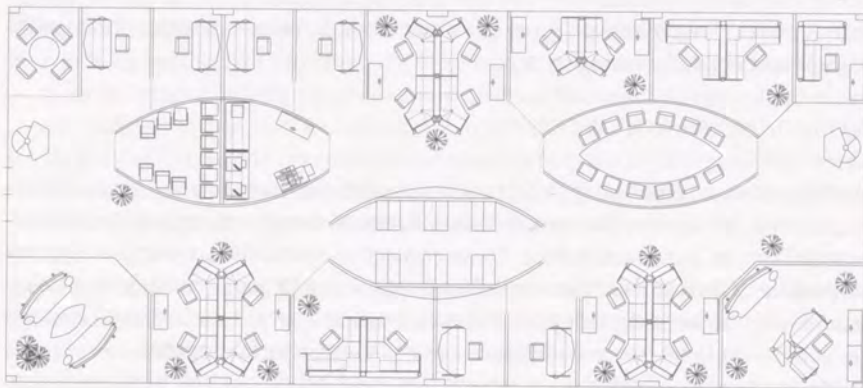


Fig. 3.21 Combikantoor

Groepskantoor met wisselwerkplekken

In dit model (fig. 3.22) wordt rekening gehouden met het feit dat het zelden of nooit voorkomt dat iedereen tegelijk op kantoor is. Een beperkt aantal vaste werkplekken in combinatie met *shared desks* vraagt een specifieke inrichting. Centraal beheerde archieven en goed verstelbaar meubilair zijn voorwaarden voor een goed groepskantoor met wisselwerkplekken.

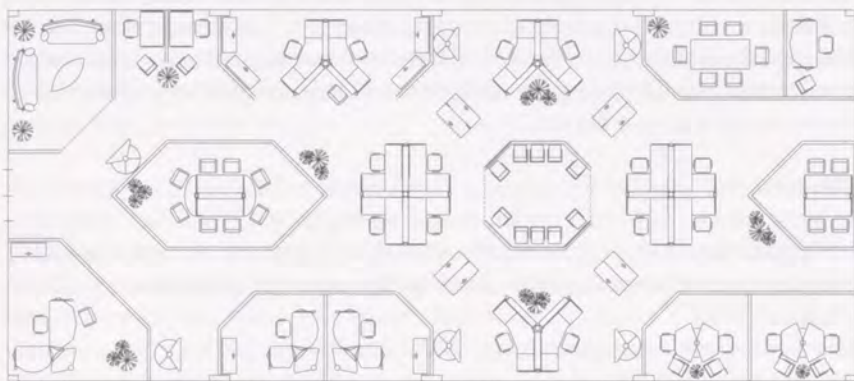


Fig. 3.22 Groepskantoor met wisselwerkplekken

Hotelkantoor

In dit vierde model (fig. 3.23) is de vergelijking met een hotel eenvoudig te maken. Er worden standaardkamers met de benodigde faciliteiten ter beschikking gesteld. Men reserveert een kamer bij de receptie en rekt af bij vertrek. Een modern zaken centrum zou op deze wijze opgezet kunnen worden.

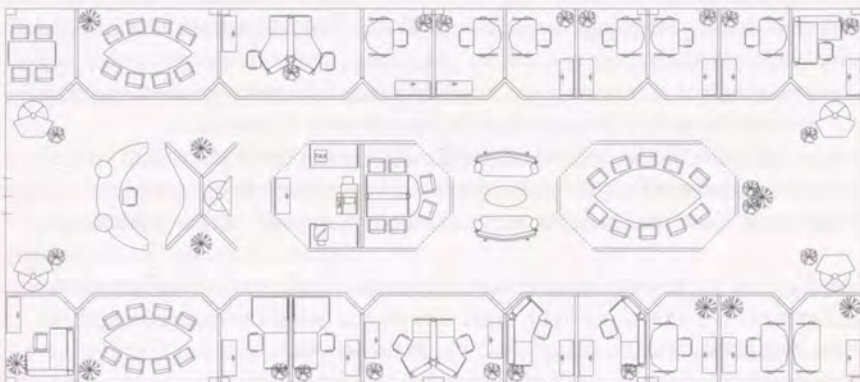


Fig. 3.23 Hotelkantoor

HET BESTE GEBOUW

Het werkproces bepaalt welk type gebouw het beste bij de organisatie past. Het beste gebouw is een gebouw dat alle processen waarmee een werknemer op een kantoor te maken heeft (wonen, werken op kantoor en recreëren) kan bevatten. Het beste kantoor kan alle zes hiervoor genoemde indelingsconcepten bergen. Bij het ontwerp van een gebouw moet zoveel mogelijk rekening worden gehouden met alle

mogelijke inrichtingsconcepten; daarnaast moet voor die materialen worden gekozen die het gebouw zo flexibel mogelijk maken. De waarde van deze panden blijft in de tijd het beste op peil.

TEN SLOTTE

Gebouwen worden gebouwd om enkele decennia een bepaalde functie te vervullen. Die functie is echter niet meer zoals vroeger dertig jaar vooruit te voorspellen. De meest-gevraagde gebouwen zijn die gebouwen die snel aanpasbaar zijn qua inrichting, uitbreiding en inkrimping. In zo'n gebouw is een werkplek het gemakkelijkste in te passen en daar gaat het om.

Referentie

- WAGENBERGEN, A.F. VAN, R. WILMES, *Het beproeven van nieuwe inrichtingsconcepten voor kantoren*, Facility Management Magazine, pp. 12-17, februari 1995

3.4.2 TELEWERKEN

*prof.dr.ir. J. Delrue**

De mens verdient zijn kost met werken. Ooit was de werkplek voor de meeste mensen hun woning of de onmiddellijke buurt ervan. De boer bewerkte land rond zijn hoeve, maar ook de wever fabriceerde zijn laken in de voorkamer van zijn huis. De eerste industriële revolutie rond 1750 heeft daarin verandering gebracht. Diepeveen en Benes [1978] hebben deze industriële revolutie procesmatig beschreven in het volgende model:

1. Mechanisatie: het invoeren van krachtbronnen en vernuftige werktuigen.
2. Concentratie: productieapparatuur bijeengebracht in fabrieken.
3. Specialisatie: zich toeleggen op deelprocessen van de productie.
4. Coördinatie: afstemmen van deelprocessen en onderdelen.
5. Standaardisatie: productie voor een markt, ontkoppeld van een bestelling.

Inderdaad, in de meeste nieuwe industrietakken heeft een of andere vorm van mechanisatie het proces ingeleid, maar vervolgens ook tot concentratie geleid:

- het weeftoestel (Mule Jenny) voor de textiel fabriek;
- de draaibank voor de mechanische ateliers en fabrieken;
- de naaimachine (Singer) voor confectieateliers;
- de typemachine (Remington) voor kantoren.

De concentratie was een gevolg van het gebruik van stoom of andere aandrijfkraft, later elektriciteit en gaandeweg andere centripetale krachten (kapitalisme, bankwezen).

* Voor auteursgegevens zie par. 3.3.

De tweede industriële revolutie werd voortgestuwd door diverse vormen van elektriciteit. Netwerken voor transport van elektrische kracht en netwerken voor telefonie kwamen tot stand. Tegelijk met de sterke verstedelijking die hiermee gepaard ging ontstonden geheel nieuwe transportmiddelen (de trein rond 1820, de automobiel rond 1900) die een geheel nieuwe stedenbouw uitlokten.

Het 'Charte d'Athenes', het resultaat van de vooroorlogse CIAM-congressen [1933] is hiervan de meest herkenbare uitdrukking; lineaire grote verkeersassen ('de lineaire stad') moesten de chaotisch geworden moderne steden hervormen. Thans is door de enorme toename van het aantal personenauto's en het vrachtvervoer het verkeer zelf een sterk contraproductieve factor geworden, die bovendien een der belangrijkste vervuilers is.

Het model van Diepeveen en Benes kent het begrip 'informatica' (nog) niet. Maar in de derde industriële revolutie – die van de informatica – kan worden gesleuteld aan het toenemende woon-werkverkeer. Voor veel arbeid is de verplaatsing naar en van een vaste werkplek in het bedrijf niet langer nodig. Het product van veel arbeid heeft nu een digitale vorm (teksten, tabellen, data).

Daartegenover staat wel dat modern kantoorwerk (management, instructie, overleg) in toenemende mate vergadertijd vraagt. Maar ook hier kan de moderne techniek (integratie van spraak en beeld, teleconfereren) een vergadering op afstand en in uitstekende omstandigheden realiseren. Bovendien is hierbij het aantal locaties en de onderlinge afstand van de diverse deelnemers geen fundamenteel probleem meer. Men mag zelfs aannemen dat binnen zeer afzienbare tijd de betrokken techniek betrouwbaar en betaalbaar zal zijn.

De derde reden voor een concentratie van arbeidsplekken – vooral in kantoren en fabrieken van hoogwaardige technieken – was dat de toegang tot informatie (archieven, brevetten, databanken) vaak streng gereguleerd en bewaakt werd. Ook hier heeft de techniek ongelooflijke vooruitgang geboekt waardoor nu op veilige wijze enorme bestanden doelmatig en discreet op afstand kunnen worden geraadpleegd (via cryptografie en intranetten).

Technisch mag men voor het eerst sinds het begin van de industriële revolutie aannemen dat tegenover een verdere concentratie van arbeidsplaatsen een tegenbeweging ontstaat in de vorm van telewerken, het werken op min of meer (grote) afstand van het betrokken bedrijf.

Minstens drie zeer verschillende varianten tekenen zich reeds af:

- de digitale werkplek thuis;
- de werkplek in hotelkantoren (par. 3.4.1) in de buurt van woonwijken waarheen men zonder verkeershinder kan fietsen of lopen;
- telewerken op grote afstand: waar vroeger arbeidsintensieve laaggeschoolde arbeid migreerde naar lage lonenlanden (bijv. textielarbeid) merkt men nu een gelijkaardige trend voor witte-boordenwerk. Het gaat daarbij vaak om hooggeschoolde arbeid (bijv. software-ontwikkeling). Het tijdsverschil tussen continenten is hierbij zelfs een troef.

Aan elk van deze vormen van telewerken kan men belangrijke sociale dimensies toevoegen. De grote mutatie van ambachtelijk huishoudelijk werk naar werken in kantoor of werkplaats heeft niet alle sociale groepen in de samenleving hierbij even

sterk betrokken. Het digitale telewerken zou hier een dubbel interessante correctie kunnen aanbrengen.

Een kleine groep, de mensen met een motorische handicap, is alle loffelijke inspanningen ten spijt niet volwaardig betrokken bij de klassieke arbeidstaken in fabriek of kantoor. Transport, veiligheid en fysieke drempels zijn even zovele vaak niet te nemen hindernissen die de gehandicapte meestal buiten het arbeidscircuit houden. Het is evident dat een adequaat uitgeruste werkplek in de eigen, liefst flexibele woning andere perspectieven biedt. Het is trouwens opvallend hoe frequent telewerken in combinatie met handicaps in recente literatuur ter sprake komt. De toenemende emancipatie van vrouwen, vooral via deelname aan de diverse vormen van hoger onderwijs betekent ook dat zij toegang hebben tot alle vormen van beroepsactiviteit. Dit betekent echter nog niet dat de maatschappij de beroepsmodaliteiten (loopbaan, werkuren) aan vrouwen heeft aangepast. De bijzondere taken die een familie stelt aan een werkende vrouw kunnen onder andere door telewerken in een nieuw daglicht worden bekeken. Loopbaanverschuiving, glijdende werkuren en duobanen kunnen opnieuw worden geformuleerd voor vrouwen, maar evenzeer voor hun partners.

Telewerken vraagt nieuwe bouwconcepten, zoals hotelkantoren waar kamers met complete werkplekken en teleconferentiekamers beschikbaar zijn. In deze hotelkantoren kan ieder zoals in een hotel een of meer ruimten reserveren voor bepaalde werkuren. In principe kan de telewerker zelf zijn arbeidsuren bepalen. In het klassieke kantoor zijn werkuren veelal collectief bepaald, of hooguit enigszins glijdend. Er is steeds enige vorm van groepsdiscipline. De telewerker heeft uiteraard veel meer inspraak in zijn tijdsbesteding, mits er enige afspraken over zijn bereikbaarheid zijn gemaakt. Er gaan zelfs stemmen op om oudere werknemers niet langer min of meer op de vaste pensioenleeftijd uit het productieproces te stoten, maar hun rijke ervaring of bijzondere bekwaamheid optimaal te blijven gebruiken via part-time telewerkformules. Het hoeft dan ook niemand te verbazen dat deze ontwikkeling in vakbondskringen met een zekere argwaan wordt gevolgd.

Van groot belang is wel dat de locatie van dergelijke hotelkantoren in de stad in de piekuren van het stedelijk verkeer in tegenstroom heel vlot te bereiken zijn. Idealiter is een hotelkantoor een bouwlaag in een woongebouw of een specifiek gebouw midden in een woonwijk, zodat de werkplek al wandelend of fietsend te bereiken is.

Telewerken thuis stelt ook nieuwe eisen. Het is meer dan het zetten van een werkstation op een keukentafel. Een bijzondere werkhoek, zelfs een polyvalente aparte kamer met de nodige domotica en met akoestische afscheiding is wenselijk. Omdat de werkplek thuis slechts in bepaalde gevallen voor een beperkte levensfase en tijdens een beperkt en niet continu tijdsbestek wordt gebruikt, wordt hier een nieuw licht geworpen op aanpasbaarheid en flexibiliteit van woningen.

Referenties

- CONGRÈS INTERNATIONAUX D'ARCHITECTURE MODERNE (CIAM), *La charte d'Athenes*, weerslag van het 4e congres, Athene, 1933

-
- DIEPEVEEN, W.J., J. BENES, *Produktmanagement in het bouwbedrijf*, Deventer, 1978

3.4.3 KLIMAATINSTALLATIE

*prof.ir. P.G.S. Rutten**

Om het hele jaar aan de prestatie-eisen ten aanzien van gezondheid en behaaglijkheid te kunnen voldoen, zijn in ons klimaat zowel het deelontwerp schil als het deelontwerp klimaatinstallaties van groot belang. De bouwfysische aspecten van de schil (zoals warmte-isolatie en zonwering) scheppen dan het kader waarin de klimaatinstallatie haar hoofdfuncties kan vervullen: het op peil houden van het beoogde thermisch comfort en de gewenste luchtkwaliteit. De toegepaste technieken voor thermisch comfort zijn verwarmen, koelen, bevochtigen en ontvochtigen, en voor de luchtkwaliteit lucht toevoeren, afvoeren en reinigen. Afhankelijk van de gekozen klimaatinstallatie wordt een aantal van deze technieken toegepast. De selectie van deze technieken en vooral ook de capaciteit van ieder van die deelinstallaties zijn sterk medebepalend voor de mogelijke prestaties van een gebouw op het gebied van gezondheid en behaaglijkheid.

VERANDERBAARHEID VAN DE KLIMAATINSTALLATIE

Voor de klimaatinstallatie (fig. 3.24 geeft de plaats in het model) zijn de volgende mogelijke veranderingen in prestatie relevant:

1. *ad basale waarde*. Er kunnen hogere eisen worden gesteld aan de kwaliteit van de werkomgeving vooral vanwege gezondheid en behaaglijkheid. De recente introductie in Nederland van de wetgeving over arbeidsomstandigheden is een voorbeeld. Maar ook de eisen die hoger personeel stelt aan de werkomgeving zullen van vele bestaande kantoorruimten aanpassing vergen.
2. *ad gebruikswaarde*. De functionele indeling en mix kan veranderen door bijvoorbeeld meer vergaderruimten, andere locaties van vergaderkamers, een hogere warmtelast door personen of apparatuur, herindeling, uitbreiding of afstoting van gedeelten van het gebouw. Veranderingen moeten aangebracht kunnen worden zonder de gewenste basale waarde aan te tasten.
3. *ad ecologische waarde*. Belangrijk is dat het ontwerp van de klimaatinstallatie rekening houdt met toekomstige hogere prestatie-eisen ten aanzien van de ecologische waarde van een gebouw door bijvoorbeeld toepassing van warmte-terugwinning, andere regelsystemen of mogelijkheden tot aansluiting op alternatieve energiebronnen. Ook hier moeten veranderingen aangebracht kunnen worden zonder de gewenste basale waarde aan te tasten.

* Voor auteursgegevens zie par. 3.2.

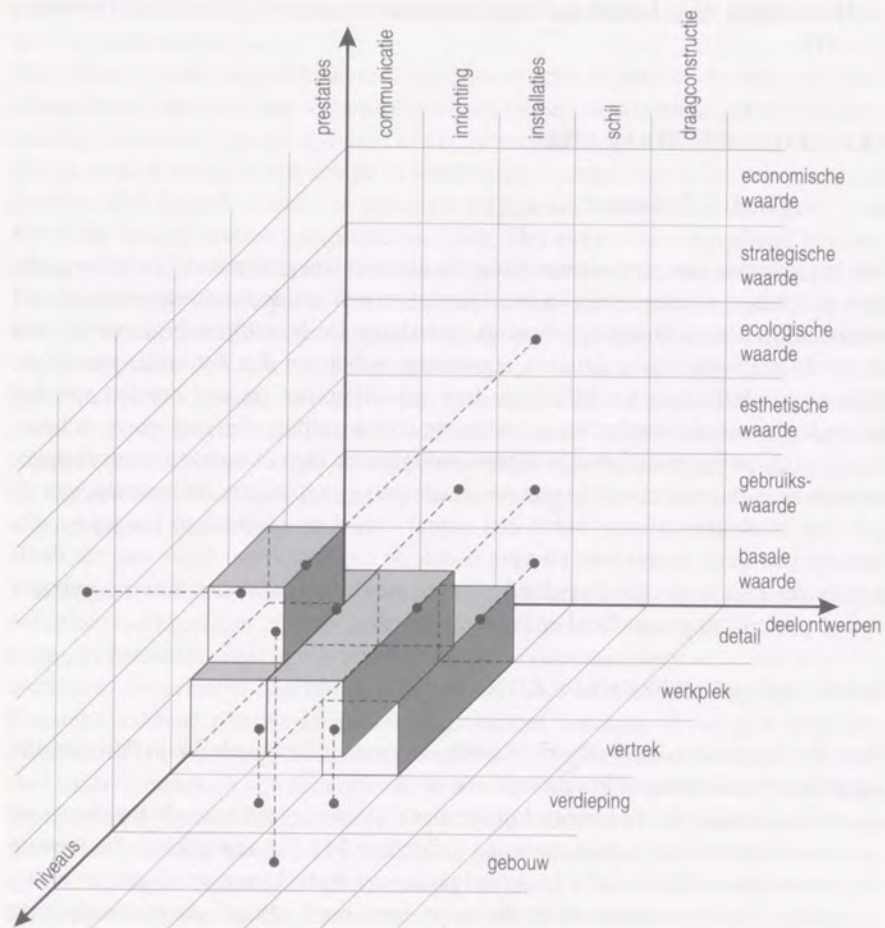


Fig. 3.24 Plaats van de paragraaf 'klimaatinstallatie in het kantoor' in het model

Tabel 3.5 geeft een overzicht van de aard van de veranderingen die van belang zijn voor een klimaatinstallatie en enkele voorbeelden van zulke veranderingen op gebouw-, verdieping-, vertrek- of werkplekniveau.

Vaak komen combinaties van de genoemde veranderingen voor. Zo kan een kantoorvertrek groter gemaakt worden (3) voor een vergaderkamer, hetgeen ook meer capaciteit van verse luchttoevoer en koeling vraagt (andere functievervulling en andere regeling; 2).

Aard van de verandering	Gebouw	Verdieping	Vertrek	Werkplek
1. Meer of minder functies (basale waarde)	Toevoegen van koeling in een centrale technische ruimte	–	Lokaal additionele koeling aanbrengen	–
2. Veranderen van functie				
– Hoger rendement (ecologische waarde)	Vervangen van bestaande ketel door een HR-ketel	–	–	–
	Aansluiten op alternatieve energie-opwekking (zonne-energie)	–	–	–
– Meer of minder capaciteit (gebruikswaarde)	Toevoegen van koelmachines in een centrale technische ruimte	Plaatsen van extra luchtbehandelingskasten	Additionele afgiftemodulen voor extra plaatselijke luchttoevoer of koeling	–
	Nieuwe luchtkanalen in verticale reserveschachten	–	–	–
– Andere zonering van de regeling (gebruikswaarde)	–	–	–	Verschaffen van individuele regeling
3. Veranderen van grootte of plaats van vertrekken; herindelen (gebruikswaarde)	–	–	Verplaatsen van toevoerroosters en regeling (thermostaat)	–
4. Veranderen van totale beschikbare ruimte; uitbreiden; afstoten (gebruikswaarde)	Aansluiten van nieuwe gebouwen op bestaande klimaatinstallatie	–	–	–
	Verkavelen van een gebouw voor een groter aantal gebruikers	–	–	–

Tabel 3.5 Mogelijke veranderingen in de klimaatinstallatie

Een hoge mate van veranderbaarheid van de klimaatinstallatie kan bereikt worden door de hele installatie te overdimensioneren, dat wil zeggen te berekenen op de mogelijke toekomstige prestatievraag op alle gebouwniveaus. Deze ontwerpaanpak leidt evenwel tot extreem hoge additionele investeringskosten en dito energiegebruik. Bovendien moet de klimaatinstallatie bij iedere verandering opnieuw worden ingeregeld, hetgeen kostbaar en tijdrovend is.

Een aantal nieuwe ontwerpbeginselen kan de klimaatinstallatie inherent veranderbaar maken zonder de noodzaak van excessieve overdimensionering. Deze beginselen kunnen op alle gebouwniveaus worden toegepast; vaak worden ze ook in combinatie met elkaar toegepast.

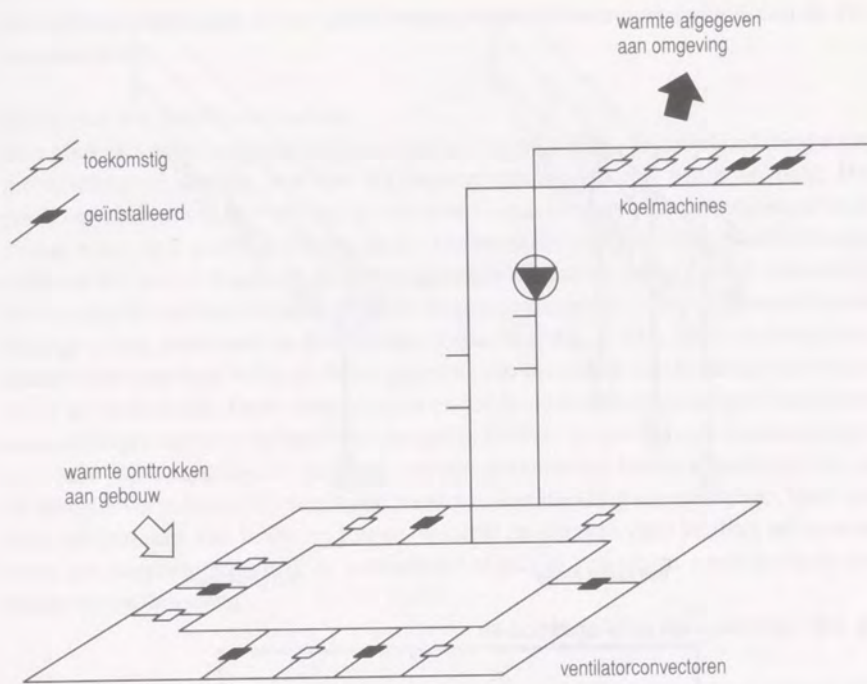
1. Modulariteit

Waar mogelijk bouwen we de installatie op uit identieke modules ('Legoblokken'). De grootte van deze modules wordt behalve door kostenoverwegingen vaak bepaald door overwegingen die betrekking hebben op (de)monteerbaarheid (ontwerpbeginsel 3). Bovendien is de grootte van bijvoorbeeld de afgiftemodules bepalend voor de minimum haalbare zonering.

Het belang van een modulaire bouwfilosofie beperkt zich niet tot de veranderbaarheid van de installaties. Ook prefabricage kan de bouwplaats veranderen in een montageplaats. Modulariteit en demonteerbaarheid (ontwerpbeginsel 3) kunnen de kosten van toekomstige renovatie, hergebruik of recycling drukken.

Modulariteit maakt het mogelijk om de vereiste capaciteit voor koeling of toevoer van verse lucht te verwezenlijken door aangroei van identieke modules. Wanneer zich een verandering in de prestatievraag voordoet, kan het aantal modules aangepast worden. Er behoeft dan slechts een geringe totale overcapaciteit (redundantie) te zijn terwijl bij overdimensioneren als ontwerpprincipe alle apparatuur op een mogelijke maximaal vereiste capaciteit ontworpen moet worden. Het is dus een economisch aantrekkelijke manier om veranderbaarheid mogelijk te maken.

Modulariteit is op alle gebouwniveaus van belang. De totale koelcapaciteit van een gebouw kan modulair opgebouwd worden met additionele aansluitpunten voor toekomstige machines (fig. 3.25). Ook kan de lokale verse luchtcapaciteit in een kantoorvertrek worden bereikt door het samenvoegen van identieke afgiftemodules (fig. 3.26).



additionele aansluitpunten in luchtdistributie

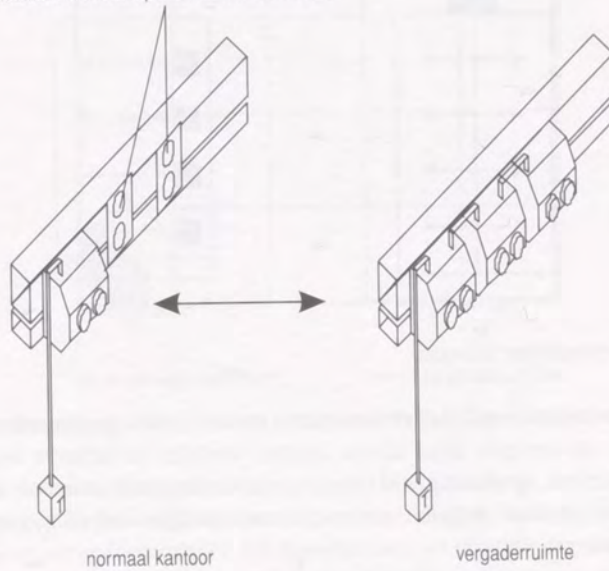


Fig. 3.25 Modulair opbouwen van capaciteit

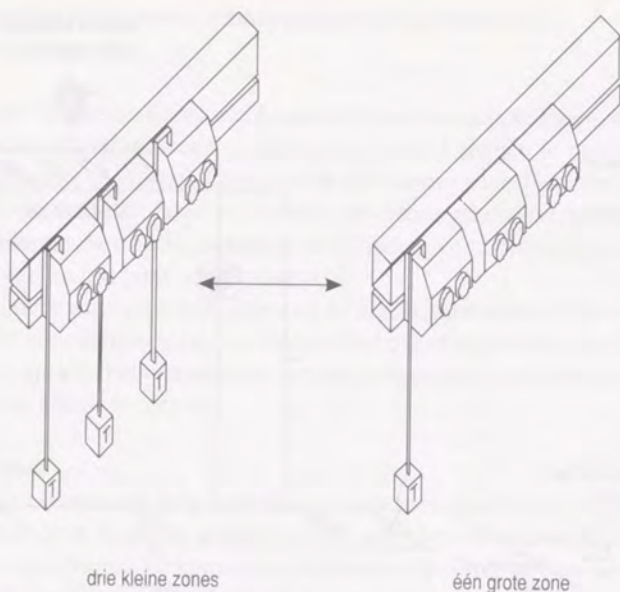


Fig. 3.26 Aanpassen van aantal afgiftemodulen

Een andere vorm van modulair opbouwen is decentralisatie van de luchtbehandelingskasten in een gebouw; deze kan belangrijk zijn voor de mogelijkheden van verkaveling van een gebouw (fig. 3.27).

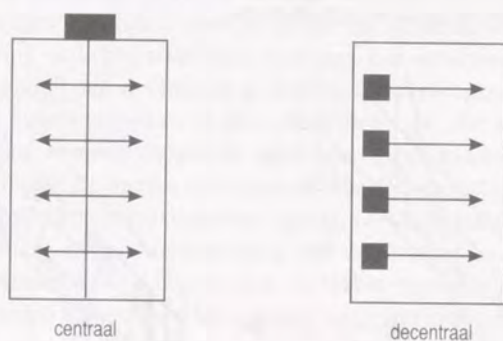


Fig. 3.27 Van centraal naar decentraal

Modulair ontwerpen maakt het ook mogelijk intelligente regelfuncties gestandaardiseerd onder te brengen. Niet alleen kunnen modules informatie terugkoppelen over hun capaciteit, doelmatigheid of energiegebruik op dat moment, ook kan men deze modules centraal regelen zodat een eenvoudige zonering van gebouwen mogelijk wordt.

2. Ontwerp van distributiesubsystemen

De distributiesubsystemen van klimaatinstallaties hebben ten doel energie te transporteren voor koeling of verwarming, en verse lucht voor ventilatie van het opwekkingspunt naar het afgiftepunt in de kantoorruimte. Het ontwerp van deze

distributiesubsystemen is van groot belang voor de veranderbaarheid van de klimaatinstallatie.

Keuze van het distributiemedium

Energie kan van het opwekkingspunt (ketel, koelmachine, luchtbehandelingskast) getransporteerd worden naar het afgiftepunt met behulp van water of lucht. Het grote verschil tussen deze media is de warmtecapaciteit per volumestroomeenheid, die bij water veel groter is dan bij lucht. Dit betekent dat waterdistributieleidingen veel minder plaats innemen dan luchtdistributieleidingen, maar vooral ook dat bij een geringe overdimensionering van leidingen al een groot voordeel behaald wordt in termen van maximaal te distribueren capaciteit (fig. 3.28). Waterdistributieleidingen zijn daardoor inherent beter geschikt om prestaties van koeling en verwarming te veranderen. Daar staat tegenover dat luchtdistributieleidingen juist beter veranderingen in verse luchttoevoer mogelijk maken. Vooral als men veranderingen verwacht in de functionele indeling van een gebouw die leiden tot wijzigingen in de vereiste verse luchttoevoer, is een luchtdistributieleiding noodzakelijk. Vaak ziet men combinaties van beide leidingen, waarbij de energie voor koeling of verwarming getransporteerd wordt in waterdistributieleidingen en de verse lucht in een luchtdistributieleiding.

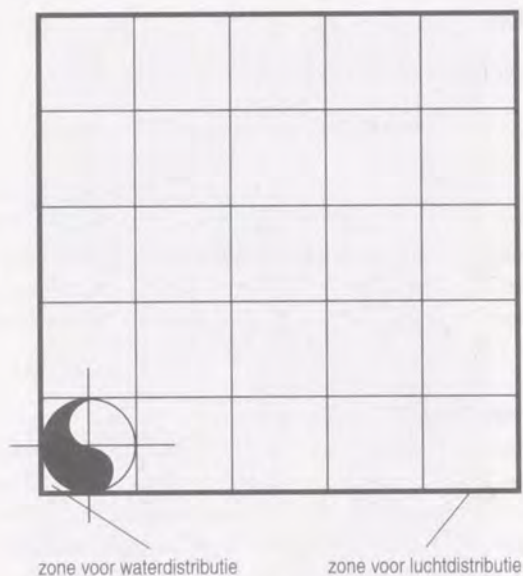


Fig. 3.28 *Vergelijking van de benodigde ruimte voor waterdistributieleidingen en luchtkanalen*

Configuratie van distributiesystemen

Hiervoor is al gewag gemaakt van overdimensioneren als aanpak bij het ontwerpen dat gericht is op veranderbaarheid. Dit kan evenwel tot onnodig hoge kosten leiden of – en dit is vooral belangrijk voor luchtdistributieleidingen – de kanalen worden te groot voor de beschikbare ruimte als een grote mate van veranderbaarheid in lokale capaciteit gewenst is. Een betere aanpak is een distributieconfiguratie kiezen die veranderbaarheid in zich heeft. Door per verdieping de gunstigste plaats voor de aansluitpunten van de verticale distributiekkanalen op de horizontale kanalen te

kiezen of door het aantal aansluitpunten te vergroten, neemt de aanpasbaarheid toe terwijl de grootte van de kanalen gelijk blijft. Of de afmetingen van de kanalen kunnen kleiner worden voor dezelfde aanpasbaarheid (fig. 3.29).

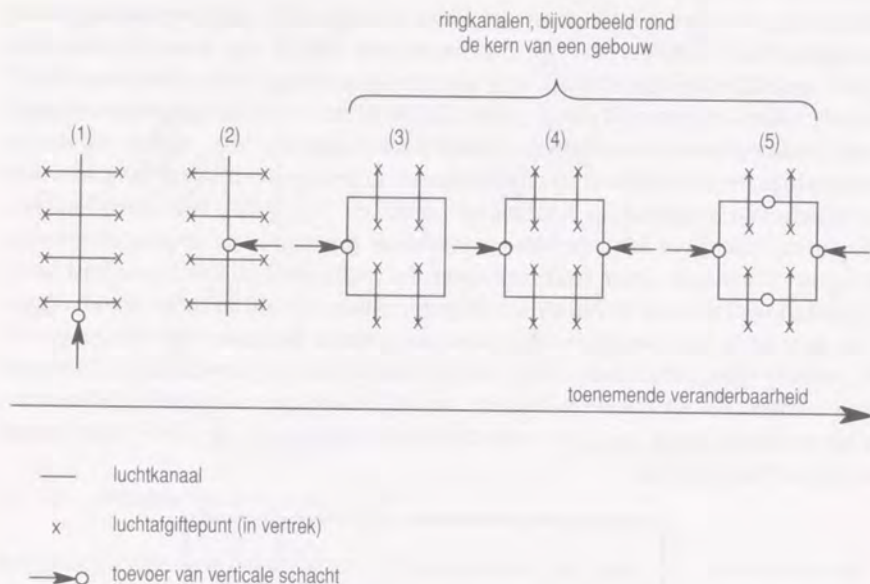


Fig. 3.29 Toenemende veranderbaarheid van luchttoevoer naar afgiftepunt(en)

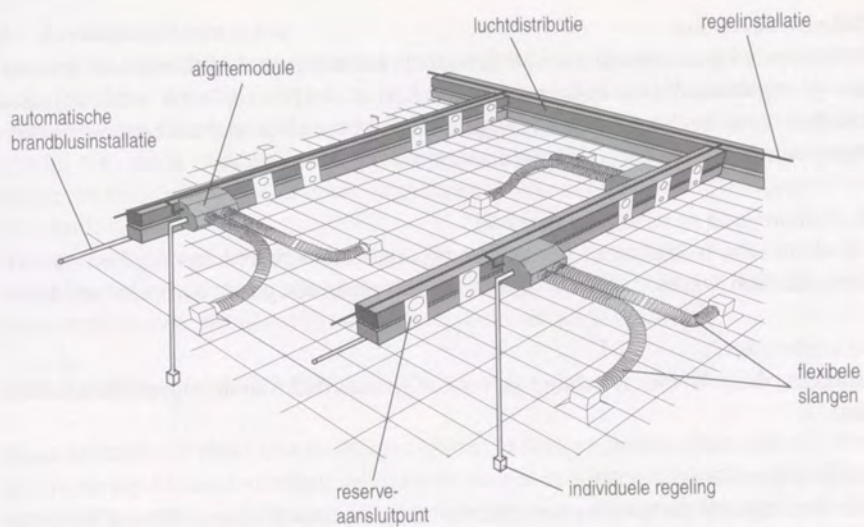
Het toevoerkanaal in configuratie 2 van fig. 3.29 is kleiner dan in configuratie 1, omdat het medium zich opsplijt in twee stromen. Ditzelfde principe vinden we terug bij de ringkanaaldistributie. Deze distributie heeft nog als bijkomend voordeel dat de lucht ergens in het ringkanaal van twee kanten toegevoerd kan worden. De aanpasbaarheid neemt toe met het aantal aansluitpunten van de verticale distributie op de horizontale kanalen.

3. (De)monteerbaarheid

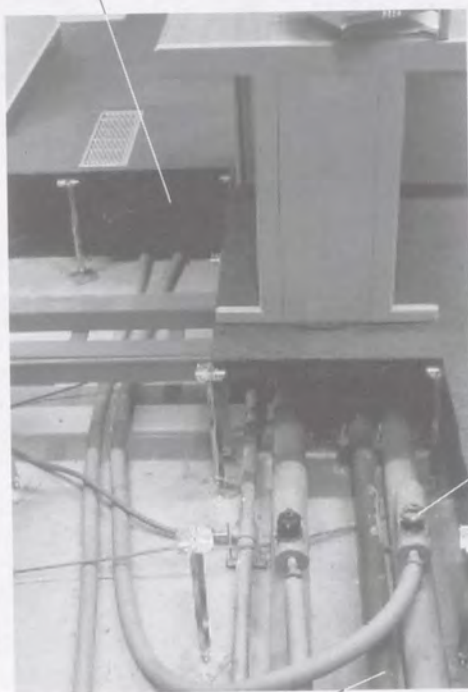
Dit ontwerpbeginnsel is essentieel voor veranderbaarheid. (De)monteerbaarheid kan bevorderd worden door aandacht te besteden aan een aantal ontwerpaspecten, namelijk een logische coördinatie van gebouwssystemen, ruimtereservering, bereikbaarheid en verplaatsbaarheid, draagbaarheid en aansluitbaarheid.

Logische coördinatie van gebouwssystemen

Gebouwssystemen moeten op een logische wijze gecoördineerd worden zodat ze ieder een eenduidige zone innemen. Ruimtelijke verstrengeling bemoeilijkt aanpassing of vervanging van deze systemen die ook gezien de verschillende levensduur met een faseverschil uitgevoerd worden (fig. 3.30).



ventilatorconvectoren (verplaatsbaar)



waterdistributie (hoge inherente aanpasbaarheid voor koelcapaciteit)

Fig. 3.30 Voorbeelden van logische coördinatie van gebouwssystemen

Ruimtereservering

Additionele klimaatinstallatiemodulen (zoals luchtbehandelingskasten, koelmachines of afgiftemodulen) kunnen in de toekomst slechts geplaatst worden indien hiermee vanaf het begin rekening is gehouden. Verticale schachten kunnen gereserveerd worden voor lucht- of watertransport.

Bereikbaarheid en verplaatsbaarheid

De technische ruimte moet bereikbaar zijn met bijvoorbeeld een hijskraan en via verwijderbare dakdelen. Het 'motorkapdak' is hiervan een goed voorbeeld (par. 3.4.4).

Draagbaarheid

Draagbaarheid is vooral belangrijk voor afgiftemodulen in de eigenlijke kantoorruimte.

Aansluitbaarheid

De verschillende onderdelen moeten eenvoudig zijn aan te sluiten, bijvoorbeeld met inklikbare modulen (fig. 3.31), het vooraf aanbrengen van extra aansluitpunten voor toekomstig gebruik, en universele aansluitingen. Hoofdstuk 5 gaat hier verder op in.



Fig. 3.31 Inklikken van een afgiftemodule in het luchtdistributiekanaal

4. Automatisch inregelen

Als de klimaatinstallatie automatisch is ingeregeld naar de nieuwe gewenste prestaties betekent dat dat energie- en luchttransport zich vanzelf aanpassen aan de veranderingen. Dit is mogelijk door het distributiesysteem zo te ontwerpen dat er ook bij maximale capaciteit een geringe netto drukval is, en door ervoor te zorgen dat de drukval over het afgiftepunt significant groter is dan drukwisselingen in het distributiesysteem.

Automatisch inregelen van een klimaatinstallatie is essentieel; vaak wordt het inregelen overgeslagen, omdat het moeilijk is en veel rompslomp geeft. Dit leidt dan echter tot een installatie die chronisch onder de maat presteert.

VERANDERBAARHEID EN KOSTEN

Veranderbaarheid blijkt niet tot hogere kosten te hoeven leiden. Sommige illustraties tonen een klimaatinstallatie die door de auteur in Australië is ontworpen. Door identieke apparaten in grote aantallen te fabriceren en door prefabricage (ook van de kanalen) werd de totale kostprijs lager dan een systeem met een overigens gelijk prestatieprofiel.

De intensiteit en frequentie van veranderingen is momenteel bij moderne bedrijven zo groot dat over een periode van vijftig jaar meer dan tachtig procent van de kosten van een gebouw toe te schrijven zal zijn aan noodzakelijke veranderingen van de inrichting en van de installaties. De jaarlijkse kostenbesparingen die met de beschreven flexibele en aanpasbare installaties bereikt worden door in tijd en materiaal te besparen, kunnen van dezelfde orde van grootte zijn als de energie- en onderhoudskosten samen.

3.4.4 SCHIL

*prof.ir. N.A. Hendriks**

De gebouwschil bestaat uit het dak en de gevels. Waar de 'gevel' eindigt en het 'dak' begint, is dikwijls niet duidelijk aan te geven. Beide hebben immers vrijwel dezelfde functie. De schil vormt de overgang tussen het buiten- en het binnenklimaat. Hierbij moet 'klimaat' in de ruimste zin worden opgevat. Het gaat dus niet alleen om bouwfysische zaken zoals temperatuur, relatieve vochtigheid, luchtkwaliteit, geluidsniveau en licht, maar ook om de direct daarmee verbonden vagere begrippen die meestal worden samengevat met het woord 'comfort'. Comfort is een gebouwwaarde die slechts globaal te meten is en daarom hebben de meeste ingenieurs er een hekel aan. Uit allerlei onderzoek naar bijvoorbeeld thermisch comfort, verlichtingscomfort of geluidcomfort blijkt steeds weer dat belevingsonderzoek slechts tot zeer globale uitspraken kan leiden. Dit is dan ook de belangrijkste motivatie om ervoor te zorgen dat de individuele gebruiker in het moderne, aanpasbare kantoor invloed kan uitoefenen op zijn eigen comfort. Uit paragraaf 3.4.3 is al duidelijk geworden dat de klimaatinstallatie hierbij een hoofdrol speelt. Juist omdat de

* Nico Hendriks is directeur van de BDA Groep en hoogleraar Materiaalkunde aan de Faculteit der Bouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven.

gebouwschil zo'n grote invloed heeft op de mogelijke aanpasbaarheid van het binnenklimaat is het van belang die gebouwschil bij mogelijke regelingen te betrekken.

De meeste architecten zullen de gevel veel belangrijker vinden dan het dak. De gevel is nu eenmaal de eerste aanblik van de bouwsculptuur. Het dak wordt meestal opgevat als een noodzakelijk kwaad. Grappig genoeg is een gevel eigenlijk niet altijd nodig, maar een dak wel. De Finse architect Saarinen schijnt over architectuur eens gezegd te hebben 'architectuur bestaat er eenvoudig uit iets tussen hemel en aarde te plaatsen'. Het is duidelijk dat het dak daarvoor het meest geëigende bouwdeel is. Er zijn dan ook gebouwen tot stand gebracht die geen echte gevel hebben, maar wel een allesomhullend dak. Ook bestaan er tussenvormen, waarbij men spreekt van 'schuine gevels' of 'glasdaken'. Beide kunnen dezelfde helling hebben en moeten dan ook aan precies dezelfde eisen voldoen. Het is in dit verband een goede zaak dat men in het Bouwbesluit geen onderscheid meer maakt tussen dak en gevel. In beide gevallen is er sprake van een 'scheidingsconstructie'.

VERANDERBAARHEID VAN DE GEBOUWSCHIL

Vanuit de ontwerpgedachte 'van binnen naar buiten' zal de gebouwschil ondergeschikt zijn aan de draagconstructie en de klimaatinstallatie. Wanneer onder andere flexibiliteit en aanpasbaarheid als randvoorwaarden worden gekozen, ontstaat al gauw een ontwerp waarin de gebouwschil – in het bijzonder de gevel – weliswaar ondergeschikt is, maar toch zo onafhankelijk mogelijk moet zijn van de draagconstructie. Voor de klimaatinstallatie ligt dat iets anders, omdat er een steeds grotere behoefte is om de gebouwschil – in het bijzonder de gevel – te integreren met de installaties. Belangrijk is dat primaire uitgangspunten zoals de modulumaat en de onderconstructie al vastliggen voordat de gebouwschil wordt ontworpen. Uiteraard moet de normale wisselwerking in het ontwerpproces behouden blijven.

Aan de hand van het model (par. 3.2) is hierover nog het volgende op te merken:

1. *ad basale waarde.* Hogere eisen aan de kwaliteit van de werkomgeving zullen onder andere inhouden dat de gebruiker van de binnenruimte meer invloed moet kunnen hebben op zijn of haar individuele klimaat, onder andere via de gevel. Bij sommige ontwerpen zou dit ook wel via het dak kunnen.
2. *ad gebruikswaarde.* De draagconstructie en het materiaalgebruik moeten bij de buitenschil geschikt zijn voor verschillende soorten gebruik van de binnenruimte. Afhankelijk van de eisen die worden gesteld vanwege het verlangde binnenklimaat, en van de invloed die de gebruikers erop kunnen uitoefenen, moeten componenten in de gevel kunnen worden toegevoegd of worden verplaatst naar andere geveldelen van het gebouw.

Voor het dak lijkt het 'motorkapdak' (fig. 3.32) een interessante ontwikkeling. Het eigenlijke dak is dan een lichte huid die 'gemakkelijk' te openen en te sluiten is. Het motorkapdak biedt bescherming aan bepaalde installaties op de dakverdieping die daardoor tevens eenvoudig bereikbaar en aanpasbaar zijn.

3. *ad ecologische waarde.* De aluminiumglastechniek die het meest geschikt lijkt voor de aanpasbare 'reactieve' gevel kan zonder meer worden gebruikt voor het toepassen van fotonvoltaïsche panelen voor de actieve opwekking van zonne-energie. In Nederland bestaan zulke gevels voor kantoorgebouwen nog niet, maar in het buitenland wel. Voor daken begint het al een enigszins bekend

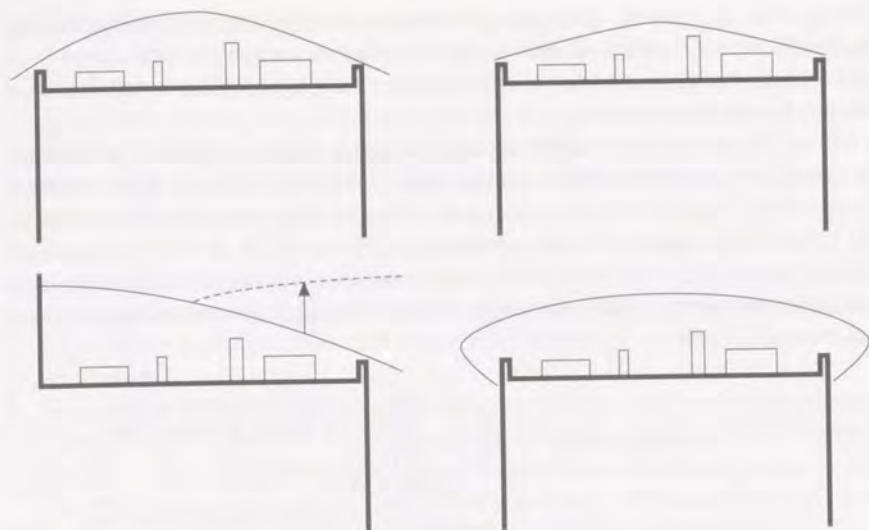


Fig. 3.32 Principe van het 'motorkapdak'

Bron: BDA Groep

verschijnsel te worden, hoewel tot nu toe voornamelijk in de woningbouw. Een combinatie met het in Duitsland ontwikkelde 'zelfreinigende glas' beperkt de onderhoudskosten. Het oppervlak van dit glas is met behulp van een moleculaire coating zo gemodificeerd dat vuil niet hecht.

Hogere prestatie-eisen zullen leiden tot het toepassen van actieve en zelfs reactieve energiegevels, die aan dagelijkse en seizoensveranderingen van het buitenklimaat zijn aan te passen. Essentieel is dat te hergebruiken componenten worden toegepast, die ook al vanwege de gebruikswaarde demonteerbaar moeten zijn (en blijven).

Het is duidelijk dat vooral de ontwikkeling van de gebruikswaarde en de ontwikkeling van de ecologische waarde een belangrijk effect hebben op de strategische en de economische waarde van het kantoorgebouw.

ONTWIKKELING VAN DE GEBOUWSCHIL

De belangrijkste drijfveren voor de ontwikkeling van nieuwe gevels zijn de behoefte van de gebruiker om zelf invloed uit te oefenen op het werkklimaat en het groeiend milieubesef, hoewel dat voornamelijk is gericht op energiebesparing en op optimaal energiegebruik. Het klimaatraam en daarna de klimaatgevel hebben wel het milieuvoordeel van optimaal energiegebruik, maar missen de mogelijke individuele bediening en vooral de aanpasbaarheid. Dubbele glasgevels (niet te verwarren met dubbelglasgevels), ook wel genoemd 'gelaagde gevels' bieden meer mogelijkheden. Hoewel dit ontwerp in zekere zin gezien kan worden als een evolutie van de klimaatgevel, bieden juist de uitwisselbaarheid en de bereikbaarheid, gecombineerd met de individuele bediening zodanige mogelijkheden dat men toch kan spreken van een doorbraak.

Het ligt voor de hand de 'gelaagde gevel' niet onbepert 'individueel regelbaar' te maken. Het is regeltechnisch eenvoudig om ervoor te zorgen dat de bediening van de ventilatie-openingen of de zonwering alleen mogelijk is onder bepaalde klimatologische randvoorwaarden.

Architect Norman Foster heeft hiervoor al schetsontwerpen gemaakt en schat dat de gebruiker gedurende 65% van het jaar controle heeft over deze gelaagde energiegevel (fig. 3.33). In de zomerstand wordt de zonnearmte met de lucht uit het kantoor afgezogen via holle ruimten tussen de gevels. In de winterstand wordt warme lucht toegevoerd via de holle ruimte tussen de glasoppervlakken ter compensatie van tocht via het open raam en ter vervanging van verwarming met radiatoren.

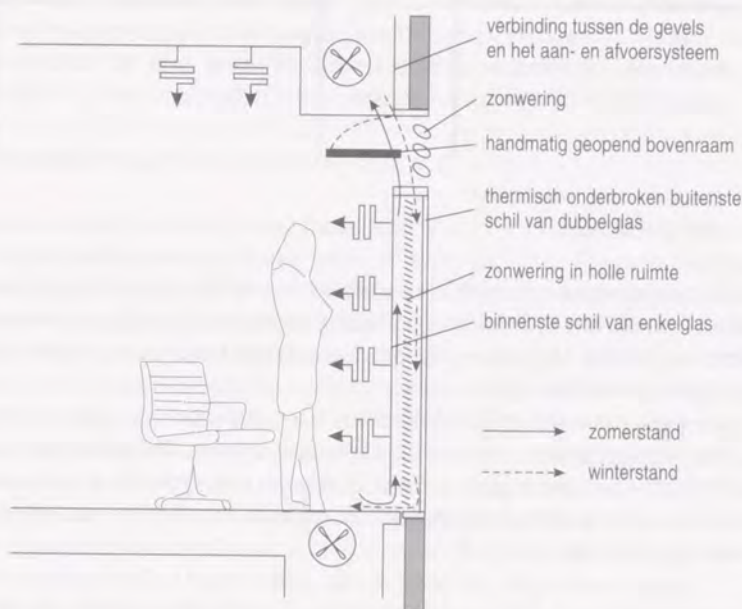


Fig. 3.33 Foster: Principe van de gelaagde gevel voor directe natuurlijke ventilatie
Bron: [Foster, 1996]

De ultieme vorm van de gelaagde gevel is verwant aan het motorkapdak: de buitenste huid is niet meer dan een beschermingsvlies voor de beloopbare grote spouw (orde van grootte 1 m breed), waarin zich zon- en lichtregulerende voorzieningen bevinden, die door de buitenhuid worden beschermd tegen weer en wind. Met een beetje fantasie kan men de gelaagde gevel met loopspouw een tussenvorm noemen tussen klimaatgevel en atrium.

De voordelen van een gelaagde gevel met loopspouw zijn aanzienlijk. Gerelateerd aan het model (par. 3.2) zijn de voordelen:

met betrekking tot de basale waarde:

1. De eigenlijke gebouwschil waarin zich onder andere de (individueel te bedienen) raamopeningen bevinden, is goed beschermd tegen weersinvloeden.
2. De licht- en zonwering en de ventilatievoorzieningen kunnen onafhankelijk van vooral windinvloeden bediend worden.

met betrekking tot de strategische waarde:

3. De verschillende 'lagen' van de gelaagde gevel zijn onafhankelijk van elkaar en kunnen ook onafhankelijk van elkaar onderhouden en aangepast worden. Het speelt dus ook niet zo'n grote rol dat de levensduur van de materialen voor de buitenhuid wellicht anders is dan die voor de binnenschil.
4. Aanpassing van de voorzieningen vanwege wijzigingen in het gebruik van de binnenruimte is eenvoudig mogelijk.

met betrekking tot de ecologische waarde:

5. Waar geen raamopeningen vereist zijn, kan de spouw gevuld worden met zogenaamde transparante isolatie, waarmee ook energie gewonnen kan worden uit zonlicht.
6. De gelaagde gevel met loopspouw is een integraal onderdeel van het intelligente gebouwbeheer waarin de in het gebouw geproduceerde energie, de energiebehoefte en de beschikbare energie van het buitenklimaat op elkaar zijn afgestemd. Hierbij wordt actief (zelfs reactief) gebruik gemaakt van natuurlijke ventilatie en beschikbaar zonlicht, beschikbare zonnewarmte en nachtkoeling.

met betrekking tot de esthetische waarde:

7. De gelaagde gevel biedt de architect zeer interessante mogelijkheden om het gebouw ook een grote esthetische waarde te geven. De verschillende lagen zijn immers onafhankelijk van elkaar. Dit betekent bijvoorbeeld dat de buitenhuid allerlei vormen kan hebben (dus niet per se verticaal), en dat er vanwege de grote ruimte in de spouw vele mogelijkheden zijn voor licht- en warmteregulering, en vooral dat er een grote vrijheid is in materiaalkeuze voor de binnenschil vanwege de goede bescherming ervan.

Verschillende architecten hebben al ontwerpen gemaakt die gebaseerd zijn op het concept van de gelaagde gevel of als een voorloper daarvan kunnen worden gezien. Behalve Foster kunnen worden genoemd Ove Arup (Farnborough, Londen), Ingenhoven, Overdiek und Partner (fig. 3.34), Dominique Perrault (fig. 3.35) en Claude Vasconi (fig. 3.36). In Nederland zijn Jan Hoogstad (fig. 3.37) en Pi de Bruijn architecten die op dit gebied pionierswerk doen.

Voor het dak is er een enigszins vergelijkbare ontwikkeling die al eerder is aangegeven met het begrip motorkapdak (fig. 3.32). Architect Richard Horden vindt dat een dakconstructie moet kunnen reageren op veranderende condities zoals regen, sneeuw en wind. Ontwikkelingen in de richting van het schil- of huidconcept en de vleugelvorm kan men vereenvoudigen tot de aspecten:

- lichter bouwen met beïnvloeding door aërodynamica;
- openstellen naar de hemel, reagerend op weercondities;
- integratie met passieve en actieve systemen (fotovoltaïsch dak, energiedak).

Het motorkapdak is nagenoeg ideaal te combineren met een groot overstek van de gevel. Uitgevoerd in een lichte constructie zijn de milieuvordelen een betere bescherming van de gevel, demonteerbaarheid en dus aanpasbaar, een laag gewicht (dus minder milieubelasting) en de mogelijkheid van eenvoudig hergebruik.

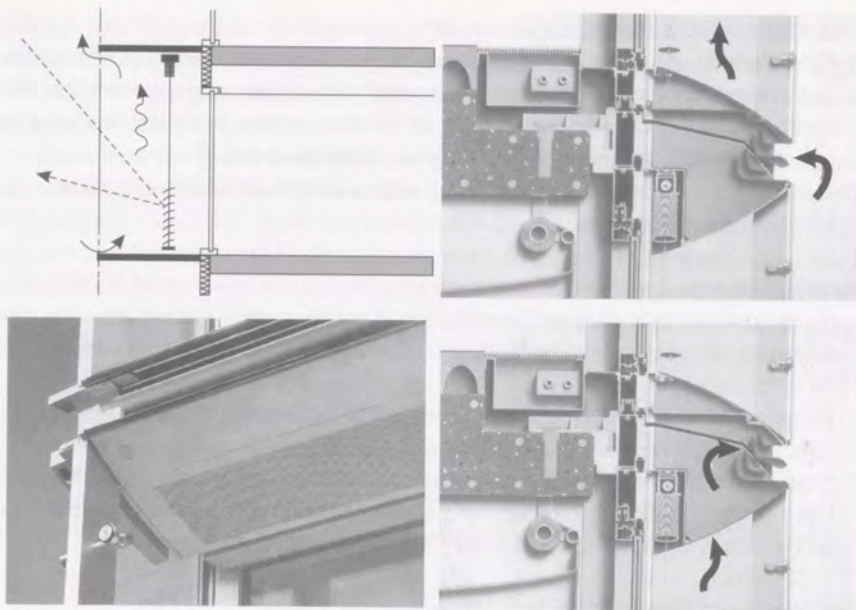


Fig. 3.34 Ingenhoven, Overdiek und Partner: Tweedehuidfaçade (Dienstleistungszentrum Stern, Essen, Duitsland). Linksonder: detail van de gevel, spouw 500 mm breed. Rechts: doorsnede gevel, principe van de ventilatie
Bron: [Renckens, 1996]

Behalve de milieuvoordelen is het belangrijke economische voordeel dat de installaties beter worden beschermd, terwijl de duurzaamheid van de gebouwschil (dak en gevel) verbeterd zal worden.

Referenties

- HENDRIKS, N.A., *Het motorkapdak en andere nieuwe dakvormen*, Dakenraad nr. 15, december 1996
- FOSTER, N., *Appropriate technology*, in: HENKET, H.J., A. DOOLAAR (red.), *The economy of architecture, proceedings in honour of sir Norman Foster*, Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit der Bouwkunde, 1996
- RENCKENS, J.L.M., *Gevels en architectuur. Façades in glas en aluminium*, Vereniging Metalen Ramen en Gevelbranche (VMRG), Nieuwegein, 1996



Fig. 3.35 Perrault: Gebogen aluminiumglasfaçade met beweegbare zonreguleringschoepen
(Hotel Departemental, Bar-le-Duc, Frankrijk)
Bron: [Renckens, 1996]



Fig. 3.36 Vasconi: Koudespouwfaçade met vaste zonweringsstrook (Centre Culturel de Mulhouse, Frankrijk)
Bron: [Renckens, 1996]



Fig. 3.37 Hoogstad: Atrium als vorm van een gelaagde gevel (Ministerie van VROM, Den Haag)
Bron: F. Keuzekamp, Pijnacker

3.4.5 DRAAGCONSTRUCTIE

*ir. W.A.C. de Vries Robbé**

In paragraaf 3.3.3 wordt de relatie tussen bouwdelen (in het bijzonder de draagconstructie) en de begrippen flexibiliteit en aanpasbaarheid uitgebreid behandeld. Bij het flexibele kantoor zijn er in tegenstelling tot de woningbouw meer omstandigheden die tot ingrijpende veranderingen aanleiding geven.

KANTOORGEBOUW VERSUS WOONGEBOUW

Ook bij kantoorgebouwen moeten de omstandigheden die tot verandering aanleiding geven deels op een hoger niveau dan dat van de kantoorverdieping en het gebouw gezocht worden. Voor kantorenbouw is de locatie van het allergrootste belang. De vaak extreem hoge grondprijzen en de ontwikkelingen in waardering van locaties dwingen de gebouwbeheerder de veranderingen op de voet te volgen. Ook vragen andere gebruikers veranderingen in het soort activiteiten en de daarvoor gebruikte apparatuur om aanpassingen. Denk bijvoorbeeld aan de ontwikkelingen op het gebied van communicatie en administratie in het verleden en de gevolgen daarvan voor werkvormen, werktijden en kantoorgebruik.

In het algemeen kan gesteld worden dat kantoorgebouwen vaker veel ingrijpender veranderen dan woongebouwen. Ook voor kantoorgebouwen geldt dat veranderbaarheid geen doel is, maar een middel. Men kan ervan uitgaan dat voorspelbare

* Voor auteursgegevens zie par. 3.3.3.

en onvoorspelbare veranderingen van zeer verschillende aard zullen voorkomen; veranderbaarheid is dan op alle niveaus het middel om het kantoorgebouw langer zijn functie te laten vervullen en zijn waarden te laten behouden.

In nog sterkere mate dan voor woongebouwen geldt voor kantoorgebouwen dat de draagconstructie een bescheiden aandeel in de totale kosten van het gebouw combineert met een grote invloed op de veranderbaarheid van het gebouw. Het aandeel van de draagconstructie in de bouwkosten is lager dan in woongebouwen, omdat de gevel en de installaties in kantoorgebouwen in het algemeen veel meer kosten. Bij draagconstructies die alleen dragen en verder geen functies vervullen, is het aandeel in de bouwkosten minimaal (alleen de kosten van het dragen). Maatregelen die de aanpasbaarheid verhogen, zoals het overdimensioneren van de draagconstructie hebben dan nauwelijks invloed op de totale bouwkosten. Sterker nog, zij verdienen zichzelf altijd terug.

▷ **Voorbeeld: staalskelet met kanaalplaatvloeren**

Aandeel materiaal in de kosten van de draagconstructie	40%
Aandeel draagconstructie in de totale bouwkosten	10%
Kosten van overdimensioneren	10%
Totale kostenverhoging: $0,4 \times 0,1 \times 0,1 \times 100\% = 0,4\%$ van de bouwkosten	

Hoewel op andere plaatsen in hoofdstuk 3 de wenselijkheid van veranderbaarheid al is benadrukt, is het goed even stil te staan bij de noodzaak van veranderbaarheid en flexibiliteit van de draagconstructie van kantoren.

Voor kantoorgebouwen is flexibiliteit op verdiepingniveau van groot belang. De draagconstructie die de vrijheid van indeling van de kantoorverdieping het beste waarborgt, voldoet het beste. Op verdiepingniveau is aanpasbaarheid van de draagconstructie eveneens belangrijk. Andere gebruikers, andere functies, andere technieken kunnen grote verschillen in belasting tot gevolg hebben.

▷ **Voorbeeld: City of London**

Het consequent kiezen voor hogere eisen bij het ontwerpen van kantoren in de Londense City, een van de duurste locaties ter wereld, heeft tot gebouwen geleid die aan de (soms extreme) wensen van een breed scala van gebruikers voldoen. Door overdimensionering is het mogelijk aan veranderende prestatie-eisen te voldoen en dat draagt bij tot een langere economische en ecologische levensduur van deze gebouwen.

Bij kantoren speelt veranderbaarheid op het niveau van het gebouw nog een andere rol. Een toevoeging zoals een opgetopte verdieping met een woon- of kantoorfunctie vraagt van de draagconstructie een grotere prestatie en dus aanpasbaarheid van de functie dragen. Omdat de draagconstructie van kantoren vaak al van het skelettype is, zal het duidelijk zijn dat het overdimensioneren de mogelijkheid tot optoppen bepaalt. Woningen kennen minder vaak een skeletvormige draagconstructie; hier is vaak in de dragende wanden al voldoende extra draagvermogen aanwezig en extra overdimensionering is dan niet nodig.

Het is een aparte studie waard om nader te onderzoeken wat de gevolgen zijn voor de integrale bouwkosten van de Nederlandse gewoonte om de draagconstructie voor kantoorgebouwen tot op de laatste druppel uit te knijpen. De indruk bestaat dat verminderde flexibiliteit en aanpasbaarheid bij oplevering en gedurende de verdere levensduur van het gebouw hoge kosten tot gevolg hebben. Deze kosten zijn hoger dan de kosten van veranderbaarheid van de draagconstructie via overdimensioneren.

VERANDERBAARHEID VAN TWEE TYPEN DRAAGCONSTRUCTIES

Omdat het doel van dit project eerder is om toekomstgericht ontwerpen te bevorderen dan om bestaande constructies in verschillende materialen uitputtend te analyseren, worden hier slechts twee typen draagconstructies voor kantoorgebouwen beschreven: de doos en het skelet (fig. 3.14).

Hoewel de raat incidenteel wordt gebruikt voor kantoorgebouwen, druist de toepassing zozeer tegen elke vorm van flexibiliteit in dat het niet zinvol is om er hier aandacht aan te besteden. De doos wordt in Nederlandse kantoren echter vaak toegepast, in tegenstelling tot de woningbouw. Tabel 3.6 laat de mate van flexibiliteit (verandering van de indeling) en van aanpasbaarheid (verandering van de prestatie) zien.

Omdat de toekomstwaarde van een kantoorgebouw meer nog dan bij een woongebouw wordt bepaald door de combinatie van flexibiliteit en aanpasbaarheid, blijkt ook hier dat in het algemeen slechts één type draagconstructie aan deze voorwaarde voldoet: het skelet.

	Doos		Skelet	
	flexibel	aanpasbaar	flexibel	aanpasbaar
gevel	nee	nee	mogelijk	ja
kolom	-	-	ja	ja
liggers	-	-	mogelijk	mogelijk
vloer	nee	nee	mogelijk	mogelijk

Tabel 3.6 Veranderbaarheid van verschillende typen draagconstructies

Het volgende gedeelte gaat nader in op de toepassing van het skelet in kantoren.

HET SKELET

Het skelet kan in diverse materialen worden uitgevoerd, bijvoorbeeld in al dan niet voor- of nagespannen ter plaatse gestort beton, prefab-beton, of als een staalskelet met kanaalplaatvloeren, staalplaatbetonvloeren of stalen vloeren. Dit is niet de plaats om een voorkeur uit te spreken. Wel is het zinvol om enkele aspecten van de materiaalkeuze voor onderdelen van het skelet aan te stippen.

Kolommen

Kolommen zal men in het algemeen liever kwijt dan rijk zijn. Middenkolommen zijn echter bij grotere kantoordiepten onvermijdelijk. Vooral bij grotere afmetingen kunnen zij de flexibiliteit sterk beïnvloeden. Zowel voor middenkolommen als voor gevelkolommen geldt dan ook: hoe kleiner de afmetingen, hoe beter.

Ontwikkelingen op het gebied van hoge-sterktebeton en hoge-sterktestaal zullen tot kleinere kolomafmetingen leiden. Staal geeft in het algemeen kleinere kolomafmetingen dan beton, ook als bij hoge gebouwen een brandwerende bekleding nodig is. Bij een juiste keuze van de kolomafstand en bij gebruik van een gangbare kwaliteit staal kan men gevelkolommen in de dikte van de gevel opnemen. In geval van een relatief open gevel worden de kolommen geïntegreerd in de gevelconstructie; bij een meer gesloten geveltype zorgen de kolomafmetingen ervoor dat zij kunnen worden geïntegreerd in de binnenspouwbladen van de gevelelementen.

▷ **Voorbeeld: Kantoor van Nissan in Amsterdam Sloterdijk**

Autofabrikant Nissan eiste voor haar nieuwe kantoor in Amsterdam Sloterdijk (fig. 3.38) absolute flexibiliteit, dat wil zeggen een kolomvrije verdieping en de vrijheid om het verticaal transport van mensen en goederen, en alle leidingen op elke plaats op de verdieping te kunnen plaatsen. De oplossing werd gevonden in een kolom-liggervloer met stalen raatliggers van gevel tot gevel en kanaalplaten op de onderflens. De aldus gevormde ruimte tussen de computervloer en de draagvloer leidde tot een volledig flexibel leidingenverloop.

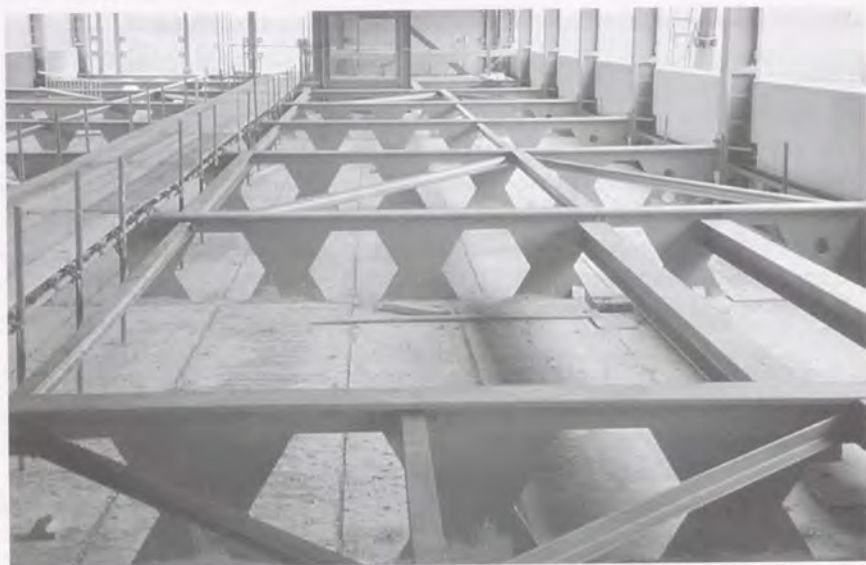


Fig. 3.38 Kantoor van Nissan in Amsterdam Sloterdijk

Liggers

Een systeem met kolommen, liggers en vloeren, zoals de paddestoelvloer (fig. 3.15) verdient uit het oogpunt van aanpasbaarheid de voorkeur boven oplossingen die

bestaan uit kolommen en vloeren. Hierbij is aanpasbaarheid van de draagfunctie van de vloer vrijwel onmogelijk, mede door de oplegproblemen bij de kolom.

Een concept met liggers en vloeren biedt de mogelijkheid vloerelementen en liggers te vervangen of te versterken, vooral wanneer daarmee bij de verbinding tussen vloerelement en ligger rekening is gehouden. Hoewel de Zweedse stalen vloer in paragraaf 3.3.3 met kleine toleranties en droge verbindingen op dit moment uitsluitend in woningen wordt toegepast, ligt het in de lijn der verwachting dat een element wordt ontwikkeld dat bestaat uit verschillende materialen en dat geschikt is voor hogere belastingen en grotere overspanningen, en daarmee voor kantorenbouw.

Traditioneel worden vloerelementen op liggers opgelegd. Door schuifvast verbindingen toe te passen kan de vloer worden gebruikt om drukspanningen op te vangen. Zo ontstaat de staal-betonligger die een grotere stijfheid aan een lagere constructiehoogte paart. Maar ook dan vormt de ligger die onder de vloer ligt een obstakel voor de leidingen en voor het aansluiten van binnenwanden. Bij stalen liggers zijn vooral bij hogere gebouwen ook maatregelen nodig om de brandwerendheid op het vereiste niveau te brengen.

De in Zweden ontwikkelde en inmiddels in de rest van Europa steeds meer toegepaste geïntegreerde ligger vormt een belangrijke stap voorwaarts in de vervolmaking van de kolom-liggervloer. De ligger bevindt zich hierbij niet meer onder, maar tussen de vloerelementen. Daardoor neemt de flexibiliteit toe. Ook de brandwerendheid neemt toe zodat geen of slechts zeer eenvoudige maatregelen nodig zijn. Het in Zweden ontwikkelde liggertype is inmiddels gevolgd door een hele Europese familie van liggertypen, en er worden nog steeds nieuwe typen ontwikkeld (fig. 3.39). Daarbij wordt ook de verbinding tussen ligger en vloer in relatie tot de mogelijkheid van het vervangen van de vloerelementen meegenomen.

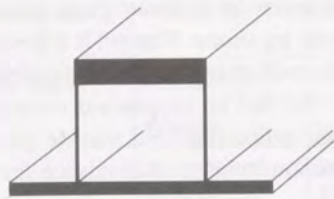
Vloeren

Uit tabel 3.2 bleek al dat de vloer het enige element is waarbij de functies dragen en scheiden niet van elkaar te scheiden zijn. In kantoren is in tegenstelling tot woningen de scheidende functie minder belangrijk, omdat in het algemeen de plafonds van de verdieping eronder de gevraagde prestaties op het gebied van geluidsisolatie kunnen leveren. Daartegenover staat dat de prestatie-eisen aan de dragende functie van vloeren belangrijk hoger liggen door een hogere belasting en veelal een grotere overspanning.

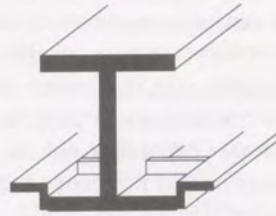
In de kolom-liggervloer komt men verschillende vloertypen tegen. Holle kanaalplaten en *deep-deck*-staalplaatbetonvloeren laten zich het beste met geïntegreerde liggers combineren. Een verdere ontwikkeling in lichte geprefabriceerde vloeren met een grote maatnauwkeurigheid en een droge, demontabele verbinding mag worden verwacht. Dit zou een verdere verbetering van de kolom-liggervloer voor kantoorgebouwen betekenen.

CONCLUSIE

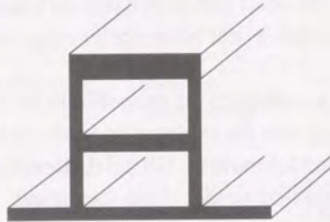
De strategische waarde van kantoorgebouwen is belangrijk. Snelle veranderingen in de vastgoedmarkt, in de waardering van locatie en gebouwtype, en snelle en deels onvoorspelbare ontwikkelingen op het gebied van communicatie, inrichting, gebruik en transport maken dat flexibiliteit en aanpasbaarheid steeds meer kern-



THQ (PPTH): oorspronkelijke hoedligger



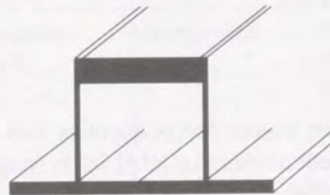
HE+L: semi-geïntegreerde ligger



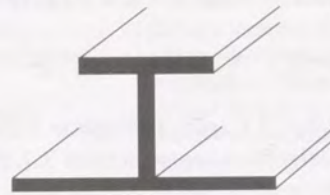
NSQ (Norriäijje Sveis)



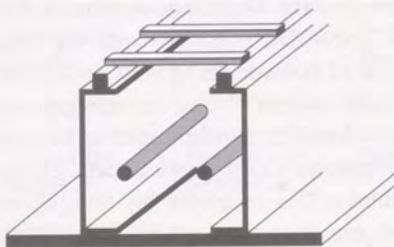
SBF (British Steel): slim floor beam



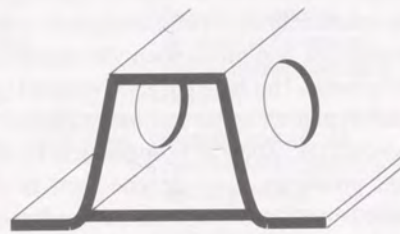
TBB (Tibnor)



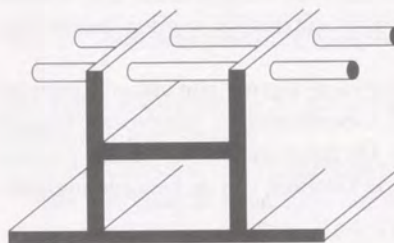
IFB (Arbed): Integrated floor beam



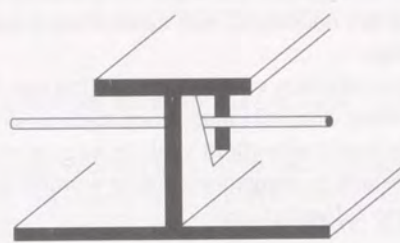
SWT (Fundia Bygg/ConstrucThor)



Deltabeam: staal-betonligger



MSQ: staal-betonligger



MSI: staal-betonligger

Fig. 3.39 Europese liggerfamilies

waarden van kantoorgebouwen worden. Dit zijn zaken die voortdurend de aandacht van de ontwerper vragen bij alle beslissingen die hij neemt. Dat geldt zeker voor de draagconstructie, die immers als drager van de overige bouwdelen de flexibiliteit en aanpasbaarheid ervan sterk beïnvloedt. Het flexibel en aanpasbaar ontwerpen van de drager, waardoor ook de flexibiliteit en aanpasbaarheid van de overige bouwcomponenten toeneemt, beïnvloedt de economische en ecologische levensduur van het gebouw aanzienlijk.

In tegenstelling tot de situatie bij woongebouwen heeft het skelet zich in kantoren over een langere periode bewezen. De doos lijkt echter het betonskelet enigszins te hebben verdrongen.

Met de komst van de geïntegreerde ligger doen zich nieuwe mogelijkheden voor het stalen skelet voor. Een verdere ontwikkeling van dit skelet gaat in de richting van demontabele lichte vloerelementen met kleine toleranties. Dit zal de flexibiliteit en de aanpasbaarheid van het skelet ongetwijfeld nog verder doen toenemen.

3.5 MATERIALEN EN FLEXIBILITEIT

*prof. ir. N. A. Hendriks**

Door tabel 3.1 (par. 3.2) aan te vullen met een kolom 'consequenties voor het materiaalgebruik' ontstaat tabel 3.7. Het abstractieniveau van tabel 3.7 is (nog) zo hoog dat geen uitspraak gedaan wordt over specifieke materialen. Vooralsnog is het het belangrijkste om beoordelingsmethoden toe te passen en randvoorwaarden op te stellen. Voor de basale waarde betekent dit dat het met de geselecteerde materialen mogelijk moet zijn de 'normale' bouwprestatie te leveren. De meeste meetmethoden en rekentechnieken zijn inmiddels voldoende getest. Dit zijn meetmethoden voor onderzoek aan prototypen van componenten en of bouwdelen en voor onderzoek ter plaatse. Het belangrijkste verschil tussen onderzoek ter plaatse en metingen aan prototypen zit in de (on)mogelijkheid om bouwkundige aansluitingen te kunnen beoordelen. Zoals al is opgemerkt bij de economische waarde ligt hier een belangrijk probleem. Aan de ene kant is dit probleem des te groter bij flexibel en aanpasbaar bouwen (bouwen wordt monteren), aan de andere kant ligt hier juist de uitdaging voor het vinden van bruikbare oplossingen. Zijn die namelijk gevonden, dan is de bouw veel minder afhankelijk van het aansmeren, kitten en PUR-ren op de bouwplaats. Ook het onderhoudsprobleem dat vaak teruggevoerd kan worden op het onderhoud van aansluitingen kan hierdoor aanzienlijk worden vereenvoudigd.

Instrumenten voor de beoordeling van de ecologische waarde zijn volop in ontwikkeling. Van veel materialen zijn inmiddels LCA-berekeningen uitgevoerd, hoewel de betrouwbaarheid vaak te wensen overlaat. De databases op dit gebied groeien gestaag en aangenomen mag worden dat ook de kwaliteit van de beoordelingsanalyse zal verbeteren.

* Voor auteursgegevens zie par. 3.4.4.

Specifieke waarde	Prestatie-eis	Ontwerpaspect	Consequenties voor het materiaalgebruik
Basale waarde	Bescherming	–	Meetmethoden (geen rekenmethoden) om prestaties te controleren: Inbraakveiligheid Brandveiligheid Waterdichtheid Luchtdichtheid Geluidswering
	Veiligheid	–	
	Gezondheid en behaaglijkheid	Individuele regeling Thermisch comfort Visueel comfort Luchtkwaliteit Geluidskwaliteit Ergonomie	
Gebruikswaarde	Productie-ondersteuning	Functionele indeling en mix (m ² , personen, belasting en specifieke basale prestatie-eisen)	Onderhoudsarm Handel in componenten? (Stelcon)
	Beheerbaarheid	Eenvoudige man-machine-interface	–
Esthetische waarde	Beleving	Andere architectuur	Kleurvast?
Ecologische waarde	Duurzaamheid	Energiebesparing Integraal ketenbeheer van materialen Kwaliteitsverhoging	LCA op bouwdeelniveau LCA op gebouwniveau, incl. energiegebruik (Eco-quantum) Minimaal bouw- en sloopafval Gebruik van gerecycleerde materialen Ontwikkelen van een beoordelingsrichtlijn (BRC); attesteren en opleveringscertificatie
Strategische waarde	Veranderbaarheid	Flexibiliteit Aanpasbaarheid	Droge bouwmethoden (monteren en demonteren) Holle elementen, makkelijk te bewerken
Economische waarde	Marktconforme bruikbaarheid	Hergebruik van componenten	Mogelijk hergebruik van componenten in hetzelfde of een ander gebouw
			Oplossing van het aansluitprobleem tussen componenten en tussen bouwdelen

Tabel 3.7 Veranderbaarheid en materiaalgebruik

Een echte doorbraak op dit gebied wordt echter pas mogelijk als aan twee voorwaarden wordt voldaan:

1. Standaardisatie van verifieerbare procedures voor het verkrijgen van gegevens. Het ligt voor de hand hiervoor milieuzorgsystemen te gebruiken volgens een structuur die vergelijkbaar is met kwaliteitssystemen conform de ISO 9000-normen. Dit is voorzien in de ISO 14000-serie, in het bijzonder in ISO 14031 'Environmental Performance Evaluation' die in 1998 gereed zou moeten zijn. Omdat de LCA-berekeningen zelf al behoorlijk gestandaardiseerd zijn (ontwerp-ISO 14040, hoewel er nog veel discussie is over toerekeningsmodellen,

afvalscenario's en dergelijke) zal het dan mogelijk zijn LCA's op materiaalniveau te certificeren. Een volgende noodzakelijke stap is het uitvoeren van LCA-berekeningen op bouwdeelniveau. Dat maakt ook het kiezen van een relevante functionele eenheid eenvoudiger.

2. Aanvaarding van een zo objectief mogelijke methode voor de beoordeling van de resultaten van een LCA-berekening. De verwarring hieromtrent is groot. Dit komt misschien wel, omdat ook de behoefte aan een 'milieurapportcijfer' zo groot is. Wie ook maar een voorstel doet, vooral wanneer het eenvoudig lijkt, kan rekenen op enige of zelfs veel bijval. Er is echter nog geen sprake van een wetenschappelijk verantwoorde objectieve methode. Het meest bruikbaar lijkt nog de 'distance-to-target'-methode, hoewel de voorstanders hiervan zelf direct toegeven dat de wetenschappelijke waarde ervan betrekkelijk is, namelijk sterk afhankelijk van politieke beslissingen. Bovendien is deze methode waarbij een getal – de 'eco-indicator' – wordt bepaald nog beperkt tot effecten zoals de gevolgen van emissies. Voor aspecten zoals de mate van uitputting van grondstoffen, energiegebruik en afvalscenario's heeft men nog geen redelijk breed gedragen aanpak gevonden. Hoofdstuk 4 gaat hier nader op in.

Er is dus nog veel te doen. Voor de ontwerper en de bouwer zou het een geweldige steun zijn wanneer het ontwerp door een onafhankelijke instantie geattesteerd kon worden op grond van een beoordelingsrichtlijn (bijv. gebaseerd op een 'eco-quantum'-achtige benadering) en wanneer er bij de oplevering van het gebouw een controle zou plaatsvinden op grond waarvan diezelfde instantie een certificaat kon afgeven.

Bij de strategische en economische waarde komt vooral de mogelijkheid van toepassing naar voren. Bouwen wordt steeds meer monteren en dat vraagt om droge bouwmethoden. Aanpasbaarheid vraagt echter ook om zodanige montagethoden dat ook na vele jaren demonteren nog mogelijk is. In hoofdstuk 5 worden hiervan een aantal voorbeelden uitgewerkt. Verder kan men denken aan holle elementen, waarin allerlei bekabeling op een zeer aanpasbare wijze een plaats kan vinden en die verder gemakkelijk te bewerken moeten zijn, zodat op allerlei plaatsen openingen zijn te maken voor het bereiken en aanpassen van de bekabeling. Deze openingen moeten uiteraard ook weer eenvoudig af te dichten zijn zonder afbreuk te doen aan de basale waarde. Een grote bijdrage aan de strategische en economische waarde zou de introductie van te hergebruiken componenten leveren. Dat kan in hetzelfde gebouw, maar eventueel ook in een ander gebouw zijn. Een dergelijke ontwikkeling kan niet los worden gezien van duurzame oplossingen voor de aansluitproblemen tussen componenten en tussen bouwdelen.

CONFLICTEN

Deze ontwikkeling van mogelijke consequenties voor het materiaalgebruik leidt tot een aantal conflicten, die opgelost moeten worden teneinde nog duurzamer te bouwen.

1. Massa versus milieubelasting

Een zeer interessant aspect van een LCA op gebouwniveau is dat ook het energiegebruik van het gebouw meegenomen kan worden. Uit studies blijkt dat dit een zeer zwaar wegende factor is. Belangrijke strategische maatregelen om het energiegebruik terug te brengen zijn inmiddels gemeengoed geworden: een hoge warmteweerstand (een isolatiewaarde R_c van 3 begint men al normaal te vinden), beperken van het energieverlies door ventilatie en een aanzienlijke verbetering van het rendement van installaties. De energieprestatienorm (EPN) zou men de kroon op dit werk kunnen noemen. Een volgende fase is de toepassing van passieve energievoorziening door het gebruik van zonneboilers en fotovoltaïsche panelen, die geïntegreerd worden in dak- en gevelconstructies. Ook actieve energievoorziening door de schil zelf vindt al plaats en wordt verder ontwikkeld (bijv. het klimaatraam, de klimaatgevel en het energiedak).

Nog een fase verder wordt het gehele gebouw betrokken bij de optimale energiebeheersing. Er zijn al projecten gerealiseerd waarbij de dagwarmte wordt opgeslagen in de massa van het gebouw en 's avonds en 's nachts wordt gebruikt voor verwarming; omgekeerd wordt de nachtelijke afkoeling van de gebouwmassa overdag gebruikt voor airconditioning. Deze ontwikkeling vraagt om een relatief zware kern van het gebouw. De milieubelasting van materialen is echter recht evenredig met de massa ervan. Om dit effect zoveel mogelijk te beperken zal enerzijds de energiehuishouding volledig optimaal moeten worden en anderzijds zullen de 'zware' componenten een maximale duurzaamheid, dat wil zeggen een maximale 'herbruikbaarheid' moeten hebben. De levensduur van een bouw materiaal is namelijk omgekeerd evenredig met de milieubelasting. De consequentie hiervan is dat gestort beton definitief tot het verleden zal behoren. Slechts goed montageerbare, aansluitbare en demonteerbare elementen die gemakkelijk hergebruikt kunnen worden, komen in aanmerking.

2. Aanpasbaarheid versus actieve en passieve energievoorziening

De hiervoor genoemde actieve en passieve energievoorziening via de schil, zoals het klimaatraam, de klimaatgevel, fotovoltaïsche panelen en het energiedak zijn geen schoolvoorbeelden van aanpasbaarheid in de huidige technologie. In de eerste plaats zal de consequentie hiervan zijn dat de ontwerper het gebouw zodanig moet concipiëren dat aanpasbaarheid vooral gevonden wordt in het interieur. Menig ontwerper die geboeid is door de uitdaging van aanpasbaar bouwen zal dit echter een onaanvaardbare beperking vinden. Dit betekent dat ook op het gebied van de energievoorziening gezocht moet worden naar de ontwikkeling van demontabele componenten, die zowel in hetzelfde als in een ander gebouw te hergebruiken zijn.

3. Hergebruik versus flexibiliteit

Het ontwerp van herbruikbare componenten vormt een geweldige uitdaging op het punt van flexibiliteit. Een kantoorgebouw is immers geen gebouw dat na een week weer afgebroken, vervoerd en opnieuw gemonteerd wordt. Niet alleen is een eis aan herbruikbare componenten dat ze ook na 10 of 15 jaar of nog langer te demonteren en opnieuw te monteren zijn, maar ook dat zij dan nog inpasbaar zijn in veranderde bouwconcepten. In de al bijna 'klassieke' ontwerpfilosofie van drager-inbouw-afbouw is dit een vrijwel onmogelijke opgave; in ieder geval zijn de leidingen hierbij een complicerende factor. Misschien ligt de oplossing in de

ontwikkeling van een heel andere ontwerp- en bouwfilosofie die men zou kunnen aanduiden als 'Lego- en Meccanobouwmethoden'. Dergelijke methoden zouden ook passen in de genoemde noodzakelijke ontwikkeling van droge bouwmethoden en van zowel monteerbare als demonteerbare aansluitmethoden.

Misschien zou een gevolg van deze ontwikkeling kunnen zijn dat er een handel ontstaat in gebruikte bouwcomponenten. Gezien de enorme tijdsintervallen tussen montage en demontage zal dit echter een heel bijzondere logistiek vergen. Het zou wel ten goede komen aan de beheerbaarheid.

LITERATUUR

- ADVIESRAAD TECHNOLOGIEBELEID BOUWNIJVERHEID (ARTB), *Innovaties in de bouw*, Den Haag, 1994
- BAKENS, W.J.P., *Bouwen aan 2005. Toekomstperspectief voor managers, bestuurders en onderzoekers in de bouw*, Bakkenist, Spits & Co., Amsterdam, 1988
- BEMIS, A.F., *The evolving house*, Cambridge, Massachusetts, 1936
- EGER, A.O. (red.), *Vormgeven aan flexibele woonwensen. Denken in stekkerklare interieur-systemen*, Den Haag, 1991
- GRAAF, L. VAN DER, J. POTHUIS, *Toekomstgericht bouwen*, DGVH/BD rapport 94/15, Rotterdam/Maarssen, 1994
- HARTELOH, H. (red.), *Jellema hogere bouwkunde, deel 6a: elektrotechnische en sanitaire installaties*, Leiden, 1996
- HARTINGS, E. (red.), *Intelligent wonen*, Nationale Woningraad, Almere/INVENIT, Amsterdam, 1994
- HUTTERS, F.K., *Hoogwaardige technologie en marketing*, Faculteit Economie, Universiteit van Amsterdam, mei 1989
- HUTTERS, F.K., *Adoptie en implementatie van nieuwe afbouwproducten binnen de bouwnijverheid*, Faculteit der Bouwkunde, Technische Universiteit Eindhoven, maart 1995
- ING, NIVRA, IMK, *Het Nederlandse bedrijfsleven in perspectief: de elektrotechnische installatiebedrijven*, Hoofddorp, 1995
- JACOBS, D. (red.), *De economische kracht van de bouw*, Stichting Maatschappij en Onderneming, Den Haag, 1992
- KAM, E.C.S., DE, *Toespraak symposium Domotica '95*, Amsterdam, 9 mei 1995
- KENDALL, S., *Open building. A new approach to multifamily architecture, interior design and construction*, USA, 1995
- MAY, F., *An explanatory discussion on open building*, Background papers, Office of Housing Research, USA, 1994
- MOERDIJK, M.C.W., *Installaties in gebouwen of gebouwen met installaties?*, intreerede, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, november 1993
- NATIONALE WONINGRAAD, *Technologische innovaties in de woningbouw*, NWR-symposium, Maastricht, 1991
- NATIONALE WONINGRAAD, *Intelligent wonen*, Almere, 1994
- NICOLAI, R., K.H. DEKKER, *Flexibiliteit als bouwstrategie voor een veranderende gezondheidszorg*, Nationaal Ziekenhuisinstituut, Utrecht, 1991

-
- PROVENIERS, A., H. FASSBINDER, *New wave in building: a flexible way of design, construction and real estate management*, Technische Universiteit Eindhoven, 1992
 - RANDEN, A. VAN, *De bouw in de knoop*, inreerede, Delftse Universitaire Pers, 1976
 - SCHOORL, A.H.A., J.E.J. KLUPPEL, *Open Bouwen Open Wonen. Een onderzoek naar de vraagmarkt voor Open Bouwen*, Research voor Beleid, Leiden, 1988
 - SMEETS, J., *Huishoudensvorming, flexibiliteit en gebruik*, Werkgroep Fundamentele grondslagen van de open bouwwijze, Technische Universiteit Eindhoven, 1989
 - SBR, *Een aanpasbaar gebouw ontwerpen*, Stichting Bouwresearch, publicatie 82, Deventer/Den Haag, 1981
 - SBR, *Bouworganisatievormen in Nederland*, Stichting Bouwresearch, publicatie 286, Rotterdam, 1993
 - TEMPELMANS PLAT, H., *Een bedrijfseconomische analyse van bouwen en wonen: de woondienstenvoorziening beschouwd vanuit een elementenmatrix*, Van Gorcum, Assen, 1984
 - VREEDENBURGH, E., *Inbouw innovatie*, De Architect, pp. 77 e.v., september 1987
 - VREEDENBURGH, E. (red.), *De bouw uit de knoop....?*, Technische Universiteit Delft, 1992
 - VREEZE, N. DE, *Technologische innovaties in de woningbouw*, Nationale Woningraad, Almere, 1991



4. Essay 2

Duurzaam bouwen in dubio

ir. A.C. Koster met een bijdrage van ing. A. Mooiman*

In de bouwwereld is duurzaamheid een veelbesproken onderwerp. Alleen al de term 'duurzaamheid' geeft daartoe voldoende aanleiding. Het is een complex begrip dat 'renewable' en 'sustainable' verenigt. Bovendien spelen vele, sterk uiteenlopende aspecten een rol, zoals de levensduur, het gebruik van openbaar vervoer en energie. De verschijning van de voorkeurslijst van de Stichting Experimenten Volkshuisvesting [SEV, 1993/1995] en later het Nationaal pakket Duurzaam bouwen [Jansen, 1996] heeft veel in gang gezet en verduidelijkt. Het kan echter nog beter. De milieubelasting door (ge)bouwen kan en moet nog met een factor 3 à 4 omlaag. Vooral het gebruik van gebouwen speelt daarbij een rol.

4.1 MILIEUBELASTING

Bij duurzaam bouwen keert een aantal termen steeds weer terug in de discussie: energiegebruik, eindigheid van de grondstoffen, levensduur van de gebruikte materialen, levensduur van het gebouw in zijn geheel, materiaalkeuze en het afvalprobleem. Hiervan blijkt het energiegebruik in de gebruiksfase de meeste milieubelasting te geven, vooral voor verwarming en koeling. Vooral in woningen wordt bovendien veel energie gebruikt voor warm water [Beetstra, 1996].

Het milieu is te vergelijken met een balk op twee steunpunten die belast wordt. De balk heeft een bepaalde sterkte en stijfheid; als gevolg van de belasting buigt hij door. Het milieu heeft ook een bepaalde sterkte in de vorm van het herstellend vermogen van het milieu. De belasting wordt gevormd door de activiteiten van de mens en door de vervuiling die de natuur zelf produceert (bijv. vulkaanuitbarstingen). Op dit moment is 'de balk' zwaarbelast en buigt hij sterk door. Omdat de exacte sterkte van het milieu onbekend is, nemen we eerst de grootste belasting van de balk af om bezwijken te voorkomen. Als een balk op breken staat rekenen we immers niet eerst uit hoeveel last er precies van de balk moet, maar halen we er snel een zware last af.

Bij woningen en kantoren is het energiegebruik de zwaarste last. Het verminderen hiervan is dus een eerste prioriteit. Pas dan komt het gebruik van andere materialen in zicht.

* Tony Koster is in januari 1997 afgestudeerd aan de Faculteit der Bouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven op een onderzoek naar de mogelijkheid tot duurzaam bouwen met het Unidek bouwsysteem.

Om het effect van het energiegebruik op de totale milieubelasting te illustreren wordt in paragraaf 4.3 de milieubelasting van twee recente kantoorgebouwen vergeleken. Het betreft een traditioneel, maar duurzaam gebouwd kantoorpand voor de Rijksgebouwendienst in Haarlem en een kantoorgebouw voor de firma Neways, gebouwd in het systeem van de firma Unidek, in Heerlen.

4.2 HET NATIONAAL PAKKET DUURZAME WONINGBOUW

*ing. A. Mooiman**

Onder 'duurzaam bouwen' wordt verstaan het streven naar een duurzame ontwikkeling in de bouwsector door een combinatie van milieubewust, functioneel, degelijk (technisch duurzaam) en economisch plannen, ontwerpen, bouwen en beheren. Onder duurzame ontwikkeling verstaat men 'een ontwikkeling die voorziet in de behoefte van de huidige generatie zonder daarmee voor de toekomstige generaties de mogelijkheid in gevaar te brengen om ook in hun behoeften te voorzien' [VROM 1995]. Dit streven wordt ook wel verwoord als 'minimalisering van input en output over de totale levensloop van bouwwerken' [DIOC-DGO, 1996].

Na algemene nota's zoals het Nationaal Milieubeleidsplan en het Nationaal Milieubeleidsplan-plus werd in 1995 het Plan van aanpak Duurzaam bouwen uitgebracht [VROM, 1989/1990/1995]. Hierin werd een Nationaal pakket Duurzaam bouwen aangekondigd, waarvan het deel voor de nieuwbouw van woningen in november 1996 is verschenen [Jansen, 1996]. Het Nationaal pakket is gebaseerd op consensus in de bouwsector zelf en gaat uit van drie 'strategieën', namelijk energie-extensivering van het (product)systeem, het sluiten van kringlopen en kwaliteitsverhoging. Het pakket integreert deze strategieën in circa 160 'duurzaam bouwen maatregelen'. De bouwwereld zelf heeft een selectie gemaakt van maatregelen die geschikt zijn voor grootschalige toepassingen. Daarmee zijn voor architecten, gemeenten, en de vele andere partijen die betrokken zijn bij de huidige bouw de mogelijkheden om woningen duurzaam te bouwen tastbaar gemaakt. In toekomstige pakketten zal meer aandacht worden besteed aan de wetenschappelijke onderbouwing en aan duurzaam bouwen bij bestaande woningen, utiliteitsbouw en grond-, weg-, en waterbouw.

DE MAATREGELEN

Het Nationaal pakket Duurzame woningbouw bevat maatregelen, gericht op drie fasen in het bouwproces: initiatief, ontwerp en uitwerking; productievoorbereiding en realisatie; en gebruik. Deze maatregelen zijn zoveel mogelijk beschreven vanuit vier invalshoeken voor duurzaam bouwen:

* Arie Mooiman is als technisch adviseur werkzaam bij het centrum Hout.

materialen

- een zuiniger gebruik
- keuze op basis van milieumaten
- het beperken van afval en het verstandig afvoeren ervan

energie

- het verminderen van de vraag
- het bevorderen van het gebruik van duurzame bronnen

water

- het verminderen van het gebruik
- het tegengaan van verdroging
- het beschermen van de waterkwaliteit

binnenmilieu

- het bevorderen van de luchtkwaliteit en het thermisch comfort
- het beperken van het geluidsniveau.

Het pakket bevat vaste en variabele maatregelen. Vaste maatregelen kunnen ongeacht de specifieke context van een project standaard worden toegepast. Indien mogelijk zouden de vaste maatregelen moeten worden opgenomen in wettelijke voorschriften. Variabele maatregelen zijn maatregelen met een onbetwist positief effect, maar toepassing is niet altijd mogelijk bijvoorbeeld in verband met hoge kosten, beperkte verkrijgbaarheid of locatie-afhankelijkheid.

De maatregelen zijn geselecteerd op basis van de volgende criteria:

- een positief milieueffect ten opzichte van de gangbare alternatieven moet in redelijke mate vaststaan;
- het moet redelijk eenvoudig zijn (in termen van tijd en kosten) om vanaf tekening of bestek vast te stellen of een gekozen oplossing voldoet;
- maatregelen moeten bij voorkeur de vorm hebben van prestatie-eisen.

Een geselecteerde maatregel kreeg de status 'vaste maatregel' wanneer bovendien

- toepassing mogelijk is ongeacht de specifieke locatie, woningtype en dergelijke;
- de uitvoerbaarheid in voldoende mate is aangetoond (het product of de techniek is beschikbaar en is het experimenteel stadium ontgroeid);
- de kosten acceptabel zijn voor de sociale woningbouw (waarbij naar de optelsom van alle vaste maatregelen werd gekeken).

Hoe meer van het pakket gebruik wordt gemaakt, hoe meer uniformiteit in de markt ontstaat en des te eerder het pakket als standaard in de Nederlandse bouwpraktijk zal zijn ingevoerd. Het pakket biedt mogelijkheden voor toepassing op verschillende niveaus, bijvoorbeeld:

- een gemeentelijke aanpak van duurzaam bouwen;
- het programma van eisen voor een nieuwbouwplan;
- marketing met duurzaam bouwen;
- advisering tijdens het ontwerpproces;
- maatstaf voor 'groene' beleggingsprojecten.

Het Nationaal pakket Duurzaam bouwen zal regelmatig worden aangepast aan voortschrijdende inzichten. Een pakket voor het beheer en onderhoud van woningen verschijnt in juni 1997. Pakketten voor de utiliteitsbouw en voor de grond-, weg- en waterbouw worden naar verwachting in 1998 gepubliceerd.

4.3 VERGELIJKING VAN DE TWEE KANTOREN

De milieubelasting van beide kantoorgebouwen is bepaald met behulp van het programma SimaPro. SimaPro is een programma waarmee levenscyclusanalysen van producten kunnen worden uitgevoerd. Vergelijkingen tussen producten met een gelijke functie, maar met een iets andere invulling ervan zijn mogelijk. De milieubelasting wordt uitgedrukt in ecopunten (de methode van de 'eco-indicator'). Hoe meer punten een product heeft, hoe meer milieuvervuiling dat product geeft. Helaas is deze methode nog beperkt tot de gevolgen van emissies. Voor aspecten zoals de mate van uitputting van grondstoffen, het energiegebruik bij winning en productie en afvalscenario's (hergebruik van de component of de elementen, recyclen van de grondstof of storten) is in SimaPro nog geen breed gedragen aanpak opgenomen. Het gescoorde aantal punten is onderverdeeld in milieu-effecten die optreden op het gebied van luchtvervuiling. Voorbeelden hiervan zijn het broeikas-effect, de aantasting van de ozonlaag, enzovoort. De eco-indicator geeft het totaal aantal ecopunten weer waardoor snel kan worden beoordeeld welk product het milieu zwaarder belast [CML, 1992].

Voor een vergelijking van de twee gebouwen zijn de scores teruggerekend naar de belasting per werkplek en per werknemer.

4.3.1 KANTOOR IN HAARLEM

Het kantoorgebouw aan het Kennemerplein in Haarlem (fig. 4.1) wordt op dit moment gebouwd voor verschillende inspecties en de directie Noord-West van de Rijksgebouwendienst. Dit gebouw heeft de naam een duurzaam ontworpen gebouw te zijn. Het gebouw heeft een brutovloeroppervlak van 8868 m² en een inhoud van 27.436 m³. Het gebouw ligt pal naast het NS-station Haarlem en is optimaal bereikbaar met het openbaar vervoer. De keuze van deze locatie draagt zeker bij aan de duurzaamheid, maar is in deze analyse niet meegenomen.

Maatregelen die genomen zijn om van dit gebouw een duurzaam gebouwd kantoorgebouw te maken zijn de volgende.

Ten eerste is er gebruik gemaakt van een nieuw concept voor de indeling van het kantoor, namelijk het kloosterkantoor (zie ook par. 3.4.1). Hierbij wordt gebruik gemaakt van zogenaamde wisselwerkplekken; werknemers reserveren de werkplek waaraan ze op dat moment behoefte hebben. Door dit systeem kan worden volstaan met minder werkplekken dan bij een kantoor met een gebruikelijk indelingsconcept. Gevolg is dat het gebouw 20% kleiner is dan een conventioneel kantoorgebouw met hetzelfde aantal werknemers; een enorme besparing in materiaalgebruik, maar ook in kosten.



Fig. 4.1 Kantoorgebouw aan het Kennemerplein in Haarlem in aanbouw (oktober 1996)
Bron: J. Vonk, Haarlem

Een tweede maatregel is dat het gebouw dusdanig is vormgegeven dat daarmee koelen wordt vermeden. Hiervoor zijn materialen met een groot warmte-accumulerend vermogen gebruikt en directe instraling van de zon is vermeden door toepassing van een speciale betonnen gevelconstructie.

Het gebouw behoort tot de zuinigste kantoorgebouwen van Nederland wat betreft het energiegebruik voor verwarming. Men tracht het energiegebruik zo laag mogelijk te houden door gebruik te maken van daglichtafhankelijke verlichting en laptop-computers met een lager vermogen dan een conventionele PC. In tabel 4.1 en fig. 4.2 is aangegeven hoe de milieubelasting van het kantoor in Haarlem zich verhoudt tot de milieubelasting van een gewoon gekoeld kantoorgebouw met een gelijk aantal werkplekken (200).

In deze tabel staat ook hoeveel de milieubelasting van dit minder milieubelastende kantoorgebouw nog kan worden verlaagd met technieken die reeds in Nederland worden toegepast, zoals het plaatsen van warmtewisselaars om de warmte uit de ventilatielucht terug te winnen. Andere maatregelen zijn erop gericht om de hoeveelheid gebruikte materialen te verminderen en het afvalscenario van bouwdeelen die vervangen moeten worden, te optimaliseren.

	'gewoon' kantoor	kantoor Haarlem	kantoor Haarlem (verbeterd)
verwarming	27.020	9.264	2.924
koeling	38.988	0	0
elektriciteitsgebruik	54.815	43.852	43.852
fundering	1.139	911	660
draagconstructie	3.125	2.500	2.154
gevel	1.668	1.334	1.302
dakbedekking en isolatie	1.084	867	455
interieur	12.500	10.000	85
totaal aantal 'ecopunten'	140.339	68.728	51.432
punten per werkplek	702	344	257
punten per werknemer	561	275	206

Tabel 4.1 Vergelijking van de milieubelasting van het kantoor in Haarlem met een 'gewoon' kantoor en mogelijkheden tot verbetering

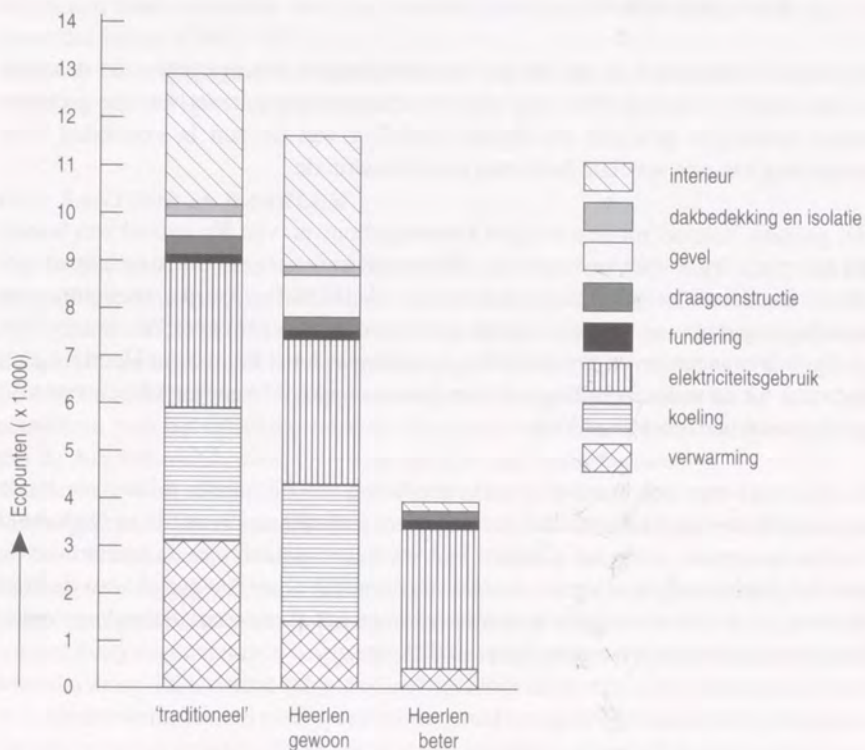


Fig. 4.2 Grafische weergave van tabel 4.1 (kantoor Haarlem vergeleken)

4.3.2 KANTOOR IN HEERLEN

Dit kantoorgebouw (fig. 4.3) is kleiner (30 werkplekken in een cellenkantoor) en van geheel andere aard. Het bruto vloeroppervlak van het gebouw is 812 m² en de inhoud is 2500 m³. Het gebouw is gebouwd met het bouwsysteem van Unidek dat voornamelijk bestaat uit staal, aluminium en betonnen vloeren. Het systeem is industrieel vervaardigd en – op de begane grondvloer na – geheel geprefabriceerd. Hierdoor wordt bouwen voor het grootste deel teruggebracht tot montage op de bouwplaats. De voordelen hiervan zijn dat men snel kan bouwen en – uit milieuoogpunt belangrijk – dat er weinig bouwafval is. Het systeem is weer te demonteren en de bouwdelen kunnen elders opnieuw worden gebruikt, eventueel gestimuleerd door een statiegeldregeling.

Ook van dit kantoor is de milieubelasting schematisch weergegeven (tabel 4.2 en fig. 4.4).



Fig. 4.3 Kantoorgebouw in het Unideksysteem in Heerlen

Bron: Unidek, Gemert

De eerste kolom geeft aan wat de milieubelasting van het kantoorgebouw zou zijn als het uitgevoerd werd in traditionele materialen en methoden. De tweede kolom geeft de huidige milieubelasting van het kantoorgebouw in Heerlen aan. De derde kolom toont wat de milieubelasting van het kantoorgebouw kan zijn als er verbeteringen worden aangebracht, bijvoorbeeld door de aluminiumframes van de binnenwanden te vervangen door vurehout en de ventilatieverliezen te beperken.

	'traditioneel' kantoor	kantoor Heerlen	kantoor Heerlen (verbeterd)
verwarming	3.090	1.342	273
koeling	2.856	2.856	0
elektriciteitsgebruik	2.997	2.997	2.997
fundering	107	70	70
draagconstructie	372	164	157
gevel	288	868	31
dakbedekking en isolatie	149	113	31
interieur	2.960	2.917	51
totaal aantal 'ecopunten'	12.819	11.327	3.610
punten per werkplek = punten per werknemer	427	378	120

Tabel 4.2 Vergelijking van de milieubelasting van het kantoor in Heerlen met een 'traditioneel' kantoor en mogelijkheden tot verbetering

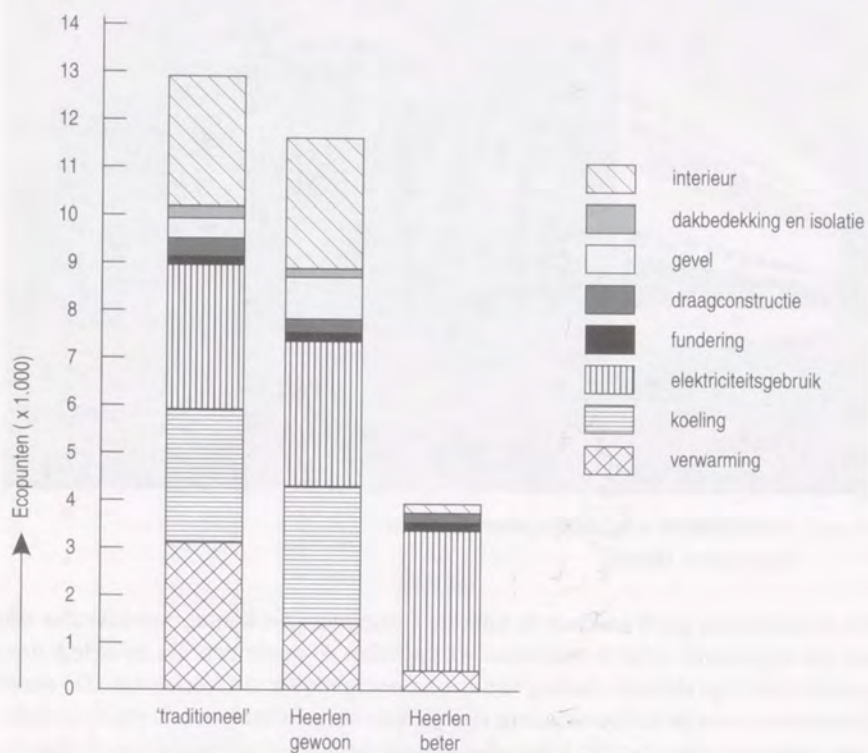


Fig. 4.4 Grafische weergave van tabel 4.2 (kantoor Heerlen vergeleken)

4.4 TERUGDRINGEN VAN DE MILIEUBELASTING

Bij het terugdringen van de milieubelasting heeft, zoals eerder gezegd, het terugdringen van het energiegebruik in de gebruiksfase de eerste prioriteit. Bij utiliteitsbouw kan daarnaast erg veel worden bereikt door vermindering van het ruimtegebruik op stedenbouwkundig en gebouwniveau.

Ondanks twintig jaar energiebesparing is er nog steeds een aanzienlijke verbetering mogelijk in het besparen van energie. Verder isoleren van gebouwen is op dit moment weinig zinnig. Zinvoller is het beperken van de verliezen aan ventilatiewarmte. Een manier om dit verlies te beperken is het toepassen van een warmtewisselaar waardoor het energiegebruik voor het stoken met tweederde deel teruggebracht kan worden. De te gebruiken warmtewisselaar moet optimaal worden gedimensioneerd met betrekking tot de temperatuurverschillen tussen de binnen- en de buitenlucht, en met betrekking tot de hoeveelheid lucht die weggeventileerd wordt. Als een juist gedimensioneerde warmtewisselaar gebruikt wordt, zijn besparingen op de stookkosten tot meer dan 70% mogelijk [Verhoeven, 1987]. Pas als deze maatregel genomen is, heeft verder isoleren weer zin.

De vraag dringt zich op waarom warmtewisselaars nog slechts op kleine schaal worden toegepast. Een antwoord op deze vraag zit in de structuur van de vastgoedmarkt. Een investeerder is vaak niet de gebruiker van het gebouw. De investeerder betaalt de kosten voor de aanleg van een ventilatiesysteem met warmtewisselaar. De gebruiker betaalt de energierekening van het gebouw. Op deze manier zitten de lasten van de energiebesparende maatregelen bij de investeerder en komen de baten bij de gebruiker terecht. Een oplossing van dit probleem is om de baten van de energiebesparende maatregelen in de huurprijs te verdisconteren, opdat de investeerder baat heeft bij de extra investering. Op deze manier is de warmtewisselaar in ongeveer 10 jaar (bij de huidige gasprijen) terugverdiend, terwijl de levensduur van een warmtewisselaar ongeveer 30 jaar is.

Een ander aspect dat voortvloeit uit de structuur van de vastgoedmarkt en waarbij veel milieubelasting zou kunnen worden vermeden is het gebruik en de daarmee samenhangende inrichting van kantoren.

Van tevoren nadenken over het gebruik van een gebouw is ook een onderdeel van duurzaam bouwen. Op dit moment wordt hierover te weinig nagedacht waardoor er onnodig veel verbouwd wordt als gevolg van verkeerd genomen ontwerpbeslissingen. Een projectontwikkelaar weet vaak niet voor wie hij bouwt en deelt het kantoor daarom veranderbaar in. Op deze wijze is hij beter in staat aan de vraag van de markt te voldoen en blijft het pand verhuurbaar. Zou de projectontwikkelaar echter weten voor wie het pand gebouwd wordt, dan kan hij rekening houden met de specifieke eisen van de klant (mits de klant zelf weet wat hij wil). De ingebouwde veranderbaarheid is dan minder noodzakelijk. Bovendien blijkt vandaag de dag al vaak dat de indeling van kantoorpanden lang niet zo vaak wisselt als men verwacht had. Het is overigens niet duidelijk of dit komt doordat men er geen behoefte aan heeft of doordat het aanbrengen van een verandering veel moeite en geld kost.

Het piramidemodel voor kantoorinrichting in fig. 4.5 geeft inzicht in de noodzaak om ruimten veranderbaar uit te voeren. De top van de piramide wordt gevormd door enkele grotere luxere eenpersoonskamers voor de directie die nooit verandert hoeven te worden. Dit is een klein gedeelte van het kantoor. De volgende laag

bestaat uit een aantal vergaderruimten. De wanden van deze kamers kunnen ook onveranderbaar uitgevoerd worden in bijvoorbeeld kalkzandsteen. De derde laag van de piramide wordt gevormd door een groter aantal twee-, drie- of vierpersoonskamers waar het management een plek vindt. De basis van de piramide ten slotte bestaat uit een aantal grote meerpersoonswerkplekken voor het overige personeel. Deze ruimten moeten meer veranderbaar uitgevoerd worden, omdat hier de kans op veranderingen het grootst is.

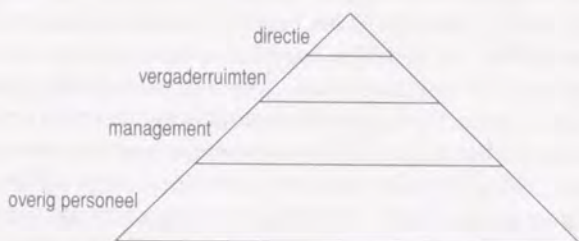


Fig. 4.5 Piramidemodel voor kantoorinrichting

Tenslotte is de huidige vastgoedmarkt zo ingericht dat een belegger een gebouw ziet als een project dat een bepaald rendement moet opbrengen. Zolang de grondprijzen in het huidige tempo blijven stijgen, kan de belegger alleen al op die manier zijn rendement halen. Wat er op die grond wordt neergezet, is daardoor een belang van een andere orde. De belegger zet er een gebouw neer dat voor een periode van 10 tot 15 jaar huur moet opbrengen en na die periode verkoopt hij het gebouw en de grond met winst. De belegger koopt elders opnieuw grond en de cyclus begint opnieuw. Investeren in duurzaamheid van gebouwen is voor deze markt dan ook niet interessant. Pas als de grondprijzen stabiliseren, wordt de restwaarde van het gebouw op die grond interessant en zal een belegger bereid zijn te investeren in duurzame gebouwen die voor een lange periode hun geld opbrengen.

4.5 CONSEQUENTIES VOOR HET MATERIAALGEBRUIK

Alhoewel de keuze van de materialen niet het enige aspect is dat de milieubelasting van een gebouw bepaalt, moet het niet worden verwaarloosd. Er zijn een paar dingen die gezegd kunnen worden over materiaalkeuzen.

Ten eerste moet een bouw materiaal of een bouwdeel voldoen aan de minimumeisen die worden gesteld (dakbedekking moet waterdicht zijn). Met een bouw materiaal of bouwdeel dat niet voldoet aan de gestelde functionele eisen kan per definitie niet duurzaam gebouwd worden. Een dak dat is gemaakt van milieuvriendelijke materialen die weinig milieubelasting bij de productie geven en dat na een jaar al lekt, zal na dat jaar al vervangen worden. Een goed bouw materiaal dat iets meer milieubelasting in de productiefase geeft, maar dat dertig jaar meegaat zal uiteindelijk minder milieubelasting geven dan dertig niet-functionerende daken.

Dat de milieubelasting tijdens de productie niet altijd van doorslaggevend belang is, blijkt ook uit fig. 4.6.

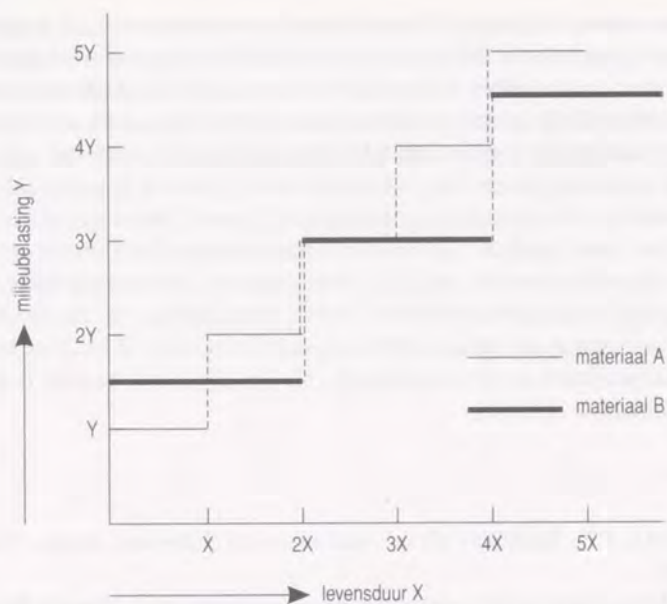


Fig. 4.6 Levensduur en milieubelasting bepalen de juiste keuze bij een bepaalde toepassing

Dakbedekkingsmateriaal A heeft een levensduur van X jaren en een milieubelasting Y. Dakbedekkingsmateriaal B heeft een levensduur van 2X jaren en geeft een milieubelasting van $1\frac{1}{2} Y$. Als het object waarop het materiaal wordt toegepast voor een periode van X jaar gebruikt wordt, heeft materiaal A de voorkeur. Wordt het object voor een periode van 2X jaar gebruikt, dan is het voor die periode om het even welk materiaal wordt gebruikt. Wordt het object over een periode van 3X jaar gebruikt, dan heeft materiaal A de voorkeur als zeker is dat het object na die periode ook daadwerkelijk niet meer gebruikt wordt. Wordt het object misschien langer gebruikt, dan heeft materiaal B de voorkeur. Duurt de gebruikperiode langer dan 4X jaar, dan gaat de voorkeur uit naar materiaal B. Materiaalvoorkeurslijsten verdwijnen met dit voorbeeld uit beeld.

Tot slot kan nog worden gezegd dat de manier van afvalverwerking van een afgedankt bouw materiaal van belang is. Het beste is uiteraard direct hergebruik van het materiaal in de vorm waarin het in eerste instantie gebruikt werd. Dit is bijvoorbeeld mogelijk bij kozijnen en stalen liggers die in een nieuw project opnieuw gebruikt kunnen worden. Recycling als mogelijkheid tot afvalverwerking geniet daarna de voorkeur. Door recycling worden grondstoffen bespaard waardoor milieubelasting ten gevolge van de winning van die grondstoffen voorkomen wordt. De resterende mogelijkheden tot afvalverwerking zoals storten en verbranding dienen zoveel mogelijk te worden vermeden.

4.6 CONCLUSIES

De conclusie uit dit essay kan zijn dat duurzaam bouwen een integrale aanpak vergt, waarin alle relevante aspecten tegen elkaar afgewogen moeten worden. In dit essay

zijn er maar enkele behandeld. Bij duurzaam bouwen hoort ook het bezuinigen op water, het vermijden van hinder en nog vele andere aspecten. Mensen moeten kunnen wonen en werken in harmonie met hun omgeving, opdat deze behouden blijft voor de komende generaties. Er kan gesteld worden dat we op de goede weg zijn met het vormgeven van duurzaam bouwen, maar dat het allemaal nog beter kan en moet; de balk buigt immers nog behoorlijk door. Zoals ook in paragraaf 3.5 wordt geconstateerd, wordt een echte doorbraak op dit gebied pas mogelijk als aan twee voorwaarden wordt voldaan. Ten eerste moeten er gestandaardiseerde en verifieerbare procedures zijn voor het verkrijgen van gegevens. Ten tweede moet een (voor zover mogelijk) objectieve methode voor de beoordeling van de resultaten van een LCA-berekening algemeen worden aanvaard en moeten in LCA's alle aspecten worden meegenomen in de vergelijking. Als die situatie is bereikt is duurzaam bouwen niet langer in dubio.

Referenties

- BEETSTRA, F.F., *Building related environmental diagnosis*, Heron, Vol. 41, no 3, 1996
- CML, *Milieugerichte levenscyclusanalyse van producten. Handleiding en achtergronden*, NOH-rapportnummer 9253, Centrum voor Milieukunde Leiden, 1992
- DIOG-DGO, *Onderzoeksprogramma 'De ecologische stad'*, Delfts Interfacultair Onderzoek-Centrum Duurzaam gebouwde omgeving, Technische Universiteit Delft, 1996
- JANSEN, P.F.C., *Duurzaam bouwen: Nationaal pakket Woningbouw*, Stichting Bouwresearch, publicatie 359, Rotterdam, 1996
- SEV, *Handleiding duurzame woningbouw*, Stuurgroep Experimenten Volkshuisvesting, Rotterdam, 1993
- SEV, *Actualisering handleiding duurzame woningbouw (definitief concept)*, Stuurgroep Experimenten Volkshuisvesting, Rotterdam, 1995
- VERHOEVEN RAADGEVENDE INGENIEURS, *Energiegebruik in kantoren: vereenvoudigde berekeningsmethode en richtwaarden*, TNO-TPD Delft, Stichting ISSO, Rotterdam, 1987
- VROM, *Nationaal Milieubeleidsplan: Kiezen of verliezen*, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 1989
- VROM, *Nationaal Milieubeleidsplan-plus*, Ministeries van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Economische Zaken, Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, en Verkeer en Waterstaat, Den Haag, 1990
- VROM, *Plan van aanpak Duurzaam bouwen*, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 1995

Literatuur

- BERG, N.W. VAN DEN, C.E. DUTILH, G. HUPPES, *LCA voor beginners, handleiding voor milieugerichte levenscyclusanalyse*, Centrum voor Milieukunde Leiden, 1995

-
- KOSTER, A.C., *Duurzaam bouwen is...? Een onderzoek naar de mogelijkheid tot duurzaam bouwen met het Unidek bouwsysteem*, afstudeerverslag, Faculteit der Bouwkunde, Technische Universiteit Eindhoven, 1997
 - VROM, *Plan van aanpak Duurzaam bouwen, deelplan Utiliteitsbouw*, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 1996



5. Montage op de bouwplaats

5.1 MONTAGE OP DE BOUWPLAATS – WAAROM?

*ir. M.J. Venemans**

Na de Tweede Wereldoorlog was er – zowel in Nederland en België als ook in andere delen van Europa – een enorme behoefte aan woningen. De traditionele bouw leek niet in staat deze behoefte in een voldoende hoog tempo te vervullen. Daarmee ontstond een uitstekende maatschappelijke voedingsbodem voor nieuwe woonconcepten en bouwmethoden: de CECA-, Polynorm-, Fokker-, Shell- en VANEG-woningen, houtskeletbouw, CD20, SMT-systemen en vele andere werden ontwikkeld en op grotere of kleinere schaal ook toegepast. Deze methoden werden gekenmerkt door een andere organisatie van het bouwproces, veel prefabricage en daarmee een grotere rol voor de toeleverende industrie en een minder ambachtelijke werkwijze. Tegenwoordig wordt echter geen van deze methoden meer toegepast; er zijn slechts hier en daar nog enkele huizen die volgens een van deze systemen zijn gebouwd. Voor het 'mislukken' van deze methoden kan een aantal redenen worden aangevoerd [Van Vugt, 1996]:

- De grootste drijfveer was het streven naar een grotere bouwsnelheid. De kwaliteit van de woning liet daarmee vaak te wensen over.
- De systemen botsten met belangen van bestaande partijen: er waren nauwelijks of geen vaklieden meer nodig op de bouwplaats, de aannemer en de architect hoefden slechts het systeem van een toeleverancier toe te passen.
- De voordelen van de nieuwe methode werden snel verwerkt in de 'oude' methode waarmee het bestaansrecht van de nieuwe was verdwenen.
- De fabrikant beperkte zich bij nader inzien toch tot zijn kernactiviteiten (het bouwen van vliegtuigen, het verkopen van brandstof).

Tegenwoordig is de omvang van de vraag niet meer het belangrijkste argument om met geprefabriceerde elementen en componenten te bouwen, maar zijn hergebruik van grondstoffen en componenten, het voorkómen van bouw- en sloopafval en een streven naar betere arbeidsomstandigheden belangrijke drijfveren. De economische levensduur van een gebouw is in het algemeen korter dan de technische levensduur van de componenten van het gebouw. In hoofdstuk 3, Flexibiliteit in gebouwen, wordt een aantal oorzaken van dit verschil geschetst. Door (een deel van) het gebouw te demonteren tot de samenstellende onderdelen en deze onderdelen in een andere compositie weer samen te voegen tot een ander gebouw, lijkt het mogelijk

* Annemieke Venemans is projectleider bij de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT).

om te voldoen aan de algemene wens tot duurzaam bouwen. Componenten zouden dan niet alleen worden gedemonteerd maar ook 'gehermonteerd' – het ultieme hergebruik van gebouwdelen. Als remontage mogelijk is, geldt dat per definitie ook voor montage en daarmee is de zoekrichting van de werkgroep met deze naam* in het onderliggende project gedefinieerd: hoe ziet een de- en hermonteerbare aansluiting tussen de componenten van een gebouw bij verschillende bouwdelen er uit?

Bij het ontwikkelen van dergelijke aansluitingen is een belangrijke rol weggelegd voor de toeleverende industrie; deze industrie levert de benodigde geprefabriceerde onderdelen en moet dus zorgen dat zijn producten op de bouwplaats in het bouwwerk zonder al te veel moeite, kans op fouten en afstemmingsverliezen worden gemonteerd. Bovendien zijn de meeste toeleverende bedrijven gewend te investeren in het ontwerpen en ontwikkelen van nieuwe producten voor de bouw; 80% van de toeleveranciers neemt over het algemeen hierin het initiatief [Ritmeijer, 1996]. Een ander aspect dat demontabel bouwen goed doet passen in het concept van duurzaam bouwen is dat een afvalstroom in een gecontroleerde situatie van industriële productie gemakkelijker te beheersen en te hanteren is dan op een open bouwplaats.

DEFINITIES EN BEGRIPPEN

Om een zekere consistentie in het gebruik van begrippen in de bouwwereld te bereiken zijn hier de begrippen en definities gehanteerd die prof.dr.ir. M. Eekhout heeft beschreven in De Bouwadviseur [Eekhout, 1994]. De begrippen zijn schematisch weergegeven in tabel 5.1.

Benaming van het bouwproduct	Benodigde bewerking
grondstof	> zuivering
materiaal	> vormvervaardiging
halffabrikaat	> vormbewerking
element	> subassemblage
subcomponent	> assemblage
component	> montage
bouwdeel	> aansluiting
gebouw	

Tabel 5.1 Hiërarchische reeks van bouwproducten
Bron: [Eekhout, 1994]

Grondstof is materie in ongezuiverde, niet direct als zodanig in de bouw of industrie toepasbare vorm of toestand. Voorbeelden zijn erts, bauxiet, klei, aardolie, gekapte bomen.

* De werkgroep heette aanvankelijk Montage en assemblage op de bouwplaats. Uit de gevoerde discussies bleek echter dat assemblage in de praktijk niet plaatsvindt op de bouwplaats zelf, maar in de fabriek; het is het samenstellen van subcomponenten tot componenten. Het aanbrengen van de componenten in het bouwwerk noemen we monteren.

Materiaal is gezuiverde en voor de verwerkingsindustrie gereed gemaakte ongevormde materie zoals cement, zand, kunststofkorrels, of in enkele gevallen in een vaste vorm zoals boomstammen, stalen coquilles of aluminium billets en gietbroodjes. Composietmateriaal is een niet-homogene samenstelling van twee of meer materialen van wezenlijk verschillende aard, zoals beton, glasvezelversterkte polyester, gecoëxtrudeerd PVC/ABS, als alternatief voor het homogene materiaal.

Een **halffabrikaat** is een product van de aan de bouw toeleverende industrie dat in haar vorm nog niet compleet kan worden gebruikt, maar eerst nog vormbewerkingen of vormaanpassingen moet ondergaan: metalen platen of profielen, aluminium extrusieprofielen, multiplexplaten, jumboglasplaten. In het dagelijks taalgebruik wordt het halffabrikaat ook wel aangeduid met 'bouw materiaal'.

Onder **element** wordt verstaan het kleinste onderdeel van een gebouw, vervaardigd uit één (= mono) materiaal of composiet met een eigen karakteristiek dat verder wordt geassembleerd in de fabriek of de werkplaats tot het grotere geheel van een subcomponent of een component. Doorgaans is het element een op maat gebracht, pasgemaakt bouw materiaal. In de werktuigbouwkunde komt het begrip 'element' overeen met het begrip 'onderdeel' (*part*) als een constructiedeel dat met behulp van niet-destructieve technieken niet verder in kleinere eenheden uiteen te nemen valt. Een element is dus een zelfstandige eenheid in karakter, bijvoorbeeld een kozijnstijl, kozijnrubber of een glasplaat of glaspaneel. De verschillende samen te voegen elementen kunnen hetzelfde karakter en dezelfde functies, maar verschillende afmetingen of profileringen hebben (bijv. de verschillende aluminium stijlen, regels en kalven in een gevelkozijn), maar ze kunnen ook anders van karakter en functie zijn (aluminium, rubber, glas en roestvaststaal voor dragende profielen, waterdichte afsluitingen, doorzichtige scheidingsvlakken en beweegbaar hang- en sluitwerk).

Onder een **subcomponent** wordt verstaan een assemblage van verschillende elementen tot een eenheid die op haar beurt nog moet worden samengevoegd in de werkplaats of de fabriek tot een groter geheel of component, voordat transport naar de bouw kan plaatsvinden. Subcomponenten kunnen ook op de bouwplaats tot component worden geassembleerd als het transport te grote beperkingen aan het maximale volume of de afmetingen zou opleggen.

Een **component** is een zelfstandig functionerend gebouwonderdeel dat is opgebouwd uit een aantal samenstellende elementen en of subcomponenten. Deze onderdelen worden buiten de bouwplaats tot een component geassembleerd en naar de bouwplaats getransporteerd, om vervolgens op de bouw slechts ingehesen en gemonteerd te worden. Vanwege de afmetingen kan men zich echter van sommige gebouwonderdelen ook voorstellen dat de laatste assemblage in een veld- of bouwplaatsfabriek gebeurt (zie ook bij subcomponent).

Een **bouwdeel** of deelontwerp is een verzameling van componenten van een gebouw met identieke technische functies. Voorbeeld is de fundering, de hoofd-draagconstructie, de gevel, enz.

Het **gebouw** is in bouwtechnisch opzicht het totale geheel van alle bouwdelen in gemonteerde toestand.

Referenties

- EEKHOUT, M., *Tussen produktontwikkelen en de-systematiseren; deel 1, begrippen*, De Bouwadviseur, pp. 10-16, mei 1994
- RITMEIJER, W.S.R., *Toeleveranciers en nieuwe materialen in de bouw*, Economisch Instituut voor de Bouwnijverheid, Amsterdam, 1996
- VUGT, E. VAN (red.), *Pioneers of the past, professionals of the present; syllabus bij het symposium over het prototype als prelude tot een nieuwe bouwwijze*, Technische Universiteit Eindhoven, Stichting Boosting, Eindhoven, 1996

5.2 STIMULERENDE EN BEPERKENDE FACTOREN

*ir. J.G. Drooger en J.W.J. van Ham**

Montage op de bouwplaats wordt door verschillende trends en ontwikkelingen gestimuleerd; andere omstandigheden werken echter belemmerend. In het volgende wordt van beide categorieën een overzicht gegeven.

STIMULANSEN

- vanuit de markt

De maatschappij blijft in beweging. De eisen die aan woningen worden gesteld veranderen mee. Ook organisaties veranderen snel en wensen steeds opnieuw huisvesting die aangepast is aan de nieuwe vorm, de uitstraling of het imago van de onderneming. Het gevolg is een steeds kortere gebruiksduur.

De markt ontwikkelt zich naar een consumentgerichte markt; de consument wil zelf bepalen hoe zijn woning of bedrijfshuisvesting eruit ziet. Bovendien neemt het zelf bouwen met behulp van een catalogus toe. Een voorbeeld hiervan vindt men in enkele straten van de Roosendaalse wijken Koppenhoef en Sterrebos [Roosendaal, z.j.]

- vanuit het oogpunt van energie en milieu

In toenemende mate wil men het produceren van bouw- en sloopafval vermijden. De tendens is dat de kosten voor de verwerking van afval (in belangrijke mate bouw- en sloopafval!) en vooral de storkosten zullen blijven stijgen.

Montage op de bouwplaats is een energievriendelijke manier van bouwen. De energie- en milieukostprijs van fabrieksmatige productie kan daardoor lager liggen. Het proces kan beter worden bewaakt en worden geoptimaliseerd. Droogstoken is niet nodig; er wordt minder water en elektriciteit gebruikt op de bouwplaats.

- arbeidstechnisch

Vakkrachten worden schaars. Sedert het begin van deze eeuw is een verschuiving te constateren naar hogere arbeidskosten en lagere materiaalkosten.

* Hans Drooger is als architect werkzaam bij de Directie Zuid-West van de Rijksgebouwendienst. Jan van Ham is directeur van REWA Budel en heeft het droogbouwsysteem AXALL ontwikkeld waaraan in 1997 een erkenning goed industrieel ontwerp is toegekend..

De netto-werktijd neemt nog steeds af door arbeidstijdverkorting. Daarnaast hebben we in de winterperiode te maken met verlet. Prefabricage legt een minder grote claim op het aantal werkbare dagen; het is 'all-weather bouw'.

Arbeidsomstandigheden gaan een steeds grotere rol spelen. Werken op de bouw heeft nog steeds veel gezondheidsrisico's en ziekteverzuim tot gevolg [Korbijn, 1996]. Regels worden daarom steeds aangescherpt. Het beperken van de werkzaamheden op de bouwplaats zelf tot monteren zou dit verzuim kunnen terugdringen.

– *economisch*

De vergankelijke waarde van onroerend goed en de verschuiving in de kosten tussen gebouw en grond pleit ook voor montage op de bouwplaats. Japan kan hierbij als voorbeeld dienen. De Nederlandse verhouding tussen de kosten van de grond en die van de bebouwing zal verlopen van 1 : 4 naar het omgekeerde, 80% grondkosten en 20% bouwkosten.

Ook de verhouding tussen de prijzen van materiaal en arbeid en de prijzen zelf wijzigen voortdurend. Dit heeft zijn weerslag op het bouwproces en de logistiek; prefabricage en montage op de bouwplaats maken een snellere reactie op een andere vraag mogelijk. Het op voorraad houden van componenten en elementen is (als dat wordt gewenst) mogelijk.

Andere economische voordelen van montage op de bouwplaats zijn:

- een kortere bouwtijd (en dus minder bouwhinder voor de omgeving);
- het gebouw is eerder verhuurbaar;
- de renteverliezen blijven beperkt;
- het bouwproces is niet weersafhankelijk;
- de kostprijs is eenmalig;
- exploitatie en onderhoud zijn beter beheersbaar;
- het gebouw staat niet leeg waardoor de kans op verpaupering kleiner is;
- uiteindelijk zijn er minder sloopkosten.

Met het monteren van gestandaardiseerde componenten op de bouwplaats kan een gegarandeerde terugkoopregeling worden opgezet met een minimumprijs voor de verkoper. Dit principe van statiegeldgebouwen geeft de eigenaar meer zekerheid en maakt hogere stichtingskosten aanvaardbaar. Ook is het mogelijk om de marktwaarde van het gebouw los te koppelen van de locatie. Wellicht is hierbij sprake van roerend in plaats van onroerend goed. Onderzoek zal moeten uitwijzen of dit leidt tot een 'andere' overdrachtsbelasting. Ook de toepassing van verschillende financieringsvormen (bijvoorbeeld *lease*, terugkoopgarantie) kan een mogelijkheid zijn. Doordat gebouwen bij afwezigheid van een gebruiker of huurder weer ontmanteld kunnen worden, kan langdurige leegstand worden vermeden en ontstaat er geen overcapaciteit van gebouwen.

– *met het oog op het bouwproces*

Bij de huidige bouwwerken hebben wijzigingen in grootte, vorm en afmetingen vrij ingrijpende verbouwingen of aanpassingen tot gevolg. Gemonteerde bouwwerken zijn meer flexibel en eenvoudiger en sneller aan te passen aan de nieuwe eisen. Verdere voortschrijding van de automatisering – en zelfs robotisering – in de bouw maakt steeds betere producten mogelijk. Procédés zoals deze in moderne werkplaatsen en fabrieken worden gebruikt kunnen ook worden toegepast bij de fabricage

van de componenten. Het proces wordt daarmee nauwkeuriger en voorspelbaarder. Doordat een groter deel van het proces onder geconditioneerde omstandigheden plaatsvindt, is het risico voor de afnemer geringer.

Materialen kunnen dankzij geconditioneerde (pre-)fabricage en controle uiteindelijk voor een beter eindresultaat van het gebouw zorgen. Materialen die van zichzelf een lage kwaliteit hebben kunnen dankzij gecontroleerde procédés verbeterd worden (voorbeeld: kozijnen van gelamineerd hout).

De uitwisselbaarheid van installaties en andere onderdelen van een gebouw zal groter worden. Bij vaste randvoorwaarden voor de componenten zullen installaties eenduidiger zijn aan te sluiten; zelfs het meenemen van je eigen installatie naar een ander gebouw zal mogelijk zijn. Een gestandaardiseerde interface voor de montage van componenten is hierbij onmisbaar.

Hoe meer onderdelen kunnen worden geprefabriceerd, hoe groter de controle op deze elementen en componenten kan zijn. Dit heeft een hogere kwaliteit tot gevolg. De levensduur wordt verlengd, het einde van deze cyclus geeft altijd nog de mogelijkheid tot opdeling in basismaterialen die weer opnieuw gebruikt kunnen worden, kortom, de keten wordt weer gesloten.

– *stedenbouwkundig*

Ruimten in het bestemmingsplan zijn tijdelijk invulbaar. Bouwwerken kunnen voor een beperkte tijd op een locatie worden geplaatst waardoor een 'gat' later nog kan worden ingevuld; meer opties blijven mogelijk.

BEPERKENDE EN REMMENDE FACTOREN

– *vanuit de markt*

De aanbiederszijde van de markt (aannemers, projectontwikkelaars) ziet een deel van het marktaandeel overgaan naar fabrikanten van bouwproducten.

De macht van grote beleggers en woningcorporaties is groot. Zij zijn in het algemeen niet geïnteresseerd in het nemen van risico's. Zij en sommige bouwbedrijven zijn conservatief: ze doen het nu eenmaal zo en dat gaat toch best goed?

Bouwbedrijven zijn vaak ook niet (voldoende) bekend met de subsidiemogelijkheden voor innovatieve technieken en of werkwijzen. Om te investeren en te ontwikkelen is er wel geld nodig.

Het huidige economische klimaat levert een stijgende vraag en goede prijzen op. Dat is geen stimulans om nieuwe wegen te zoeken; aan de andere kant biedt dat wel de mogelijkheid om onderzoek te doen naar nieuwe, kostbare technieken.

– *met het oog op het bouwproces*

De huidige regelgeving, aanbestedingsprocedures en welstandsprocedures zijn niet meegegroeid met de praktijk van het bouwen. Ook nutsbedrijven, brandweer, bouwen woningtoezicht zorgen vaak voor bureaucratische tegenwerking. Dit zou frictie kunnen geven met nieuwe montagetechnieken.

Het grootste deel van de vernieuwingen in de bouw heeft de vorm van kleinschalige procesinnovaties. Daarnaast zijn bouwbedrijven niet gewend om op grote schaal subsidies aan te vragen.

Omdat de hoeveelheid vakmanschap vermindert, kunnen vakorganisaties terecht bezwaar hebben tegen het verdwijnen van een deel van de 'echte' bouwberoepen.

– *met betrekking tot standaardisatie*

Bij architecten en gebruikers is er een grote angst voor eenvormigheid. Juist de aanzetten die in het verleden zijn gegeven, bevestigen het beeld dat met traditionele technieken (bijna) alles mogelijk is, maar met vernieuwende niet.

Er is een veelheid van internationale standaarden die niet allemaal op elkaar zijn afgestemd. Juist onder het mom van 'Europa' zullen wijzigingen worden tegengehouden (concurrentie-oogpunt). Een voorbeeld hiervan is de Europese stekker, waarvoor het ontwerp van CENELEC in december 1996 voor de derde keer is afgewezen. Ook zijn teveel disciplines bezig met de afstemming van maatvoering. Het mislukken van bijvoorbeeld modulaire coördinatie (een van de pijlers van het Open Bouwen systeem uit de jaren zeventig) vloeit onder andere hieruit voort.

TEN SLOTTE

Lange-termijndenken zal leiden tot meer investeringen in nieuwe materialen en technieken, zeker als uit integrale kostprijsberekeningen blijkt dat deze op den duur goedkoper zijn. Ook vragen uit de markt om andere producten en systemen zullen hierbij helpen. Standaardisatie is hierbij onvermijdelijk. Een standaardmontage-interface is zelfs essentieel.

Referenties

- KORBIJN, A., *Gezonde productiviteit, innoveren voor betere arbeidsomstandigheden*, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, publicatie 58, Den Haag, 1996
- ROOSEDAAL, *Koppenhoef, wonen in een landelijke omgeving*, en *Sterrebos, wonen aan de bosrand*, brochures van de gemeente Roosendaal en Nispen, z.j.

5.3 ÉÉN STANDAARDMONTAGE-INTERFACE?

*ir. R.C. Dorgelo, ir. H.J. van den Hil, ir. V. Thöne**

Aan het einde van paragraaf 5.2 is gesteld dat een standaardmontage-interface een voorwaarde is voor het succesvol implementeren van montage op de bouwplaats en daarmee voor het mogelijk maken van de uiterste uitwisselbaarheid van componenten.

In ieder geval is het zo dat de aansluitingen tussen de componenten aan specifieke eisen moeten voldoen om montage van geprefabriceerde componenten of assemblage op de bouwplaats mogelijk te maken. Doel van deze paragraaf is om die aansluitingen tussen componenten zodanig te beschrijven dat voor het materiaal van deze aansluitingen eisen kunnen worden geformuleerd.

* René Dorgelo is projectleider bij de Stichting Bouwresearch. Harco van den Hil is hoofd Productontwikkeling bij Polynorm Bouwproducten. Victor Thöne doet aan de TU Delft promotieonderzoek naar de aansluitingen tussen componenten.

Een gebouw heeft een aantal functies. Het moet de bewoner beschermen tegen krachten en invloeden van buitenaf, het moet ruimte(n) scheppen voor allerlei activiteiten en de voorzieningen bieden die bij die activiteiten nodig zijn. De deelontwerpen die deze functies vervullen zijn structuur (of draagconstructie), schil, inrichting of inbouw en installaties voor klimaatregeling en communicatie.

Structuur

De draagconstructie moet de krachten opvangen en doorleiden naar de grond en zo zorgen voor sterkte, stijfheid en stabiliteit. De fundering wordt hier gezien als een deel van de draagconstructie. Deze wordt bij eventuele sloop van het gebouw als laatste afgebroken.

Schil

De schil moet binnen en buiten scheiden op het gebied van klimaat en functies. Fig. 5.1 geeft dit schematisch weer.

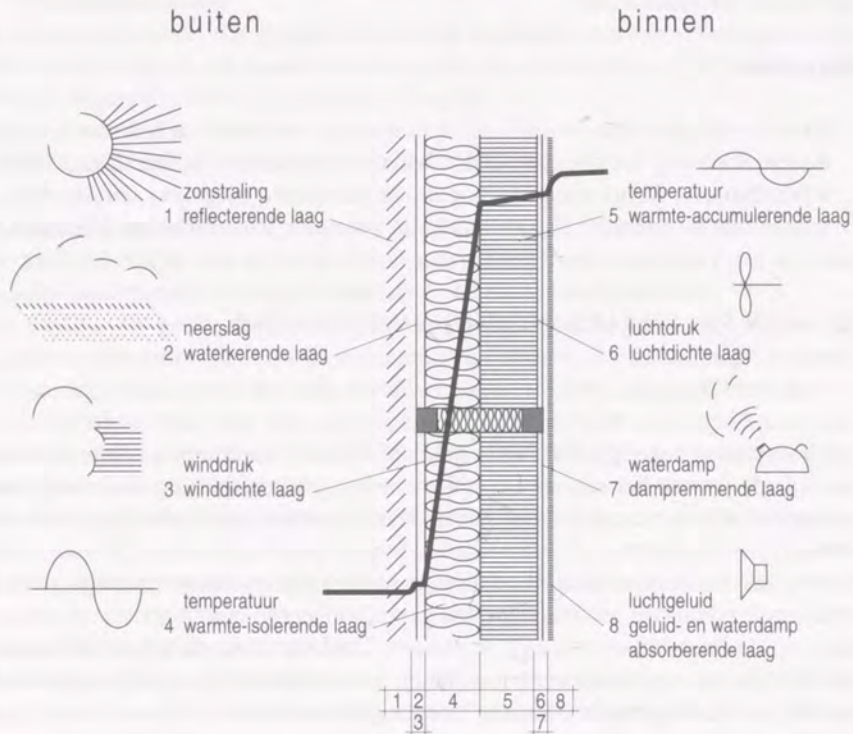


Fig. 5.1 Functies van de schil
Bron: [Haferland, 1981]

Inbouw

De inbouw dient om de indeling van het gebouw te verwezenlijken, de scheiding tussen 'binnen en binnen' te realiseren, de brandveiligheid te vergroten en de hinder van geluid en vocht te beperken. De inbouw van het gebouw kan worden gewijzigd zonder de schil en de structuur aan te tasten, maar kan niet blijven bestaan zonder de schil en de structuur.

Installaties

De vierde categorie voorzieningen in een gebouw zijn de installaties. Een gedeelte van de installaties dient als compensatie voor de tekortkomingen van structuur, schil en inbouw, de overige installaties vervullen aanvullende eisen.

De installaties zitten in het algemeen los van de inbouw en zijn pas vast te stellen in de context van de voorgaande en overige functies. Dat maakt het standaardiseren van de interface zo moeilijk: je weet immers pas wat je nodig hebt (wat je moet toepassen) als je weet wat de vorige functies tekortkomen.

RELATIES TUSSEN DE CATEGORIEËN DEELONTWERPEN

In theorie zijn de volgende relaties mogelijk (tabel 5.2).

<i>structuur</i>	structuur/structuur			
<i>schil</i>	structuur/schil	schil/schil		
<i>inbouw</i>	structuur/inbouw	schil/inbouw	inbouw/inbouw	
<i>installaties</i>	(structuur/installaties)	schil/installaties	inbouw/installaties	installaties/installaties
	<i>structuur</i>	<i>schil</i>	<i>inbouw</i>	<i>installaties</i>

Tabel 5.2 *Relaties tussen de verschillende categorieën deelontwerpen*

5.3.1 RELATIES TUSSEN DE CATEGORIEËN DEELONTWERPEN

*ir. R.C. Dorgelo**

Voor elke combinatie van deelontwerpen is nagegaan aan welke eisen de aansluiting moet voldoen.

Structuur/structuur

Tussen de structuren zijn lijn- en puntverbindingen mogelijk. De verbindingen tussen vlakken zijn lijnvormig; alleen rechte en enkelgekromde lijnen komen voor. De verbindingen tussen balken onderling zijn puntvormig en tussen balken en vlakken zowel lijn- als puntvormig.

De verbindingen in de structuur moeten sterkte en stijfheid geven.

Theoretische lijnen zijn praktisch driedimensionale lijnen, dus de constructie van de verbinding heeft een dikte, vergelijk bijvoorbeeld een rit.

* Voor auteursgegevens zie par. 5.3.

Puntverbindingen zijn evenzo driedimensionale punten, denk aan twee kokers die in elkaar geschoven zijn zoals bij tentstokken (fig. 5.2a). Of twee balken die op elkaar gebout zijn, of een balk die in een vlak steekt (fig. 5.2b) zoals de stok van een parasol in de voet. De puntverbinding kan dan momenten opnemen.

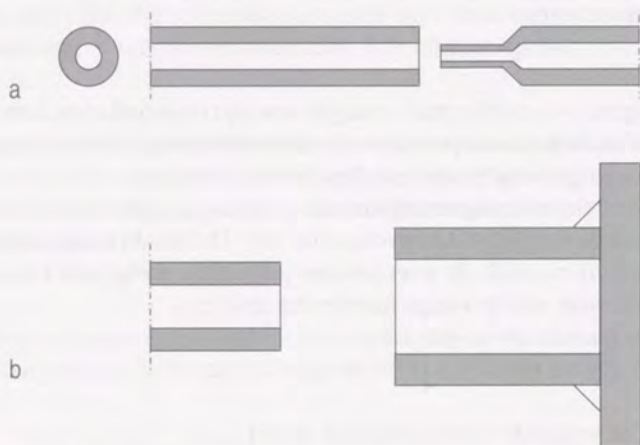


Fig. 5.2 Driedimensionale puntverbindingen

Structuur/schil

Schilcomponenten zijn per definitie vlakken. De structuur bestaat uit lijnen en vlakken. In verband met de complexiteit wordt afgesproken dat lijnverbindingen tussen schilcomponenten onderling op een andere plaats zitten dan de verbindingen tussen structuur en schil. Deze laatste verbindingen kunnen zowel lijn- als puntvormig zijn (fig. 5.3).

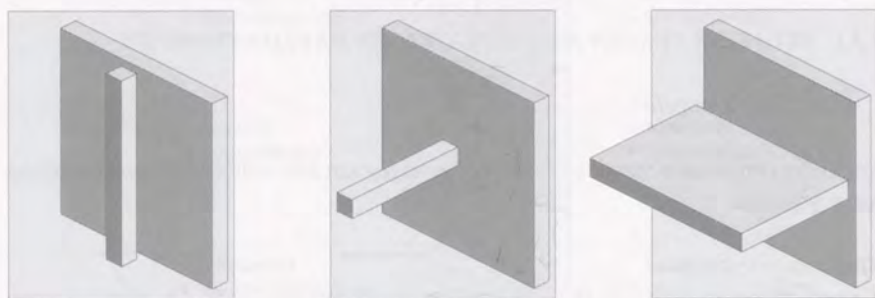


Fig. 5.3 Mogelijke verbindingen tussen structuur en schil

Een 'deur'-constructie met een scharnier op de structuur (fig. 5.4) lijkt nieuwe mogelijkheden te bieden voor de aansluiting tussen schil en structuur. Men kan zich afvragen of de plaats van de verbinding tussen schil en structuur hiermee onafhankelijk van de schil wordt.

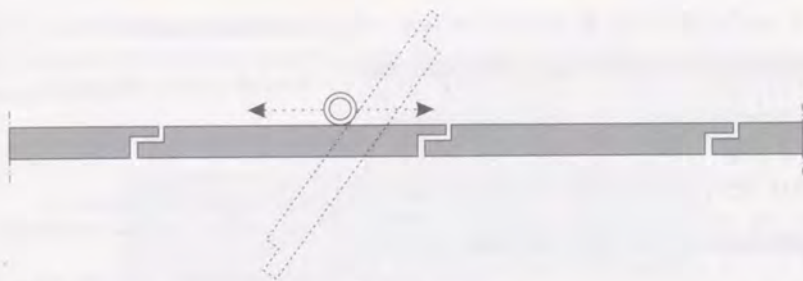


Fig. 5.4 Scharnierende aansluiting tussen structuur en schil

Structuur/inbouw

Inbouwcomponenten zijn verbonden aan de structuur met lijn- of puntverbindingen.

Structuur/installaties

Installaties zijn niet verbonden met de structuur.

Schil/schil

Componenten van de schil zijn per definitie vlakken; hier komen dus alleen lijnverbindingen voor.

Schilcomponenten hoeven zelf niet dragend te zijn; ze zijn echter onafhankelijk van de structuur weg te nemen.

Het aanzicht van de schil wordt bepaald door de mogelijkheden van het materiaal (zie het aanzicht van het materiaal waarvan tegenwoordig diplomatenkoffertjes worden gemaakt). Indien de schil eruit moet zien als baksteen, dan kan dat. Als de ontwerper hiervoor echter slechts echte bakstenen wil gebruiken, dan mag dat. Maar dan is men afhankelijk van dat materiaal en zijn eigenschappen.

Over het algemeen zal men naast een draagconstructie in een gebouw ook een vorm van vlakvulling wensen. Deze vlakvullingen kunnen dienen als: buitenwand, buitendeur, raam en kozijn, deur en kozijn, binnenwand, vloer, dak of constructieve schijf (windverband).

Het geheel van vlakvulling moet afhankelijk van de plaats in het gebouw zonlicht reflecteren of absorberen, water en wind keren, isoleren, accumuleren, en lucht, geluid en water absorberen (fig. 5.1).

Deze vlakvullingen kunnen in theorie op een aantal manieren worden opgebouwd. Uitgangspunt is één nieuw te vinden 'kunstmateriaal of kunststof'. Stel dat deze kunststof zich op verschillende manieren met een aaneengesloten resultaat laat gieten in een mal. De figuren 5.5 t/m 5.7 laten achtereenvolgens de doorsnede zien bij 8, 5 en 3 materiaallagen. De getallen 1 t/m 8 in de figuren verwijzen naar de overeenkomende functies van de schil volgens Haferland (fig. 5.1).

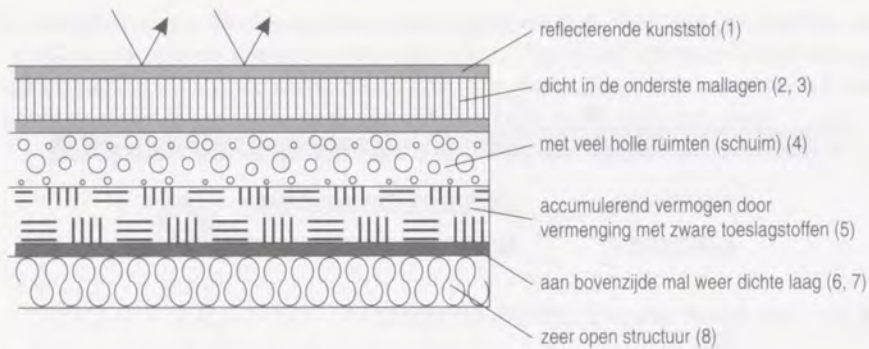


Fig. 5.5 Vlakvulling uit 8 verschillende lagen

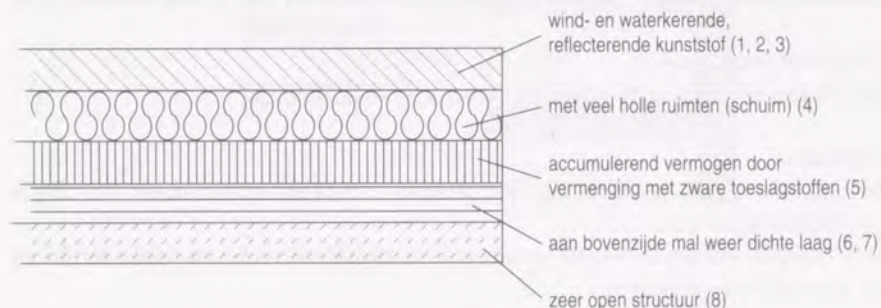


Fig. 5.6 Vlakvulling uit 5 verschillende lagen

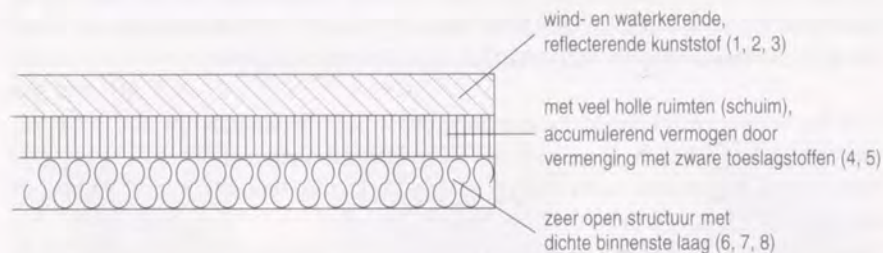


Fig. 5.7 Vlakvulling uit 3 verschillende lagen

In principe maakt het geen enkel verschil welk materiaal wordt gebruikt en in hoeveel lagen het bouwdeel wordt opgesplitst, daar het materiaal functioneel moet doorlopen. De uit montagetechnisch oogpunt ideale vlakvulling bestaat uit 1 materiaal dat alle gewenste eigenschappen in zich verenigt. Dus gelden hiervoor steeds weer de reeds eerdergenoemde aansluitmogelijkheden, al naar gelang architectonische eisen. Een en ander is mogelijk per materiaal of per component.

Een goede mogelijkheid lijkt een inwendige veerconstructie (fig. 5.8). De componenten zijn gemakkelijk naar één zijde (verticaal) weg te nemen. Wrijving zorgt ervoor dat de component op zijn plaats blijft. Met het stellen van de constructie op de juiste plaats kan de horizontale aansluiting worden gewaarborgd. Het aanzicht van de gevelwand wordt bij toepassing van dit principe als in fig. 5.9. Bij verwij-

dering wordt het paneel kleiner. Andere panelen blijven op wrijving hangen. Deze oplossing heeft tot gevolg dat de schil en de inbouw onafhankelijk van de structuur zijn geworden.



Fig. 5.8 Een inwendige veerconstructie

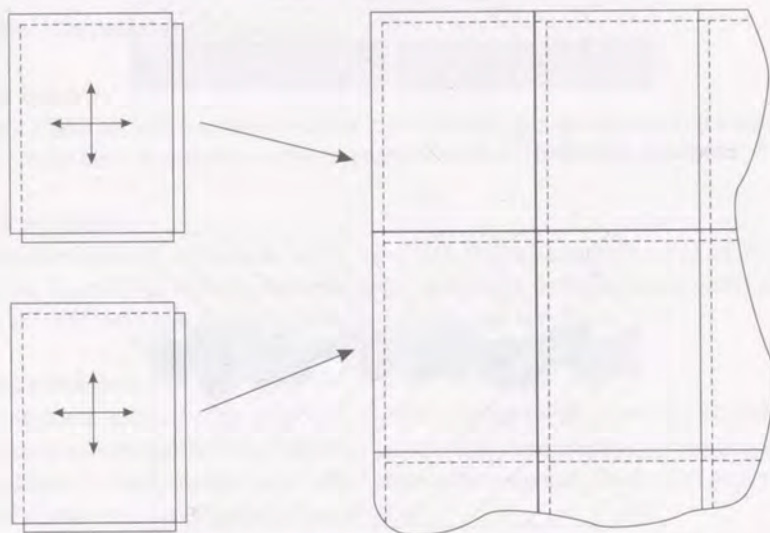


Fig. 5.9 Aanzicht van de gevelwand bij toepassing van de inwendige veerconstructie

Vaak worden te mooie oplossingen gezocht. Aansluitingen zoals in fig. 5.10 zijn functioneel gezien ook goed.

Ook lijmen is een goede oplossing, mits de gebruikte lijm ook weer kan worden verwijderd. Lijmen is immers een ruw oppervlak glad maken door middel van adhesie en cohesie tussen de materialen (fig. 5.11).

De gebruikte lijm moet natuurlijk niet 'zomaar' kunnen worden verwijderd, maar slechts onder extreme omstandigheden zoals hoge of juist lage temperatuur (denk aan brandveiligheid), met veel kracht of druk, en door middel van een veranderde elektrische lading.

Mogelijkheden hiervoor moeten worden gezocht in bestaande materialen en nieuwe lijmen of in nieuwe materialen met nieuwe lijmen. Als dit niet mogelijk is bij de geschikte materialen van de component, dan kan wellicht een intermediair materiaal worden toegevoegd. De bevestiging van dit materiaal met het componentmateriaal gebeurt in de fabriek; montage op de bouwplaats is dan eenvoudig. Het principe blijft hetzelfde, daar dezelfde materialen van de componenten bij elkaar komen op de bouwplaats (fig. 5.12).

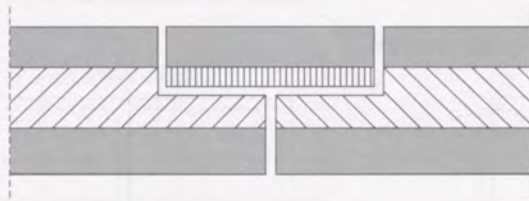
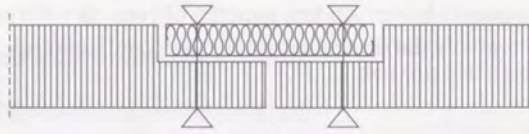


Fig. 5.10 Eenvoudige oplossingen voor aansluitingen



Fig. 5.11 Alle oneffenheden worden opgevuld door lijm, die daarna verhardt

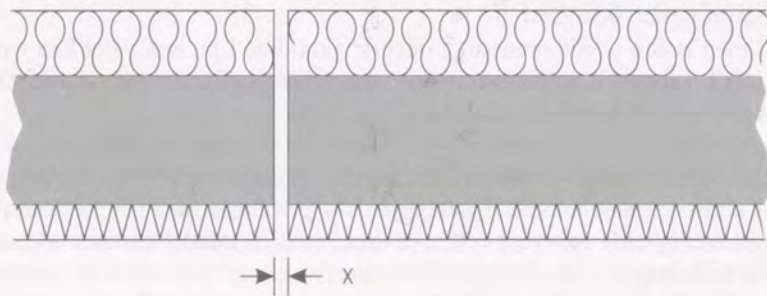


Fig. 5.12 Materiaal X of laag X dient als te lijmen vlak

Er kan ook worden gedacht aan een 'stopcontact-stekker'-verbinding (fig. 5.13). Als de aansluitvlakken voldoende vlak geslepen zijn, is de constructie altijd zover aan te drukken als noodzakelijk is.

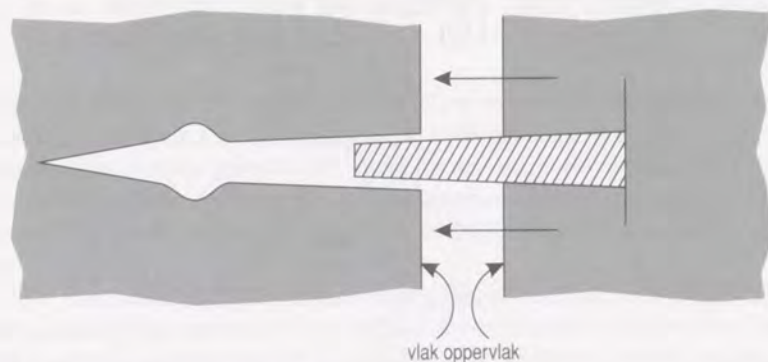


Fig. 5.13 'Stopcontact-stekker'-verbinding

Schil/inbouw

Zowel schil- als inbouwcomponenten zijn vlakken, dus de aansluitingen tussen de schil en de inbouw zijn lijnverbindingen.

Schil/installaties

Installaties kruisen zelden de schil; zij lopen vooral langs de schil of langs de inbouw. Installaties (kabels, slangen, pijpen) zijn per definitie lijnen en de schil is per definitie een vlak, dus de verbinding ertussen is een lijn.

Inbouw/inbouw

Inbouwcomponenten zoals plafonds, wanden, vloeren zijn inwendige scheidingscomponenten en per definitie vlakken; tussen deze componenten onderling komen dus alleen lijnverbindingen voor. Bouwtoleranties moeten 'in de lijn' opgevangen kunnen worden (wand/plafond, wand/vloer).

Zo denkt men aan een inwendige veerconstructie (fig. 5.14) in het materiaal waarvan de wand gemaakt is, die een bepaalde vorm kan onthouden. Het zou al dan niet met 'sleutels' in- en uitstelbaar kunnen zijn; door de veerconstructie zijn ook de toleranties op te vangen. Geheugenmateriaal lijkt goede mogelijkheden te bieden.

Inbouw/installaties

De leidingen van installaties zijn lijnen, die langs of door vlakken (van schil en inbouw) lopen. Installaties zijn de daaraan gekoppelde objecten. De leidingen kruisen vlakken met puntkruisingen. Inbouwcomponenten (vlakken) moeten vrijelijk 'gaten' kunnen bevatten zonder dat er geboord hoeft te worden. Dus de vlakken moeten opgebouwd zijn uit deelvlakken, waartussen gaten gespaard kunnen worden. Het ritme van deze gaten moet vrij zijn.

Vandaag de dag is de verbinding tussen de installatie en de inbouw of structuur een puntverbinding (de pijp of leiding is met een beugel of clip aan wand of structuurcomponent bevestigd).

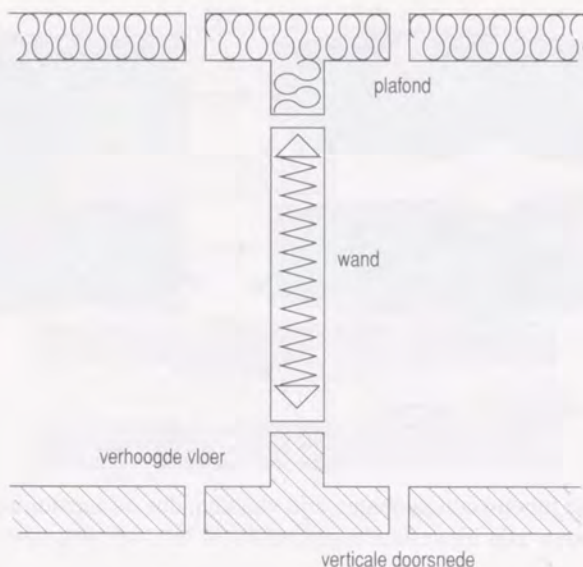


Fig. 5.14 Inwendige veerconstructie voor scheidingswanden

Installaties/installaties

De leidingen van installaties zijn lijnen. Tussen gelijksoortige installatie-elementen (pijpen, draden, kabels) komen alleen puntverbindingen voor.

De verbindingen in de leidingen van de installaties (gas, water, elektriciteit, gegevens, enz.) moeten 'dicht' zijn. Het te transporteren medium mag niet bij de verbinding ontsnappen uit de installatie. Klikverbindingen zijn heel goed mogelijk, maar dit moet altijd een kracht- en of vormgesloten verbinding zijn.

TOLERANTIE

*ir. R.C. Dorgelo, ir. H.J. van den Hil, ir. V. Thöne**

Een belangrijk verschil tussen de bouwkunde en de werktuigbouwkunde ligt in het omgaan met toegestane toleranties. In de bouwkunde worden maten gestapeld, dus de toleranties worden gestapeld en daarmee kan de tolerantie zeer groot zijn. In de werktuigbouwkunde worden de aansluitingen gecoördineerd, dat wil zeggen dat de tolerantie per aansluiting wordt opgevangen en daarmee klein kan blijven. Overigens wordt de grootte van de haalbare tolerantie ook bepaald door de samenstelling en de eigenschappen van het materiaal van de component.

Om montage en assemblage op de bouwplaats succesvol te kunnen toepassen, lijkt het noodzakelijk dat men op de bouwplaats op de werktuigbouwkundige manier omgaat met maten.

* Voor auteursgegevens zie par. 5.3.

5.3.2 NAAR MONTAGE OP DE BOUWPLAATS: TWEE VISIES OP DE AARD VAN COMPONENTEN

Om de activiteiten van de bouwplaats echt alleen te beperken tot montage, moet de bouw zich ontwikkelen in de richting van het produceren van componenten die op de bouwplaats worden gemonteerd. Zoals in de vorige paragraaf al werd aangegeven, schuilt de kracht van het werken met componenten in het systematiseren van de aansluiting. Op de aard van de componenten blijken echter twee visies te bestaan.

De eerste visie staat bekend als 'bouwen met componenten uit de catalogus'; hierbij wordt gebouwd met standaardcomponenten. Problemen op de bouwplaats worden voorkomen door componenten te ontwikkelen binnen allerlei vormen van systeembouw. Het aantal verschillende componenten is klein (zo klein mogelijk), maar er is een redelijke variëteit van gebouwen mee te maken. Vergelijk het met de ideale Lego-doos. De ARTB heeft dit in haar Bouwvisie 2010 [ARTB, 1993] 'optionele standaardisatie' genoemd: het ontwikkelen van confectie-artikelen waarmee individuele wensen zijn te realiseren.

De andere visie gaat ervan uit dat alle enigszins complicerende handelingen en aansluitingen in de fabriek worden gemaakt (par. 5.3.4, Simpele aansluitingen vragen om een ander type component). Zodoende zijn de componenten unieke stukken gebouw, die per project worden ontwikkeld en die volgens de specialismen van de fabrikant worden gefabriceerd. Als standaardproducten worden toegepast, worden ze als elementen in de fabriek op specifieke wijze aan elkaar gemaakt. Op die manier kunnen de componenten worden beschouwd als hun eigen passtukken. De aansluiting tussen dit type component kent geen complicerende factoren zoals materiaalwisseling, functiewisseling en richtingsverandering. Op de bouwplaats zelf worden slechts punt-puntverbindingen en verbindingen van rechte lijnen in een plat of enkelgekromd vlak toegepast.

Fig. 5.15 geeft schematisch het essentiële verschil tussen beide visies. Het linker-huisje bestaat uit componenten uit de Lego-doos; de aansluitingen tussen de componenten van het rechterhuisje zijn allemaal tweedimensionaal.

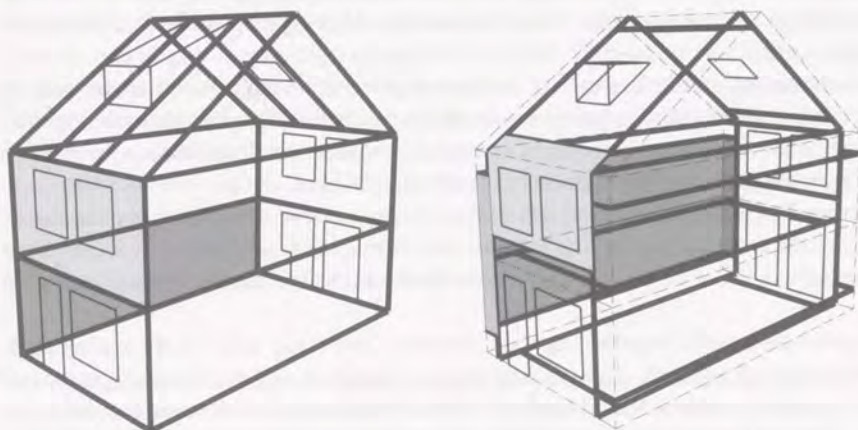


Fig. 5.15 Het essentiële verschil tussen de twee visies op de aard van componenten

De beide visies hebben zeker raakvlakken, maar kunnen toch verschillende consequenties voor de aansluitingen hebben. In de paragrafen 5.3.3 en 5.3.4 worden de visies verder uitgewerkt.

In het kader van deze studie is geen stelling genomen ten aanzien van welke visie de meeste mogelijkheden in zich heeft. Gezien de ontwikkeling van de bouwmarkt naar een consumentenmarkt is er behoefte aan gebouwssystemen die gemakkelijk te veranderen, te vervangen of te verplaatsen zijn. Er wordt hier verondersteld dat de markt plaats biedt voor verschillende methoden naast elkaar, mits deze geen al te specifieke onderdelen nodig hebben en dus met enige inspanning van doe-het-zelver of vakman te combineren zijn. Het lijkt waarschijnlijk dat verschillende methoden nog een aantal jaren naast elkaar (en naast de oude, ambachtelijke bouwmethode) blijven bestaan.

5.3.3 DE IDEALE LEGODOOS

*ir. R.W. Angenent, E. Bakker, ir. A.A. Koedam en ir. B.M. Verboom**

Met optionele standaardisatie (standaardisatie op basis van projectgebonden componenten), ook wel ontwerpen uit componentcatalogi genoemd, kunnen in de sloopfase kosten worden bespaard en stortkosten worden vermeden. Overigens zijn bij hergebruik niet alleen marktoverwegingen van belang, maar speelt ook regelgeving een belangrijke rol.

VERBINDINGEN TUSSEN STRUCTUREN

Voor verbindingen tussen structuren zijn lijn- en puntverbindingen mogelijk. In verband met de gewenste veranderbaarheid van een gebouw is hier gekozen voor een structuur die bestaat uit lineaire componenten, die gekoppeld worden in knopen. Deze knopen zijn puntvormige verbindingen. Aan dit soort verbindingen wordt een aantal eisen gesteld op het gebied van het losnemen en verwijderen, standaardisatie, gereedschapsgebruik, bedieningsgemak en vakmanschap, continuïteit en borging. In bijlage A worden deze eisen uitgewerkt. Vervolgens wordt een voorbeeld uitgewerkt.

De draagconstructie bestaat uit balkvormige componenten met flenzen aan de uiteinden die met snelkoppelingen aan elkaar geschakeld worden. De snelkoppeling is als losse component uitgevoerd en niet als uiteinde van de balkcomponenten om redenen van productietechnische en economische aard.

Een snelkoppeling wordt tussen twee flenzen geplaatst en verbindt deze na bekrachtiging door. De bekrachtiging gebeurt met behulp van perslucht, het lossen door middel van vacuüm. De plaat blijft in de vlakke vorm, ook als de druk weggenomen

* Roland Angenent is directeur van Bureau Angenent, Quality Assurance Consultancy. Egbert Bakker is directeur van de vestiging Noord van Strukton Bouwprojecten. Albert Koedam is coördinator Bouw- en Woonkwaliteit bij de Nationale Woningraad, een vereniging van circa 700 woningcorporaties. Bas Verboom was tot 1 februari 1997 hoofd Produkt- en Marktontwikkeling bij Ubbink Bouw. Sinds die datum is hij werkzaam als hoofd Produktontwikkeling bij Redland Dakprodukten.

wordt. De perslucht dient alleen om de koppeling te bedienen en niet om de verbinding in stand te houden (fig. 5.16).

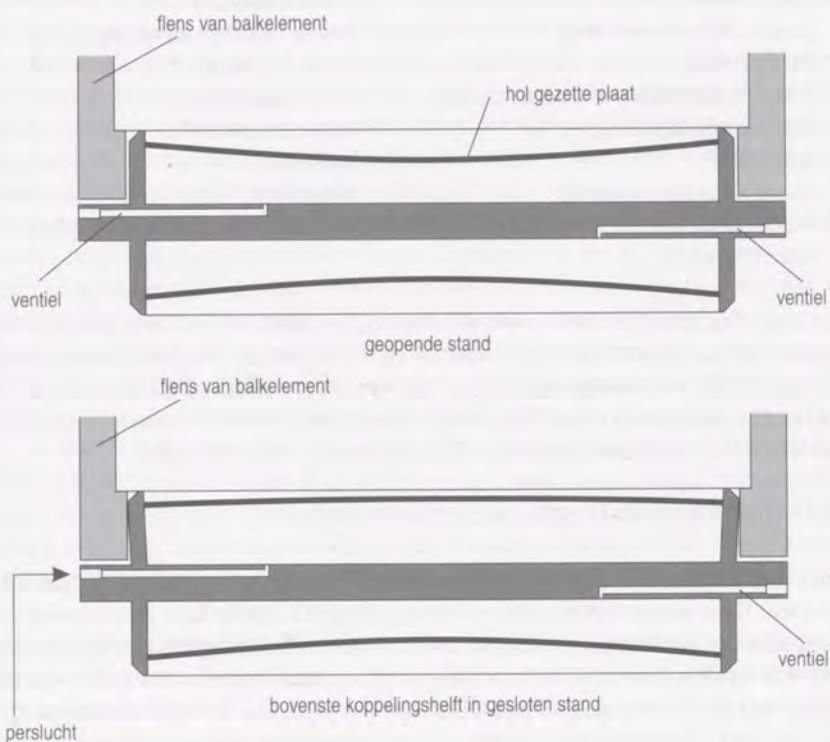


Fig. 5.16 De standen van het koppellement

VERBINDINGEN TUSSEN DELEN VAN DE SCHIL

Vlakkvullende componenten hebben de eigenschap dat zij eindigen in lineaire eindcondities. Daarom is een lijnvormige (de)assembleerbare verbinding nodig. Voor de constructieve schijven is bovendien een lijnvormige verbinding nodig die aanzienlijke krachten kan opnemen, een zogenaamde 'constructieve' verbinding. Aan de benodigde lijnvormige (de)assembleerbare verbinding wordt een aantal eisen gesteld op het gebied van het losnemen en verwijderen, standaardisatie, gereedschapsgebruik, bedieningsgemak en vakmanschap, continuïteit en borging. Lijnvormige constructieve verbindingen moeten daarnaast nog aan een aantal constructie-eisen voldoen. In bijlage B worden deze eisen uitgewerkt. Vervolgens wordt een voorbeeld uitgewerkt.

VERBINDINGEN TUSSEN DELEN VAN DE LEIDINGEN

Assemblage op de bouw geldt met name ook voor de leidingen. De verwachting is dat alles wat zich binnen de schil bevindt op den duur door de bewoner zelf geïnstalleerd en weer verwijderd zal worden. Daarom dienen nieuwe leidingen zeer gebruikersvriendelijk en *fool-proof* gemaakt te worden. Leidingen die werken met slangen hebben daarbij de voorkeur boven die met pijpen.

Dit betekent dat de volgende leidingen in de assembleerbare woning voorzien dienen te worden van (de)assembleerbare koppelingen:

- elektriciteitskabels
- koud-leidingwaterslang
- aardgasslang
- centrale antennesysteem/coaxkabel
- luchtafzuigingslang
- aardkabel
- snoer kamerthermostaat
- video-kabel gesloten tv-circuit
- enzovoorts.
- warmteslangen (cv)
- warm-leidingwaterslang
- telefoonkabel
- rioleringslang
- luidsprekerkabels
- belsnoer
- *home-bus*
- bekabeling beveiligingssysteem

Ook aan (de)assembleerbare leidingverbindingen wordt een aantal algemene eisen gesteld op het gebied van het losnemen en verwijderen, standaardisatie, gereedschapsgebruik, bedieningsgemak en vakmanschap, continuïteit en borging. In bijlage C worden deze eisen uitgewerkt. Vervolgens wordt een aantal voorbeelden van leidingverbindingen gegeven die (deels) aan de eisen voldoen.

EISEN AAN (DE)ASSEMBLEERBARE COMPONENTEN

Om componenten te kunnen re- of de-assembleren moeten ze aan een aantal eisen voldoen. Deze eisen worden uitgewerkt in bijlage D en hier kort samengevat. Een component wordt in zijn geheel geplaatst en kan na plaatsing en aansluiting direct gebruikt worden. Een component eindigt in gestandaardiseerde interfaces waarmee hij aan een andere component kan worden gekoppeld. Een component kan eenvoudig geplaatst en aangesloten worden en even eenvoudig ontkoppeld en verwijderd worden. Een component is gebonden aan een maatsysteem om uitwisselbaarheid te bevorderen. Een gebouw dat voor een groot deel uit standaardcomponenten bestaat kan door enkele speciaal ontworpen componenten toch een heel persoonlijk karakter krijgen.

EEN MAATSYSTEEM VOOR COMPONENTEN

Componenten hebben maat. Ook verbindingen hebben maat. Voor uitwisselbaarheid en veranderbaarheid zijn afspraken over de maatvoering nodig. Geen afspraken zou betekenen dat bij elke verandering componenten pasklaar gemaakt moeten worden. Dit leidt behalve tot materiaalverlies ook tot veel arbeid en is dus duur.

In het verleden zijn er diverse pogingen gedaan om een maatsysteem te ontwikkelen. Veel maatsystemen gaan mank aan het ontbreken van samenhang in modulomaatmogelijkheden tussen schil en inbouw. Met een wanddikte van 70 mm en een modulomaat van 300 mm passen bijvoorbeeld de tegels aan de binnenzijde van een badkamer niet, ondanks het feit dat de muren volgens een modulomaat zijn opgetrokken. Dit betekent dat de dikte van de inbouw wanden ook in het maatsysteem moet passen. Met een 'exponentieel' maatsysteem waarbij de stapgrootte tussen de gehanteerde standaardmaten toeneemt met de maatgrootte, kan met een beperkt aantal maten een goed werkbaar systeem worden opgezet.

Een maatsysteem aanhouden betekent dat de componenten uitgewisseld kunnen worden, omdat ontwerpers in hun ontwerp rekening houden met de beschikbaarheid

van bepaalde maten (als nieuwe component of als via de-assemblage vrijgekomen component).

Componenten die via de-assemblage vrijkomen, kunnen weer verkocht worden voor een goede prijs, omdat zij opnieuw passen in een ander bouwwerk.

Fabrikanten kunnen door een maatsysteem op voorraad produceren. Wanneer echter het aantal maten erg groot gekozen wordt, ontstaat een probleem met het voorraad-beheer. Er moeten dan te veel verschillende maten op voorraad gehouden worden. Voorraadkosten maken het systeem onbruikbaar. Een systeem met voorkeursmaten (courante maten) lost dit probleem gedeeltelijk op.

De componenten moeten de behoeften van het gebouw vervullen. Het gebouw moet de behoeften van de gebruiker vervullen. Dit betekent dat de afmetingen van de constructie aangepast moeten worden aan de wensen van de gebruiker. Als de gebruiker een ruimte wil maken van $105 \times 126 \text{ cm}^2$, dan moet het maatsysteem dat binnen een acceptabele marge mogelijk maken. Een systeem dat een ruimte van $110 \times 125 \text{ cm}^2$ of $100 \times 130 \text{ cm}^2$ kan vormen, voldoet daarmee aan de eisen van de gebruiker, mits deze een tolerantie van een paar centimeter accepteert.

Het verleden heeft geleerd dat opgelegde, theoretische maatsystemen (bijv. modulaire coördinatie in het Open Bouwen systeem) geen lang leven zijn beschoren, omdat het systeem in de praktijk niet blijkt te werken. Maatsystemen die uit de praktijk ontstaan, zoals het metrisch stelsel voor schroefdraad bieden echter zoveel (ook bedrijfseconomische) voordelen dat zij als standaard gaan fungeren.

Aan een maatsysteem kunnen eisen worden gesteld op het gebied van uitwisselbaarheid, toegelaten maten en vormgeving. Deze eisen worden in bijlage D verder uitgewerkt, en er wordt een voorbeeld gegeven van een maatsysteem dat aan de eisen voldoet.

Als bijlage F is een document van de internationale normcommissie ISO/TC59 SC1 opgenomen dat een voorstel doet voor 'modular dimensional co-ordination in building'.

5.3.4 SIMPELE AANSLUITINGEN VRAGEN OM EEN ANDER TYPE COMPONENT

*ir. R.C. Dorgelo, ir. H.J. van den Hil, ir. V. Thöne**

Om de tweede visie verder uit te werken zijn de volgende aannamen en uitgangspunten geformuleerd.

- De systemen in een gebouw zijn van elkaar gescheiden wat betreft montage en assemblage (bijv. installaties zijn inklikbaar).
- De aansluiting tussen de verschillende systemen is onafhankelijk van maat, gewicht, materiaal en functie van de component.
- De aansluiting op de bouwplaats moet simpel te maken zijn; dit betekent dat de moeilijke aansluitingen in de fabriek worden gemaakt en dus onderdeel van de componenten zijn.

* Voor auteursgegevens zie par. 5.3.

- De verbindingen tussen componenten zijn eenvoudig door een tweedimensionale aansluiting (fig. 5.17).
- De verbindingen moeten eenduidig zijn.
- Met componenten moeten zo min mogelijk aansluitingen gemaakt hoeven te worden; de componenten moeten dus zo groot mogelijk zijn.
- Met het oog op duurzaamheidseisen moeten componenten te hercomponeren, te repareren, te hergebruiken en af te breken zijn.
- Vanuit de wens om het onderzoek te structureren wordt begonnen met aansluitingen tussen dezelfde materialen.

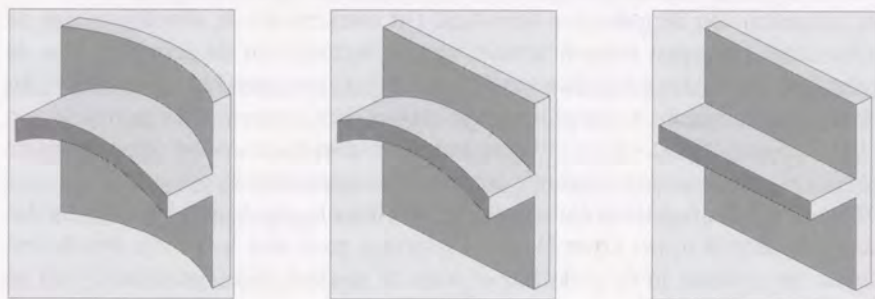


Fig. 5.17 Tweedimensionale aansluitingen

In theorie zijn dan de volgende aansluitingen mogelijk:

- tussen structuren: lijn- en puntverbindingen;
- tussen schillen: lijnverbindingen, recht of met een kromming;
- tussen schillen en structuren: lijnverbindingen, recht of met een kromming.

De enige aansluitingen die op de bouwplaats mogen worden toegepast zijn: puntverbindingen op puntverbindingen (fig. 5.18a), rechte lijnen in een plat vlak (fig. 5.18b) en rechte lijnen in een krom vlak (fig. 5.18c).

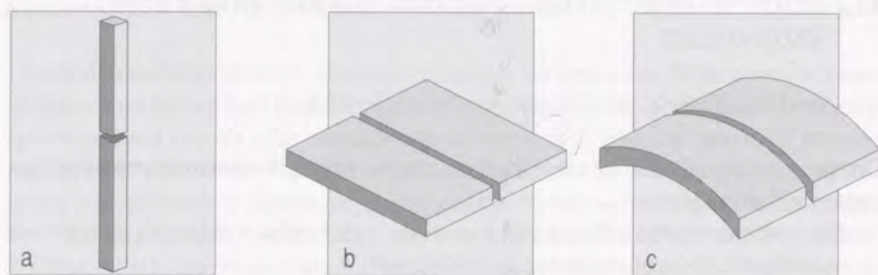


Fig. 5.18 Op de bouwplaats toegestane aansluitingen

Voorbeelden van principes van aansluitingen die aan de geformuleerde uitgangspunten lijken te voldoen:

- Griekse zuil: geslepen aansluitvlak
- paddestoelmat
- kleefmemo
- boorconus
- klittenband
- ritssluiting

-
- kunststofsluitstrip ('zip-lock')
 - schroeven
 - klikvingers
 - bajonetsluiting
 - losbreekbare lijm
 - zwaartekracht

Daarnaast lijkt het volgende idee een logische consequentie van deze manier van denken over het bouwproces: installaties, inbouw en meubilair moeten tot één categorie horen: vallend onder de verantwoordelijkheid van de bewoner of gebruiker (en dus niet per definitie onder de verantwoordelijkheid van bouwer of eigenaar).

5.3.5 AANSLUITINGEN MAKEN OP DE MEEST GESCHIKTE PLAATSEN

*ir. V. Thöne**

In paragraaf 5.3.3 zagen we dat de filosofie van de Lego-doos neerkomt op het opdelen van delen met overeenkomstige functies in prefab-onderdelen. De onderdelen worden op de bouwplaats samengevoegd tot bijvoorbeeld bouwdelen zoals velcomponenten, dakcomponenten, vloercomponenten.

Die logica is gebaseerd op het idee dat de producten en de toepassing van de producten tegelijk moeten worden gesystematiseerd en gestandaardiseerd. Zodoende kunnen de producten industrieel in massa worden vervaardigd, terwijl van de aansluitingen van tevoren bekend is wat ervan op de bouwplaats kan worden verwacht.

Het gevaar bestaat dat het gebruik van architectonische middelen in het gedrag komt door opgelegde maatsystemen of door een beperkte keuze uit realiseerbare vormen met als gevolg dat alle gebouwen op elkaar gaan lijken.

Het gevaar van eenvormigheid kan worden tegengegaan door 'systeemproducten' en 'standaardaansluitingen' over te brengen naar verschillende niveaus in het bouwproces. Als systeemproducten als elementen of subcomponenten zouden worden gebruikt, kunnen ze onder alle weersomstandigheden in de werkplaats op bijzondere wijze aan elkaar worden gemaakt. Daaruit ontstaan dan unieke componenten die op de bouwplaats op een gestandaardiseerde manier kunnen worden gemonteerd. De vorm van de componenten wordt op die manier door het architectonisch ontwerp gedictieerd en niet door de fabricagemethode.

Er is dus sprake van twee typen aansluitingen. Enerzijds: complexe aansluitingen waarin veranderingen van bijvoorbeeld richting, materiaal of functie voorkomen die in de fabriek worden gemaakt. Anderzijds: de meest eenvoudige aansluitingen die voor montage op de bouwplaats worden gemaakt.

Om de aansluitingen tussen componenten maximale eenvoud te geven, moeten de aansluitingen tussen twee producten van dezelfde orde zijn:

- In de aansluiting tussen producten wordt geen richtingsverandering opgenomen.
- In de aansluiting tussen producten wordt geen functieverandering gemaakt.
- In de aansluiting tussen producten wordt geen wisseling van bouwdeel gemaakt.

* Voor auteursgegevens zie par. 5.3.

- In de aansluiting tussen producten worden niet meer dan twee componenten in een aansluiting gecombineerd.

Verder moet de aansluiting met een enkelvoudige bewerking te maken zijn. In de aansluiting mag geen mix tussen de in het werk gemaakte en de prefab-techniek voorkomen.

Om dat voor elkaar te krijgen, moeten alle werkingen die van de componenten mogen worden verwacht, worden verricht door de in de componenten aanwezige elementen. We zoeken dus naar elementen die met hun werking onderbrekingen in het functioneren van de componenten in de aansluitingen overbruggen. Daarvoor zijn zes mogelijke technologieën aan te dragen. Elementen bestaan dan uit een mechanische 'veerconstructie', een fysisch 'geheugenmateriaal' of een chemische 'lijm', of ze hebben een elektrisch veld om zich heen (een 'E-kracht'), een speciale vormgeving die natuurkundige verschijnselen opwekt of ze combineren twee of meer van deze vijf technieken.

Alleen gestrekte lijnverbindingen en eventueel puntverbindingen, waarvan de locaties van tevoren zijn vastgelegd op andere plekken, liggen dan daar waar de elementen, componenten en bouwdelen op elkaar aansluiten.

Op deze manier kan de component het beste worden vergeleken met een puzzelstuk: het past in het gebouw zoals een stuk past in een puzzel. Het hele puzzelplaatje wordt verdeeld in stukken waarvan de aansluitingen een eigen logica van 'aansluiten' en 'inpassen' hebben. Het effect zou hetzelfde zijn als wanneer in een werkplaats een heel huis zou worden gebouwd dat vervolgens in stukken zou worden gezaagd. Op locatie wordt het huis weer in elkaar gezet. Fig. 5.19 maakt dit duidelijk.

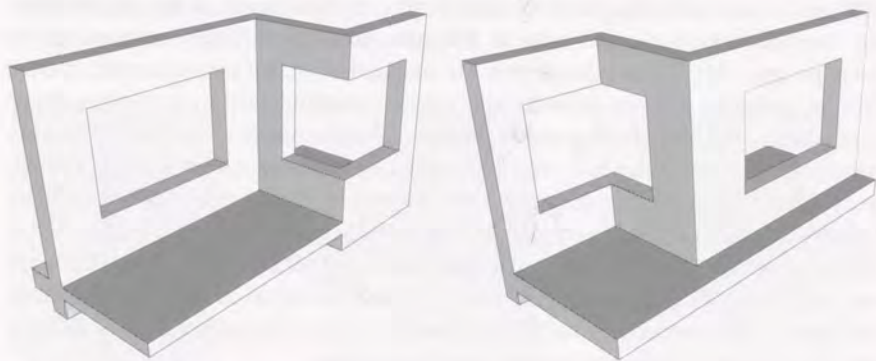


Fig. 5.19 Componenten als puzzelstuk van het gebouw

Referenties

- ARTB *Bouwvisie 2010*, Adviesraad Technologiebeleid Bouwnijverheid, Den Haag, 1993
- HA FERLAND, F.C.A., *Afbouwkonstrukties, deel 1, dictaat G60, deel A, Buitenvanden*, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Hogeschool Delft, 1981

5.4 MATERIALEN EN MONTAGE OP DE BOUWPLAATS

ir. R.W. Angenent, ir. E. Braaksma, ir. H. van den Hil, ir. V. Thöne*

De materialen die bepalend zijn voor het kunnen toepassen van montage op de bouwplaats zijn niet de materialen van de componenten en bouwdelen. In theorie kunnen deze uit alle gewenste materialen bestaan, mits de materialen van de aansluitingen (de interfaces) aan een aantal eisen voldoen.

In het huidige bouwproces zijn allerlei verbindingen tussen componenten mogelijk. In bijlage E (tabel E.1) wordt een aantal eigenschappen van bestaande verbindingmogelijkheden voor lijnvormige verbindingen gegeven. Het zijn metselen, spijkeren, nieten, schroeven, bouten, opleggen, lijmen, klikken en snappen en klemmen, pen-gat- en veer-groefverbindingen, vervormen, knellen, lassen, solderen, schieten, instorten, afsmeren en voegen. Natuurlijk is dezelfde exercitie te volgen voor puntvormige verbindingen of voor verbindingen tussen lijnen en punten.

In tabel E.2 is aangegeven in hoeverre deze verbindingen aan de eisen uit paragraaf 5.3.2 voldoen. Op het eerste gezicht lijken lijmen en veer-groef (of pen-gat)verbindingen goed mogelijk bij montage op de bouwplaats.

Wellicht zijn er ook in andere sectoren verbindingen te vinden die al dan niet gemodificeerd goed bruikbaar zouden zijn bij montage op de bouwplaats. Tabel E.3 geeft een aantal voorbeelden: ritsen, lineair klemmen, klitten, naaien, magnetisme, mild klevende lijm, *tie-wrap*, *sealen* en *hot-melts*. Op basis van de waardering in tabel E.4 lijken ook ritsen en magnetisme grote potentie te hebben.

In de volgende paragrafen wordt aangegeven welke problemen nog moeten worden opgelost en in hoeverre deze vier verbindingen dan ook werkelijk bruikbaar zouden zijn.

Lijmen

Het grootste probleem bij de huidige lijmen is dat deze niet bestand zijn tegen brand. Voor een lijm die de brandbestendigheidseis van 30 minuten tegen doorslaan haalt, en daarnaast ook zonder resten achter te laten of de component te beschadigen verwijderbaar is, worden grote mogelijkheden voorzien.

Veer-groefverbinding

Een nadeel van de huidige vormgeving van dit soort verbindingen is dat er altijd eerst andere componenten moeten worden verwijderd voordat de bedoelde component eruit kan worden gehaald. Een slimme vormgeving van de veer en de groef, wellicht in combinatie met een kliksysteem, kan dit probleem oplossen. Het zou ideaal zijn als de aansluiting van hetzelfde materiaal als dat van de component is gemaakt, bijvoorbeeld een composiet van staal en kunststof.

Ritsen

Het principe van een rits ligt tegen de lineaire klemsluiting ('*zip-lock*') aan. Door de lijn langs te gaan is de verbinding open of gesloten, en de naad heeft dezelfde

* Egbert Braaksma werkt bij Hoogovens Staalverwerking en Handel op de afdeling Strategie en Marktontwikkeling. Voor auteursgegevens zie verder resp. par. 5.3.3, 5.3 en 5.3.

fysische eigenschappen als de componenten. Het ideale materiaal voor een ritsverbinding is brandwerend, een beetje elastisch vervormbaar (anders krijg je de rits niet dicht) en thermohardend.

Magnetisme

Nu wordt magnetisme vaak toegepast voor semi-permanente sluitingen (keukenkastjes, memo-bordmagneetjes). Voor toepassing op grotere schaal is er behoefte aan een materiaal dat over een korte afstand sterk magnetisch is, maar waarvan het veld beperkt blijft tot bijvoorbeeld 10 cm (in verband met de ontregeling van pacemakers, bankpasjes en de nog niet bekende invloed van langdurige blootstelling aan een magnetisch veld op de gezondheid van mensen). Wellicht is iets soortgelijks als de magnetische spanplaat van een komslijpsteen te gebruiken.

LITERATUUR

- EEKHOUT, M., *Tussen produktontwikkelen en de-systematiseren; deel 2, tektoniek*, De Bouwadviseur, pp. 14-19, april 1995



6. Essay 3

Bouwen in Nederland en in België

*ir. M.J. Venemans**

Hoewel de bouwsector typische nationale kenmerken heeft, hebben aan dit project ook enkele Vlaamse deskundigen meegewerkt. De eerste reden daarvoor was de algemene strategie van STT om Vlaanderen zo mogelijk bij alle studies te betrekken. Daarnaast leek het leerzaam om de aard en oorzaak te analyseren van de verschillen tussen twee landen die zo dicht bij elkaar liggen en op andere gebieden zo veel overeenkomsten kennen.

De traditionele bouwtechnieken in beide landen vertonen veel gelijkennis, vooral vanwege het vergelijkbare klimaat. Met name de combinatie van wind en regen is heel bepalend voor het gebied aan de zuidoostkant van de Noordzee. Kenmerkend is de toepassing van spouwmuren, onder andere bij metselwerk.

Uiteraard zijn er verschillen tussen het klimaat van de Wadden en dat van de Ardennen, maar het verschil tussen de bouwtechniek in de Lage Landen en andere geografische gebieden wereldwijd is heel wat groter. En dat kan best zo blijven: klimaat is een sterk bepalende factor bij het kiezen van materialen en constructie-details, zowel voor de traditionele als de moderne bouw.

6.1 BOUWEN IN NEDERLAND

De Nederlandse bedrijfstak bouw bestaat uit een groot aantal partijen. Een eerste verdeling is naar bouwnijverheid en bouwinstallatiesector. In de bouwnijverheid kunnen verschillende sectoren worden onderscheiden.

De uitvoerende bouwbedrijven (de 'aannemerij', ca. 16.000 bedrijven) zijn traditioneel verantwoordelijk voor de productie op de bouwplaats. Daarnaast opereren adviseurs (zoals architecten- en ingenieursbureaus), de toeleverende industrie (de producenten van bouwmaterialen en -producten) en onderaannemers (specialisten die een bepaald onderdeel van het bouwproces volledig beheersen, bijv. een heibedrijf of een metselbedrijf). De belangrijkste partij is de opdrachtgever; er zijn professionele opdrachtgevers en opdrachtgevers die slechts incidenteel laten bouwen. Projecten komen tot stand in steeds wisselende coalities van partijen. Er zijn veel, dagelijks nog steeds in aantal toenemende contractvormen mogelijk. De bouw kent daarbij heel veel verschillende markten: woningbouw is onvergelijkbaar met het boren van een tunnel, en beide zijn niet te vergelijken met het aanleggen van een snelweg. Een voor de hand liggende constatering is dan ook dat dé bouw als

* Annemieke Venemans is projectleider bij de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT).

uniformiteit niet bestaat: er zijn veel verschillende subsectoren, die op hun beurt ook weer kunnen worden onderverdeeld.

6.1.1 CLUSTERING

Alle sectoren in de bouw kennen belangenbehartigingsverenigingen, vaak meer per sector. Zo zijn er diverse verenigingen van bouwbedrijven, die ieder vaak weer naar interessegebied of bedrijfsomvang zijn onderverdeeld in groepen. Het Algemeen Verbond Bouwbedrijf (AVBB) is de koepelorganisatie; van de acht verschillende brancheverenigingen houden de Vereniging Grootbedrijf Bouwnijverheid (VG Bouw), de Nederlandse Vereniging van Bouwondernemers (NVB) en het Nederlands Verbond van Ondernemers in de Bouwnijverheid (NVOB) zich bezig met de woning- en utiliteitsbouw. Individuele bouwbedrijven zijn vaak lid van verschillende brancheverenigingen. Onderzoek gebeurt niet alleen in het eigen bedrijf, maar vanwege de kleinschaligheid van de bedrijven ook in de collectief onderzoek-programmerende instellingen, de COPI's. Dit zijn de Stichting Bouwresearch (SBR), het Centrum voor onderzoek en regelgeving in de grond-, weg- en waterbouw en de verkeerskunde (C.R.O.W), het Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR), en het Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek op het gebied van gebouwinstallaties (ISSO). Zij stemmen hun onderzoekprogramma af in de Programma Coördinatieraad (PCR).

De bouwtoeleveringssector vervaardigt en distribueert een enorme verscheidenheid aan producten, van zand, betonmortel en hout via stalen profielen en betoncomponenten tot kunststofkozijnen en complete daken. De afzonderlijke brancheverenigingen in de bouwtoeleveringssector zijn verenigd in de NVTB, het Nederlands Verbond Toelevering Bouw.

WIE Kiest DE MATERIALEN?

Alle partijen in het bouwproces komen een keer aan de beurt bij het kiezen van de materialen. Met de opkomst van het prestatiebestek (de eigenschappen van het materiaal worden geformuleerd in termen van prestaties; verschillende materialen kunnen hieraan voldoen) wordt de rol van de ontwerper groter. Voor de opdrachtgever is het bepalen van de materialen een groot risico; hij zal zich daarbij ook zeker laten adviseren. Vormgeving, uiterlijk, sterkte en stijfheid van het materiaal wegen even zwaar bij de keuze.

De selectie van toeleveranciers geschiedt voornamelijk op de kwaliteit, om redenen van standaardisatie en vanwege inkoopafspraken. In het selectieproces van bouwproducten en -materialen bepalen de gebruikers van een gebouw op gebruikersgevoelige onderdelen steeds vaker het merk, systeem of materiaal.

De aannemers of de partijen die belast zijn met het bouwmanagement, kiezen meestal de leverancier. Hierbij zijn vooral de leveringsbetrouwbaarheid, bouwsnelheid en service belangrijk. Uiteindelijk gaat het om de laagste prijs per gemonteerd product. Hierdoor is de inkoopprijs niet altijd doorslaggevend en deze wordt dan ook niet als het belangrijkste criterium gezien [Reitsma en Bol, 1993].

Referentie

- REITSMA, D., N.J.T. BOL (red.), *Toelevering in de bouw, dynamiek en strategie*, Stichting Bouwresearch, publicatie 282, Rotterdam, 1993

6.2 BOUWEN IN BELGIË

Het verschil tussen Nederland en België zit vooral in de organisatie van het bouwproces. Dit proces is onder invloed van Frankrijk sterk hiërarchisch. Er zijn echter bijna geen landelijk opererende bedrijven, en zeker niet met regionale kantoren zoals in Nederland gebruikelijk is. De grotere bouwbedrijven zijn vaak eigendom van waterleiding- en energiebedrijven of banken.

Er zijn circa 55.000 aannemers die in het algemeen minder werknemers hebben dan in Nederland. Omdat er veel kleine aannemers zijn, is ook de distributie van bouwmaterialen anders geregeld dan in Nederland. In alle dorpen zit een bouwmaterialenhandelaar, en vaak meer dan een. Er zijn geen grote ketens die bouwmaterialen op een efficiënte wijze naar de bouwplaats brengen, met uitzondering van ter plaatse te storten betonmortel.

Ook de prijs van het bouwwerk komt op een andere manier tot stand. Het is in België heel gewoon dat er over de prijs wordt onderhandeld.

De positie van de Belgische architect is fundamenteel anders dan die van de Nederlandse architect. Inschakeling van een architect is noodzakelijk om een bouwvergunning te kunnen krijgen. Hij vertegenwoordigt en adviseert de bouwheer, krachtens een wet uit 1939, en gedraagt zich als zodanig. Hij doet voorstellen voor de toe te passen materialen en stelt na de keuze door de bouwheer een bestek op. Verschillende aannemers brengen een offerte uit en de architect doet de eerste selectie. Opnieuw neemt de bouwheer de uiteindelijk beslissing. In veel gevallen wordt de uitvoering van een woning niet toegewezen aan één aannemer, maar aan aparte aannemers voor de verschillende fasen van het bouwproces en de verschillende delen van het gebouw. Met elke aannemer wordt een afzonderlijke overeenkomst gesloten. De architect zorgt voor de controle op de uitvoering en voor de coördinatie van de verschillende activiteiten. De architect is gedurende een periode van 10 jaar vanaf de voorlopige oplevering aansprakelijk voor eventuele gebreken in het bouwwerk. Hij is wettelijk verplicht zich hiervoor te laten verzekeren. Eventueel kan hij een controleverzekering afsluiten; dit betekent dat het controlebureau het concept, de materiaalkeuze en de uitvoering volledig controleert. De producenten van materialen verstrekken rechtstreeks informatie aan de architecten in de vorm van bezoeken van vertegenwoordigers en via mailings met technische productinformatie.

Het ingenieursbureau voert in opdracht van de architect, de bouwheer of de aannemer de technische studies uit. Deze worden – in tegenstelling tot de situatie in Nederland – door niemand gecontroleerd. Alleen in geval van schade moeten de berekeningen worden voorgelegd. Het ingenieursbureau is dan ook volledig verantwoordelijk voor de uitgevoerde studies, maar kan wel een controleverzekering afsluiten, bijvoorbeeld bij het Seco. In dat geval wordt de studie wel gecontroleerd door het controlebureau.

Ook de positie van het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB) is niet te vergelijken met die van TNO en de Nederlandse instituten. Het WTCB is een bij wet (wet De Groot) opgericht centrum voor dienstverlening aan het bouwbedrijf. Elke aannemer moet een jaarlijkse bijdrage betalen, in ruil waarvoor het WTCB de belangen van de aannemers behartigt.

WIE Kiest DE MATERIALEN?

De bouwheer bepaalt welke materialen worden toegepast. Hij gaat daarbij uit van zelf ingewonnen informatie (bijv. op de Brusselse bouwbeurs, waar altijd veel particulieren rondlopen) en van het advies van de architect. Dat is gebaseerd op de functionaliteit van het materiaal, de vorm, de prijs en de verkrijgbaarheid.

De aannemer heeft nauwelijks invloed op de materiaalkeus. Hij schrijft in op een bestek waarin het materiaal is vastgelegd. Wijzigingen tijdens de uitvoering mogen alleen worden aangebracht met toestemming van de architect; die is immers samen met de aannemer nog 10 jaar verantwoordelijk.

6.3 WONEN IN NEDERLAND EN IN BELGIË

Een opvallend verschil tussen België en Nederland is het verschil in aantallen 'eigen-huisbezitters' (tabel 6.1); er zijn ook meer 'zelfbouwers' dan in Nederland. Van oudsher kent Nederland een sterke sociale woningbouwsector. De Woningwet van 1901 erkende de volkswoningbouw als een algemene maatschappelijke verantwoordelijkheid. Al in het midden van de 19e eeuw waren woningbouwverenigingen en -stichtingen ontstaan om te voorzien in de huisvestingsbehoeften van de minst draagkrachtigen. Deze 'woningbouwcorporaties' kregen door de Woningwet een wettelijke basis en konden met overheidsgeld gaan bouwen. De verstrekking van dat geld was en is aan vele voorwaarden en regels gebonden. In vele gevallen werken de circa 900 corporaties en de overheid tegenwoordig nauw samen bij de nieuwbouw van woningen en de verdeling van nieuwe en oude woningen over woningzoekenden.

	Nederland	België
Aantal inwoners [mln]	15,3	10,0
Totale woningvoorraad [mln]	6,1	3,7
waarvan eigen woningen [%]	48	65
huurwoningen van een particuliere eigenaar [%]	11	28
sociale huurwoningen [%]	40	6
verhuurder onbekend bij CBS/NIS [%]	1	1
gemiddeld aantal personen per woning	2,51	2,53

Tabel 6.1 Woningvoorraad in Nederland en in België aan het einde van 1993

Bron: CBS (NL) en NIS (B)

De Belgische woningpolitiek richtte zich vanaf 1889 op de stimulering van eigen woningen voor arbeiders. Het beleid om via erkende maatschappijen krediet te verschaffen aan toekomstige eigenaars werd in 1948 sterk uitgebreid met bouw- en aankooppremies. Pas in 1949 (wet De Taye) werd het de overheid mogelijk gemaakt sociale huurwoningen te bouwen. Beide oorzaken leidden ertoe dat België – met uitzondering van Brussel – relatief weinig huurwoningen telt.

De eigenaar zelf voert voor een belangrijk deel de regie bij het bouwen van een woning. Hij bepaalt dus ook welke materialen worden gebruikt, maar hij laat zich daarbij adviseren door de architect (die immers een uitgebreide kennis heeft van materialen en methoden). Er wordt ook veel meer gefaseerd gebouwd, men heeft vaak een plan voor enkele jaren en dan is er voorlopig een ruimte voor de badkamer die nog niet is ingericht. Dat is een kwestie van financiën. Wat men bouwt, is kwalitatief vaak heel goed.

LITERATUUR

- BUUR, A.P., F.J. JANSEN, *Bouwen, een technisch en economisch proces*, Economisch Instituut voor de Bouwnijverheid, Amsterdam, 1996
- HOEKVELD, G.A., R.B. JOBSE, F.M. DIELEMAN, *Atlas van Nederland, deel 5: Wonen*, Stichting Wetenschappelijke Atlas van Nederland, Den Haag, 1984
- RITMEIJER, W.S.R., *Toeleveranciers en nieuwe materialen in de bouw*, Economisch Instituut voor de Bouwnijverheid, Amsterdam, 1996



7. Hoog bouwen

7.1 HOOG BOUWEN – WAAROM?

*prof.ir. C.J.M. Weeber**

Wie in de geschiedenis van hoog bouwen duikt, stuit onherroepelijk op het in ons oudste boek opgetekende bouwkundig debacle: de toren van Babel. Door dit traumatisch misverstand, door dit door taalverwarring nooit afgemaakte gebouw, werd in onze cultuur voorgoed een stempel gezet op het verloop van de ontwikkeling van hoogbouw. Sindsdien werd hoog bouwen als riskant, uitdagend, de goden verzoeken, ijdeluiterij en hoogmoed bestempeld. Tenzij, zoals bij katholieke kathedralen en islamitische minaretten, nadrukkelijk een onwerelds doel werd gediend. Babel ligt nu op het eiland Tasmania en in Iran staat nog een door aardbevingen geteisterde stenen maquette van die toren. Een soort Madurodam-model naar ontwerp van schilder Breughel, een driedimensionale stenen spiraal die als een naar boven uitgerolde Romeinse ruïne tot ver voorbij de wolken reikt (fig. 7.1). Hoe kwam dit bouwwerk aan zijn naam? Omdat het in Babel stond, of was het de naam van de opdrachtgever of van de architect van dit bijbelse mirakel? Hoe dan ook, niemand haalde het daarna nog in zijn hoofd om een toren naar Babel te noemen.

Ook de Amerikaanse ontwikkelaar Donald Trump niet die in Manhattan een toren van 560 meter wil hebben. In Kuala Lumpur staat er al een van 454 meter, in Shanghai komt er een van 546 meter. De toren van Babel – dit instortende monument – werd tijdens de Noord-Europese Romantiek een van de meest gebruikte metaforen bij follies in de parken bij de kastelen van de 19e eeuwse koloniale *nouveau riche*. Om zich te kunnen onderscheiden van vorige rijken hebben elkaar in de cultuurgeschiedenis opeenvolgende rijken zich omgeven met eigen nieuwe stijlen. Zij stuwden de cultuur voort door haar te voorzien van nieuwe symbolen, bij voorkeur als hoge objecten. Een rijtje: na Babel ontwikkelden de Egyptenaren piramiden in het zand, de oude Grieken tempels op markante punten in het landschap en de Romeinen theaters in antieke steden; de katholieken bedachten gotische kathedralen met torens, de familie De Medici de Renaissancekoepel van Florence, de barokke Paus de Sint-Pieter; Napoleon bouwde triomfbogen na zijn gewonnen oorlogen, Parijse burgers wilden een Eiffeltoren, Amerikaanse boeren glazen wolkenkrabbers, Stalinisten pompeuze volkspaleizen en – *last but not least* – de

* Carel Weeber is verbonden aan De Architecten Cie, hoogleraar Architectuur aan de Faculteit der Bouwkunde van de Technische Universiteit Delft en voorzitter van de BNA.

Chinezen bouwden de allerhoogste torens langs steigers van bamboe. Torens van macht, rijkdom en vooruitgang, momenten in tijd en ruimte.



Fig. 7.1 *Brueghel: De toren van Babel*
Bron: Museum Boymans van Beuningen, Rotterdam

Torens zijn buiten onze traditie ook ontstaan op andere gronden; vooral daar waar spreiding ongewenst of onmogelijk was. Deze pragmatiek zien wij al in de oude woestijnsteden van Jemen, later in Manhattan en nu in Hongkong, waar dichtheden van zesduizend inwoners per hectare in gebouwen van veertig verdiepingen normaal zijn.

In Nederland zal het nooit zover komen. Al schijnt de ruimte schaars, hoogbouw wordt hier als pragmatische oplossing niet aanvaard. Sinds Babel mag het niet, heeft het iets cultureels waarmee je omzichtig omgaat; het blijven spaarzame accenten – voornamelijk van kantoren (fig. 7.2) – in de compositie van de stad. Bij elke nieuwe toren doen wij alsof het de laatste was.

Hoogbouw op grote schaal ligt hier niet in het verschiep. Op de Vinex-locaties, maar ook in de bestaande steden blijft het laagbouw wat de klok slaat. Maar laagbouw is in technisch opzicht geen bijzondere uitdaging. Daarom werd hoogbouw een geschikte invalshoek voor deze studie. Niet om deze bouwvorm te stimuleren of onder de aandacht te brengen (de Stichting Hoogbouw bestaat al meer dan 10 jaar), maar omdat er een bijzondere uitdaging van uitgaat.

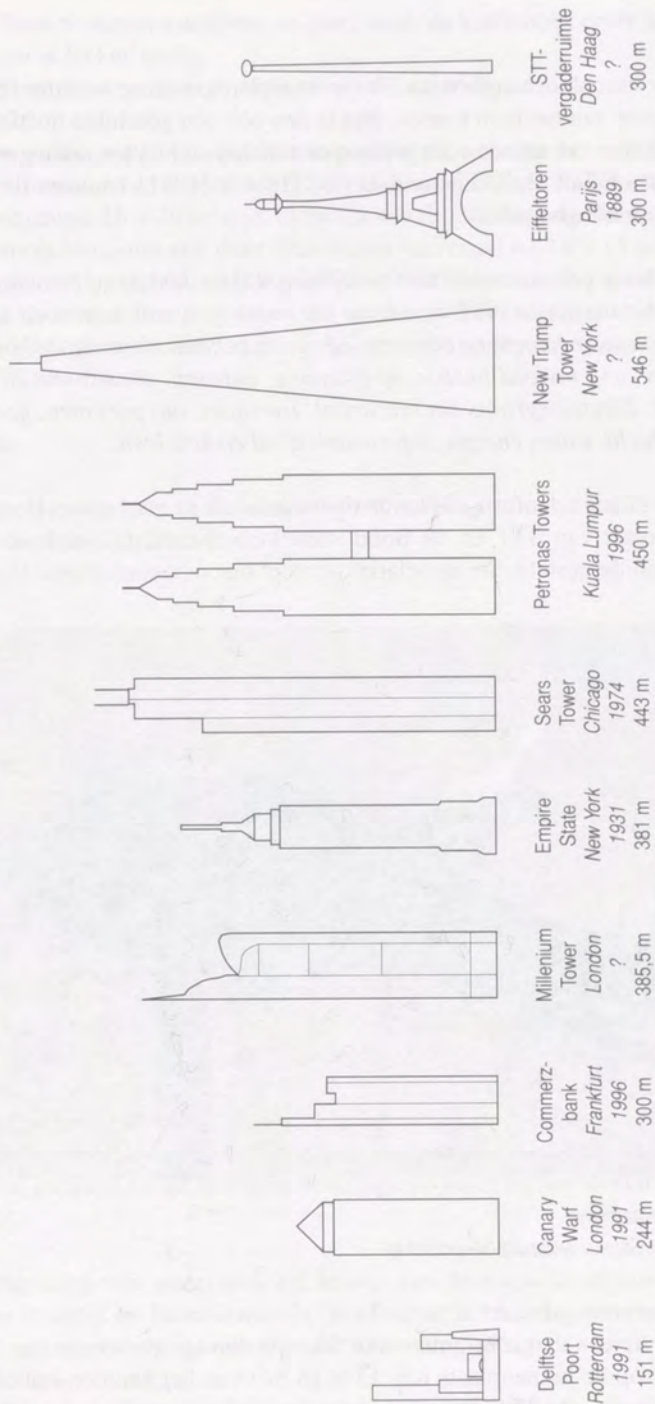


Fig. 7.2 Hoge kantoortorens

Bron: naar NRC Handelsblad, 4 oktober 1996

DE OPDRACHT

Hoogbouw staat bloot aan extreme natuur- en andere condities waardoor problemen als uitvergroten aan het licht komen. Het is dan ook een geschikte invalshoek voor het ontwikkelen van ideeën voor nieuwe materialen en hun toepassingen.

De Council of Tall Buildings and Urban Habitat [1981] hanteert de volgende definitie voor hoogbouw:

Een hoog gebouw wordt niet gedefinieerd door hoogte of bouwlagen. Het belangrijkste criterium is of het ontwerp wordt beïnvloed door aspecten van hoogte en omvang. Het is een gebouw waarvan de hoogte en omvang invloed hebben op planning, ontwerp, constructie en gebruik. Sleutelbegrip is het (verticaal) transport van personen, goederen, lucht, water, energie, informatie, afval en krachten.

Om snel te kunnen doordringen tot de opdracht heeft de werkgroep Hoog bouwen van het project van STT en de Bond voor Materialenkennis zich een extreme ontwerprichting gesteld, die associaties oproept met ooievaarsnesten (fig. 7.3).



Fig. 7.3 Ooievaarsnest

Bron: Staalbouwkundig Genootschap

▷ **Ontwerpopdracht**

Ontwerp een vergaderruimte voor 50 personen op een hoogte van 300 meter op de binnenplaats (ca. $15 \times 15 \text{ m}^2$) van het kantoor van STT, Prinsessegracht 23 in Den Haag.

Programma van eisen:

- De ruimte is bereikbaar per (personen)lift, per noodtrap en via de leidingenschacht.
- De 'unit' kent 2 niveaus.

- Voor de ontvangstruimte, de garderobe, de koffiehoeke en de toiletten is 100 m² nodig.
- Voor de vergaderzaal is ongeveer 100 m² nodig.

Ingewijden zullen weten dat de afmetingen van de tuin van het gebouw van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs (KIVI) van wie STT haar kantoorruimte huurt eigenlijk ongeveer 10 × 20 m² zijn. Omwille van de stiling van de torenconstructie en de vergaderruimte zijn deze afmetingen vervormd tot 15 × 15 m². Dit komt overeen met het oppervlak van één poot van de Eiffeltoren.

De unit en de constructie (hoe komt die ruimte op 300 m hoogte) zijn apart van elkaar verder uitgewerkt. De resultaten hiervan zijn opgenomen in respectievelijk paragraaf 7.3 en 7.4.

Referentie

- *Monograph on planning and design of tall buildings*, Council of Tall Buildings and Urban Habitat, New York, 1981

7.2 ANALOGIEËN

*ir. E.M.C.J. Quanjel**

'Geht so lange, bis ihr die Einzelheiten unterscheidet, so lange, bis sich im Wirrwarr die Fluchtlinien zeigen; so langsam, dass euch wieder die Welt gehört, so langsam, dass klar wird, wie sie euch nicht gehört. Ja, bleibt für immer fern von der kraftlos-gewaltatigen, der als Macht auftretenden Macht. Die gute Kraft ist die des Ubersehens'.

Ueber die Dörfer, Dramatisches Gedicht; Handke, 1981

In deze paragraaf wordt gepoogd om door middel van analogieën in de natuur de filosofie van de systemen in hoogbouw te verduidelijken en vervolgens zo een aanzet te geven tot andersoortige benaderingen van constructie- en materiaaltoepassingen.

Uitgangspunt vormt de eerdergenoemde ontwerpdracht. Bepalend voor het definiëren van de toren, de vergaderruimte en de toegepaste materialen zijn de constructie (sterkte, stijfheid en gewicht) en de energievoorziening (opwekking, transport en opslag).

Door uitbreiding van onderzoek en kennis van biologische eigenschappen en structuren is vanaf de Renaissance in de westerse bouwkunst voor verschillende vraagstukken regelmatig gebruik gemaakt van analogieën uit de wereld van planten, dieren en mensen.

De periode na de jaren zestig heeft de biotechniek veelvuldig gebruikt om processen van bepaalde biologische fenomenen te analyseren, te begrijpen en te vertalen en zo te komen tot artificiële structuren en toepassingen.

* Emile Quanjel is architect bij het architectenbureau Van den Broek en Bakema.

Om in het kort deze indrukwekkende 'ontwikkeling door de tijd' weer te geven, volgen hier slechts enkele voorbeelden:

- de gotische kathedralen (fig. 7.4);
- de dubbelschalige koepel van de Sint-Pieter naar de idee van Michelangelo;
- de Eiffeltoren van Eiffel (fig. 7.5);
- de Sagrada Familia van Gaudí (fig. 7.6);
- de talloze projecten van Nervi (fig. 7.7);
- de structuren van Buckminster Fuller (fig. 7.8);
- de nog utopischer ruimtelijke modellen van Archigram (fig. 7.9).

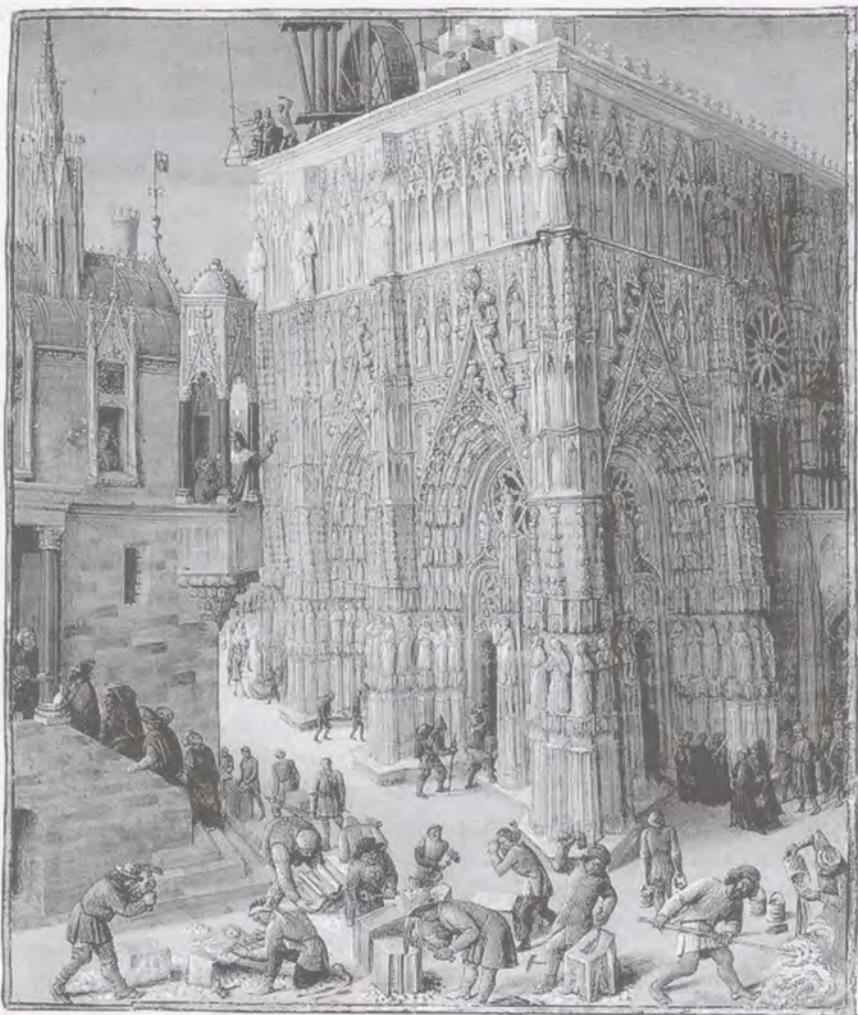


Fig. 7.4 *Bouw van de Kathedraal van Jeruzalem: 15e eeuwse miniatuur van Jean Fouquet, Israël*
Bron: [Centre de Création Industrielle, 1983]



Fig. 7.5 Eiffel: Eiffeltoren in Parijs, Frankrijk
Bron: [Sutterland en Pontier, 1977]



Fig. 7.6 Gaudí: La Sagrada Família in Barcelona, Spanje
Bron: [Sutterland en Pontier, 1977]

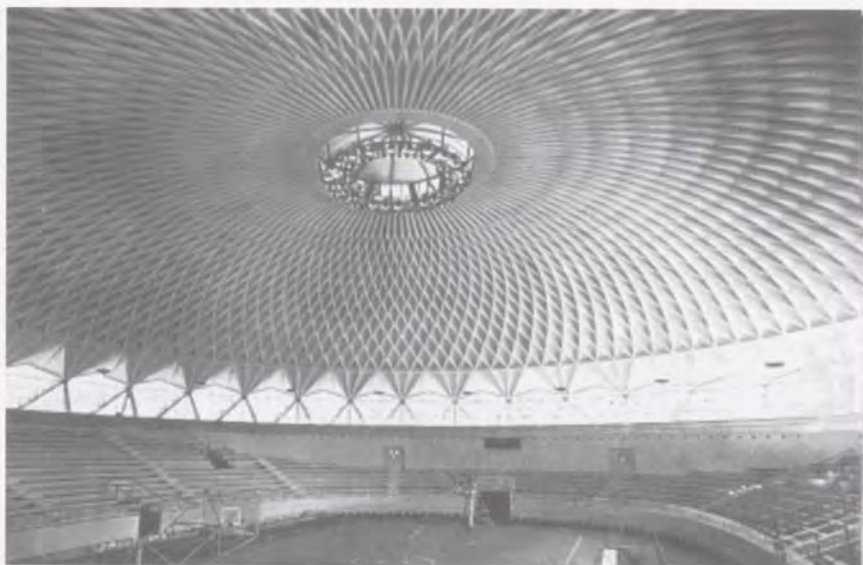


Fig. 7.7 *Nervi: Palazzetto dello Sport in Rome, Italië*
Bron: [Sutterland en Pontier, 1977]

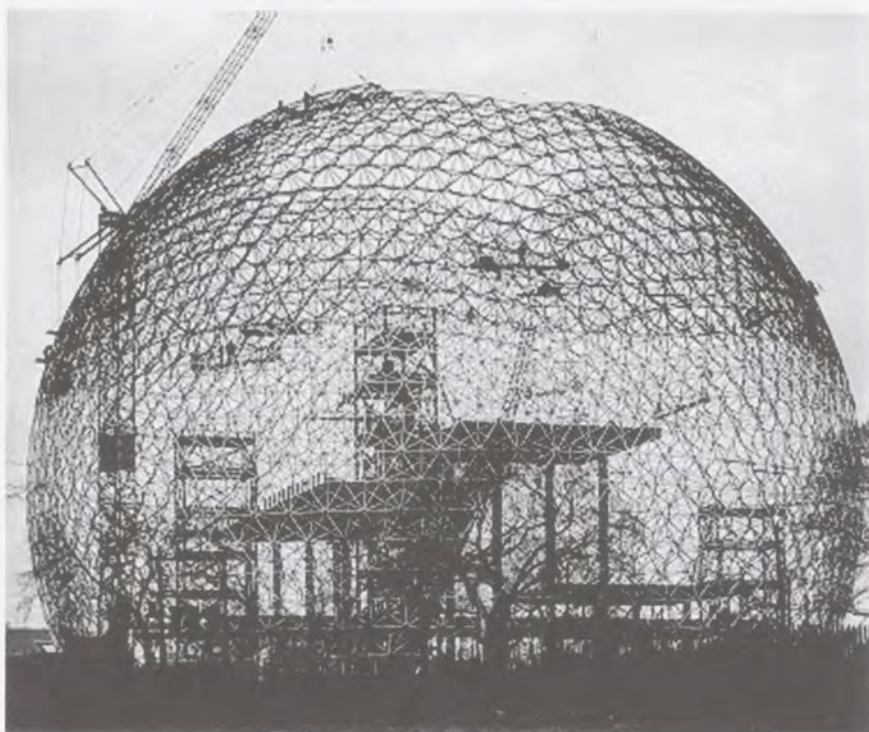


Fig. 7.8 *Buckminster Fuller: Paviljoen van de VS voor de Wereldtentoonstelling in Montreal (Canada), 1967*
Bron: [Centre de Création Industrielle, 1983]



Fig. 7.9 Herron, Archigram: A walking city, 1964
Bron: [Centre de Création Industrielle, 1983]

Vergelijkingen met de verfijnde geëvolueerde natuur waarin alleen de meest relevante eigenschappen en structuren zich onder 'extreme' omstandigheden verder ontwikkelen, hebben vaker oplossingen aangedragen voor nieuwe opgaven op het gebied van ruimte, constructie en materiaaltoepassing. In die zin is deze ontwerp-opgave voldoende aanleiding om ook de analogieën met de natuur te gebruiken.

De positie van de vergaderruimte bovenin de toren is in zekere zin te vergelijken met die van een bloemknop en stengel:

- het gewicht en de opbouw van de bloemknop (vergaderruimte);
- de slankheid van de stengel (toren) ten opzichte van de knop (vergaderruimte);
- de stijfheid van de stengel (toren);
- de (voedsel)voorziening op grote afstand van de voedingsbodem.

Door het gewicht van de vergaderruimte tot een minimum te beperken wordt de belasting op de totale draagconstructie lager en de uitwijking bij een horizontale belasting kleiner. Vervolgens zal de constructie van de vergaderruimte de resulterende belastingen en verplaatsingen van de hoofdconstructie zodanig moeten kunnen opvangen dat dit geen schade aan de draagconstructie, de gevel of de inbouw oplevert. Omgekeerd, de mate waarin deze deelontwerpen het krachten spel op de vergaderruimte neutraliseren, is van invloed op de totale constellatie van de toren.

Gezien de hoogte die met de energievoorziening zou moeten worden overbrugd, zijn systemen die afhankelijk zijn van voeding vanaf het maaiveld niet erg effectief en economisch.

STRUCTUUR VAN DE UNIT

De structuur van de vergaderruimte kan worden vergeleken met de borstkas van gewervelde dieren: een verfijnd systeem van ribben, wervels, gewrichten en kraakbeen, licht van gewicht, voldoende stijf over de lengte maar tevens in geringe mate buigzaam; de constructie is bovendien uitstekend geschikt om door middel van een regelmatige structuur energie te verdelen en op te slaan (in de massa) over het hele volume (fig. 7.10).

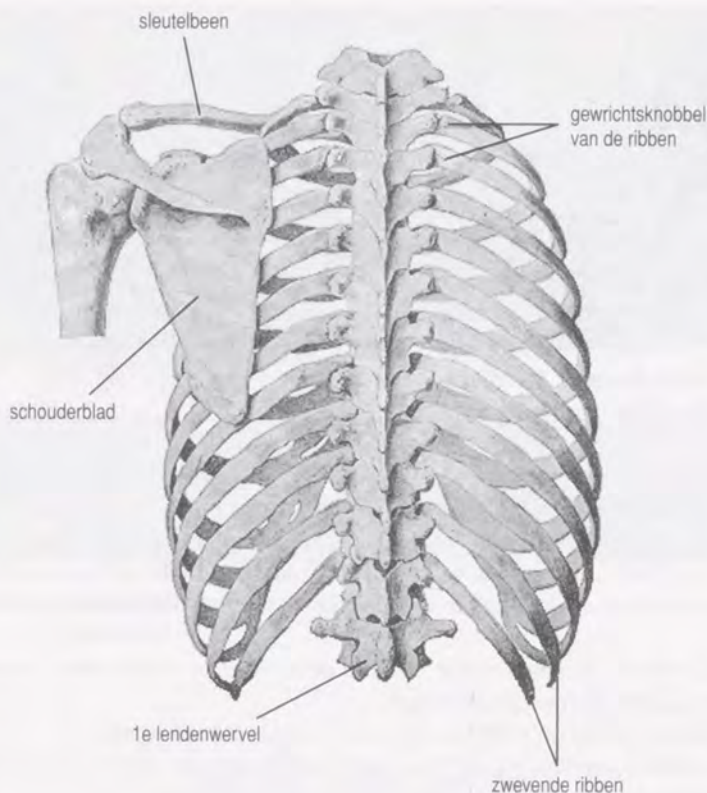


Fig. 7.10 Het geraamte van de borstkas van een volwassen mens (van achteren gezien)
Bron: [Rooswinkel en Kreutzer, 1973]

Een gekromde vorm van de unit is tevens de natuurlijke spanningsboog die zowel de verticale als de horizontale belastingen kan opnemen en of overdragen, een principe dat bij alle gewervelde organismen uitstekend voldoet. De omschreven volumevorm – als afgeleide van de bol – heeft bovendien een gunstige verhouding tussen inhoud en oppervlakte van de huid; dit resulteert in een optimale inhoud bij minimaal 'materiaalgebruik' ten behoeve van de huid en een 'aërodynamisch volume' met een minimale weerstand en of wrijving. Voor dit soort draagconstructies zijn onder andere constructies van gelamineerd hout en van kunststoffen en vezels, zoals bij boten of vliegtuigen geschikt.

Planten en bomen neutraliseren een deel van de horizontale belasting door mee te buigen of te draaien met de windrichting. Analoog aan dit principe van krachtneutralisatie wordt de horizontale kracht op de toren op het meest kritische punt verminderd door optimaal gebruik te maken van het aërodynamische volume. Dit effect kan versterkt worden door de unit – zelfs met de neus – in de wind te plaatsen.

Net als de drager zijn ook de gevel- en inbouwsystemen onderhevig aan beweging en overdracht van eventuele krachten, vooral veroorzaakt door het uitdempen van trillingen op deze hoogte. Overdracht van krachten en wrijving vindt plaats op de snij- en scharnervlakken. Kraakbeen tussen wervels en gewrichten heeft dezelfde

functie: het laat beweging tussen de verschillende componenten toe, dempt trillingen ten gevolge van wisselende belastingen en draagt door een beperkte wrijving tevens bij tot overdracht van krachten (bewegingsenergie wordt omgezet in warmte). Het kraakbeen vervult als tussenmateriaal deze functie, gevat in een kom- of sponningachtige constructie waarin of waarlangs de te verbinden componenten zich kunnen bewegen (fig. 7.11).

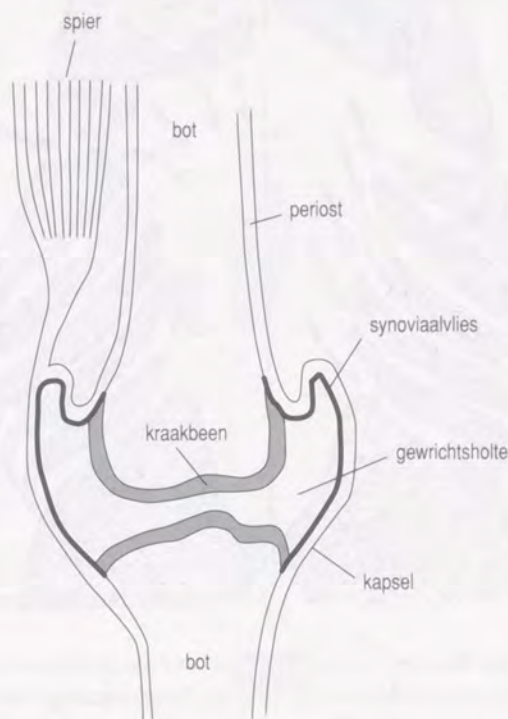


Fig. 7.11 *Verbinding tussen botten ter plaatse van het scharnierpunt*
Bron: [Rooswinkel en Kreutzer, 1973]

PRINCIPES VOOR DE GEVEL

Dit principe kan worden toegepast op de raakvlakken van de binnenwanden aan de vloervlakken, tussen de gevel en de achterliggende constructie en tussen de gevelcomponenten onderling, ook om de spanningen op de gevelmaterialen te minimaliseren (tegenaan van scheurvorming, vervorming en breuk). Gezien de gekromde buitenvorm is een geschubde gevelconstructie waarbij huidelementen zoals bij een vis volgens een vast patroon over en langs elkaar heen liggen en bewegen, hier goed denkbaar. Ter plaatse van de overlap zit dan het 'kraakbeenachtige' materiaal (fig. 7.12). De materiaaleigenschappen van nylon zijn goede uitgangspunten voor het materiaal dat als tussenelement moet dienen; het gaat om slijtvastheid en een constante wrijvingscoëfficiënt.

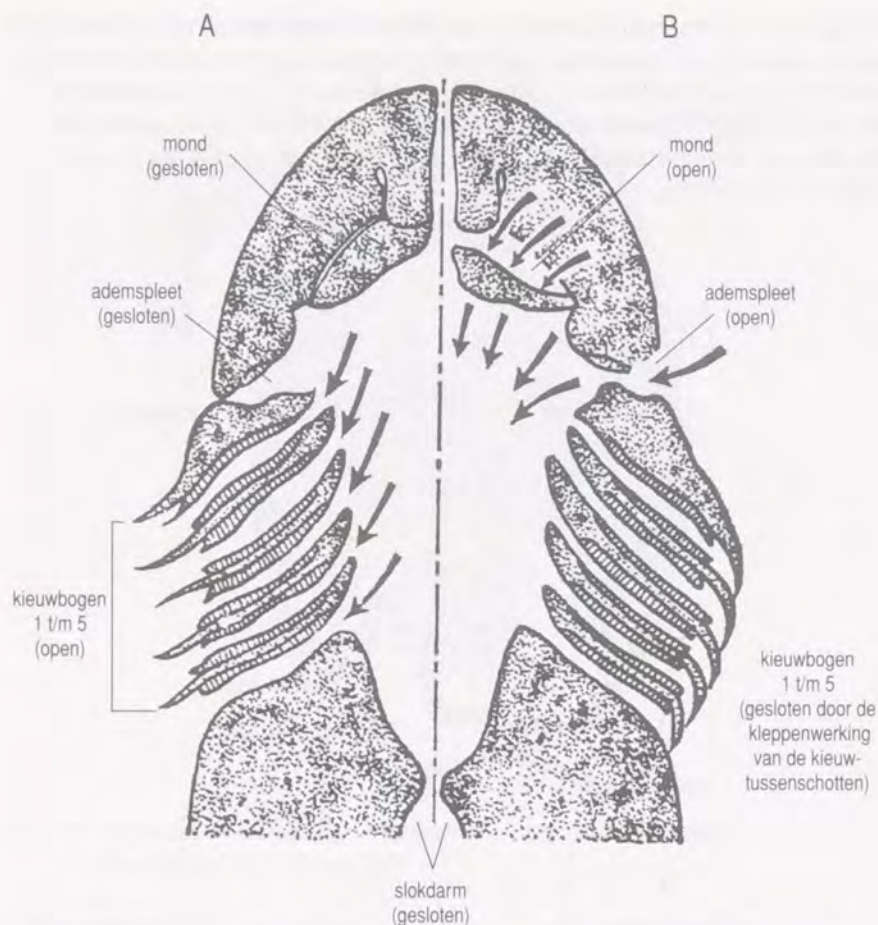


Fig. 7.12 De ademhaling van een vis door middel van kieuwen vertoont een analogie met een geschubde gevel

Bron: [Grove en Newell, 1990]

Door de gevel op afstand te verdubbelen kan – zoals bij sommige fossiel- en schelpsoorten – in combinatie met de ‘bolvorm’ bovendien de sterkte van de unit worden vergroot (fig. 7.13). De gevelelementen kunnen in dit patroon en in deze positie zowel transparant als gesloten zijn, en zo de normale functies van een gevel (zie ook fig. 5.1) vervullen.

VOORZIENINGEN

Behalve deze aspecten kan de gevel bovendien een belangrijke rol spelen in de energievoorziening door deze als omzetter en producent van energie te zien op de plek waar de energie wordt gebruikt. Naar analogie van bomen en planten: iedere component levert zijn eigen energie en draagt bij tot de totale energiehuishouding. Water en licht worden door middel van fotosynthese omgezet in energie (fig. 7.14). Fotovoltaïsche energie kan gezien de positie (300 meter hoogte) en de vorm van de unit in deze situatie optimaal worden gebruikt. Materiaaleigenschappen zoals die

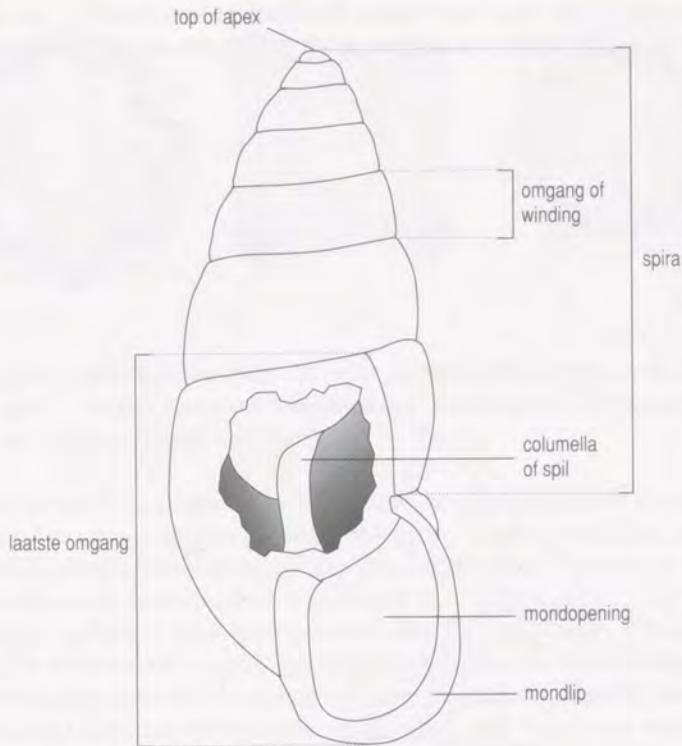


Fig. 7.13 De dubbele bolvorm van een schelpstructuur geeft meer sterkte
Bron: [Kerney en Cameron, 1980]

van keramische materialen spelen voor wat betreft hardheid (bestendigheid tegen weersinvloeden en duurzaamheid), geleiding (voor collectoren en snelle klimatisering) en brosheid minder een rol gezien het overdrachtsmateriaal, het 'kraakbeen'.

De gevel wordt op deze manier als een huid: een verzorgend en beschermend systeem door aanwezigheid van een zenuw- en een bloedvatstelsel (het fotovoltage of zonnecollectorsysteem) en een afschermend weefsel (voor isolatie tegen weer en wind, wrijving en overdracht van krachten, sterkte en samenhang). Doordat de opwekking van energie direct aan de behoefte is gekoppeld, wordt zowel het transport als het opslaan van de energie minder zwaarwegend. De gigantische afmetingen van de constructie – in verhouding tot de gebruiksruimte (stengel en bloemknop) – kunnen dienst doen als accumulatie-element en de energie hieruit kan direct worden gebruikt voor het laten 'functioneren' van de constructie. Daarover later meer.

Verder transport van energiedragers kan worden vergeleken met het pompen van bloed via een regelmatig bewegend systeem, waarbij het liftsysteem deze functie vervult; 'schoon' naar boven, tegelijkertijd via de andere lift (als contragewicht) 'vuil' naar beneden, het meest direct te gebruiken bij het watervoerend systeem. Door vervuild water bacteriologisch te reinigen zou ten slotte ook het transportprobleem kunnen worden omzeild; voorbeeld hiervan is het toilet met een composte-

rend reservoir dat als een 'nier' werkt. Een verdere ontwikkeling van dergelijke systemen zou zelfs kunnen leiden tot gereinigd afvalwater met de kwaliteit van drinkwater.

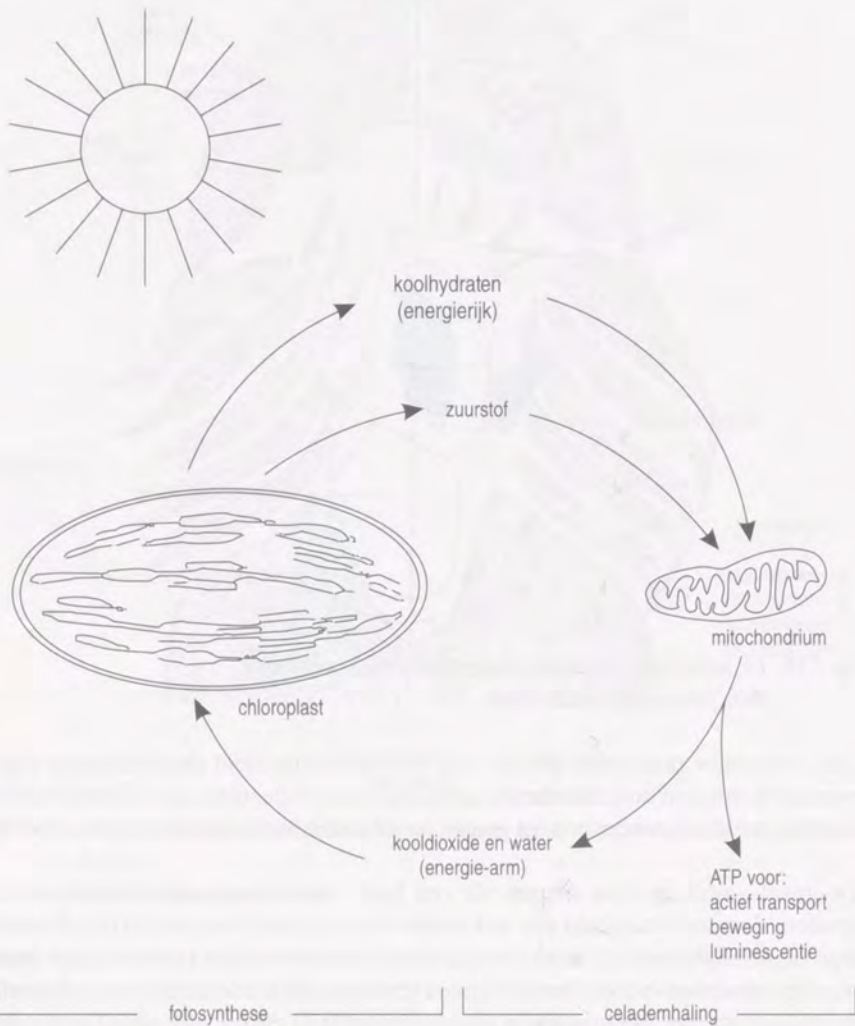


Fig. 7.14 Principe van de fotosynthese

Bron: naar [Raven, Evert, Eichorn, 1986]

De vergelijking tussen bloemen en planten en de toren geldt ook voor een van de mogelijke principes voor de hoofddragconstructie. Bij planten doorloopt iedere cel een groeiproces. Jonge cellen zitten aan de binnenkant van de stengel voor voeding, groei en buiging; oude cellen bevinden zich aan de buitenkant voor samenhang en sterkte (fig. 7.15). Planten groeien in het algemeen slechts in de lengte, de zogenaamde primaire groei. De verhouding tussen lengte en breedte blijft hierdoor beperkt. Bij de cellen van een boom verandert de structuur van de cellen zo dat ook groei in de breedte optreedt; dit levert een grotere sterkte.

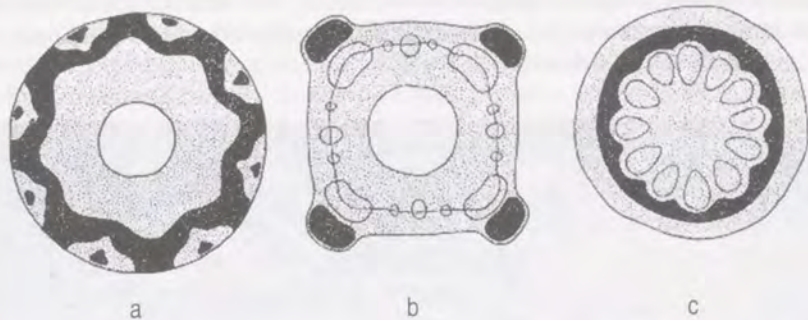


Fig. 7.15 Schematische stengeldoorsneden, waarin het voornaamste steunweefsel zwart is aangegeven. a. kamgras, b. witte dovenetel, c. stengeltop van de zogenaamde moffenpijp
Bron: [De Gaay Fortman, Heijl, Wedzinga, 1971]

De draagconstructie neutraliseert de horizontale windbelasting door mee te buigen met de wind en terug te buigen na belasting waarbij de plooi van de buitenschil die ontstaat, maatgevend is voor de maximale belasting. Bamboe is een van de gewassen die de kans op plooi verkleint door segmentatie en verstijvingsringen. Op de schaal van de toren betekent dit dat grote hoeveelheden materiaal nodig zijn om aan de sterkte-eis te voldoen; het materiaalgebruik wordt bepaald door de maximale belasting, een vrij conventionele benadering van het constructieve 'concept'. In dit model past echter ook een optie met een meer uitgebalanceerde verhouding tussen sterkte en materiaalhoeveelheid: de dubbelwandige of sandwichstructuur met 'stabiliteitsringen' als knikverkorters, zoals bij fossielen (bijv. de Archéocyathes; fig. 7.16).

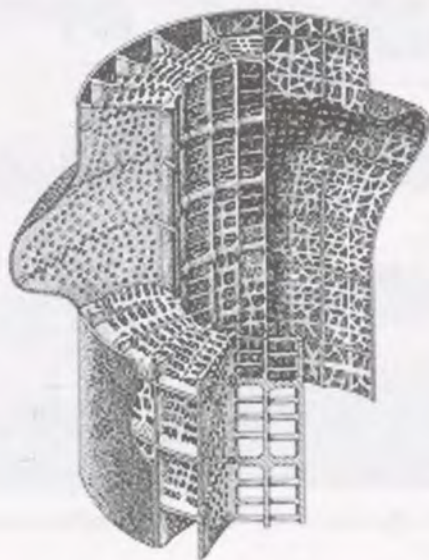


Fig. 7.16 Voorbeeld van een sandwichstructuur: de Archéocyathes
Bron: [Centre de Création Industrielle, 1983]

Een ander voorbeeld van deze constructie is te zien bij de doorsnede van het bekken van de emoe, een steltvogel; het principe van de dwarsschotten is later overgenomen voor de vleugel van de Concorde (fig. 7.17).

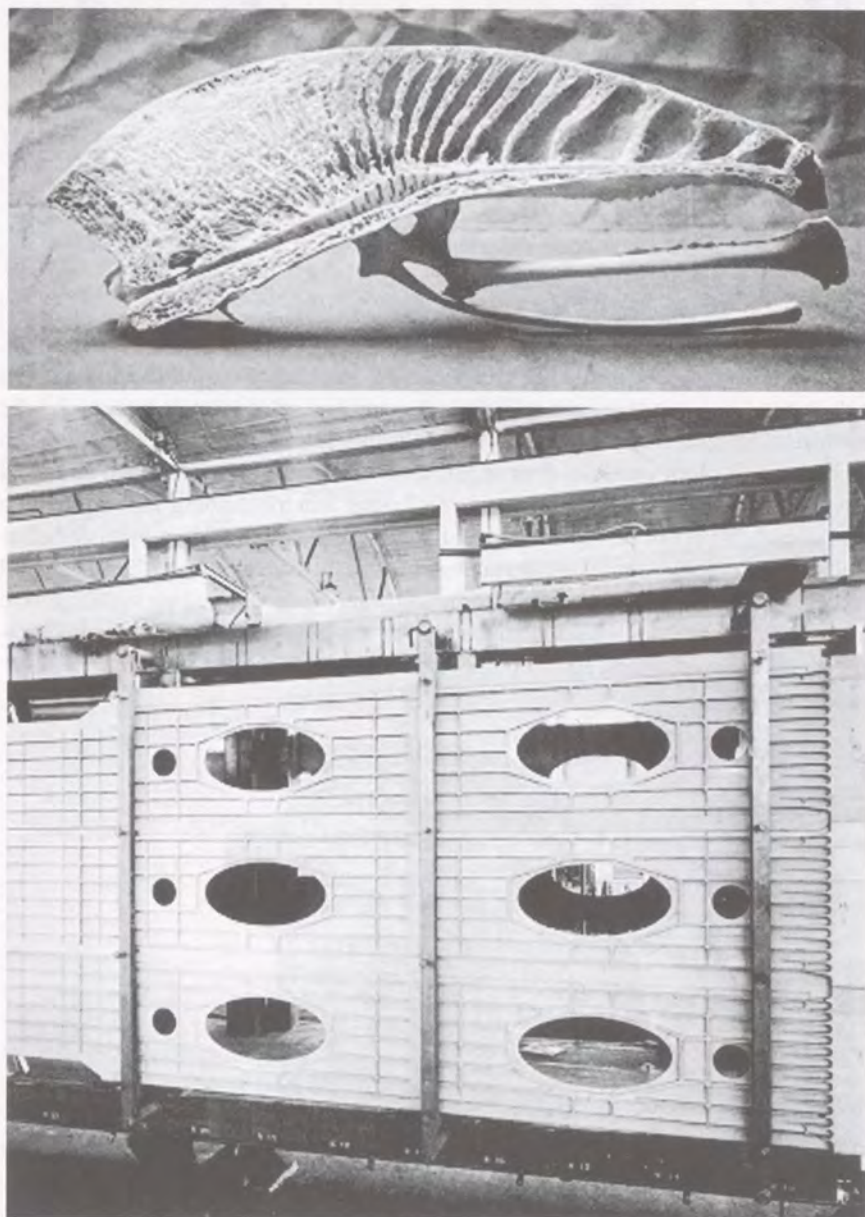


Fig. 7.17 Principe van een integrale constructie: het bekken van een emoe (boven) en de vleugel van de Concorde (onder)

Bron: [Centre de Création Industrielle, 1983]

Een andere interessante benadering komt uit het principe van planten en bomen met luchtwortels. De luchtwortels dienen in eerste instantie voor de voedselvoorziening,

maar ze verlenen ook stabiliteit in zijwaartse richting: voor de afdracht van krachten en als knikverkorter. Een al vaak gebruikte toepassing hiervan is een systeem van trekkabels, gekoppeld aan de hals van de toren en de klassieke steunberen. Op de schaal van hoge gebouwen zouden dit echter ook delen van het gebouw met andere functies kunnen zijn; een gebouw dat is uitgesplitst naar het maaiveld of vertakt in verschillende torenvolumes als immense luchtwortels. Zo zouden een aantal van dit soort gebouwen die door middel van deze 'luchtwortels' zijn verbonden en gekoppeld elkaars stabiliteit kunnen verzorgen en tevens een andere ruimtelijke en stedenbouwkundige lay-out kunnen opleveren. In dit verband voert het echter te ver op deze gedachtegang door te gaan.

Een benadering die wel direct op de ontwerpdracht betrekking heeft is een actieve reactie op de belasting op het moment van de belasting, zoals in het menselijk spierstelsel. Daar signaleren de zenuwen de hoeveelheid belasting en zij activeren daarna het spierstelsel om de tegenkracht te leveren; de spier wordt korter als gevolg van een prikkel (fig. 7.18). Een vrij letterlijke vertaling hiervan is de spieren te zien als kabels die krachten 'overbrengen'; het materiaal heeft de eigenschappen dat het plotselinge hoge belastingen kan opnemen, en een hoge elasticiteitsmodulus en een grote stijfheid heeft. Het 'spierstelsel' en het daarbij behorende materiaal voor het aanspannen van de kabels moet zeer snel kunnen reageren op een 'belastingprikkel' en het moet gemakkelijk en zonder verlies van zijn eigenschappen in zijn oorspronkelijke toestand kunnen 'terugkeren'.

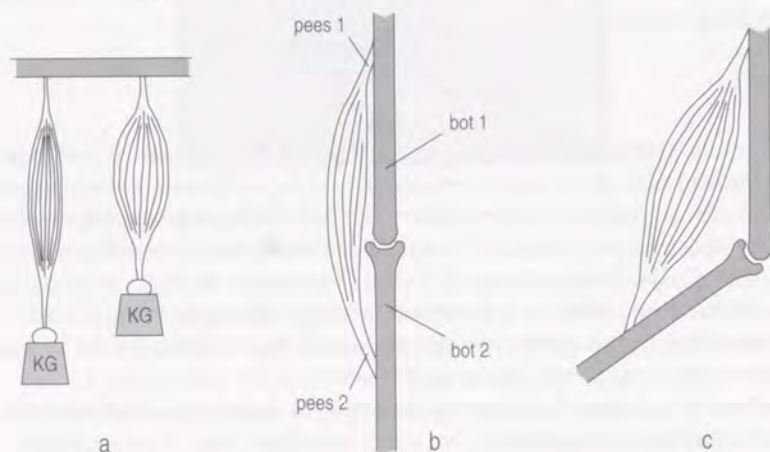


Fig. 7.18 Principe van de menselijke spier

a. Links de spier in rust; rechts de samengetrokken spier: zij is dan korter en dikker, de pees blijft even lang

b. De spier met pezen aan botstukken verbonden (in rust)

c. Dezelfde spier in contractietoestand

Bron: [Rooswinkel en Kreutzer, 1973]

Deze eigenschappen dienen voor zeer lange tijd in het 'spierstelsel' of het materiaal aanwezig te zijn om voldoende veiligheid en betrouwbaarheid te waarborgen (vgl. het effect van verzuring bij een langdurige belasting van spieren in combinatie met

te weinig doorbloeding). Hydraulische systemen zouden aan deze voorwaarde kunnen voldoen.

Een materiaal dat bij belasting (warmtevorming) niet uitzet ('in minder vaste toestand komt, minder sterk wordt') maar krimpt, zou een geïntegreerde niet-mechanische oplossing bieden. Voorbeelden hiervan zijn piëzo-elektrische materialen.

Deze redenatie geeft de richting weer waarin de toekomst van innovatief construeren zich mogelijk zal ontwikkelen: van de natuurkundig-mechanische naar een biologisch-chemische benadering. De toren in zijn geheel kan naar analogie van de fysiologie van het menselijk lichaam worden gezien als een draagconstructie die bestaat uit gelede segmenten (het skelet), scharnierend gekoppeld en afgedempt door middel van passieve demping (het kraakbeen), stabiel door een actief systeem van demping (het spierweefsel), mogelijk gemaakt door een geraffineerd signalerings- en besturingssysteem (het zenuw- en bloedstelsel).

Enkele van de eerdergenoemde analogieën wordt al gebruikt voor deelontwerpen in de auto- en vliegtuigindustrie. Geïntegreerde systemen komen vooral in de robottechnologie aan de orde waar uitgebreide studies worden uitgevoerd en vele toepassingen worden verwezenlijkt.

Omdat het bij gebouwen altijd om een statisch geheel gaat met een meestal eenmalige productievorm – in tegenstelling tot de genoemde industrieën – is directe toepassing op kleine schaal niet mogelijk. Maar door het soort en de omvang van de vervormingen en het soort en de omvang van de productie van hoge gebouwen wordt het zoeken naar en het uitvoeren van ideeën op basis van de eerdergenoemde vergelijkingen wel steeds interessanter en nuttiger.

BOUWTIJD

Ook voor het tijdstraject waarin een gebouw tot stand komt, is een analogie denkbaar. Vanwege de omvang en veelzijdigheid in het spectrum van hoge gebouwen kan men eigenlijk niet meer spreken van gebouwen, maar zou men eerder van verticale steden moeten spreken. Steden die weliswaar steeds sneller groeien maar ook nooit 'af' zijn. Steden die net als bomen of planten in de loop van de tijd steeds nieuwe delen erbij maken of delen afbreken al naar gelang de vraag.

Waarom worden hoge gebouwen niet zo ontworpen en gebouwd dat ze kunnen groeien in de tijd als delen van een stad:

- wat betreft investering en verantwoordelijkheid deels een publieke en deels een particuliere aangelegenheid;
- wat betreft het ontwerp als een choreografie van meerduidige ruimtelijke componenten, aan- en invulbaar in de tijd;
- wat betreft de bouwmethode als delen die in zichzelf functioneren als onderdeel van het totale 'gebouw'.

TEN SLOTTE

De parallellen in de natuur en de daar aanwezige oplossingen fascineren en maken optimistisch, maar zijn door hun schijnbare 'eenvoud' ook bedrieglijk. Wat we zien is het resultaat in de vorm van een eindeloos geëvolueerd mechanisme of een uitgekristalliseerde structuur. Alleen vergaand onderzoek door middel van proto-

typen leert ons opnieuw welke parameters hierbij allemaal een rol spelen – en hoe complex en verfijnd het ‘beeld’ van de natuurlijke parallel feitelijk is. Daarnaast vereist het architectonisch ontwerpen en ontwikkelen van structuren en materialen een andere manier van werken van de architect – en vervolgens van het bouwproductieproces – in nauwere samenspraak met biologen en materiaalwetenschappers. Tot nu toe is het nog zeer buitengewoon dat architecten en biotechnici zich gezamenlijk buigen over bouwprojecten, maar gezien de ontwikkelingen in de ‘biotechniek’ zou het een gemiste kans zijn deze ‘nieuwe’ wetenschap in relatie tot de bouwtechniek als een utopie te zien (fig. 7.19).



Fig. 7.19 *Le grand architecte* (midden 13e eeuw, Frankrijk)
Bron: [Centre de Création Industrielle, 1983]

‘De vreugde die men voelt bij iedere metamorfose beantwoordt niet aan een armzalig esthetisch verlangen, maar voorziet juist in de eeuwenoude behoefte om zich te bevrijden van een bedrieglijk en eentonig paradijs van verdorpe herinneringen en op zoek te gaan naar een nieuw, onvergelijkelijk groter ervaringsgebied waar de grenzen tussen de wereld van het innerlijk en de buitenwereld meer en meer zullen vervagen ...’

Ecritures 1936; Ernst, 1970

Referenties

- CENTRE DE CRÉATION INDUSTRIELLE, *Architecture et industrie; passé et avenir d'un mariage de raison*, Paris, 1983
- ERNST, M., *Ecritures 1936*, Paris, 1970
- GAAY FORTMAN, J.P. DE, W.M. HEIJL, P. WEDZINGA, *Beknopt leerboek der plantkunde, deel 2*, Groningen, 1971
- GROVE, A.J., G.E. NEWELL, *Animal biology, ninth edition*, London, 1990

- HANDKE, P., *Ueber die Dörfer, Dramatisches Gedicht*, Frankfurt am Main, 1981
- KERNEY, M.P., R.A.D. CAMERON, *Elseviers slakkengids*, Amsterdam/Brussel, 1980
- RAVEN, P.H., R.F. EVERT, S.E. EICHORN, *Biology of plants*, New York, 1986
- ROOSWINKEL, TH., H.H. KREUTZER, herzien door J.P. ten Hof, *Biologie van de mens*, Groningen, 1973
- SUTTERLAND, H., J.H. PONTIER, *Geschiedenis der bouwkunst 2*, Delft, 1977

7.3 DE VERGADERRUIMTE

De vergaderruimte boven op de toren in de tuin van het pand Prinsessegracht 23 in Den Haag moest voldoen aan de volgende eisen (par. 7.1):

- Een vergaderruimte voor 50 personen.
- Bereikbaarheid per (personen)lift, noodtrap en via de leidingenschacht.
- De 'unit' wordt verdeeld over twee lagen.
- Voor de ontvangstruimte, de garderobe, de koffiehoeke en de toiletten is 100 m² nodig.
- Voor de vergaderzaal is ongeveer 100 m² nodig.
- De toren is 300 meter hoog.
- De binnenplaats is circa 15 × 15 m².

In paragraaf 7.4 zal een aantal mogelijkheden worden beschreven voor de manier waarop de unit op de gewenste hoogte kan worden gepositioneerd. In deze paragraaf wordt het ontwerp van de vergaderruimte verder uitgewerkt, inclusief de aansluiting op de mast.

Eerst worden de constructieve aspecten beschreven (par. 7.3.1); dan wordt een architectonisch ontwerp gepresenteerd voor de indeling en de vorm van de unit (par. 7.3.2). Er is gekozen voor een zo groot mogelijke zelfstandigheid in het gebruik van water en energie. Hiermee wordt de aanleg van een complexe infrastructuur zoveel mogelijk vermeden. De duurzaamheidsstrategieën (par. 3.3.3) zijn uitgewerkt in een aantal ontwerpstrategieën die zijn toegepast bij het ontwerp van de unit. In tabel 7.1 zijn deze ontwerpstrategieën omschreven. In paragraaf 7.3.3 worden ze verder toegelicht.

7.3.1 CONSTRUCTIE

*ir. R. Nijssse**

Behalve met de uitdaging van de vormgeving krijgt de constructief ontwerper ook te maken met het feit dat het geheel zich hoog, zeer hoog in de lucht bevindt.

Als de mast eerst wordt gebouwd, zijn er verschillende mogelijkheden om de vergaderruimte te bouwen. Ten eerste is het mogelijk om de unit ter plekke (in de lucht) samen te stellen, al dan niet met droge verbindingmethoden. Uit overwegingen van veiligheid en doelmatigheid is het in dat geval raadzaam om een werkplat-

* Rob Nijssse is directeur van ABT, Adviesbureau voor Bouwtechniek.

<i>Duurzaamheidsstrategieën</i>	<i>Ontwerpstrategie</i>	<i>Voorbeelden in de vergaderruimte</i>
Integraal ketenbeheer van materialen	Minimaliseren van het grondstofgebruik	Maatvoering zoveel mogelijk in standaardmaten
	Beperken van het aantal materialen en componenten	Beperking van het aantal constructiematerialen
	Inzet van secundaire grondstoffen	Waar mogelijk wordt gebruik gemaakt van regranulaat
Energiebesparing	Gebruik maken van zonne-energie en van windenergie	Maximaal gebruik maken van zonne-energie, windenergie
	Energiezuinige apparaten	Waterbesparende toiletten
Kwaliteitsverhoging	Identificatie van gevaarlijke stoffen	Bijhouden van de aard en samenstelling van de toegepaste materialen
	Gebruik van duurzame materialen	Zoveel mogelijk materialen toepassen die lang meegaan
	Demonteerbaar bouwen	Alle onderdelen waarvan de levensduur korter kan zijn dan de levensduur van het gehele gebouw worden demonteerbaar of verwijderbaar aangebracht

Tabel 7.1 *Ontwerpstrategieën*

form te plaatsen. Personen en kleine voorwerpen (apparatuur, bouwmaterialen) kunnen met de 'normale' lift worden vervoerd. Grotere componenten zullen met een zeer hoge platformkraan of liever een helicopter moeten worden aangevoerd. Deze mogelijkheid wordt verderop uitgewerkt in een (chrono)logische bouwvolg-orde. Een tweede optie die logistiek ook goed mogelijk is, is om de unit op de grond te bouwen en hem dan in zijn geheel langs de mast naar boven te hijsen of te takelen. Uit onder andere milieu-overwegingen en de mogelijkheid tot eenvoudige (de-) montage is hier gekozen voor bouwen met hout. Al verder denkend ontstond het volgende constructieve model:

- ribben van gelamineerd hout; aan de buitenzijde bekleed en aan de binnenzijde afgewerkt (fig. 7.24);
- in het vlak van de ribben kunnen ramen of isolatie worden aangebracht;
- dit skelet krijgt stabiliteit door de ribben onderling te koppelen en incidenteel in gesloten zones af te schoren;
- de twee vloeren moeten geluidsisolerend zijn; warmte-accumulatie is op deze hoogte bij dit gebruik niet zinvol;
- het totale gewicht van de unit rust – vrij draaiend – op de toren. De overdracht van krachten moet dus door kogellagers plaatsvinden; de vloeren moeten de mogelijkheid geven om deze geconcentreerde kracht gelijkmatig over de span-ten en de ribben te verdelen.

Chronologische opbouw van de vergaderruimte

Omdat de eerste methode (de vergaderruimte wordt ter plekke hoog in de lucht gebouwd) de minste logistieke problemen oplevert, wordt deze methode hier verder uitgewerkt in een bouwvolgorde.

1. Er is een veilig werkplatform aanwezig; de lift van de toren functioneert. Het draaimechaniek (de staalconstructie) is gemonteerd (zie fig. 7.20).
2. Opbouw vloeren op twee niveaus. De hiervoor benodigde elementen zijn lichtmetalen frames, gipsplaten en vulling. De vloeren worden tijdelijk gestabiliseerd.
3. De spanten van gelamineerd hout worden in zo groot mogelijke delen met de lift aangevoerd. Ze worden opgebouwd tot ringvormige elementen op de plaats waar de spanten moeten komen te zitten. De benodigde momentvaste verbinding wordt gerealiseerd met kramplaten en bouten, dus volledig mechanisch.

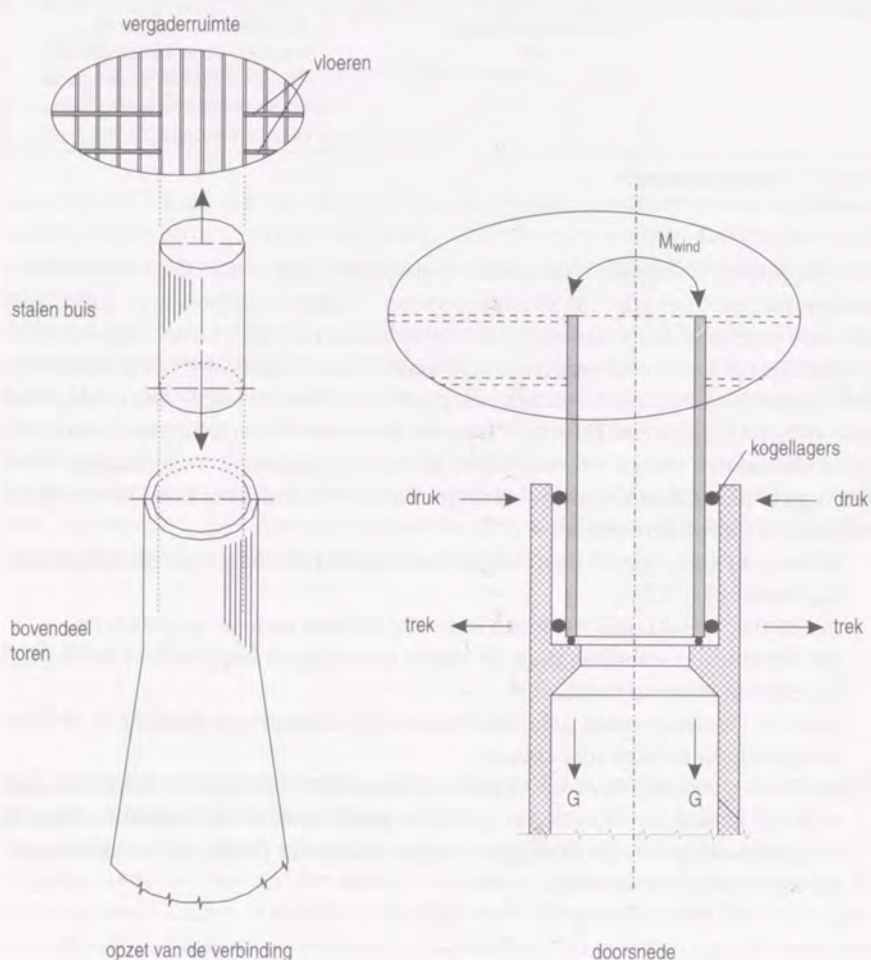


Fig. 7.20 Principe van het draaimechaniek

4. Zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde van de spanten wordt bekleding aangebracht. Onderdelen van de installaties, de windenergiecentrale en de fotovoltaïsche cellen worden naar boven getransporteerd.
5. De binnenzijde wordt afgebouwd, alle apparatuur wordt ingeregeld. Het werkplatform kan worden afgebroken.
6. Opening en ingebruikneming van de vergaderruimte.

7.3.2 INDELING

*ir. E.M.C.J. Quanjel**

Volgens het eisenprogramma kent de vergaderruimte twee niveaus (fig. 7.21 t/m 7.24). Beneden is de ontvangstruimte. Hier komt de lift van de begane grond uit en zijn de koffiehok, de toiletten en de garderobe. Boven is de vergaderzaal. Deze zaal is met een trap te bereiken. De techniekruimte is verdeeld over de twee niveaus.

7.3.3 VOORZIENINGEN

*K. Hoogendoorn***

Voor voldoende vergadercomfort is afstemming nodig tussen de gebouwschil en de techniek. Bij de keuze van materialen en technieken is uitgegaan van de nieuwste inzichten over milieubewust bouwen en van een minimaal gebruik van fossiele energie. Het hanteren van *no regret*-strategieën en de keuze voor minder milieubelastende materialen leiden tot een relatief duurzaam ontwerp.

De unit is te beschouwen als een solitaire ruimte op 300 m hoogte, waarbij licht en lucht vrijelijk kunnen toetreden respectievelijk de ruimte kunnen omspoelen. Bij een mega-opzet (veel units in een skelet, eventueel gedeeltelijk ondergronds in verband met de kosten van de fundering) zal worden gekozen voor andere oplossingen, vooral op het gebied van energie uit zon en wind; in dat geval is het economischer om centrale voorzieningen te installeren.

In paragraaf 7.3.1 is al verklaard waarom is gekozen voor houten spanten bekleed met *stressed-skin*-panelen voor de draagconstructie. De dichte delen worden voorzien van een isolatiepakket van natuurlijke wol of gerecycleerde cellulosevezels, zogenaamd papierfoam. Er wordt dus niet gekozen voor een zware accumulerende schil, maar voor een lichte, goed geïsoleerde omhulling (isolatiewaarde $U \leq 0,3$ W/m² K) waardoor een snelle acclimatisering mogelijk is, zodat het gewenste comfort ondanks de sterk wisselende bezetting van de vergaderruimte snel wordt bereikt.

* Voor auteursgegevens zie par. 7.2.

** Klaas Hoogendoorn is directeur van Adviesbureau Peutz en Associés.

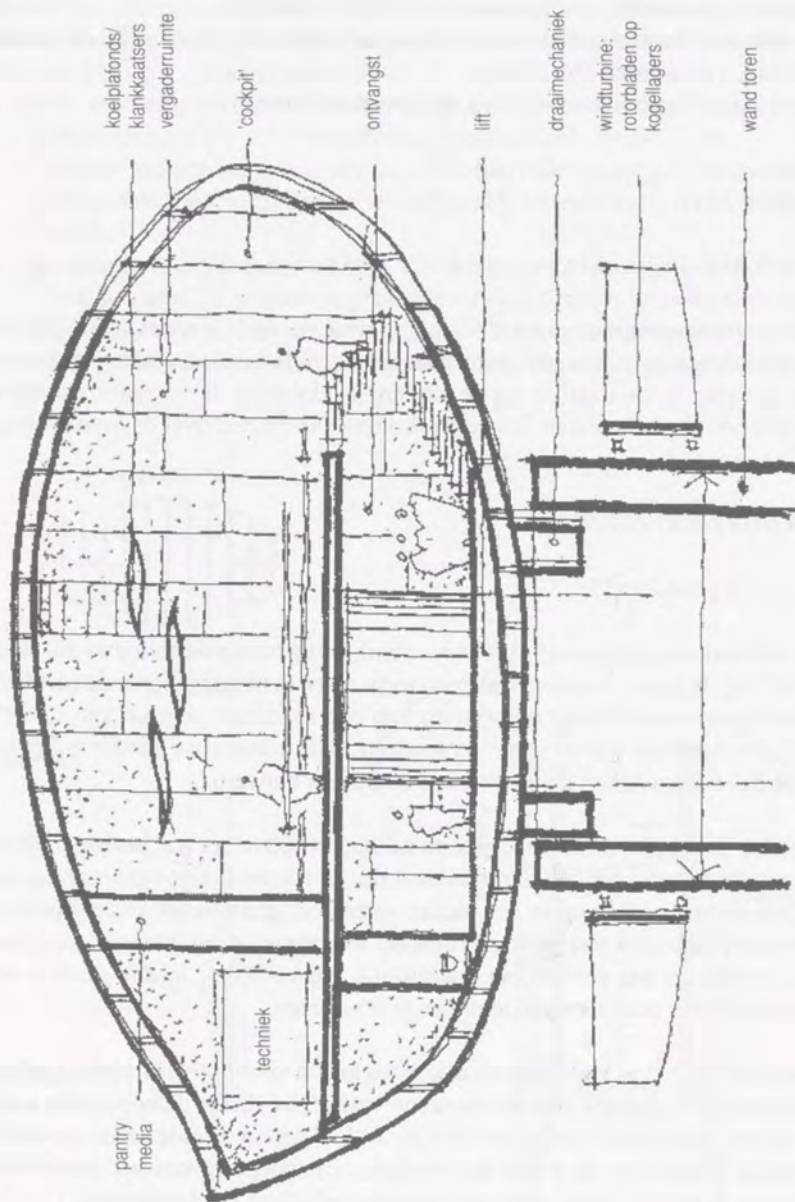


Fig. 7.21 Langsdoorsnede van de unit

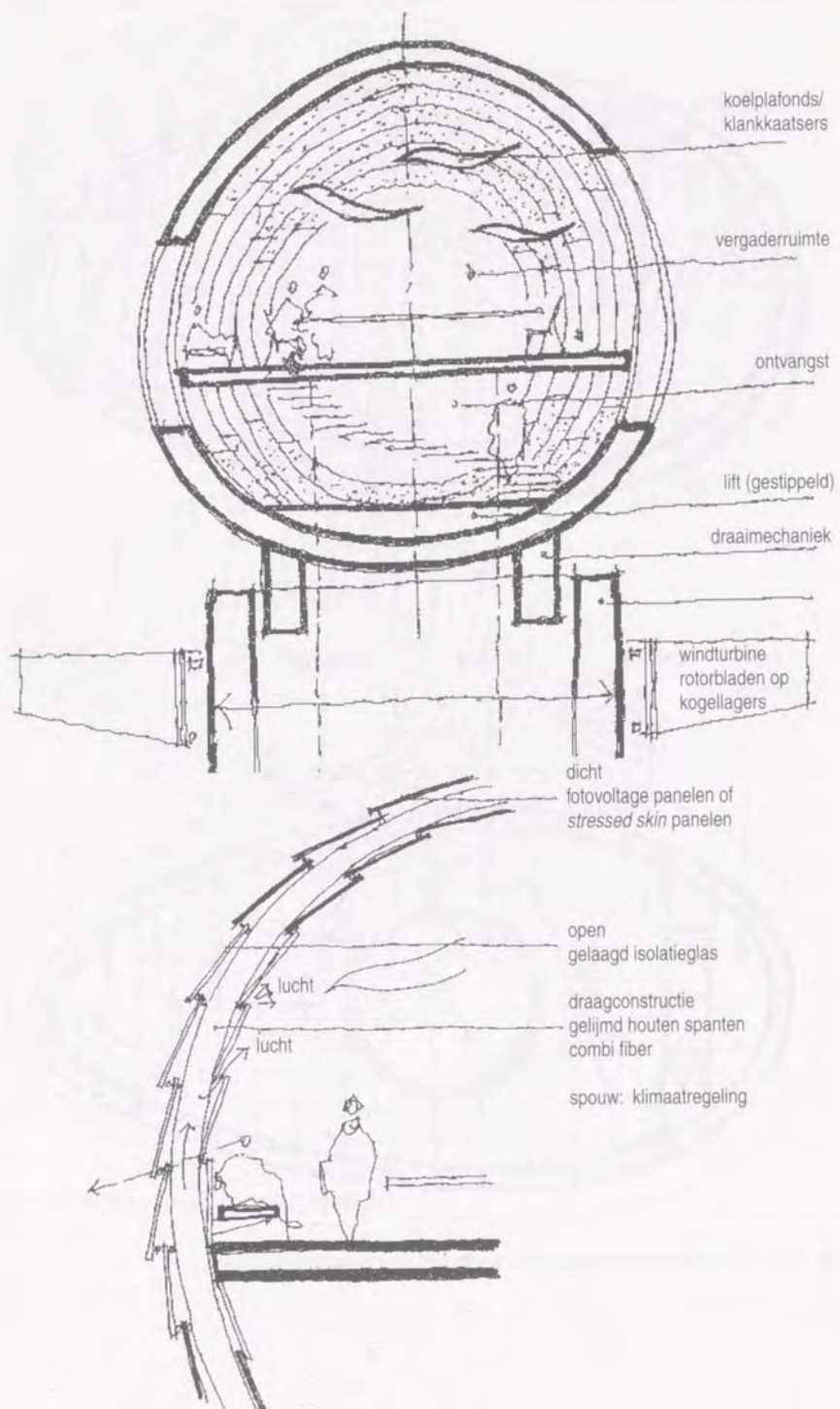


Fig. 7.22 Dwarsdoorsnede (boven) en principeddoorsnede (onder) van de unit

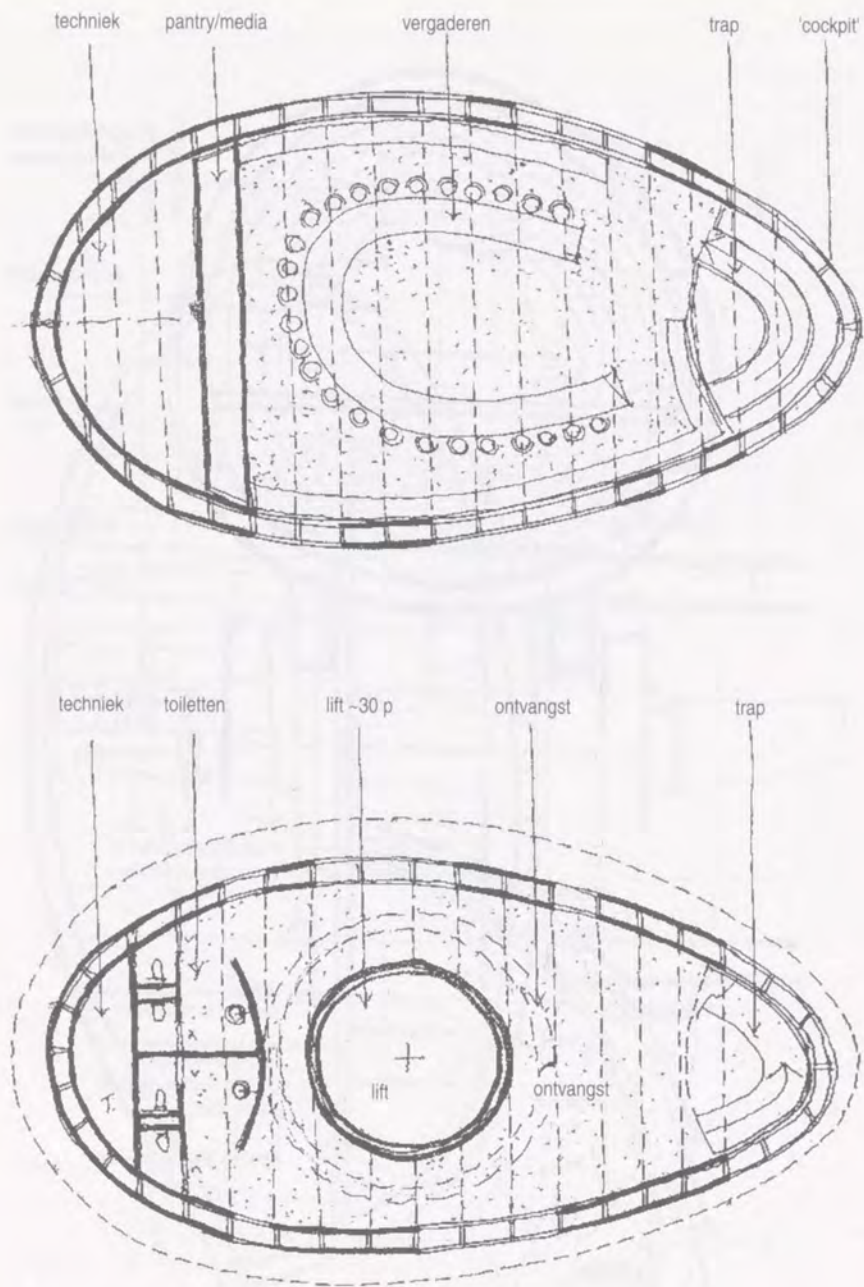


Fig. 7.23 Bovenaanzichten vergaderniveau (boven) en ontvangsniveau (onder)

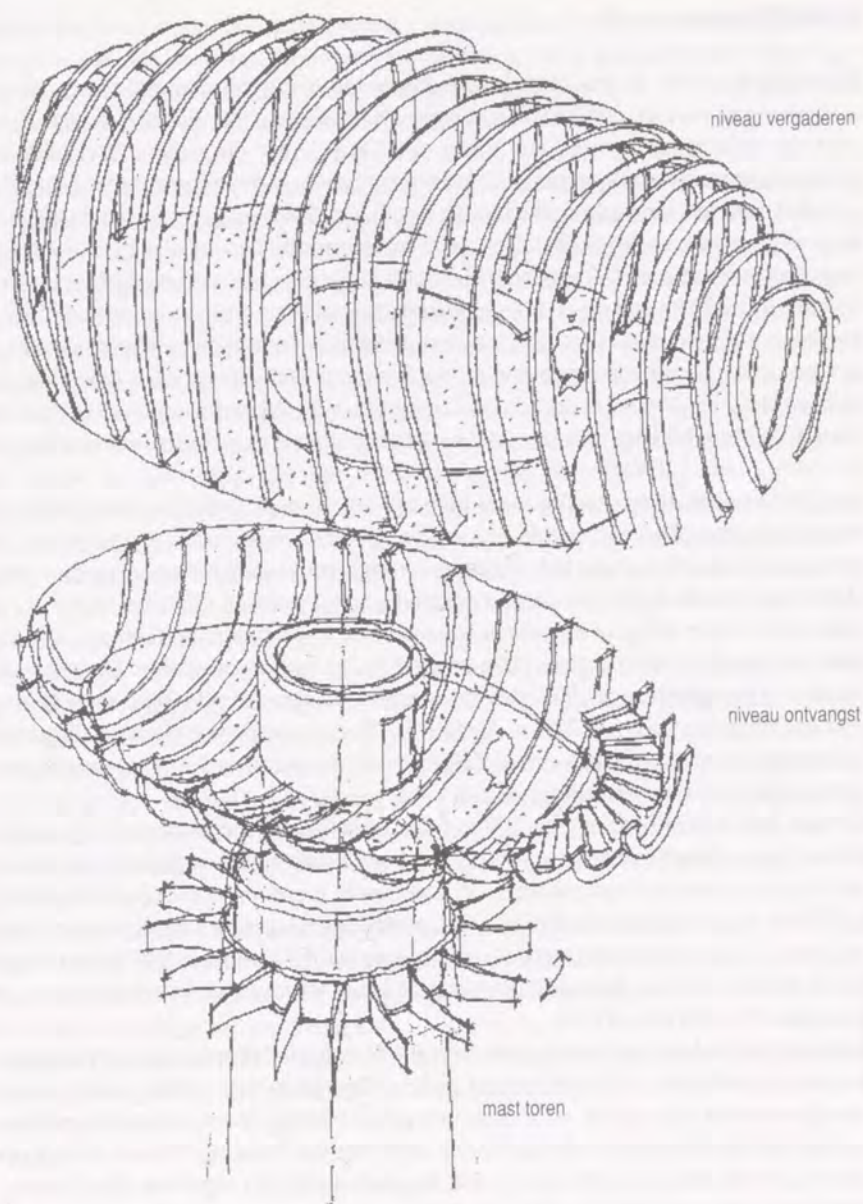


Fig. 7.24 Principe van de constructie van de unit

Opwekking van energie

Elektriciteit wordt in traditionele gebouwde omgevingen centraal en op grote afstand opgewekt en gedistribueerd naar de afnemers. De voordelen van deze centrale elektriciteitsopwekking zijn groot. Opwekking op grote schaal leidt tot minder kosten, de aanvoer van olie, kolen, aardgas is eenvoudiger, de emissies die gepaard gaan met het verbranden komen niet vrij in de woonomgeving en de locaties kunnen zo worden gekozen dat de restwarmte nog nuttig kan worden gebruikt (bijv. voor stadsverwarming). Aangezien hier echter is gekozen voor een zelfvoorzienende unit, ligt aansluiting op al deze grootschalige infrastructuur niet voor de hand. De fotovoltaïsche cel is een van de meest geschikte alternatieve elektriciteitsbronnen om in de gebouwde omgeving te worden toegepast. De gesloten delen van de unit worden aan de buitenkant (dak en zijgevels) bekleed met fotovoltaïsche cellen voor direct beschikbare energie (24V of direct geconverteerd – met een rendement van 96% – naar 220V) en met zonnecollectoren voor het opwarmen van water. De energie is onder andere nodig voor het verwarmen van de unit voor gebruik als vergaderruimte. Daartoe wordt een buffervat van circa 4 m³ opgesteld in de techniekruimte. Hierin wordt de als zonne-energie opgevangen warmte opgeslagen. Omdat de glazen delen van de unit bijzonder goed isoleren ($U \leq 0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) is zelfs in de winter behalve de interne warmtelast van personen, verlichting, apparatuur en dergelijke vrijwel geen extra energie nodig voor verwarming. De bedoelde beglazing bestaat uit super-HR-glas met warmte- en zonwerende folies in de spouw van het dubbele glas. Op 300 m hoogte is dit de meest voor de hand liggende oplossing voor zonwering; om de ruimten te kunnen verduisteren wordt een eenvoudige binnenvoorziening aangebracht.

De unit wordt draaibaar op een 300 m hoge liftschacht gepositioneerd (fig. 7.22). Direct onder de unit wordt rond de schacht een windturbine geplaatst met om de schacht ronddraaiende rotorbladen. De energie die hierdoor wordt opgewekt uit de op 300 m hoogte altijd aanwezige wind wordt opgeslagen in batterijen (statische *no-break*). Een windturbine met een rotorhoogte van 1500 mm die 500 W vermogen levert, is sinds kort op de markt. Aan grotere typen wordt gewerkt, onder andere in Duitsland [NewWinds, 1996].

Kortom, met behulp van zon en wind wordt de energiebehoefte voor verwarmen, koelen en verlichten (vrijwel) geheel gedekt. Een probleem hierbij is wel dat de energiestromen van zon en wind naar een gelijkwaardig spanningsniveau moeten worden getransformeerd. Als aanvulling en eventuele back-up (vooral 's winters, als er niet veel zon is) wordt de unit ook aangesloten op het reguliere elektriciteitsnet. Op die manier is er geen gasinfrastructuur nodig.

Ventilatie, koeling en verwarming

Voor ventilatie in de vergaderzaal ('boven') en de techniekruimten ('boven' en 'beneden') wordt een kleine luchtbehandelingskast geïnstalleerd, voorzien van een koelsectie, geluiddempers en een installatie om warmte terug te winnen. De capaciteit van deze luchtbehandelingskast wordt gebaseerd op de benodigde hoeveelheid zuurstof, respectievelijk geurverfrissing voor 50 personen, hetgeen resulteert in een kast van circa 1500 m³ per uur.

In eventuele aanvullende koeling wordt voorzien door een zogenaamd koelplafond, metalen panelen met watervoerende registers waardoor gekoeld water wordt gevoerd. De overige ruimten worden met (gekoelde) lucht met een frequentie van twee keer per uur op een acceptabele temperatuur gebracht.

Bij de luchtcirculatie in de betreffende ruimten wordt het principe van verdringing toegepast. De verse lucht wordt met lage snelheid vlak boven de vloer de ruimte ingebracht uit kanalen die de inblaasconsoles langs de wanden voeden met lucht uit de eronder gelegen ontvangstruimte. De lucht wordt via roosters in het binnenspouwblad deels laag en deels hoger afgezogen en verzameld in een kanaal boven de klankkaatsers, vanwaar de lucht naar de techniekruimte teruggaat. In de winter wordt warmte teruggewonnen via een waterglycolbatterij. Drie keer per uur wordt de ruimte met verse buitenlucht doorgespoeld. De ontvangstruimte wordt alleen ingeblazen en via de open ruimte bij de trap met de vergaderzaal mee afgezogen.

Gezien de hoogwaardige thermische isolatie van de constructie en de aanwezigheid van eigen energiebronnen moet het in principe mogelijk zijn de benodigde thermische energie autonoom op te wekken. Toepassing van een conventionele cv-ketel is om praktische redenen niet denkbaar, onder andere vanwege de problemen met gastoevoer vanaf het maaiveld.

De behoefte aan verwarming in de vergaderruimte kan vrijwel geheel worden gedekt uit de opbrengst van de zonnecollectoren. Aangezien de temperatuur van het water dat eruit komt sterk afhangt van de intensiteit van de zonnestraling, moet deze installatie via een warmtewisselaar in combinatie met een toerengeregelde pomp worden gekoppeld aan het buffervat in de techniekruimte; dit vat is hoogwaardig thermisch geïsoleerd. Met deze voorziening wordt de warmtebehoefte van de verwarmingsbatterijen in de luchtbehandelingskast bij normale buitentemperaturen gedekt.

Om ook bij extreme weerscondities voldoende energie te kunnen leveren, wordt in het toevoerkanaal naar de diverse ruimten een elektrische naverwarmer aangebracht, die overigens onder alle bedrijfsomstandigheden kan worden gebruikt voor de temperatuurregeling per vertrek.

De benodigde elektrische energie wordt geleverd door de windturbine in combinatie met de in de gevel geïntegreerde fotovoltatische cellen.

Water

De toiletten zijn composterend en worden gespoeld met 'grijs water'. Dit is regenwater dat via het dak is opgevangen en afvalwater dat uit de pantry en de wastafels naar een reservoir wordt getransporteerd. Op deze manier en door het aanbrengen van watersparende voorzieningen wordt het gebruik van drinkwater geminimaliseerd. In de drinkwatervoorziening wordt voorzien via reservoirs in of op het contragewicht van de lift. In gescheiden reservoirs gaat schoon water naar boven en vuil water naar beneden, zodat de balans van de lift niet wordt verstoord.

Ruimte(n) voor techniek en installaties

Voor plaatsing van de benodigde technische installaties (luchtbehandelingskast, koelunit, pompen, waterreservoirs, batterijen, warmtewisselaars, enz.) is een ruimte van 15 à 20 m² vloeroppervlak voldoende. Deze ruimte wordt gesitueerd op een van de koppen van de unit en al dan niet verspreid over de twee bouwlagen (fig. 7.21 en 7.23).

Algemeen

Aangezien alle energie autonoom en voor een deel met een laag rendement wordt opgewekt, moeten alle onderdelen van de installaties energiezuinig worden ontworpen. Er moet daarbij vooral op de volgende punten worden gelet:

- alle toe te passen pompen en elektromotoren zijn toerengeregeld met een hoogfrequente spanningsregelaar;
- alle fluorescentie-armaturen zijn hoogfrequent uitgevoerd; de individuele regeling gebeurt met elektronische dimmers op basis van lichtmeting;
- de stroomsnelheden van lucht en water zijn in alle systemen laag om wrijvingsverliezen te beperken;
- alle systemen worden optimaal geavanceerd geregeld, vooral de overdracht van energie van de opwekkers naar de gebruikers.

Geluid van buiten

Geluid van wind, regen en hagel wordt voldoende geweerd door de akoestisch ontkoppelde gebouwschil. De rotor van de windturbine wordt om trillingtechnische redenen apart bevestigd aan de hoofddragconstructie, zodat ook van daaruit geen hinderlijke overdracht van contactgeluid naar de vergaderruimte plaatsvindt.

Interne geluidsisolatie

De vloer- en wandconstructies die de vergaderruimte scheiden van andere ruimten worden licht en buigslap uitgevoerd met al dan niet versterkte gipsplaten op lichtmetalen frames met geluiddempende vulling.

Akoestiek van de vergaderzaal

Omdat de holle vorm van het plafond van de vergaderzaal door focussing de akoestiek negatief zou beïnvloeden, wordt een vlakke klankkaatser boven de vergadertafel gehangen. De klankkaatser fungeert ook als koelvlak. Aan de bovenzijde wordt de klankkaatser belegd met een geluidsabsorberend materiaal, bijvoorbeeld natuurlijke of minerale wol. Aangevuld met een tapijt op de vloer wordt op deze manier een ruimte met een perfecte akoestiek gecreëerd.

Om de overlast van vergadergeluiden naar de ruimte beneden te beperken worden bij de trap geluidabsorberende kamerschermen geplaatst.

Materialen

Als uitvloeisel van de ontwerpstrategieën wordt gekozen voor materialen met een voldoende lange levensduur. In het ontwerp is uitgegaan van een modulaire opbouw, waardoor ook vervanging, aanpassing en onderhoud relatief eenvoudig zijn. Hierdoor is de mogelijkheid gegarandeerd om in een later stadium de vergaderruimte aan andere eisen aan te passen. In hoofdstuk 3 wordt verder ingegaan op de veranderbaarheid en aanpasbaarheid van gebouwen.

Referentie

- NEWWINDS, *Windturbine met verticale as*, brochure NewWinds, wind energy with a difference, Voorburg, 1996

7.4 DE TORENCONSTRUCTIE

Welke mogelijkheden zijn er om een toren van 300 m hoogte op een klein grondvlak te bouwen? In theorie zijn vier principieel verschillende torenconstructies denkbaar waarvan de starre toren en de flexibele toren met ingebouwd hulpsysteem verder worden uitgewerkt. Veel aandacht wordt besteed aan de demping van hinderlijke trillingen en verplaatsing.

7.4.1 INVENTARISATIE EN VERGELIJKING VAN TORENCONSTRUCTIES

*ir. J.H. Voorrips**

In de ontwerpogave – een vergaderruimte op 300 m hoogte op een zeer klein grondvlak, toegankelijk via een lift – zijn vier principieel verschillende torenconstructies denkbaar (fig. 7.25). Bij het constructief ontwerp van de mast komen de volgende overwegingen ter sprake:

- de verticale belasting wordt bepaald door het eigengewicht van de constructie;
- de horizontale belasting wordt bepaald door de vorm van de mast en de opbouw van de vergaderruimte;
- de vereiste buigstijfheid wordt bepaald door de maximaal toelaatbare verplaatsing aan de top.

Aardbevingscriteria blijven – gezien de locatie – buiten beschouwing.

Al deze torenconstructies voldoen aan de gestelde eisen aan sterkte (veiligheid) en stijfheid (comfort). Tabel 7.2 geeft een en ander schematisch weer.

1. Starre toren

Een vaste ingeklemde toren die door zijn constructieve vorm aan alle eisen voldoet.

* Jan Voorrips is werkzaam als ontwerper bij Ballast Nedam IGB.

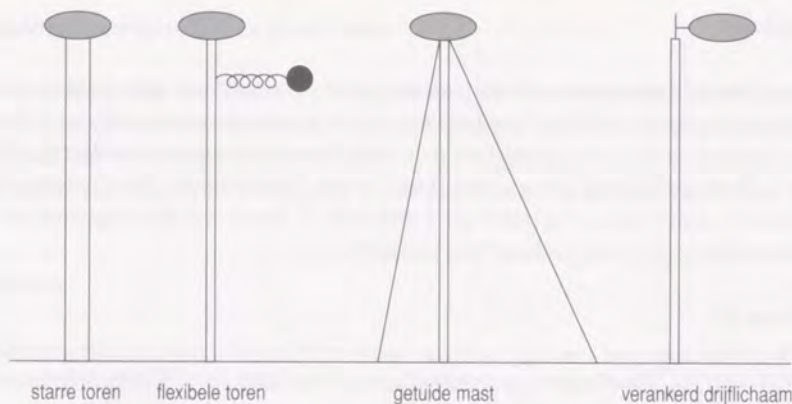


Fig. 7.25 Mogelijke torenconstructies

2. Flexibele toren

Een flexibele ingeklemde toren die met behulp van een ingebouwd hulpsysteem aan de eisen voldoet. Dit systeem maakt in vergelijking met de starre toren besparingen op het constructiemateriaal mogelijk.

3. Getuide mast

Een afgetuide (niet noodzakelijk ingeklemde) mastconstructie die in combinatie met de tuidraden bruikbaar is. Omdat alle elementen op normaalkracht worden belast, is dit de meest materiaaleconomische oplossing van 1, 2 en 3.

4. Verankerd drijflichaam

Een aan een mast verankerd drijflichaam dat met diverse regelsystemen plaatsvast gehouden kan worden.

concept	kenmerk	varianten	voorbeeld	
1. starre toren	constructies in beton en staal	–	Euromast	
2. flexibele toren met ingebouwd hulpsysteem	hulpsysteem om te voldoen aan de sterkte-eis	roterend hellend	–	
		verstelbaar draadmodel	–	
	hulpsysteem om te voldoen aan de vervormingseis	passieve demping	Tuned-Mass Damper	zwembad op de bovenste etage
		actieve demping	visco-elastische dempers	–
		actieve demping	actieve TMD	–
			verstelbaar draadmodel	–
3. getuide mast	–	–	zendmast in Lopik	
4. verankerd drijflichaam	–	–	aangemeerd luchtschip	

Tabel 7.2 Overzicht constructieprincipes

De getuide mast en het verankerde drijflichaam zijn hier niet nader uitgewerkt, omdat deze constructies technisch minder interessant zijn, respectievelijk te weinig materiaaleisen opleveren. Bovendien voldoet een getuide mast niet aan de eis 'passend op een grondvlak van $15 \times 15 \text{ m}^2$ '.

STAR OF FLEXIBEL?

Bij nadere bestudering blijkt dat de volgende onderverdelingen kunnen worden gemaakt.

Starre toren

In deze constructievorm zijn talloze voorbeelden te noemen, zowel in beton als in staal (bijv. fig. 7.26). De beperkte voetdoorsnede van 15 à 20 m vormt wel een uitdaging voor het maken van een efficiënte constructie.

De genoemde diameter is zowel voor beton als voor staal een minimumafmeting. Deze afmeting volgt uit de stijfheidseis; een materiaaleigenschap waarmee bij de traditionele constructiematerialen nog weinig vooruitgang is geboekt. Nieuwe materialen met uitsluitend een verbeterde sterkte leveren daardoor tot nu toe weinig op. In paragraaf 7.4.2 is aangegeven hoe een dergelijke constructie – in (hoofdzakelijk) beton of staal – eruit kan zien. Een bekend voorbeeld van zo'n starre toren is de Euromast in Rotterdam (fig. 7.27).

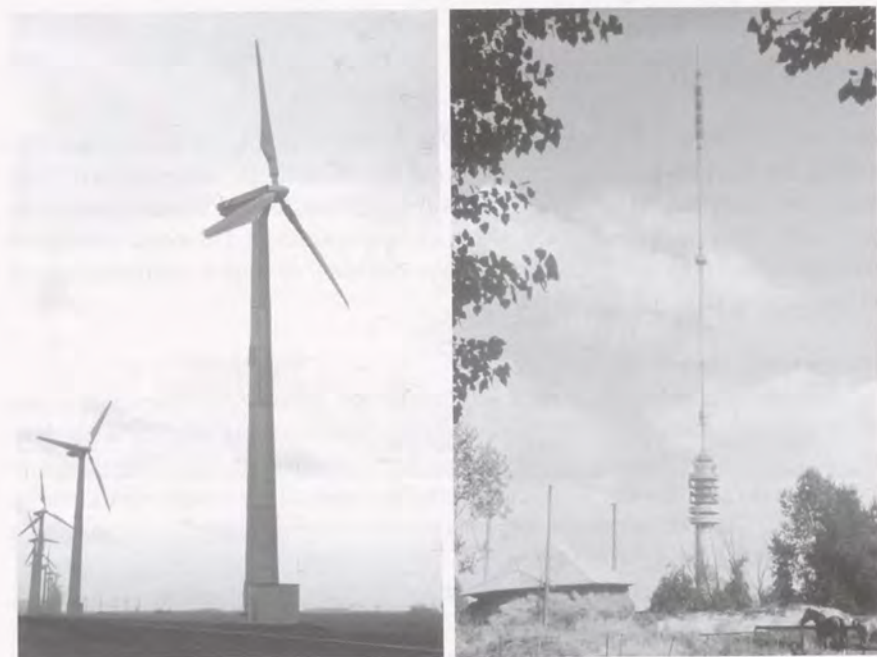


Fig. 7.26 Voorbeelden van starre torens in traditionele materialen: windmolen en zendmast
Bron: Staalbouwkundig Genootschap (windmolen) en Staalbouw Instituut (zendmast)



Fig. 7.27 Euromast, Rotterdam
Bron: Gebroeders Spanjersberg

Flexibele toren met een hulpsysteem

De kern van het meer flexibel uitvoeren van de toren moet liggen in een kostenbesparing op het gehele project ten opzichte van traditionele starre torens. Deze besparing wordt bereikt door met de gekozen constructievorm bewust niet aan de bouwtechnische eisen voor sterkte of vervorming te voldoen. Dit wordt vervolgens gecompenseerd door met behulp van andere systemen de sterkte (veiligheid) en of de vervorming (comfort) te beïnvloeden.

Maatgevende eigenschap: sterkte

De maatgevende belastingssituatie voor een hoog gebouw in Nederland is een belasting in horizontale richting als gevolg van wind. Om actief weerstand aan deze belasting te kunnen bieden moet – naast optimalisaties in de zin van windgeleidende spoilers en dergelijke – de constructie overhellen tegen de belastings(wind)richting in. De zwaartekrachtcomponent zorgt dan voor zoveel tegendruk dat de constructie verminderd op buiging wordt belast.

Dit onconventionele bouwprincipe leidt tot de volgende varianten:

- permanent overhellend gebouw (fig. 7.28);
- overhellend gebouw dat in rust rechtop staat (fig. 7.30).

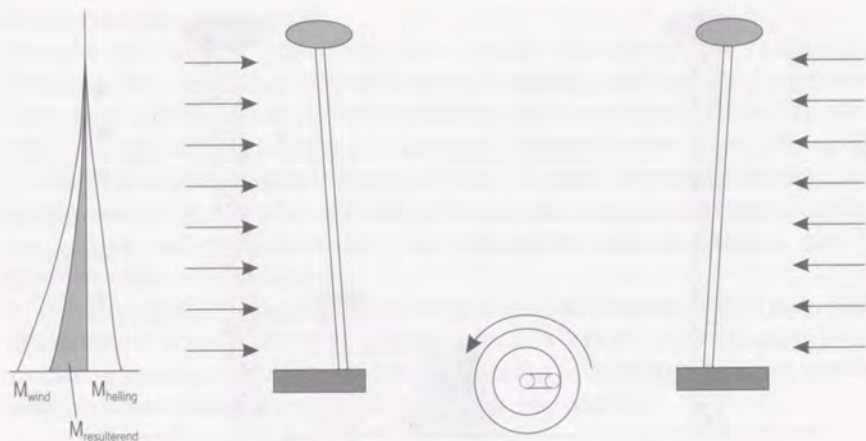


Fig. 7.28 Principe permanent overhellend gebouw

Permanent overhellend gebouw

Het gebouw is op een draai-inrichting geplaatst die op basis van windmetingen het gebouw actief of passief 'op de wind' zet. Actief kan dit met aangedreven wielen gebeuren, passief met een windvaan of een door de wind aangedreven rotor. Systemen hiervoor zijn niet nieuw, zoals de toepassing bij een Groninger windmolen uit 1891 laat zien (fig. 7.29).

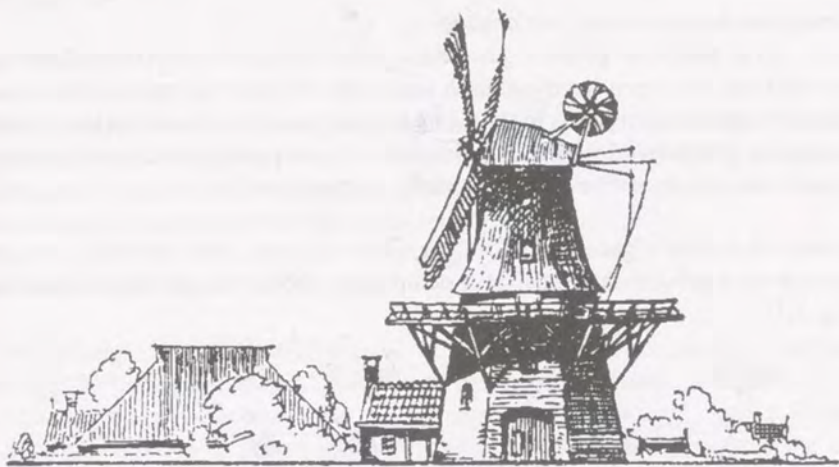


Fig. 7.29 Groninger windmolen (1891)

Overhellend gebouw dat in rust rechtop staat

De constructie bestaat uit scharnierend verbonden drukstaven, vormvast gehouden door trekdiagonalen (het 'verstelbare draadmodel'). Door het veranderen van de spanning op de draden kan de gebouwconstructie worden versteld, zodat een hellingshoek tegen de belastingsrichting in verkregen wordt.

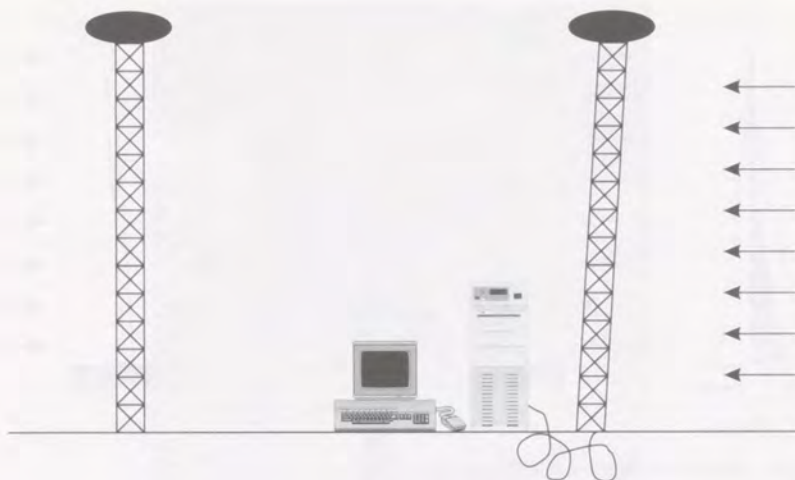


Fig. 7.30 Principe overhellend gebouw dat in rust rechtop staat

Hierbij moet worden aangetekend dat het permanent correct functioneren van het hulpsysteem een voorwaarde is voor de veiligheid van het gebouw.

Ook is er een tijdsrisico: als de belasting sneller oploopt dan het hulpsysteem de helling kan bewerkstelligen, kan geen evenwicht worden verkregen. Dergelijke hulpsystemen zijn tot op heden niet toegepast.

Maatgevende eigenschap: vervorming

In dit geval wordt het gebouw qua sterkte conventioneel ontworpen en kan met verschillende systemen het dynamisch gedrag dat de beleving van comfort beïnvloedt worden gecorrigeerd. In feite gaat het dus om verschillende hulpsystemen voor extra demping. Met deze hulpsystemen is in de praktijk ervaring opgedaan, zij het vaak met de aardbevingsbelasting als uitgangspunt.

In deze dynamisch gecontroleerde gebouwen kan een onderverdeling worden gemaakt naar gebouwen met passieve demping en gebouwen met actieve demping (fig. 7.31).

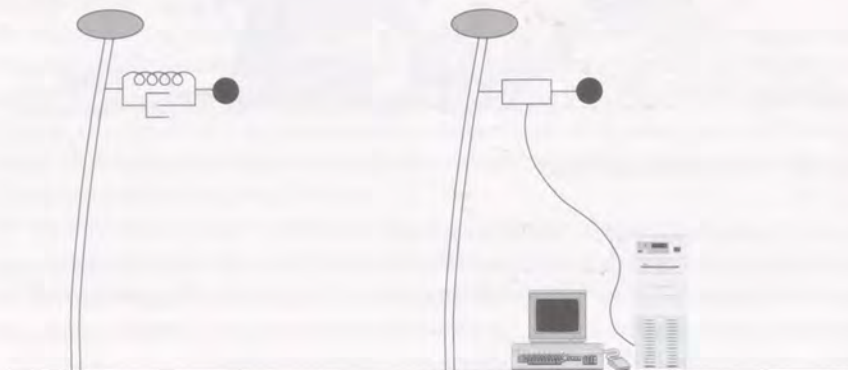


Fig. 7.31 Passieve en actieve demping

Gebouw met passieve demping

Hiervoor zijn twee mogelijkheden aan te geven. De zogenaamde *Tuned-Mass Damper (TMD)* bestaat uit een vaste massa die op de juiste hoogte in het gebouw is bevestigd. Strikt genomen is dit geen demper; het is een stuk gereedschap om het trillingsgedrag van het gebouw, en daarmee de respons van de constructie op de door de belasting opgelegde trillingen te optimaliseren. Een variant hierop is het systeem waarbij de massa hoog in het gebouw op een wrijvingsarm oppervlak kan bewegen en met een stelsel van vaste horizontale veren en dempers aan de draagconstructie is bevestigd.

De tweede mogelijkheid is die waarbij visco-elastische dempers worden toegepast. Hierbij wordt feitelijk demping aangebracht door op de juiste plaatsen in de constructie (waar geconcentreerde krachten worden overgedragen) bewust vervormingen te laten optreden waarbij energie wordt gedissipeerd.

Gebouw met actieve demping

Ook hier zijn twee systemen mogelijk: in de eerste plaats de actieve TMD, waarbij de massa actief door hydraulische cilinders wordt bewogen op basis van waarnemingen van sensoren.

Als tweede mogelijkheid kan ook hier het systeem van scharnierend verbonden drukstaven vormvast gehouden door trekdiagonalen (het 'verstelbare draadmodel') worden toegepast, waarbij de spanning op de trekdraden naar believen kan worden aangepast om zo het dynamisch gedrag te beïnvloeden.

In paragraaf 7.4.3 zijn de verschillende systemen voor het toepassen van demping uitgewerkt.

COMBINATIE?

Uit de voorgaande samenvattende opsomming blijkt dat het 'verstelbare draadmodel' zich zou kunnen lenen voor het besparen op voor sterkte benodigd materiaal door in de wind te leunen, en voor het besparen op voor stijfheid en demping benodigd materiaal door het veranderen van de eigentrillingstijd.

KOSTENFILOSOFIE

Voor het bepalen van de constructie van een gebouw zijn de kosten altijd doorslaggevend. Zeker bij een hoog gebouw maakt de ruwbouwconstructie een groot deel van de totale bouwsom uit. Omdat de bouwconstructie vrijwel altijd wordt weggevoerd in de afbouw is geen enkele investeerder bereid meer te betalen voor een technisch fraai systeem. Uitzonderingen hierop komen alleen voor wanneer:

- de 'alternatieve' constructiemethode tot spectaculaire oplossingen leidt ('hanggebouw' o.i.d.) en daardoor architectonische meerwaarde oplevert;
- het alternatief weinig meer kost en in de toekomst voordelen biedt (betere uitbreidbaarheid, dan wel flexibiliteit);
- het alternatief weinig duurder is en met ontwikkelingssubsidies voor technische vernieuwing kan worden gecompenseerd.

Bij verdere uitwerking van het 'verstelbare draadmodel' zal de constructie op één van deze aspecten moeten scoren.

Twee stappen in een kostenvergelijking

Voor het vergelijken van bouwkosten moeten twee stappen worden gemaakt:

stap 1: van starre naar flexibele toren bij gelijkblijvend materiaal

Aangetoond dient te worden dat de besparing in materiaalkosten voor sterkte en stijfheid de kosten voor het installeren van dynamische systemen ten minste compenseert.

stap 2: van conventionele materialen in de flexibele toren naar nieuwe materialen

Op basis van een uitgewerkt voorlopig ontwerp in staaldraad of staalprofielen kan voor druk- en trekelementen de gewenste eigenschap worden gedefinieerd in samenhang met de kostprijs die (bij massaproductie) de uiteindelijk toepassing van het materiaal rechtvaardigt.

7.4.2 TRADITIONELE TORENS IN TRADITIONELE MATERIALEN

Zoals in paragraaf 7.4.1 is beargumenteerd is voor starre torens de stijfheidseis maatgevend. Dat betekent dat nieuwe, sterkere materialen niet direct resulteren in slankere torens: sterkere materialen zijn in het algemeen ook minder stijf.

Met de 'traditionele' hoogbouwmaterialen staal en beton zijn al vele torens gebouwd. Hierna wordt bekeken welke mogelijkheden er nog zijn om met deze materialen en zonder hulpsystemen superslanke torens met een hoogte van 300 m te bouwen.

STARRE TOREN IN STAAL(-BETON)

*dr. ir. R. Hamerlinck**

De ontwikkelingen in de fabricage en verwerking van staal gaan in het laatste decennium van de 20ste eeuw erg snel en leiden ertoe dat de fabricage aanzienlijk minder energie vergt dan voorheen, dat staalsoorten met een drievoudige treksterkte (690 versus 235 MPa) verkrijgbaar zijn en dat het verbinden van de elementen van een staalconstructie steeds sneller en goedkoper gebeurt. Dit laatste is het geval bij eenvoudige boutverbindingen waarop vele bedrijven met investeringen in zaagboorstraten en hoekstalencentra hebben ingespeeld, en bij gelaste verbindingen, waar de ontwikkeling van het nieuwe thermomechanisch gewalste staal en nieuwe laselektroden tot een substantiële daling van de kosten hebben geleid.

Het hoge-sterktestaal dat een gunstige verhouding tussen prijs en prestatie kent, kan bij het realiseren van een vergaderruimte op 300 m hoogte en bij een maximaal grondvlak van $15 \times 15 \text{ m}^2$ nauwelijks worden gebruikt. Sterkte-aspecten zijn namelijk niet maatgevend. Het ontwerp wordt bepaald door de stijfheid en de trillingsgevoeligheid. Hiervoor is de elasticiteitsmodulus van het materiaal een bepalende factor en deze is voor hoge-sterktestaal gelijk aan die van het conventionele constructiestaal.

De gebruikelijke stijfheidseis (een in geval van extreem harde wind maximale horizontale uitwijking aan de top van $1/500$ van de hoogte) kan in het innovatieve

* Ralph Hamerlinck is technisch adviseur bij het Staalbouw Instituut.

ontwerp van een vergaderruimte versoepeld worden als maatregelen worden getroffen om het comfort te vergroten, zoals compensatie van de scheefstand door een intelligente verbinding tussen toren en vergaderruimte. Als de eis wordt versoepeld tot 1/250, is een starre ronde toren in staal mogelijk met een wanddikte van 10 mm (diameter 15 m) tot 40 mm (diameter 10 m). Hierbij zijn wel verstijvingen nodig om lokaal plooiën te voorkomen. Als alternatief is een staal-betonconstructie mogelijk waarbij het ('gewone') beton tussen twee relatief dunne staalplaten gestort wordt. Het is goed mogelijk de aërodynamische eigenschappen van de ronde toren nog verder te verbeteren door elementen aan de buitenzijde te lassen die het effect van windwervels beperken.

Een wellicht visueel aantrekkelijke optie is een taps toelopende vorm of hyperbolïde, beginnend bij een grondvlak met een diameter van 15 m die uitloopt tot een doorsnede van 1 à 2 m bij de aansluiting met de vergaderruimte.

Een andere mogelijkheid is het met ronde buizen samenstellen van een ruimtelijke vakwerkmast, vergelijkbaar met een offshore jacket (fig. 7.32). Deze is in prefab-units aan te voeren en met vijzeltechnieken te monteren, waarbij de bovenste units (en de vergaderruimte) eerst worden gemonteerd en opgevijseld, waarna de volgende unit eronder geschoven wordt en onder relatief gunstige arbeidsomstandigheden (nl. op de grond) kan worden vastgelast (of -gebout). Ook deze constructiewijze is als staal-betonconstructie uit te voeren door de buizen vol te storten met beton.



Fig. 7.32 Offshore jacket
Bron: Staalbouwkundig Instituut

In elk van de constructiewijzen en in elk materiaal of combinatie van materialen is de demping bij een dergelijke extreem slanke toren onvoldoende voor een behaaglijk comfort (met een beperkte trillingshinder). De gebruikelijke constructiemate-

rialen staal en beton hebben slechts een natuurlijke (passieve) dempingsmaat van 1 à 2%, terwijl in dit geval een dempingsmaat in de orde van 6% noodzakelijk is. Voor het verhogen van de demping wordt verwezen naar paragraaf 7.4.3. Bij een starre toren wordt passieve demping toegepast, waarbij in combinatie met staal de visco-elastische materialen een interessante uitdaging voor de toekomst bieden. Een flexibele stalen of staal-betontoren – met gebruik van minder materiaal – is mogelijk in combinatie met actieve demping. Hierbij wordt de toepassing van hoge-sterkte-staal wellicht wel een interessante optie. De demping kan eventueel (deels) gevonden worden in de aansluiting tussen de toren en de vergaderruimte door deze trillingstechnisch zoveel mogelijk te ontkoppelen.

STARRE TOREN IN BETON

*ir. H. Ouwerkerk**

Het materiaal beton is uitermate geschikt om de mast als schaalconstructie (cilinder, kegel, hyperboloïde) te ontwerpen waarbij efficiënt materiaalgebruik en economie van bouwen (met gebruik van een klim- of glijbekisting) goed samengaan. De maatgeving van de mast is in hoogte variabel. Dat geldt zowel voor de diameter als voor de schaaldikte, zodat de afmetingen van de schaal aan het krachtenverloop kunnen worden aangepast.

Maatgevend bij de dimensionering van de mast is de stijfheidseis die wordt vastgelegd in de maximale uitwijking van de mast aan de top. Bij de gebruikelijke stijfheidseis van 1/500 van de hoogte van de mast zal de doorsnede van de mast aan de voet circa 20 m bedragen, terwijl bij halvering van deze eis de diameter tot circa 16 m kan worden teruggebracht. De doorsnede aan de top van de mast kan slechts enkele meters bedragen, mits de vergaderruimte voldoende stevig aan de mast kan worden verankerd.

Er zal in alle gevallen demping nodig zijn om het dynamisch gedrag van de toren (trillingen) te beheersen. Bij een lichte slanke toren is dat veel, maar ook bij een stevige toren van relatief zwaar beton is extra demping nodig, omdat men ook in dat geval het dynamisch gedrag niet voldoende kan beheersen door alleen op de 3 S-en (sterkte, stijfheid, stabiliteit) te ontwerpen.

De vormgeving van de mast kan tussen de voet en de top als een kegel of hyperboloïde worden vormgegeven. In dit concept zou hoge-sterktebeton (HSB) in combinatie met voorspanning (*unbonded tendons* of uitwendige voorspanning) wellicht mogelijkheden bieden voor passieve demping.

SAMENVATTING

Een starre toren van staal, van beton of van een combinatie van deze twee materialen kan worden uitgevoerd als een ronde buisvorm, eventueel taps toelopend, of als een ruimtelijk vakwerk. De uitdaging ligt niet zozeer in de toepassing van de conventionele materialen staal en beton, maar in het realiseren van voldoende demping

* Herman Ouwerkerk is directeur van de Stichting Produktontwikkeling Betonmortel (SPOB) en was daarnaast tot 1 januari 1997 werkzaam bij NBM Amstelland Bouw.

met behulp van innovatieve materialen en systemen, zodat de trillingshinder in de vergaderruimte beperkt is.

7.4.3 DEMPING

*dr.ir. G.P.C. van Oosterhout**

Berekeningen van het dynamisch gedrag van de flexibele toren die de vergader-ruimte op 300 m draagt, geven aan dat de inherente demping van de constructie (een dempingsmaat van ca. 2%) ontoereikend is om tijdens een storm voldoende tegemoet te komen aan de trillingsgevoeligheid van mensen. Er moeten daarom maatregelen worden getroffen om de energiedissipatie in het gebouw te verhogen. Demping van trillingen in gebouwen kan op twee manieren plaatsvinden: passief en actief. Passieve demping houdt in dat de energiedissipatie niet is teruggekoppeld aan de bewegingen van het gebouw; bij actieve demping is dit wel het geval. In het algemeen zijn dempingsmechanismen passief. Een voorbeeld van actieve demping is een optimale wegligging door middel van gestuurde schokdempers.

In deze paragraaf zullen de mogelijkheden van passieve en actieve demping voor de toepassing in hoge gebouwen worden geïnventariseerd, waarbij de nadruk zal liggen op toepasbaarheid in de toren met de vergaderruimte.

PASSIEVE DEMPING

Er zijn twee systemen voor passieve demping die in het verleden al hun waarde hebben bewezen in het buitenland: de *Tuned-Mass Damper (TMD)* en de visco-elastische demper. De TMD is een zwaar, extra in het gebouw aangebracht gewicht (5 à 10% van het gewicht van het gebouw), waarvan de eigenschappen zo gekozen zijn dat deze als het ware de trillingen die tijdens een storm in een gebouw ontstaan, onderdrukken. Het John Hancock Building in Boston bezit een TMD. In Japan vindt men ook diverse toepassingen in hoge gebouwen, hoewel deze voornamelijk bedoeld zijn om de schade als gevolg van lichte aardbevingen te beperken. Een belangrijk nadeel van de TMD is de benodigde massa: 5 à 10% van het totale gewicht plus de daarvoor benodigde ruimte. Een TMD kan van elk materiaal worden gemaakt, mits het maar voldoende gewicht in de schaal legt.

Visco-elastische dempers zijn in het verleden onder andere toegepast in het World Trade Center in New York. In fig. 7.33 is zo'n toepassing afgebeeld. Visco-elastische materialen zetten vervormings-energie om in warmte als een verplaatsing wordt opgelegd. Het laatste houdt in dat ze aangebracht moeten worden op plaatsen waar vervorming optreedt. Als de draagconstructie van de toren wordt uitgevoerd met diagonalen, zijn deze diagonalen een goede plek om de visco-elastische dempers te installeren.

* Geert-Jan van Oosterhout is in september 1996 aan de Technische Universiteit Delft gepromoveerd op het dynamisch gedrag van hoge gebouwen als gevolg van windbelasting. Hij is nu werkzaam als onderzoeker bij TNO Bouw.

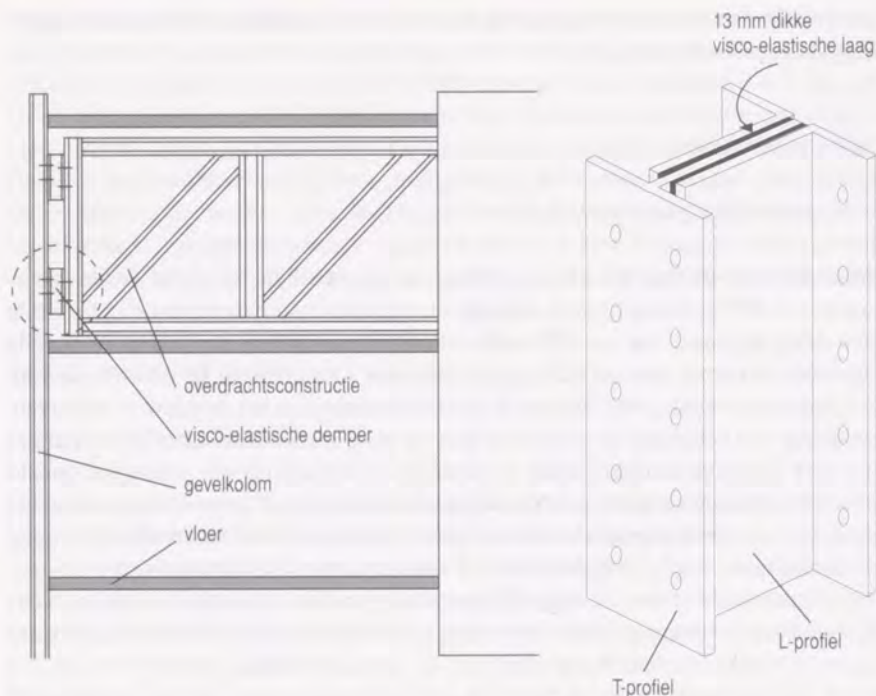


Fig. 7.33 Visco-elastische dempers. Links: toepassing in een overdrachtsconstructie. Rechts: detail van de verbinding met visco-elastische lagen (2 maal $600 \times 200 \times 13 \text{ mm}^3$)

Het aantrekkelijke van visco-elastische dempers is dat ze geïntegreerd kunnen worden in de constructie. Slechts een dunne laag visco-elastisch materiaal die als een sandwich in de constructie is aangebracht, is voldoende. Een goede indicatie van de kosten kan de bouw van het Columbia Center in Seattle geven, waar deze dempers parallel aan de diagonalen van de stabiliteitsconstructie zijn geplaatst. De totale kosten inclusief een uitgebreid testprogramma om de dempers te installeren, bedroegen 1,5% van de stichtingskosten. Het valt te verwachten dat deze kosten in de toekomst lager worden door een toenemend gebruik van deze materialen.

Visco-elastische materialen kunnen binnen zekere grenzen naar specificatie worden geleverd. Voor de toren moet een dempingsmaat van 6% tijdens storm kunnen worden gehaald, hetgeen zonder meer mogelijk is. Op die manier is het mogelijk de energiedissipatie te bereiken die nodig is om een behaaglijk trillingsniveau te verzekeren. Een nadeel is de temperatuurgevoeligheid: er is een sterk verloop van de effectiviteit als de temperatuur van het materiaal oploopt van bijvoorbeeld 20 naar 30 °C. Een visco-elastisch materiaal zonder deze gevoeligheid zou een hele verbetering zijn.

Een derde passief systeem is gebaseerd op wrijving en slip. Door middel van wrijving tussen componenten van het gebouw kan bewegingsenergie worden omgezet in warmte. Een voorbeeld is de verbinding tussen een scheidingswand en de vloer of het plafond. Tegenwoordig worden wanden vaak zo gemonteerd dat ze vrij kunnen bewegen. Door in beperkte mate wrijving te laten optreden (zoals in fig.

7.34), kan de energiedissipatie in het gebouw significant verhoogd worden. Speciale aandacht is vereist voor de materialen die de wrijvingsvlakken vormen. Nylon is een geschikt materiaal omdat het slijtvast is en een constante wrijvingscoëfficiënt heeft. Met dit systeem kan de dempingsmaat eenvoudig verdubbeld worden van 1 – 2% naar 3 – 4%.

In Japan is recent een wrijvingsstelsel ontwikkeld dat in constructieve elementen kan worden geïntegreerd. Hierbij worden boutverbindingen gebruikt waarbij slip mogelijk is. De energiedissipatie kan tijdens de bouw binnen bepaalde grenzen worden ingeregeld door de bouten aan of los te draaien. Deze boutverbindingen in de staalconstructie zouden uitstekend in de toren kunnen worden toegepast.

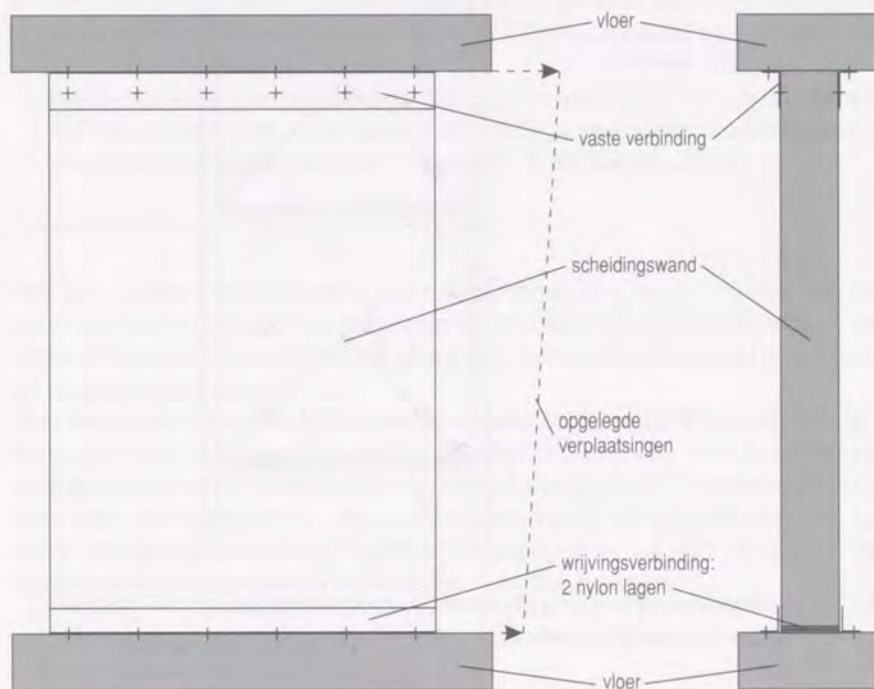


Fig. 7.34 Aanzicht en doorsnede van een scheidingswand met wrijvingsverbinding

ACTIEVE DEMPING

Actieve systemen koppelen de energiedissipatie terug aan de respons van het gebouw. Een voorbeeld is de actieve TMD die in het CitiCorp Center in New York is geïnstalleerd. Hierin wordt de massa met hydraulische cilinders gestuurd. Dit gebeurt door een computer die via een sensor de respons van het gebouw meet en daarna volgens een bepaald algoritme de druk in de cilinders bijstelt.

Een veel elegantere oplossing zou zijn om naar analogie van het menselijk spierstelsel een systeem van kabels aan te brengen die afwisselend aangetrokken en ontspannen worden en op die wijze trillingen dempen (het verstelbare draadmodel; fig. 7.35). De kabels kunnen van hoogwaardige materialen, zoals Twaron of

voorspanstaal worden gemaakt. Actuatoren kunnen worden gevormd door hydraulische cilinders of piëzo-elektrische materialen.

Voor het spanmechanisme zijn er diverse mogelijkheden. Een berekening van de benodigde krachten in de spieren geeft aan dat het spanmechanisme zo'n 300 kN (dynamisch) moet kunnen leveren om tijdens een storm een comfortabele omgeving in de vergaderruimte te kunnen waarborgen. Hiervoor kunnen bestaande hydraulische systemen worden gebruikt, hoewel aangetekend moet worden dat de benodigde pompen voor de olie vrij veel ruimte in beslag nemen.

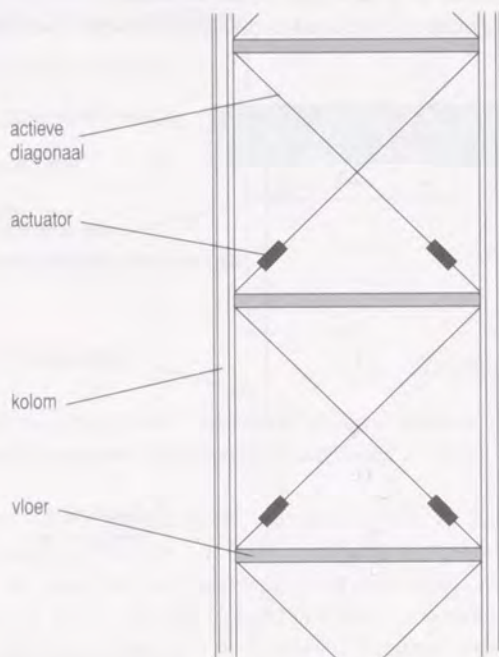


Fig. 7.35 Stabiliteitsconstructie op basis van 'spieren'. De spieren worden gevormd door kabels van hoogwaardig staal of een sterke vezel

Een andere mogelijkheid is de toepassing van piëzo-elektrische materialen. Dit soort materiaal krimpt als men er een elektrische spanning op zet. Dit komt nog het dichtst in de buurt van de werking van een spier: als de zenuw (elektriciteitskabel) een prikkel (spanning) geeft, krimpt de spier. De industrie (o.a. Philips) is bezig piëzo-elektrische systemen te ontwikkelen voor de auto- en vliegtuigindustrie. Voor de bouw zijn piëzo-elektrische materialen nodig die voldoende trek- en druksterkte hebben om te kunnen samenwerken met de kabels. Veel van dit soort materialen zijn keramisch en het brosse karakter daarvan is nog een punt van aandacht.

Een groot voordeel van systemen die gebaseerd zijn op piëzo-elektrische elementen is dat ze niet zoveel ruimte innemen, omdat ze op elektrische prikkels reageren, maar deze technologie is nog niet op deze schaal uitgevoerd. Wel ligt hierin de grootste uitdaging voor de materiaalkunde.

7.5 MATERIALEN EN HOOG BOUWEN

Op basis van de voorgaande paragrafen en de discussies die in de STT-werkgroep Hoog bouwen zijn gevoerd is een aantal zoekrichtingen voor materialen gedefinieerd. Deze zijn per aspect gerangschikt.

ANALOGIEËN EN MATERIALEN

Het zoeken naar analogieën in de natuur biedt goede aanknopingspunten om nieuwe of betere materialen te ontwikkelen. Dit geldt overigens niet alleen voor hoog bouwen en zelfs niet alleen voor de bouwsector. Twee onderzoeksrichtingen springen er wat hoog bouwen betreft uit. Dat zijn:

- de verdere integratie van draagconstructie en gevel in een meer interactieve opzet ten behoeve van stabiliteit en energie in algemene zin naar analogie van het menselijk lichaam;
- het ontwikkelen van zogenaamde 'intelligente materialen' met eigenschappen die verkregen zijn door biologisch-chemische mutaties, bijvoorbeeld analoog aan de verduurzaming van hout volgens de PLATO-methode*.

CONSTRUCTIEPRINCIPES EN MATERIALEN

Om met minder materiaal traditionele starre torens te kunnen bouwen, zou een materiaal met een E-modulus groter dan die van staal ($E_{st} = 210.000 \text{ N/mm}^2$) een verbetering zijn. Dan is de dimensionering van de toren in verband met de belasting op buiging minder maatgevend.

Voor het bouwen van flexibele torens heeft men behoefte aan een materiaal dat - indien verwerkt in de knooppunten van de vakwerkconstructie - een hoge energiedissipatie oplevert (zie verder onder 'Demping en materialen'). Ook materiaal voor een druk- en trekelement in een vakwerkconstructie dat aangestuurd door een elektrisch signaal in zeer korte tijd een verlenging of verkorting van het element teweeg brengt, biedt nieuwe perspectieven voor hoog bouwen.

DEMPING EN MATERIALEN

Er is al veel mogelijk op het gebied van het beïnvloeden van de energiedissipatie in gebouwen. Visco-elastische materialen hebben hun plaats als passieve dempers al gevonden. Wel is het wenselijk om visco-elastische materialen te ontwikkelen die niet de temperatuurafhankelijkheid kennen van de tegenwoordig toegepaste materialen.

Een veelbelovende en elegante methode om trillingen in gebouwen te dempen lijkt de spieranalogie te zijn. De uitdaging ligt hier bij een materiaal dat de 'spieren'

* PLATO staat voor Providing Lasting Advanced Timber Option. Met dit procédé wordt snelgroeiend zachthout voorzien van hardhouteigenschappen: dichte celstructuur, sterk, niet werkend. De duurzaamheid van het hout wordt verkregen doordat de rotgevoelige bestanddelen (hemicellulose en lignine) van het hout worden omgezet in een waterbestendige niet-rottende hars; de gebruikte technieken zijn snelle verwarming, water laten verdampen en een nieuwe verhittingsfase [Stork, 1994].

aanspant zonder veel ruimte in te nemen. Piëzo-elektrische materialen lijken een goede kans te maken om zich in deze richting te ontwikkelen.

VOORZIENINGEN EN MATERIALEN

De isolatiematerialen natuurlijke wol en gerecycleerde cellulosevezels (papierfoam) moeten op het gebied van brandwerendheid en waterafstotendheid nog worden verbeterd voordat toepassing op grote schaal en zonder problemen mogelijk is. Voor de gewenste lichte vloer zouden houtplaten die met gegoten aluminium zijn ontdreund wel eens grote mogelijkheden kunnen bieden. Er zijn wellicht nog andere oplossingen voor lichte, herbruikbare demontabele vloeren met een hoge (contact-)geluidsisolatie denkbaar.

Referentie

- *Zachthout met hardhout-eigenschappen; 'PLATO' maakt procédé marktrijp*, Stork Magazine, pp. 14-15, december 1994

LITERATUUR

- BETTINI, V., M. CACCIARI, F. VENEZIA, e.a., *Architecture and nature*, Venezia, 1987
- SPENCE, A.P., E.B. MASON, e.a., *Human anatomy and physiology*, Manlo Park, 1979



8. Essay 4

Arbeidsomstandigheden in de bouw

*ir. A. Korbijn**

In dit boek nemen STT en de Bond voor Materialenkennis vier ontwikkelingen in de bouw als uitgangspunt voor een brede beschouwing over materialen en methoden voor toekomstige gebouwen. Van de vier aangegeven trends kunnen er twee behalve voor materialen ook gevolgen hebben voor de arbeidsomstandigheden. De twee bedoelde trends zijn montage op de bouwplaats en het gebruik van lichte (en sterke) materialen. In het onderstaande wordt beredeneerd dat de invoering van montage op de bouwplaats de kwaliteit van de arbeid kan verbeteren indien monotonie wordt voorkomen. Bovendien wordt de paradoxale conclusie getrokken dat de arbeidsomstandigheden niet zullen verbeteren door het gebruik van lichte materialen.

8.1 GEZONDHEID IN DE BOUW

Door de aard van het werk in de bouwsector kampen relatief veel werknemers met gezondheidsklachten. Het ziekteverzuim in de bouwnijverheid lag in 1992 met 10,3% aanzienlijk boven het landelijk gemiddelde van 8,1%. De verzuimcijfers na 1992 zijn door de veranderingen in de Ziektewet niet erg betrouwbaar meer. Dit hoge verzuimpercentage wordt veroorzaakt door klachten die relatief lang duren. In de bouw blijkt men namelijk niet vaker ziek te zijn, maar wel langduriger. Een gemiddelde werknemer in de bouw meldt zich 1,5 keer per jaar ziek tegen 1,6 keer per jaar als landelijk gemiddelde. De verzuimduur in de bouw is 17,3 dagen tegen 15,9 als landelijk gemiddelde.

Wanneer we kijken naar de diagnosegroepen voor arbeidsongeschiktheid in de bouw blijkt dat klachten aan het bewegingsapparaat (rug, schouders en ledematen) en ongevallen aanzienlijk meer voorkomen dan bij het landelijk gemiddelde.

8.2 KWALITEIT VAN DE ARBEID

In een werksituatie wordt iemand blootgesteld aan verschillende soorten belastende factoren. De respons die de belastende factoren in het menselijk lichaam veroorzaken, noemen we belasting. De verzameling belastende factoren in een werksituatie

* Arie Korbijn heeft bij STT het project Gezonde productiviteit, innoveren voor betere arbeidsomstandigheden geleid.

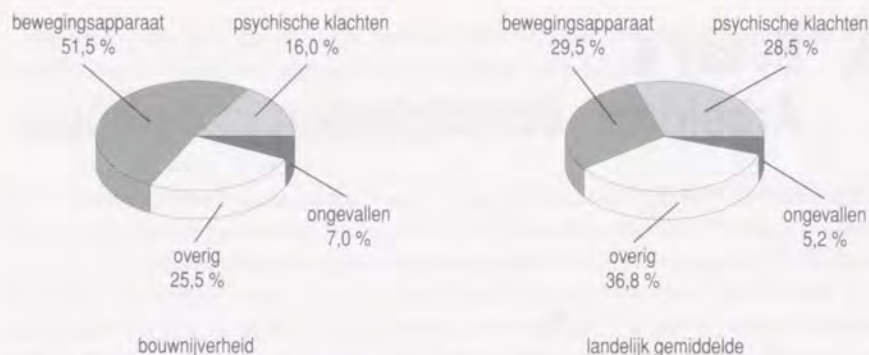


Fig. 8.1 Oorzaken van arbeidsongeschiktheid in de bouwnijverheid vergeleken met het landelijk gemiddelde in 1992
Bron: SVR

wordt aangeduid als de kwaliteit van de betreffende arbeid. Hierin worden vier categorieën onderscheiden: inhoud van het werk, (fysieke) arbeidsomstandigheden, arbeidsvoorwaarden en arbeidsverhoudingen. Belastende factoren zijn dus niet alleen van fysieke aard. Wanneer de belasting ten gevolge van de belastende factoren groter is dan iemands belastbaarheid (de belasting die iemand kan verwerken) kunnen schadelijke effecten voor de gezondheid optreden. De belastbaarheid van personen is niet constant. Niet alleen de belastbaarheid tussen personen onderling kan sterk variëren, ook de belastbaarheid van één persoon kan door bijvoorbeeld vermoeidheid aan veranderingen onderhevig zijn.

Om gezondheidsklachten te voorkomen kunnen verschillende benaderingen worden gevolgd. Ten eerste kan worden geprobeerd om de kwaliteit van de arbeid te verbeteren. Hierdoor wordt de belasting van een werknemer minder waardoor de kans op klachten afneemt. Doordat de kwaliteit van de arbeid uit sterk verschillende factoren bestaat, bestaat echter de kans dat verbeteringen in één categorie teniet worden gedaan door daarmee gepaard gaande verslechtingen in een andere categorie. Het is daarom gevaarlijk zich alleen te concentreren op de arbeidsomstandigheden. Omdat het thema materialen in de bouw nauwelijks raakvlakken heeft met arbeidsvoorwaarden en -verhoudingen zullen in deze bijdrage alleen de arbeidsinhoud en -omstandigheden worden beschouwd.

Een tweede mogelijkheid om gezondheidsklachten te voorkomen is de belastbaarheid te vergroten. Dit is bijvoorbeeld mogelijk door fysieke training of door opleiding. Iemand die heeft geleerd om met bepaalde belastende situaties om te gaan, heeft een hogere belastbaarheid.

8.3 RISICOFACTOREN

Uit de WAO-cijfers (tabel 8.1) bleek duidelijk dat klachten aan het bewegingsapparaat veel voorkomen. De hoge fysieke belasting in veel beroepen is hier debet aan. Onder fysieke belasting verstaat men de houdingen, bewegingen en krachtuitoefeningen van een werknemer die nodig zijn voor de taakuitoefening [Vink, 1994].

Hierin kunnen verschillende aspecten worden onderscheiden zoals werkhoudingen, tillen en dragen, trekken en duwen en repeterende handelingen.

Tillen en dragen zijn handelingen die in veel werksituaties, maar zeker in de bouwwereld veelvuldig voorkomen. Naar de schadelijkheid van deze belasting is dan ook relatief veel onderzoek gedaan. Het National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) in de VS heeft op basis van dit onderzoek een formule ontwikkeld waarmee een tilsituatie kan worden beoordeeld. In een ideale tilsituatie mag volgens deze formule maximaal 23 kg worden getild. Of een tilsituatie 'ideaal' is, wordt bepaald door een aantal factoren zoals de frequentie en de duur waarmee wordt getild, de horizontale afstand tussen de handen die de last vasthouden en de denkbeeldige lijn die loodrecht tussen de enkels loopt, de verticale afstand van de handen tot de vloer, de afstand in verticale richting waarover het object moet worden verplaatst, de hoek waaronder moet worden getild en de grip van de handen op het object. Bij 'niet ideale' tilomstandigheden neemt het maximaal toegestane tilgewicht sterk af. Aangezien in de praktijk veel situaties niet ideaal zijn, is de bruikbaarheid van deze norm beperkt. Op het gebied van normstelling is daarom nog veel onderzoek nodig.

Een gevaar van de aandacht voor de absolute hoogte van een tilnorm is dat weliswaar het maximaal te tillen gewicht afneemt, maar dat de frequentie van het tillen toeneemt. De totale hoeveelheid te tillen materiaal blijft in veel gevallen immers constant. Indien daardoor relatief kortdurende bewegingen ontstaan die voortdurend op nagenoeg dezelfde wijze ontstaan, spreken we van repeterende handelingen. Deze bewegingen kunnen verschillende vormen van pijnklachten, tintelingen en krachtverlies in vooral nek, schouders, armen, polsen en handen veroorzaken. Deze klachten worden vaak samengevat met de term 'Repetitive Strain Injuries' (RSI).

Uit onderzoek [Bongers, 1993] is gebleken dat behalve lichamelijk belastende factoren ook 'psychosociale' factoren het risico van het ontstaan of verergeren van klachten aan het bewegingsapparaat kunnen vergroten. Factoren zoals tempodruk, monotoon werk en slechte ondersteuning door leiding en collega's blijken ervoor te zorgen dat de lichamelijke belasting ongunstiger wordt, hetgeen (eerder) klachten tot gevolg kan hebben. In het algemeen resulteren psychosociale factoren echter in irritatie, slaapproblemen, concentratiestoornissen, depressieve gevoelens, gevoelens van angst en oververmoeidheid. Psychosociale risicofactoren hebben veel te maken met de organisatie van het werk en de stijl van leidinggeven in bedrijven. In bedrijven waar soortgelijke werkzaamheden worden verricht, komen zo soms sterk verschillende ziekteverzuimpercentages voor.

Uit de relatief hoge verzuim- en arbeidsongeschiktheidscijfers mag niet worden geconcludeerd dat de bedrijfstak weinig aandacht heeft voor arbeidsomstandigheden. Deze sector heeft als een van de weinige bedrijfstakken een door de sociale partners opgericht en collectief gefinancierd instituut voor het verbeteren van arbeidsomstandigheden. Dit instituut – de Stichting Arbouw – heeft tot doel arbeidsomstandigheden in de bouwnijverheid te verbeteren en het verzuim terug te dringen. Tevens zijn arbeidsomstandigheden een belangrijk aandachtspunt in onder andere de CAO's, in opleidingen, en in het werk van instituten zoals Stichting

Bouwresearch (SBR), Aboma/Keboma, Adviesraad Technologiebeleid Bouwnijverheid (ARTB), Economisch Instituut voor de Bouwnijverheid (EIB) en Stichting Adviseurs en Onderzoekers in de Bouw (SAOB).

Verbetering van arbeidsomstandigheden in de bouw is niet altijd even eenvoudig, omdat iedere bouwplaats in omstandigheden en bouwwerk uniek is. Bovendien zijn bij de verschillende fasen van het bouwproces vaak andere bedrijven betrokken. De wetgever heeft dit bijzondere karakter van de bouw onderkend en heeft in 1994 het zogenaamde Bouwprocesbesluit van kracht verklaard. Kernpunt van dit Bouwprocesbesluit – dat een onderdeel is van de Arbowet – is dat de bij een bouwwerk betrokken partijen in de verschillende fasen van het bouwproces (ontwerp, planning en uitvoering) rekening moeten houden met de veiligheid en gezondheid van de werknemers. Een belangrijk aspect in dit besluit is dat de opdrachtgever ook verantwoordelijk is voor de arbeidsomstandigheden. Dit is belangrijk, omdat arbeidsomstandigheden nog vaak worden gezien als een zaak voor de aannemer. De aannemer kan echter maar een beperkte invloed uitoefenen op de arbeidsomstandigheden. Hij heeft bijvoorbeeld weinig invloed op de gebruikte materialen.

8.4 MONTAGE OP DE BOUWPLAATS

Zoals in hoofdstuk 5 is aangegeven, wordt op steeds meer bouwwerken gebruik gemaakt van geprefabriceerde elementen en componenten die op de bouwlocatie slechts in het bouwwerk gemonteerd hoeven te worden. Deze verschuiving van bouwen op locatie naar produceren in een fabriek en monteren op locatie heeft gevolgen voor de arbeidsomstandigheden. Verbetering van de arbeidsomstandigheden wordt soms zelfs aangegeven als een belangrijke drijfveer voor deze ontwikkeling (zie par. 5.1). In de praktijk is het echter lang niet zeker of de gezondheid van de werknemers altijd gebaat is bij deze ontwikkeling. De fysieke arbeidsomstandigheden van grote groepen bouwvakkers zullen waarschijnlijk wel verbeteren. Een groot gedeelte van de werkzaamheden is verplaatst van een bouwplaats waar in weer en wind moet worden gewerkt naar een warme, tochtvrije fabriekshal. Niet alleen de klimatologische omstandigheden zijn daar beter, ook de mogelijkheden om de fysieke belasting te reduceren zijn groter. Door de grote mate van standaardisatie van onderdelen en de grotere aantallen producten is het veel eerder rendabel om hulpmiddelen te ontwikkelen. Op traditionele bouwplaatsen vormen de steeds wisselende omstandigheden en locaties namelijk een sterke belemmering voor de ontwikkeling van hulpmiddelen [Korbijn, 1996]. Wanneer bij montagehandelingen op de bouwplaats voor een goede logistiek en voor adequate mechanische transportmiddelen wordt gezorgd, zullen de arbeidsomstandigheden beter zijn dan wanneer alle werkzaamheden op de bouwplaats buiten plaatsvinden.

Het gevaar van deze ontwikkeling schuilt meer in de arbeidsinhoud. Zoals we reeds hebben gezien, wordt de gezondheid namelijk niet alleen bepaald door de arbeidsomstandigheden. De arbeidsinhoud van een groot aantal beroepen in de bouw zal sterk veranderen. De kans op gezondheidsklachten is het kleinst in de beroepen waarin een werknemer de ruimte krijgt voor eigen verantwoordelijkheid, inbreng en creativiteit. Een van de criteria die hiervoor gehanteerd wordt is de vaktechnische

volledigheid. Een functie is vaktechnisch volledig als hij bestaat uit een logisch samenhangend geheel van voorbereidende, uitvoerende en ondersteunende taken. Een volledige functie bevat ook leermogelijkheden. Het gevaar bestaat dat de functie van monteur op de bouwplaats gaat bestaan uit het uitvoeren van gelijksoortige handelingen die met grote regelmaat herhaald moeten worden. De vaktechnische volledigheid van zo'n functie is onvoldoende. Het is daarom van groot belang om goed te kijken naar de organisatie van het werk op de bouwplaats. In plaats van het doorvoeren van een sterke arbeidsdeling waarbij een monteur steeds dezelfde handelingen moet uitvoeren, zou men kunnen denken aan een team van monteurs die gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor een aantal taken. Zo'n team zou bijvoorbeeld ook verantwoordelijk kunnen worden voor een gedeelte van de planning en de werkvoorbereiding. In deze teams is het mogelijk om de werkzaamheden af te wisselen. Met deze zogenaamde zelfsturende teams zijn in diverse bedrijfstakken zoals de auto-industrie goede resultaten behaald.

8.5 LICHT EN STERKE CONSTRUCTIES

Omdat zware fysieke belasting een van de grootste risicofactoren is voor het ontstaan van klachten aan het bewegingsapparaat, lijkt het logisch dat gebruik van lichte bouwmaterialen een gunstig effect op de gezondheid heeft. Hierbij gaan we er overigens wel vanuit dat door het gebruik van lichte materialen ook het gewicht van de afzonderlijke componenten zal afnemen. Dit hoeft niet per se het geval te zijn. In de rest van het betoog zullen we er echter vanuit gaan dat het absolute gewicht van de te transporteren bouwdelen lager is dan bij een traditioneel bouwproces. In dit geval blijft de verbetering van de arbeidsomstandigheden toch niet zo logisch te zijn als op het eerste gezicht wordt gedacht. Het werk op een bouwplaats wordt namelijk vrijwel altijd onder grote tijdsdruk uitgevoerd. Het gebruik van tilbare bouwcomponenten nodigt daardoor uit tot het dragen van meer componenten tegelijk. Dit is weliswaar veel zwaarder, maar je bent wel eerder klaar. Bij veel preventieve maatregelen is helaas zichtbaar dat men korte termijneffecten laat prevaleren boven toekomstige voordelen. Zeker in situaties waarbij bouwvakkers prestatieloon krijgen, zullen lichte bouwmaterialen alleen geen oplossing zijn.

Een principieel andere benadering is juist te streven naar bouwdelen die zo zwaar zijn dat ze alleen mechanisch verplaatst kunnen worden. In sommige andere landen is daarom besloten het gewicht van cementzakken niet te verlagen, maar juist te verhogen.

8.6 CONCLUSIE

Verbetering van arbeidsomstandigheden is een complex onderwerp. Te sterk de aandacht richten op de fysieke arbeidsomstandigheden kan averechts werken. De trend naar meer montage op de bouwplaats kan de gezondheid van de bouwvakkers positief beïnvloeden, mits goed wordt gekeken naar de inhoud van het werk. De invoering van zelfsturende teams is hierbij een van de mogelijkheden.

Het gebruik van lichte bouwmaterialen zal in de praktijk niet leiden tot de verwachte grootschalige verbetering van arbeidsomstandigheden. Door de hoge tijdsdruk zal men geneigd zijn meer bouwcomponenten tegelijk te tillen waardoor het positieve effect teniet wordt gedaan.

Referenties

- BONGERS, P.M., C.R. WINTER, M.A.J. KOMPIER, e.a., *Psychosocial factors at work and musculoskeletal disease: a review of the literature*, Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, Vol. 19, pp. 297-312, 1993
- KORBIJN, A. (red.), *Gezonde productiviteit, innoveren voor betere arbeidsomstandigheden*, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, publicatie 58, Den Haag, 1996
- VINK, P., J. DUL, *Lichamelijke belasting tijdens arbeid. Wetgeving en oplossingen*, Zeist, 1994



9. Lichte en sterke constructies

9.1 INLEIDING

*ing. A. Mooiman en ing. M.J.G. Bartels**

'Wat verstaan we eigenlijk onder lichte en sterke constructies' was een van de eerste vragen die bij de werkgroep naar voren kwam. Daarover blijken nogal verschillende opvattingen te bestaan. Een uitgangspunt kan zijn te streven naar een constructiewijze die in verhouding met de traditionele bouwwijzen een geringe massa bezit. Voorbeelden daarvan zijn de houtskeletbouwmethode en verschillende recent ontwikkelde stalen bouwsystemen. Deze bouwwijzen zien er echter niet licht uit. In dat perspectief denken we eerder aan gebouwen waarbij het volume van de constructie gering is ten opzichte van de overspanning of de inhoud van de ruimte. De werkgroep heeft zich daarom gericht op constructies die licht zijn en licht ogen, en waarmee een grote overspanning wordt gerealiseerd, terwijl de constructie veel minder materiaalintensief is dan 'traditionele' constructies.

Er zijn verschillende redenen om lichte en sterke constructies toe te passen, zoals

- een behoefte aan gebouwen met grote vrije overspanningen;
- materiaalbesparing;
- esthetische redenen;
- lagere transportkosten;
- een lichtere fundering;
- mogelijkheden voor demonteerbaarheid en hergebruik;
- gunstige arbeidsomstandigheden.

Een lichte draagconstructie betekent dat ook gevels, vloeren, daken en dergelijke van lichte materialen moeten worden gemaakt. Dit kan een nadeel zijn voor de prestaties met betrekking tot geluidsisolatie en warmte-accumulatie. Door het ontbreken van massa als warmtebuffer moeten andere energie-efficiënte manieren van verwarming en ventilatie worden gerealiseerd. Als dat niet goed gebeurt, kan een negatieve invloed op het binnenmilieu van de gebouwen en op de comfortbeleving van de gebruikers ontstaan.

De prijs kan een belangrijke beperkende factor zijn voor de toepassing van lichte en sterke constructies. Paragraaf 9.2.2 nuanceert dit enigszins.

* Arie Mooiman is als technisch adviseur werkzaam bij het Centrum Hout. Chiel Bartels is de oprichter van ingenieursbureau Bartels; hij is tegenwoordig actief als projectontwikkelaar.

Deze nadelen hebben tot gevolg dat er geen grote toekomst voor lichte en sterke constructies wordt voorzien in de woningbouw, maar dat toepassing beperkt zal blijven tot utiliteitsgebouwen (van fabriekshallen tot prestigieuze kantoren).

Gebouwen met een lichte constructie hebben vaak een kortere levensduur dan gebouwen van zware constructieve bouwmaterialen zoals beton en baksteen. Dit hoeft echter niet per definitie een nadeel te zijn, omdat de technische en functionele eisen aan gebouwen zo snel veranderen dat 'zware' gebouwen tegen aanzienlijke kosten moeten worden aangepast. Het betekent wel dat bij een kortere levensduur de stichtingskosten lager moeten zijn. De nieuwe materialen die geschikt zijn voor gebruik in lichte en sterke constructies zijn echter vaak niet de goedkoopste materialen, zodat gezocht moet worden naar een optimale afstemming tussen de prijs van het materiaal en de prestaties van de constructie.

Daarnaast wordt gesteld dat het ontwerpen met sterke, maar brosse vezelversterkte materialen om een andere dan de nu gangbare veiligheidsfilosofie vraagt.

Dit hoofdstuk geeft – na een bespreking van de zoekrichtingen naar lichte en sterke constructies en een vergelijking van verschillende materiaaleigenschappen – aan de hand van een case enkele voorbeelden van constructies die specifiek geschikt zijn voor grote overspanningen. Er worden grote mogelijkheden voor lichte constructies in grote overspanningen voorzien in recreatiehallen voor bijvoorbeeld indoorsporten. Overspanningen van 80 tot 90 m worden al regelmatig gebouwd, maar er zal meer behoefte komen aan overspanningen van 200 m of meer. De achtergrond hiervan is dat in Nederland de mensen steeds meer vrije tijd krijgen en er meer sporten binnen worden uitgevoerd die om een grote vrije overspanning vragen. Daarbij valt te denken aan sporten als windsurfen, golf, voetbal en atletiek. Een belangrijke beperkende factor is dat zo'n overspanning meestal tot een belangrijke kostenverhoging leidt.

Uit de verzamelde literatuur bleek dat gebouwen met een overspanning van ruim 200 m al op verschillende plaatsen zijn gebouwd. Behalve aandacht voor deze constructies (par. 9.3.1 en 9.3.2) wordt uitgebreider ingegaan op een 'nieuw' ontwerp (par. 9.3.3) waarin een aantal nieuwe combinaties van bouwdeelen en materialen is verwerkt.

Vaak gehoorde kritiek is dat ingenieurs onderdeel zijn van een monocultuur, en niet in staat zijn om per project de meest optimale constructie te ontwerpen. Nu zal een expert in staalconstructies vaak alleen in staal denken, terwijl aluminium, hout of kunststof in sommige gevallen beter zouden zijn. Wat dat betreft vormt het in paragraaf 9.3.3 besproken 'nieuwe' ontwerp waarin alle materialen die in de werkgroep ter sprake kwamen zijn toegepast, een goede aanzet om verandering te brengen in deze situatie.

9.2 ZOEKRICHTINGEN EN MOGELIJKHEDEN

Het stellen van eisen aan de sterkte (en stijfheid) van een constructie heeft pas zin als deze constructie weerstand moet kunnen bieden aan bepaalde belastingen. De (hoofd)draagconstructie van een gebouw is dan ook het bouwdeel bij uitstek waarbij de sterkte-eis van essentieel belang is. Bij het zoeken naar mogelijkheden voor

lichte en sterke constructies ligt het daarom voor de hand om ons te richten op de draagconstructies van gebouwen.

9.2.1 ZOEKTOCHT NAAR MOGELIJKHEDEN

*prof.ir. D.R.W. Martens**

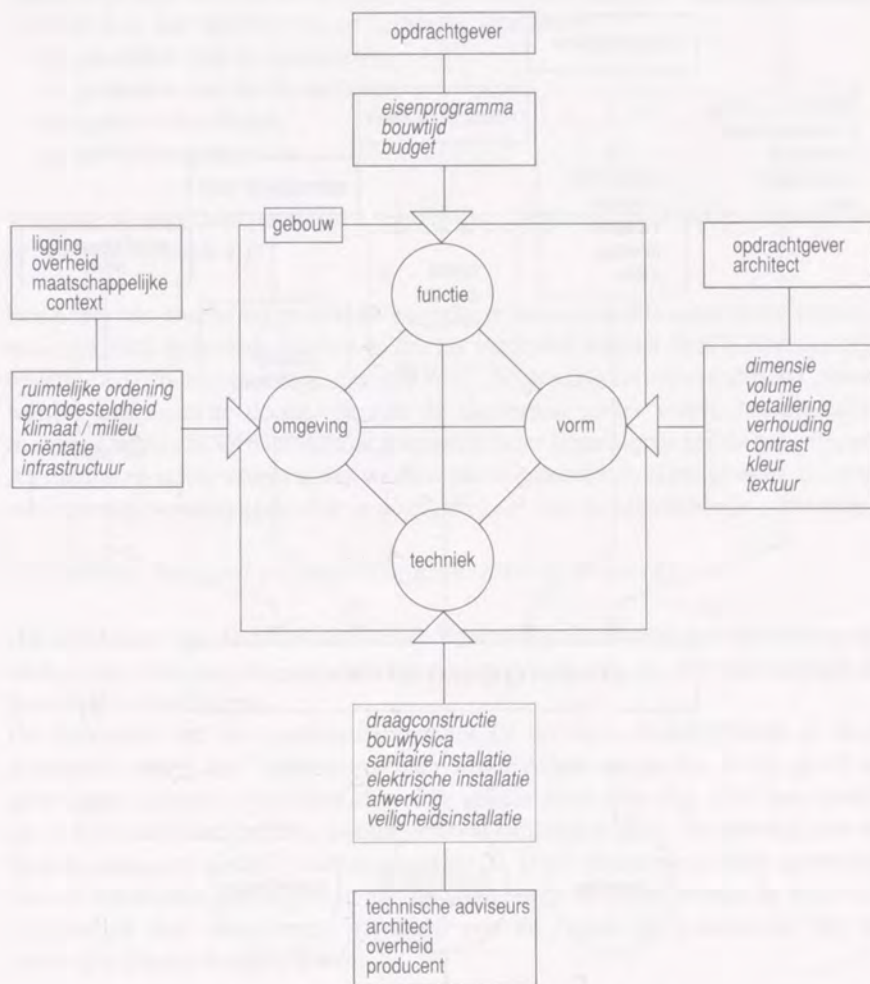


Fig. 9.1 De externe en interne relaties van een gebouw

Omdat de draagconstructie een geïntegreerd onderdeel is van het totale gebouw (fig. 9.1) zal bij het ontwerpen van de draagconstructie niet alleen de sterkte van de constructie belangrijk zijn, maar moet ook worden voldaan aan verschillende specifieke eisen (fig. 9.2):

* Dirk Martens is directeur van Studiebureau Dirk Martens en bijzonder hoogleraar Stapelbouw aan de Faculteit der Bouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven.

- op het gebied van duurzaamheid;
- aan de wijze van uitvoering;
- op het gebied van sterkte en stijfheid;
- economische eisen;
- architectonische eisen.

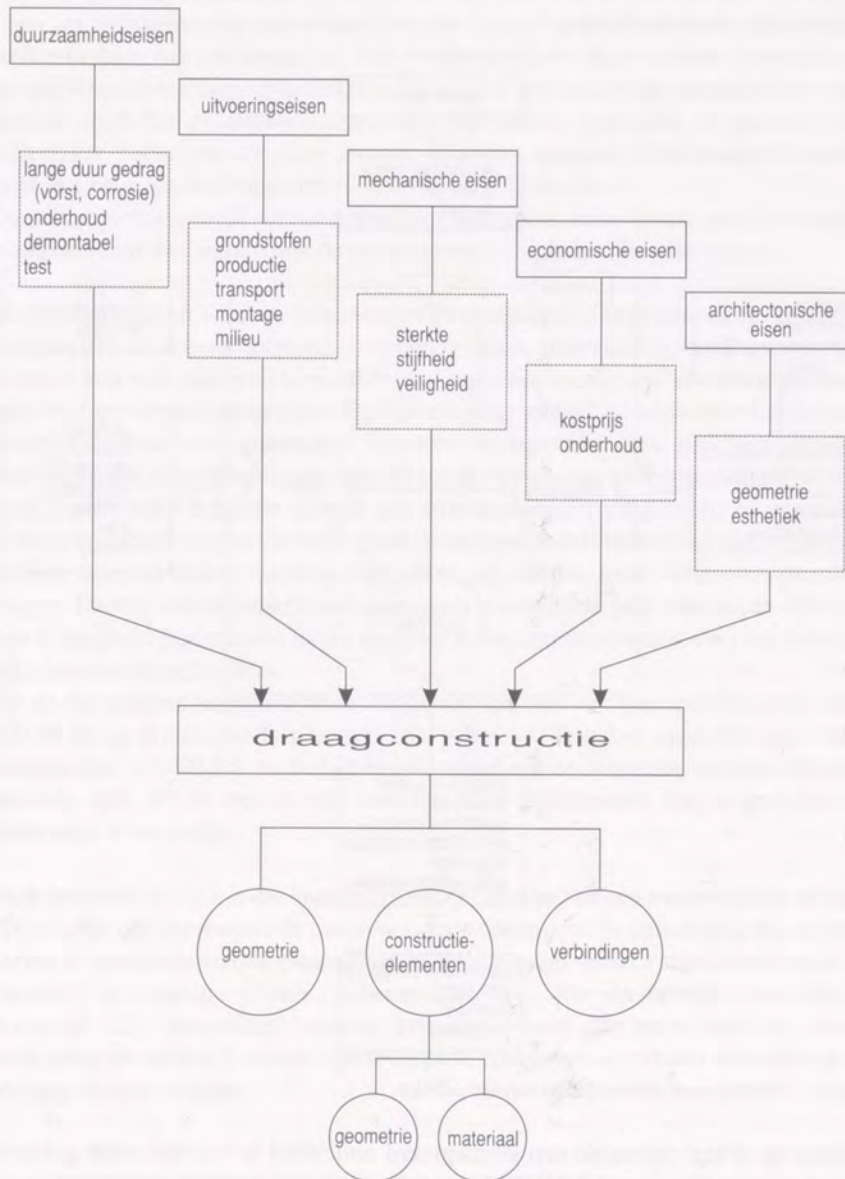


Fig. 9.2 Eisen aan een draagconstructie

Bij de zoektocht naar lichte en sterke constructies moet worden onderzocht welke parameters binnen de gestelde eisen kunnen worden gevarieerd.

Elke constructie is opgebouwd uit constructie-elementen die op een bepaalde manier met elkaar zijn verbonden. Deze elementen hebben bepaalde geometrische kenmerken (bijv. de doorsnede en de lengte) en zijn opgebouwd uit een of ander materiaal (bijv. staal, hout, beton of metselwerk). Door het assembleren van de verschillende elementen worden componenten verkregen met een specifieke geometrie (bijv. een vakwerk of een raamwerk). De meest gunstige constructie kan dus ontstaan door het variëren van de volgende parameters:

- de geometrie van de constructie;
- de geometrie van de elementen;
- de typen verbindingen;
- de gebruikte materialen.

Maar hoe kunnen deze parameters worden gevarieerd om constructies te maken die zowel licht als sterk zijn?

Een lichte constructie krijgt men door ervoor te zorgen dat alle constructie-elementen een kleine doorsnede hebben en dat het materiaal waaruit deze elementen zijn opgebouwd een laag soortelijk gewicht heeft. Anderzijds zal een constructie sterker worden naarmate de doorsnede van de elementen groter wordt, het gebruikte materiaal sterker is, en naarmate de geometrie beter is aangepast aan de belastingen. Aan lichte en sterke constructies worden dus tegenstrijdige eisen gesteld. Er moet een optimum worden gevonden in de combinatie van de verschillende parameters.

GEOMETRIE VAN DE CONSTRUCTIE EN VAN DE ELEMENTEN

Het verkleinen van de doorsnede van de constructie-elementen met behoud van de sterkte stelt eisen aan de geometrie van de constructie, van de elementen en aan de gebruikte verbindingen.

De doorsnede van een constructie-element zal het beste worden benut als deze doorsnede alleen door normaalkrachten wordt belast, aangezien in dat geval de spanningen uniform zijn verdeeld over de gehele doorsnede (fig. 9.3). Een andere eis is bovendien dat (lokale) instabiliteitsverschijnselen (bijv. het plooiën van de flenzen van een I-profiel) worden voorkomen. Door tevens de globale geometrie van de constructie aan te passen aan de uitwendige belasting, zullen de normaalkrachten in deze doorsneden minimaal zijn en zullen de doorsneden van de elementen kleiner kunnen worden.

Dit wordt verduidelijkt aan de hand van een voorbeeld. In een vakwerk dat alleen op de plaats van de knooppunten wordt belast, zullen in alle staven alleen normaalkrachten optreden (fig. 9.4). Door de geometrie van het vakwerk aan te passen aan de uitwendige belasting zullen de normaalkrachten in de elementen kleiner worden (fig. 9.5). Als voor de staven kokerprofielen in plaats van I-profielen worden gebruikt, zal de doorsnede van de staven kleiner kunnen zijn bij eenzelfde normaalkracht, aangezien het probleem van instabiliteit bij de kokerprofielen minder kritisch is (fig. 9.6).

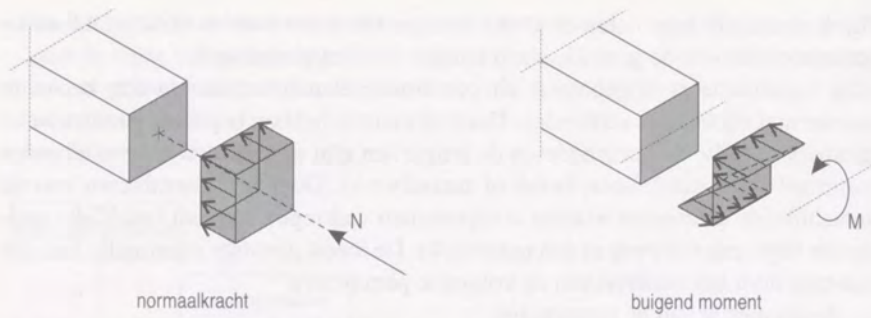


Fig. 9.3 Krachtenverloop bij verschillende belastingen

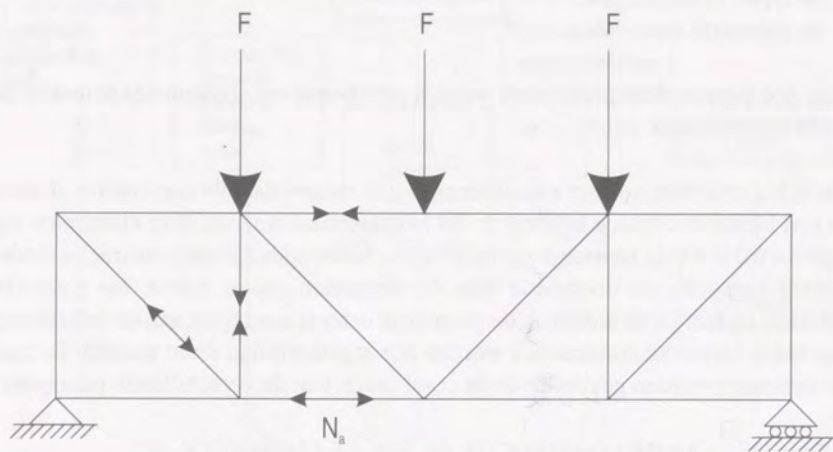


Fig. 9.4 Krachtenverloop in een vakwerk

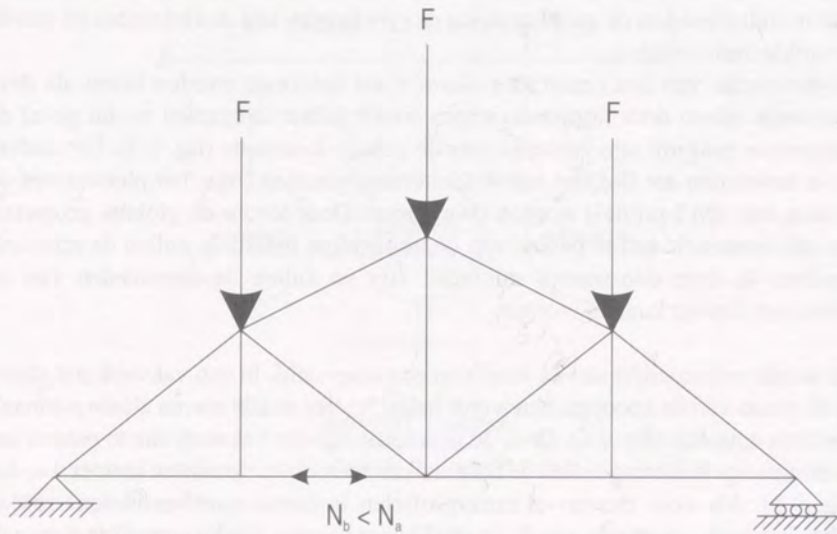


Fig. 9.5 Belasting bij een aangepaste geometrie

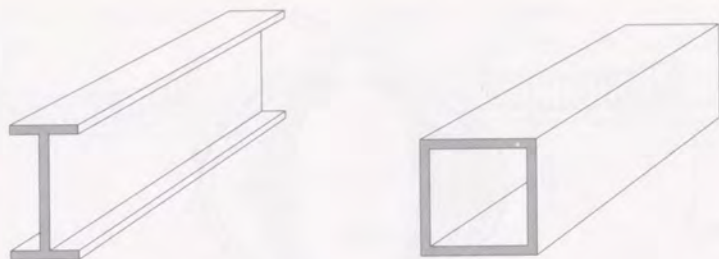


Fig. 9.6 I-profiel (links) en kokerprofiel (rechts)

Het weerstandsmoment in het vakwerk ten gevolge van de optredende windbelasting kan worden geminimaliseerd door de geometrie van de constructie aan te passen. Een goed voorbeeld hiervan is de Eiffeltoren in Parijs (fig. 9.7).

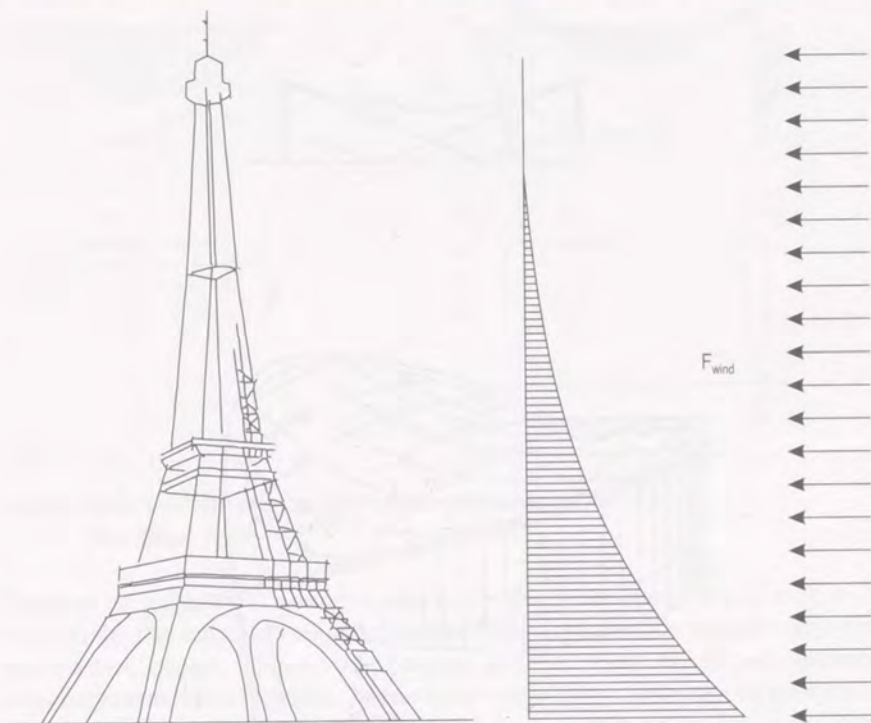


Fig. 9.7 De geometrie van de Eiffeltoren is zo geoptimaliseerd dat het weerstandsmoment minimaal is
Bron: [Siegel, 1960]

Een verdere optimalisatie is nog mogelijk door de constructie een driedimensionale vorm te geven, waardoor de krachten in meer richtingen worden afgevoerd zodat de individuele elementen minder zwaar worden belast en de globale stabiliteit van de constructie op een eenvoudige manier kan worden verzekerd (fig. 9.8).

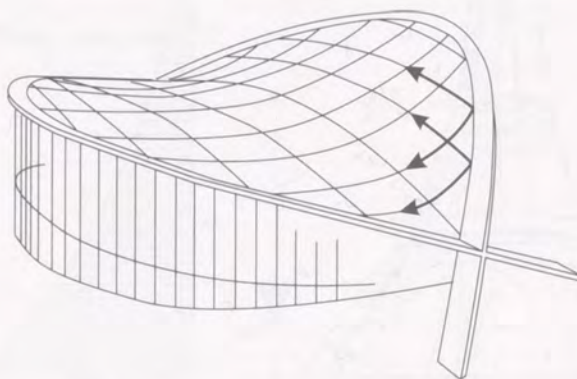
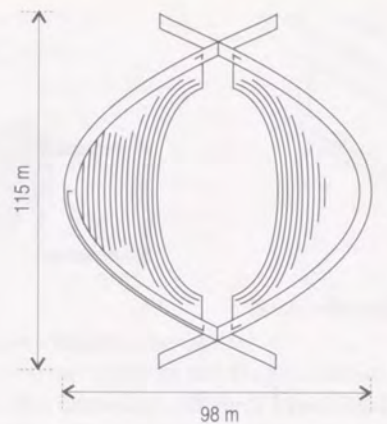


Fig. 9.8 Voorbeeld van een driedimensionale constructie: Raleigh Arena, North Carolina, VS
Bron: [Siegel, 1960]

TYPEN VERBINDINGEN

De keuze van het verbindingstype heeft een belangrijke invloed op de inwendige krachten die optreden in de constructie. Uit sterkte-overwegingen genieten meer-
voudig statisch onbepaalde (hyperstatische) constructies de voorkeur boven statisch
bepaalde constructies. De reden is dat buigende momenten die bij de eerstgenoemde
constructies optreden aanzienlijk kleiner zijn dan bij de laatste (fig. 9.9).

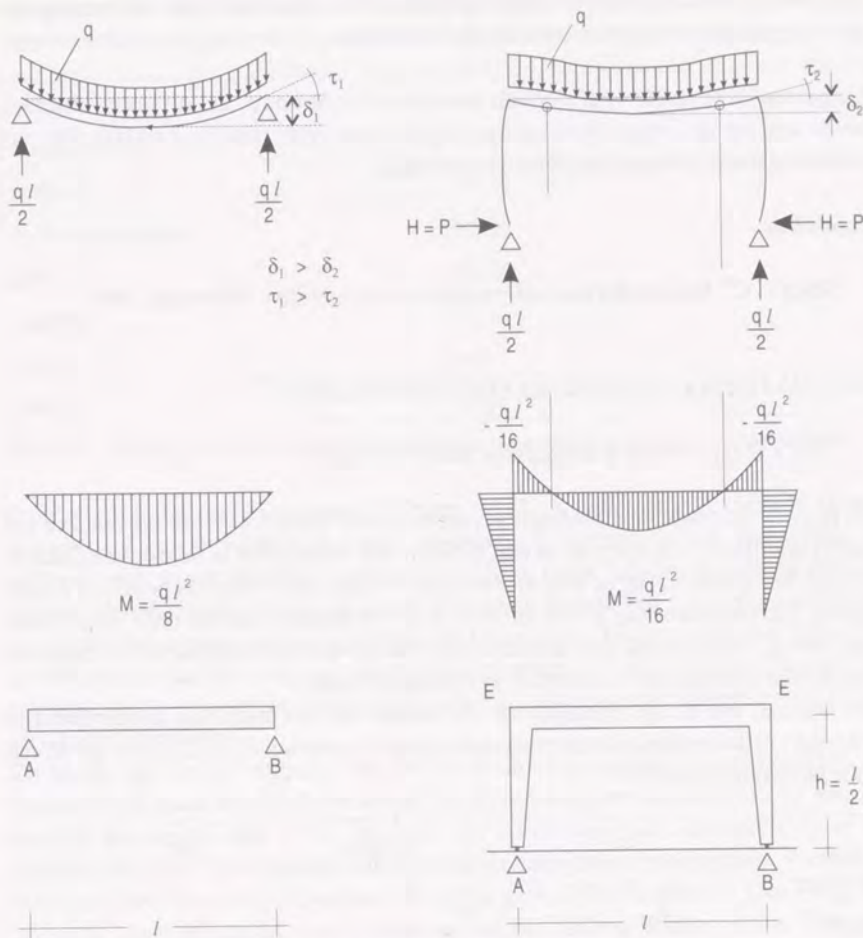


Fig. 9.9 Statisch bepaalde (links) en hyperstatische (rechts) constructies
Bron: [Siegel, 1960]

Buig- en wringstijve verbindingen zijn echter doorgaans moeilijker te maken en zijn duurder dan scharnierverbindingen. Bovendien zijn niet alle soorten verbindingen (lassen, bouten, lijmen, voorspannen, enz.) mogelijk bij de verschillende constructiematerialen (metalen, steenachtige materialen, polymeren en composieten). De keuze van het type verbinding hangt in de praktijk dus meestal niet alleen af van de gewenste sterkte. Bijlage E geeft een overzicht van verbindingen en hun eigenschappen.

GEBRUIKTE MATERIALEN

Bij de keuze van het materiaal voor de constructie-elementen wordt het beste resultaat verkregen door dat materiaal te kiezen dat een grote verhouding tussen sterkte en dichtheid combineert met een grote verhouding tussen E-modulus en dichtheid. Een belangrijke randvoorwaarde bij de keuze van het materiaal is de eis van taaiheid (ductiliteit); dit betekent dat de constructie niet plotseling bezwijkt

(zgn. brosse breuk), maar pas na het optreden van een aanzienlijke vervorming die dan fungeert als waarschuwing vóór het bezwijken.

Aangezien deze studie zich richt op materialen in de bouw, zal dit hoofdstuk zich toespitsen op de mogelijkheden en beperkingen van nieuwe combinaties van bestaande materialen en op nieuwe materialen.

Referentie

- SIEGEL, C., *Strukturformen der modernen Architektur*, München, 1960

9.2.2 MATERIAALEIGENSCHAPPEN VERGELEKEN

ir. J. Tepper met een bijdrage van ir. N. Noort*

De prijs in de markt van materialen zegt nog niet zoveel over de kosten van het materiaal als het is toegepast in een gebouw. De marktprijs is meestal in gulden per gewichtseenheid (kg of ton) en soms per volume (m³). Voor de bepaling van de kosten van het materiaal in een gebouw is de verhouding tussen prijs en prestatie van belang. Afhankelijk van de toepassing zal de sterkte, de stijfheid, de massa of een andere eigenschap de doorslag geven bij de keuze.

Het aandeel van de materiaalkosten (de kosten van het materiaal, aangebracht in het werk) in de stichtingskosten van een gebouw is substantieel; dit geldt niet alleen voor Nederland (tabel 9.1).

	<i>loon</i>	<i>materiaal</i>	<i>rest</i>
Nederland	41	50	9
België	42	48	10
Engeland	38	51	11
Frankrijk	40	49	11
Duitsland	51	38	11

Tabel 9.1 *Verdeling van de kosten [in %] van een 'gemiddeld' bouwproject in de woning- en utiliteits-nieuwbouw in verschillende Europese landen*

Bron: [Vermande, 1995]

Tabel 9.2 laat een uit de praktijk afkomstige verdeling over de verschillende gebouwdelen en fasen van het bouwproces voor een 'gemiddeld' kantoorgebouw zien.

De materiaalcomponent (als ruwe grondstof) in de kosten van de hoofddraagconstructie is maximaal 30%. In de totale bouwkosten vormen de materiaalkosten van de hoofddraagconstructie dus slechts een beperkt deel van de hier opgevoerde kosten, maximaal 9%. De hoofddraagconstructie heeft wel een grote invloed op de

* Hans Tepper is directeur van Stybenex, de Vereniging van Fabrikanten van EPS-bouwproducten.

totale bouwkosten, omdat alle andere gebouwdelen en -systemen op de draagconstructie worden afgestemd en vaak (letterlijk) eraan worden opgehangen.

architect	2 – 10
bouwplaatskosten	4 – 8
fundering	5 – 10
hoofddraagconstructie	20 – 30
gevel	20 – 35
installaties	15 – 20
overige	rest
<i>totaal</i>	100%

Tabel 9.2 Verdeling van de kosten over de verschillende gebouwdelen en fasen van het bouwproces

Een integrale kostprijsbenadering [Tepper, 1991] is nodig om de vraag te beantwoorden of een innovatief product, materiaal of constructie ook prijstechnisch aantrekkelijk wordt voor de opdrachtgever. Men moet daarbij niet alleen denken aan de prijs af-fabriek, maar ook aan de kosten en moeite van montage, onderhoud en verwachte economische en technische levensduur. Het streven naar lichte en goedkope constructies mag dus niet tot dure montage en veel onderhoud leiden. De integrale kostprijs komt in dat geval hoger uit dan in het geval van een zwaarder en iets duurder materiaal.

Zo bleek het uit het oogpunt van milieu en kostprijs meer verantwoord om de bekende betonnen kantoorkolossen uit de jaren zestig en zeventig niet te slopen, maar te renoveren door ze te 'strippen' tot op de betonnen draagconstructie en 'slechts' de schil, de inrichting of inbouw en de installaties te vervangen. Voorbeeld hiervan is het voormalige Transitorium in het gebied De Resident in Den Haag dat onder de naam 'Castalia' wordt verbouwd tot het nieuwe Ministerie van Welzijn, Volksgezondheid en Sport.

KOSTEN BIJ EEN GEGEVEN BELASTING

*ir. N. Noort**

Als de belasting op een constructie bekend is, kan het materiaal worden gekozen dat het laagste gewicht tot gevolg heeft of het materiaal dat leidt tot de laagste prijs. Voor een op buiging belaste staaf bijvoorbeeld is bij een gegeven stijfheid (een gegeven maximale verplaatsing) de massa van de staaf evenredig met $\sqrt{(\rho^2/E)}$ (de wortel uit het quotiënt van het kwadraat van het soortelijk gewicht en de elasticiteitsmodulus). De prijs van deze staaf is dan evenredig met $\sqrt{(\rho^2/E)}$ maal de prijs per ton.

Tabel 9.3 laat voor deze belastingstoestand zien dat koolstofvezelversterkte kunststof de laagste $\sqrt{(\rho^2/E)}$ -waarde heeft en dus een staaf geeft met de laagste massa. Omdat de prijs per ton van dit materiaal hoog is, is de staaf uitgevoerd in koolstofve-

* Nico Noort is bij Koninklijke Hoogovens werkzaam op de afdeling Strategy & Business Development.

zilversterkte kunststof toch het duurst. De tabel laat zien dat hout de goedkoopste oplossing is; daarna volgen beton en staal. Beschouwingen over andere belastings-toestanden geven vergelijkbare uitkomsten: hout, beton en staal zijn goedkope bouwmaterialen.

materiaal van de staaf	massa bij gegeven stijfheid [$\sqrt{(\rho^2/E) \times 103} / \sqrt{N m^{-3} s^2}$]	prijs per ton (beton = 100)	prijs van de staaf (hout = 1,00)
beton	12	100	1,45
hout	5,5	151	1,00
staal	17	158	3,18
aluminium	10	815	10,00
glasvezelversterkte kunststof	10	1154	13,64
koolstofvezelversterkte kunststof	2,9	69.230	237,27
polyurethaanschuim	13	385	5,91

Tabel 9.3 Vergelijking van massa en prijs van een op buiging belaste staaf voor verschillende materialen
Bron: [De Jong, 1991]

MILIEUASPECTEN

De ontwikkeling van lichte, hoogwaardige constructies die dragend, scheidend of beide zijn, moet ook in het licht van de gevolgen voor het milieu worden gezien. Allereerst is het belangrijk de totale milieubelasting van een heel gebouw te bepalen door de aspecten van de samenstellende delen op te tellen. Dan zal alras blijken dat onderdelen van de constructie veelal een veel lagere invloed op het geheel hebben dan bijvoorbeeld installaties. De enige manier waarop de milieu-effecten van constructies kunnen worden bepaald is met behulp van de levenscyclusanalyse-methode (LCA) volgens de methode die is vastgelegd door het Centrum voor Milieukunde (CML) van de Rijksuniversiteit Leiden.

Op basis van de uitkomsten van de LCA kunnen de vier of vijf milieumaten worden gegeneerd, zoals vastgelegd door het Milieuberaad Bouw [MBB, 1995]. Daarbij is het essentieel dat vooraf de functionele eenheid wordt vastgelegd in termen van bijvoorbeeld m^2 constructie of overdekt oppervlak. De vraag is of de uitkomsten van dergelijke LCA's en milieumaten voldoende handvaten geven om tot objectieve vergelijkingen van constructies te komen, omdat ongelijksoortige aspecten nog steeds geen nationaal geaccepteerde waarderingschaal hebben.

Wat de LCA in ieder geval wel aangeeft, is in welk opzicht een constructie relatief slecht scoort; productontwikkeling in die richting is dan nodig. De uitkomst van de LCA is een indicatie voor verbeteringen. Paragraaf 3.5 gaat hierop verder in.

FUNCTIONALITEITSEISEN

Het Bouwbesluit [1991] stelt voornamelijk prestatie-eisen aan gebouwen en bouw-delen. Er zijn reeds studies verricht om de consequenties van dat Bouwbesluit voor dakconstructies aan te geven [Lüning en Tepper, 1994]. Die consequenties blijken

ten opzichte van de oudere situatie gering te zijn. Toch blijven ook NEN-normen, waaronder de onlangs gewijzigde Technische Grondslagen Bouwvoorschriften (de NEN 6700-serie) van belang omdat deze niet integraal door het Bouwbesluit zijn aangewezen. Met behulp van het gelijkwaardigheidsbeginsel kan nu echter wel worden aangetoond of innovatieve constructies conform het Bouwbesluit zijn. De eisen van het Bouwbesluit zijn flexibeler dan de oude eisen, maar het Bouwbesluit wordt in de praktijk stringenter toegepast.

Referenties

- *Bouwbesluit*, Staatsblad 1991-680, zoals gewijzigd bij Staatsblad 1994-829, Staatsblad 1996-444 en Staatsblad 1997-34
- JONG, E. DE, *Bestaande materialen of nieuwe materialen: een afweging*, Aluminium, pp. 37-39, mei 1991
- LÜNING, H.E., J. TEPPER, *Geodetische koepels, Dakenraad*, pp. 16-19, oktober 1994
- MILIEUBERAAD BOUW (MBB), *Project milieumaten in de bouw*, Utrecht, 1995
- TEPPER, J., *Juiste keuze vraagt integrale benadering*, Geveltechnisch Magazine, pp. 26-28, oktober-december 1991
- VERMANDE, H.M., *Een vergelijking van internationale bouwkostenvergelijkingen; een vergelijking in de 'jungle' van kosten- en prijsvergelijkende studies voor Nederland, België, Engeland, Frankrijk en Duitsland*, PRC Bouwcentrum, Bodegraven, 1995

9.3 CONSTRUCTIES VOOR GROTE OVERSPANNINGEN

Grote overspanningen (> 200 m) zijn niet nieuw. Meestal worden hiervoor geodetische koepels of ruimtevakwerken gebruikt. In de paragrafen 9.3.1 en 9.3.2 worden enkele voorbeelden gegeven. Paragraaf 9.3.3 beschrijft een nieuwe methode, het zogenaamde kabelspant.

9.3.1 GEODETISCHE KOEPELS

*ir. J. Tepper**

Koepels vergen het minste materiaal om een ruimte te overspannen omdat er zolang het niet waait alleen drukkrachten optreden en geen buigende momenten. Alleen met hangdaken kan het nog zuiniger, maar daarvoor is een ondersteuningsconstructie nodig. Koepels hebben echter een relatief grote constructiehoogte – het blijven tenslotte delen van een bol.

Geodetische koepels zijn axiaal symmetrische, ruimtelijke, bolvormig gekromde constructies met als bijzonderheid dat de stavenverdeling van de koepelconstructie een projectie van rechte lijnen op een bolsegment is (fig. 9.10).

* Voor auteursgegevens zie par. 9.2.2.

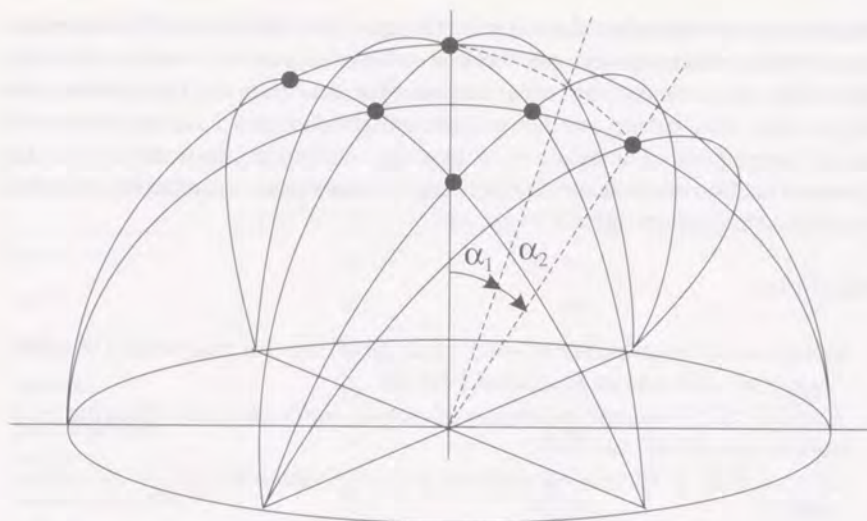


Fig. 9.10 Verdeling met snijlijnen van kantelende vlakken met het boloppervlak
Bron: [Lüning en Tepper, 1994]

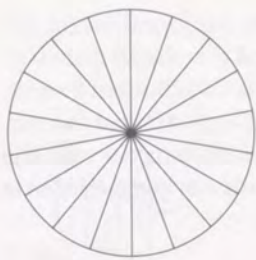
De materiaalverdeling kan continu zijn met bijvoorbeeld betonnen schalen of discreet met bijvoorbeeld houten staafconstructies. Het oppervlak is bij staafconstructies in verschillende patronen te verdelen. Ook is een onderverdeling mogelijk naar de constructieve opbouw; enkel- of dubbellaags, al dan niet in constructieve samenwerking met de huid van de koepel. Een vergelijking tussen de verschillende koepels (fig. 9.11) op sterkte en stijfheid geeft interessante resultaten (tabel 9.4). Bij de geodetische verdeling wordt de kleinste hoeveelheid materiaal gebruikt.

systeem	sterkte (%)	stijfheid (%)
geodetische koepel	100	100
lamello-koepel	70	100
lattice-koepel	50	54
Schwedler-koepel	30	5

Tabel 9.4 Vergelijking van verschillende koepelstructuren

Twee typen geodetische verdelingen zijn populair geworden:

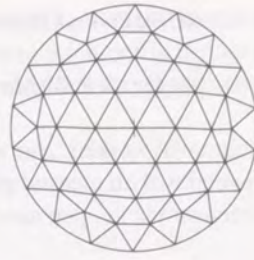
- Een polyedrische (veelvlakkige) verdeling. Deze verdeling is gunstig voor het ontwerpen van relatief hoge koepels en is wiskundig tamelijk eenvoudig toegankelijk.
- Een verdeling van snijlijnen van kantelende vlakken met het boloppervlak. Voor constructies met een optimale verhouding tussen materiaalgebruik en stijfheid moet de diameter liggen tussen 15 en 25% van de hoogte. Met staven van gelamineerd hout zijn overspanningen haalbaar tot meer dan 250 m. De geringe afmetingen en het lage gewicht komen transport en montage ten goede. Houten elementen hebben goede isolerende eigenschappen, zodat koudebruggen relatief eenvoudig zijn te voorkomen.



1 radiaal
gerichte spanten

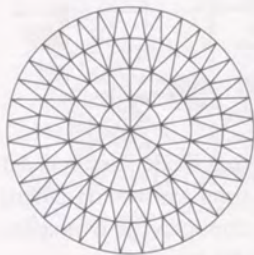


a: op basis van
polyedrische verdeling

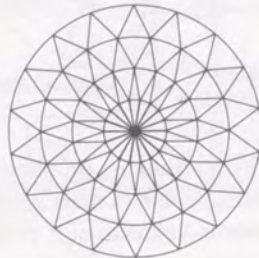


2 geodetisch

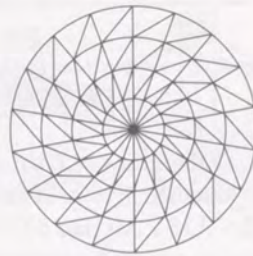
b: op basis van snijlijnen
van kantelende vlakken
met boloppervlak



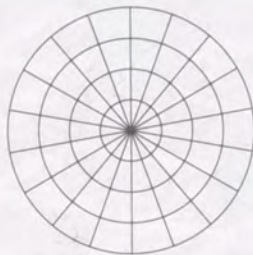
3 lamello-koepel



4 lattice-koepel



5 Schwedler-koepel



6 netverdeling

Fig. 9.11 Typen koepels

Referentie

- LÜNING, H.E., J. TEPPER, *Geodetische koepels*, Dakenraad, pp. 16-19, oktober 1994

9.3.2 RUIMTEVAKWERKEN

*prof.ir. D.R.W. Martens**

Ruimtevakwerken zijn al dan niet gekromde ruimtelijke constructies die zijn opgebouwd uit meestal gelijke lineaire elementen (staven) die aan hun uiteinden in zogenaamde knopen aan elkaar zijn verbonden (fig. 9.12).



Fig. 9.12 Voorbeeld van een ruimtevakwerk
Bron: [Siegel, 1960]

Het belangrijkste constructieve criterium om ruimtevakwerken toe te passen is dat de krachten in twee of drie richtingen min of meer gelijkwaardig worden afgevoerd (fig. 9.13). Als aan dit criterium is voldaan, zijn grote steunpuntsvrije overspanningen mogelijk, waarbij het eigen gewicht van de constructie laag is.

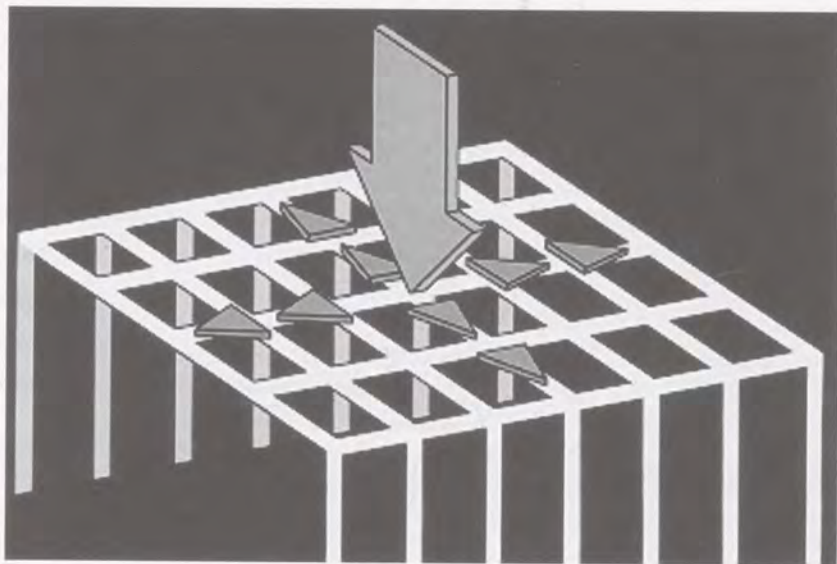


Fig. 9.13 Principe van de afdracht van verticale krachten
Bron: Nodus-brochure

Door de ruimtelijke belastingsafdracht zullen de krachten bij ongelijkmatige belastingen en bij puntlasten goed worden gespreid en zal er bij een overbelasting of bij

* Voor auteursgegevens zie par. 9.2.1.

het lokaal bezwijken van een of meer staven een herverdeling van de krachten optreden. Hierdoor is het ook mogelijk om ruimtevakwerken puntvormig te ondersteunen met tuikabels zodat grote vrije overspanningen kunnen worden gerealiseerd met een beperkt eigen gewicht (fig. 9.14).

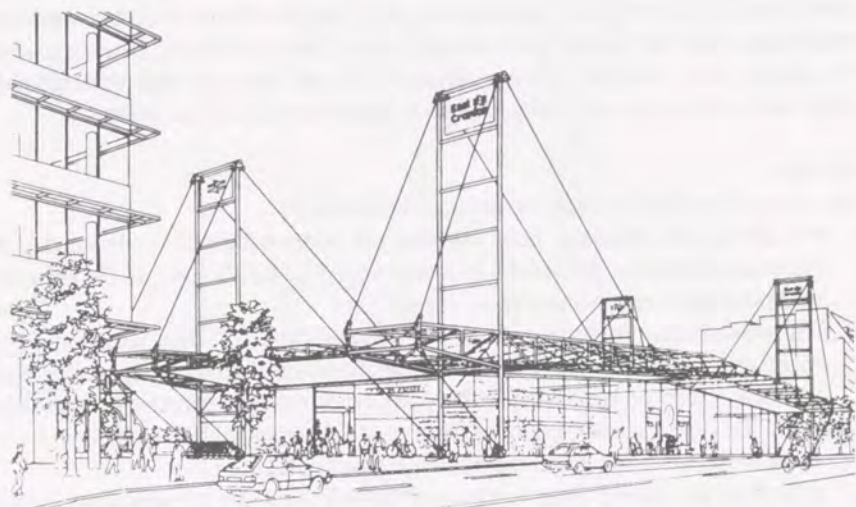


Fig. 9.14 Voorbeeld van een grote vrije overspanning met een beperkt eigen gewicht: British Rail-station East Croydon
Bron: brochure Tubular Structures

Omdat de staafelementen en de knoopverbindingen gestandaardiseerd zijn, is een ruimtevakwerk eenvoudig te produceren, te monteren en te demonteren. Aangezien bij ruimtevakwerken de kosten voor ongeveer 35% uit arbeidskosten bestaan en voor 65% uit materiaalkosten, is de keuze van het juiste materiaal heel belangrijk. In principe kunnen alle materiaalsoorten worden gebruikt. Zowel beton, hout, aluminium, staal als kunststoffen (composieten) zijn reeds eerder aangewend voor dergelijke constructies.

Voor de staafelementen zijn vernieuwingen mogelijk door het gebruik van bijvoorbeeld hoogwaardig beton gewapend met een kunststofwapening (bijv. koolstofweefsel). De combinatie van hoogwaardig beton met een (al dan niet voorgespannen) niet-corrosieve wapening maakt het mogelijk om dunwandige koker-elementen te maken, waardoor het eigen gewicht aanzienlijk kan worden gereduceerd.

Het ontwikkelen van nieuwe ruimtevakwerken is slechts mogelijk als dit gepaard gaat met het ontwerpen van een geschikt type knoopverbinding. Het optimaliseren van lijmverbindingen en verbindingen door middel van voorspanning kan hiervoor nieuwe perspectieven bieden.

Referentie

- SIEGEL, C., *Strukturformen der modernen Architektur*, München, 1960

9.3.3 HET KABELSPANT

ing. M.J.G. Bartels*

In het kabelspant (fig. 9.15; fig. 9.16) zijn alle trekstaven in het vakwerk vervangen door kabels en de staanders (drukstaven) door buisjes. Groot voordeel van deze constructie is dat hij niet alleen licht oogt, maar ook echt licht is. Bovendien kan het geheel voor transport worden opgerold. In dit ontwerp zijn verschillende materialen zo toegepast dat ieder materiaal (bijna) maximaal kan presteren.

Het dak

Het dak van het gebouw (een 'sportdome') bestaat uit:

- een gewapende *folie* die licht doorlaat, de zon weerkaatst, uv-bestendig en polyesterversterkt is. Deze folie kost ongeveer f 5,- tot 10,- per m². De verschillende stukken worden aan elkaar 'geseald'.
- een *bouwstaalnet* (dwarswapening $\varnothing 8$, tussenafstand 150 mm, langswapening $\varnothing 6$, tussenafstand 250 mm) dat wordt ondersteund met betonstaalliggers (hoogte 450 mm, onder- en bovenstaaf beide $\varnothing 16$) dat de draagconstructie voor de folie vormt. De overspanning van deze betonstaaldakplaten is 16,67 m. Een en ander wordt verbonden met houtdraadbouten en slotbouten.
- gelamineerde *liggers* met vezelversterkte trekzones die als draagconstructie voor de betonstaaldakplaten fungeren. De overspanning bedraagt 20,00 m doorgaand en de liggers meten 120×550 mm². Ze worden met de staalconstructie verbonden door middel van bouten.
- kabelspanten* als draagconstructie voor de houten gelamineerde liggers. Boven- en onderregel en schoren worden gevormd door voorgespannen staalkabels; de staanders bestaan uit kokerprofielen. Het geheel wordt afgeschoord met staalkabels of Diwidag-staven (onder voorspanning). De overspanning van deze kabelspanten is 200,00 m.
- kolommen* van stalen kokerprofielen of van hoge-sterktebeton.

Fundatie en begane grond

- De keldervloeren en begane grondvloeren bestaan uit staalplaat, gecombineerd met Porocom kunststofbeton (dikte ongeveer 350 mm + 50 mm druklaag). De overspanning van de vloerdelen is 16,00 m.
- Voor de fundatievloer wordt beton B25 voorgesteld met een wapening van 130 kg/m³. De dikte van de vloer bedraagt 250 mm, met ribben. Het beton is voegloos gestort om krimpspanningen te voorkomen. De scheurwijdte is maximaal 0,15 mm.

OVERWEGINGEN

De hal is niet geïsoleerd. Zo'n grote hal is ook bijna niet te verwarmen. Door het licht (gedeeltelijk) door te laten zal de hal opwarmen in de winter. In de zomer kan de binnentemperatuur hoog oplopen. Een geforceerde ventilatie met buitenlucht zal deze temperatuur verlagen.

* Voor auteursgegevens zie par. 9.1.

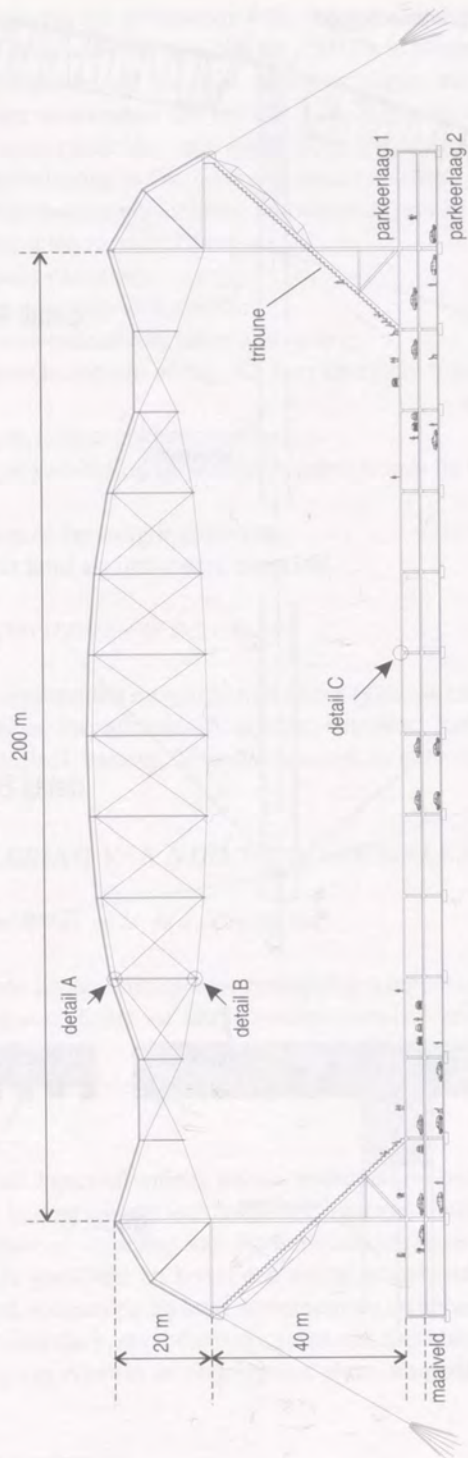


Fig. 9.15 Het kabelspant

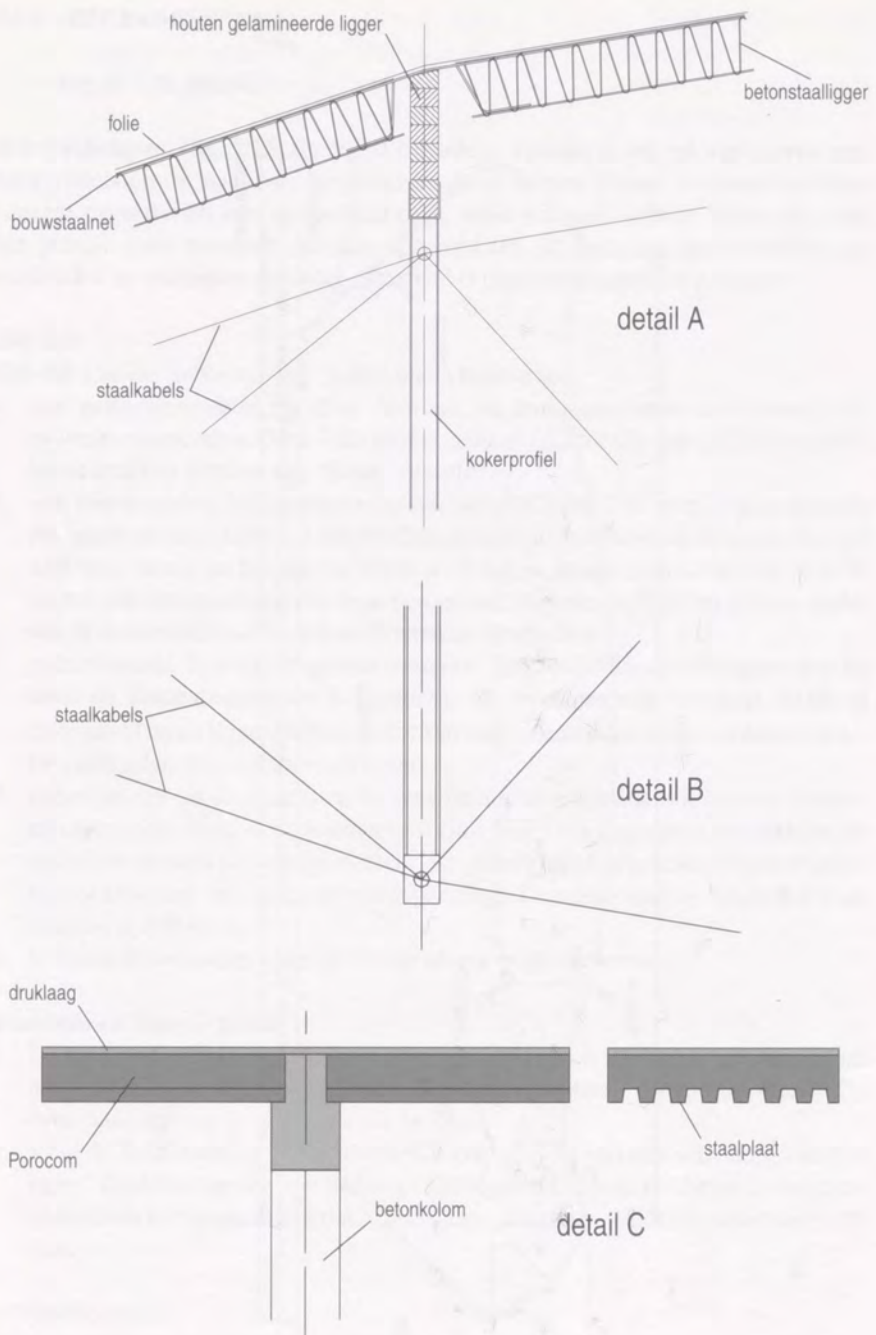


Fig. 9.16 Details van het kabelspant

Het dak bestaat slechts uit gewapende folie dat gemakkelijk te vervangen en niet duur is. Door de druk in de hal op -200 tot -500 Pa te houden ten opzichte van de druk van de buitenlucht zal de folie zich vastzuigen aan de bouwstaalnetten. Hierdoor kan men voorkomen dat het dak gaat flapperen door windzuiging. Bij storm moet de onderdruk dus maximaal zijn. Bij sneeuwval is de onderdruk minimaal. De dakbelasting is daardoor nog steeds gunstig.

Het toepassen van bouwstaalnetten en bouwstaalliggers in dakplaten vindt sinds kort opgang. Voordelen hiervan zijn:

- de lage kiloprijs van staal;
- het lage eigen gewicht: 20 kg per m^2 ;
- de lage geluidsweerkaatsing (door absorptie);
- overdag is geen kunstlicht nodig, dus zeer energiebesparend.

Voor de gordingen is hout gekozen vanwege:

- de eenvoudige verbinding (houdraadbouten) tussen de betonstaalplaten en de gording;
- de opvang van de benodigde tolerantie;
- vezelversterkt hout als innovatief materiaal.

MOGELIJKE ACTIVITEITEN IN DE HAL

In zo'n hal zijn veel sporten mogelijk; niet alleen typische binnensporten, maar ook buitensporten die zo niet afhankelijk zijn van het weer. Te denken valt aan tennis, voetbal, golf, baseball, karting, fietsen, schaatsen en indoorsurfen.

9.4 SIGNALERING VAN NIEUWE MATERIALEN

*W.E.A. ten Berge en ir. M.J. Venemans**

Van verschillende kanten zijn nieuwe materialen aangedragen die mogelijkheden lijken te bieden voor lichte en sterke constructies. Ze zullen een voor een kort worden beschreven.

Alporas

Alporas is een uit Japan afkomstig poreus materiaal op basis van aluminium. Het is superlicht en bestaat uit een verzameling cellen van dunne aluminium membranen, die een uniforme verdeling van aluminiumoxide bevatten. Dit zorgt voor een driedimensionale stabiliteit en levert een aantal uitstekende eigenschappen zoals een laag gewicht, toepassing bij hoge temperaturen en geluids- en warmte-isolatie. Het materiaal is niet sterk, maar daarvoor is het ook niet ontwikkeld. Tabel 9.5 geeft een vergelijking van Alporas en ongelegeerd aluminium 1050A in plaatvorm.

* Wim ten Berge is directeur van Ten Berge Coating Systems en uitvinder van het 'kunststofbeton' Porocom. Annemieke Venemans is projectleider bij de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT).

eigenschap	eenheid	Alporas	Al 1050A
dichtheid	kg/dm ³	0,2 – 0,3 ¹	2,6
treksterkte	N/mm ²	1,5	165
druksterkte	N/mm ²	2,2	
buigsterkte	N/mm ²	3,2	345
smeltpunt	°C	780	658
warmtegeleidingscoëfficiënt	W/(m K)	3,7	209,3
thermische uitzettingscoëfficiënt	10 ⁻⁶ /K	22,6	23,8

¹ als constructiemateriaal; 0,32–0,42 als geluidabsorberend materiaal

Tabel 9.5 Vergelijking van Alporas en aluminium

Alporas is een goede bescherming tegen elektromagnetische straling. Het materiaal is gemakkelijk te bewerken (draaien, boren, buigen, lijmen). Het kan worden geverfd of gecoat zonder dat de geluidsabsorptiecoëfficiënt verandert.

Er zijn veel toepassingen denkbaar in de bouwsector. Bijvoorbeeld:

- geluidabsorberende elementen in fabrieken, hallen en andere gebouwen, om machines, onder bruggen, in tunnels, in geluidsstudio's en in geluidsschermen langs spoor- en autowegen;
- als licht en onbrandbaar constructiemateriaal in plafonds en op muren;
- in sandwichpanelen voor daken, wanden, vloeren waarbij Alporas als vulling tussen metalen platen kan worden gebruikt;
- als wand- of vloerpaneel van kamers met elektronische apparatuur.

KOOLSTOFVEZELVERSTERKT BETON EN METSELWERK

In koolstofvezelversterkt beton is de traditionele stalen wapening vervangen door kabels van koolstofvezels in een matrix van epoxyhars. De matrix houdt de vezels bij elkaar in een bepaalde structuur, beschermt deze tegen beschadigingen van buitenaf en tegen abrupte overgangen, verdeelt de spanningen over de vezels en heeft een gunstige invloed op de elasticiteit, de taaiheid en de elektrische isolatie. Een sterke binding tussen de materialen van vezels en matrix is zeer belangrijk. Deze binding kan zowel chemisch als mechanisch zijn.

De voordelen van koolstofvezelversterkt beton boven beton zijn:

- een langere levensduur van de betonconstructie, omdat de wapening niet corrodeert (geen betonrot);
- geen magnetische constructies;
- een lager gewicht door lichtere wapening en de mogelijkheid om de betonlaag dunner te maken. Dat betekent:
 - lagere transportkosten;
 - het beton is gemakkelijker te hanteren en te monteren.
- industrialisatie van het bouwproces wordt mogelijk met alle voordelen vandien.

Toepassingen van koolstofvezelversterkt beton liggen vooral in utiliteitsgebouwen, overspanningen, ruimtevakwerken en in draagelementen voor bruggen en viaducten.

Een andere toepassing van koolstofvezelversterkte kabels is versterking in geprefabriceerde gevelelementen van metselwerk. Deze elementen kunnen dan worden voorgespannen, waardoor de afschuif- en buigsterkte groter wordt dan bij het reguliere metselwerk en de kans op beschadiging (breken) tijdens transport kleiner wordt. Uit onderzoek is gebleken dat de prestaties zelfs beter zijn dan die van staalversterkt metselwerk.

C-MAX

C-Max is een composiet van natuurlijke vezels en magnesium-oxyfosfaatcement als bindmiddel. Voor de biomassa kan afval van hout, planten of papier worden gebruikt. Tegenwoordig wordt 40 à 50% van alle geoogste hout- en plantenproducten niet verder gebruikt. Daarnaast ontstaat er een steeds grotere afvalberg van gebruikt papier die niet (zonder meer) opnieuw als papier te gebruiken is. Deze vezelstoffen zijn goedkoop en kunnen 60 à 90% van het volume van de producten uit C-Max uitmaken. De vezels hoeven zelfs niet vrij te zijn van houtsuikers, fenolen en vocht. Het andere wezenlijke bestanddeel van het materiaal C-Max is het bindmiddel magnesium-oxyfosfaatcement, van oorsprong vuurvast cement uit bekladingen van de hoogovens. Het wordt al sedert 1962 voor dergelijke toepassingen gebruikt.

Het cement reageert exotherm met de vezels, zodat de chemische reactie homogeen is en 'vanzelf' tot stand komt in een ecologisch veilig proces dat weinig energie kost. De aanvangssterkte – bij fabricage op kamertemperatuur – is reeds 75% van de eindsterkte.

De productiemethode kan variëren van extrusie, vormdelen en spuiten tot continupersen. Deze laatste manier (de zgn. kalandermethode) levert een plaatmateriaal op dat in oneindige lengten kan worden geleverd.

De eindproducten zijn buitengewoon vormvast, niet oplosbaar in water, bestand tegen zure regen, termieten en schimmels en niet kankerverwekkend. Daarnaast is het materiaal brandwerend, onbrandbaar en heeft het een lage rookdichtheid.

De massa per volume-eenheid is circa 30 à 50% van die van beton. Het materiaal is als vulmateriaal goed te verlijmen met hout- en betonproducten.

Bijzondere producten voor de bouw zijn plaatmaterialen (dikte vanaf enkele millimeters; volumieke massa circa 700 kg/m³) en ribben, balken en latten.

Een zeer recente ontwikkeling is LVL (*Laminated Veneer Lumber*). Hierbij worden niet alleen dunne fineren van doorgaans goedkoop zachthout (populier, wilg, iep, enz.) op elkaar gelijmd, maar wordt ook de ruimte tussen de houtvezels volledig met C-Max-bindmiddel gevuld. Daarmee is een product ontstaan dat vergelijkbaar is met hoogwaardige triplexen van hardhout en loofhout, zoals Braziliaans eiken dat als vloerhout in containers wordt gebruikt.

Bij het schillen van het finer kan het vrijkomende afval worden verkleind tot diverse fracties en worden verwerkt tot een breed scala van mineraalgebonden producten. Dit verspaande hout kan worden verwerkt tot onder andere:

- brandwerende vezelplaten;
- bouwblokken;
- geluidabsorberende keerwanden langs snelwegen;
- dakpannen, leien, golfplaten;
- allerlei soorten plaatmateriaal, optimaal geschikt gemaakt voor de respectievelijke toepassingen, zoals gevelbekleding, vloerelementen, scheidingswanden;
- extrusieproducten, zoals kozijnen, gevelbekledingen in de vorm van schroten.

Tot slot

C-Max behoeft geen verdere verduurzaming om houtrot en schimmelaantasting te voorkomen. Het materiaal is sterk, heeft een grote brandweerstand en lage rookontwikkeling. De eindproducten zijn niet schadelijk voor de gezondheid. Na het einde van de levenscyclus is volledig hergebruik mogelijk.

POROCOM

Porocom is een composietmateriaal met een te variëren open celstructuur. Het 'kunststofbeton' bestaat uit granulaat dat wordt gebonden met een thermohardende poederlak. De gebruikte poederlak is een restproduct dat ontstaat bij het poedercoaten van metalen. Als granulaat komt een groot aantal materialen in aanmerking, zoals glasscherven, steenslag, grind, lava, gesinterd vliegas, gebakken kleikorrels, metaalsnippers. Door dit brede scala vulstoffen kunnen Porocomsoorten worden gemaakt die specifiek zijn voor de gevraagde toepassing.

Bij de vervaardiging wordt het granulaat verhit tot circa 200 °C. Dit granulaat wordt vervolgens gedoseerd in contact gebracht met de eveneens gedoseerde poederlak die zich om de korrels hult. Het poeder smelt om de korrels heen, maar hardt nog niet uit. In een laatste stap worden de gecoate korrels in een mal gesinterd bij een temperatuur van 200 °C waardoor volledige uitharding optreedt en het eindproduct ontstaat.

Onderzoek naar en vergelijking met bestaande polymeren heeft uitgewezen dat Porocom een aantal sterke eigenschappen bezit die voortkomen uit de combinatie van de twee componenten (poederlak en vulstof):

- relatief licht en sterk (tot acht keer lichter dan beton, tot vijf keer sterker in trekrichting);
- hergebruik van reststoffen;
- herbruikbaar op twee manieren:
 1. opnieuw verhitten maakt de poederlak week, zodat het granulaat kan worden gescheiden van de vulstof; de korrels kunnen opnieuw worden gebruikt;
 2. het eindproduct kan worden gebroken en opnieuw worden gebruikt in nieuwe producten met dezelfde materiaaleigenschappen door het proces opnieuw te doorlopen met slechts een kleine hoeveelheid 'extra' bindmiddel.
- veel vormen mogelijk;
- chemisch bestendig, goed te reinigen;

-
- gewenste kleur gemakkelijk blijvend te realiseren.

Toepassingen zijn denkbaar zowel in de woning- en utiliteitsbouw als in de civiele techniek, zowel binnen als buiten. Bijvoorbeeld:

- scheidingswanden, systeemplafonds en wandbekledingen met specifieke akoestische eigenschappen of chemische resistentie;
- geluidschermen;
- (sier)bestratingselementen en drainage-tegels.

VEZELVERSTERKT HOUT

Het Canadese bedrijf T.W. Pultrusions maakt platte stroken vezelversterkte kunststof waarin aramide is verwerkt. De stroken worden tussen de lamellen van gelamineerd hout gelijmd. De dikte van de stroken varieert tussen 1,8 mm (meest gebruikt) en 3 mm. De plaats waar de stroken het meeste worden toegepast, en ook het grootste effect sorteren, is in de trekzone (tussen de eerste en tweede lamel van onderaf).

Als er nog slanker geconstrueerd moet worden, is het ook mogelijk om koolstofversterking in de drukzone op te nemen. Ook toepassing van koolstof in zowel de druk- als de trekzone is mogelijk. Koolstof is echter aanzienlijk duurder dan aramide.

Vanaf 1992 zijn er testen uitgevoerd met dit materiaal. In Amerika is de toepassing van vezelversterkt hout nu goedgekeurd overeenkomstig de ICBO 5100-code. De besparing op grondstofkosten is daar circa 14% ten opzichte van gelamineerd hout zonder vezelversterking. De toepassingsmogelijkheden in Nederland zijn nog onderwerp van onderzoek.

VOORGESPANNEN HOUTVERBINDING

Verbindingen waren tot voor kort de zwakke schakels in constructies van hout. Gestimuleerd door het succes van de voorspantetechniek bij verbindingen van beton en staal, hebben medewerkers van het Laboratorium voor Houtconstructies aan de Technische Universiteit Delft een voorgespannen houtverbinding ontwikkeld. Deze verbinding is even sterk als de te verbinden houten staven, maar kan tot 30% materiaal besparen. Proeven hebben uitgewezen dat de voorgespannen houtverbinding vier keer zo sterk en zeven keer zo stijf is als traditionele houtverbindingen [De Boo, 1996].

De verbinding maakt men door ter plaatse een strook Lignostone (kruisgelaagd, verdicht triplex) te lijmen. Dit kan eventueel al in de houtfabriek gebeuren. Daarna worden de houten delen in de juiste positie gebracht en wordt er met een speciale, zeer krachtige boormachine een gat doorheen geboord dat circa 2 mm te groot is. In dat gat gaat een gegalvaniseerde gaspijp met een doorsnede van 18 of 35 mm. Om te voorkomen dat de pijp in elkaar klapt als hij onder druk komt te staan, wordt een stalen stang door het gat gestoken. De gaspijp wordt verankerd in twee gegalvaniseerde ringen. Met een hydraulische vijzel worden de pijpuiteinden naar elkaar toegeperst. De gaspijp wordt hierdoor korter en dikker; omdat het materiaal niet naar binnen kan plooien (daar zit de stalen staaf) zet het naar buiten uit, het zachte hout in. Het omringende hout en het Lignostone komen hierdoor onder grote druk te staan; ze worden 'voorgespannen' en zullen daardoor een grotere belasting

kunnen verdragen zonder te scheuren of te splijten. Bovendien zit er geen speling in de constructie en is de verbinding maatvast.

De verbinding kan nog sterker worden gemaakt door de procedure te herhalen met een kleinere maat gaspijp die in de eerste wordt geschoven. Proeven hebben uitgewezen dat de sterkte van beide buizen bij elkaar mag worden opgeteld. In verband met de brandveiligheid wordt aan de buitenkant van de verbinding in het hout een kamertje gefreest, waarin de gegalvaniseerde ringen en het uiteinde van de buis verdwijnen. Het wordt afgedekt met een houten dekseltje dat precies pas is gemaakt. De inbranding naar de buis wordt hierdoor met zeker een uur vertraagd. Ook bij aardbevingen biedt de constructie voordelen, omdat de (enkele) gaspijp als breekpen fungeert en na afloop eenvoudig kan worden vervangen door een nieuwe pijp.

De verbinding is voor het eerst toegepast in de overkapping (ruim 24 m) van het zwembad van recreatiepark Het Hooge Holt in Gramsbergen.

Referentie

- BOO, M. DE, *Voorgespannen houtverbinding bespaart veel bomen*, Delft Integraal 96.3, pp. 8-12, 1996



10. Conclusies

De meest opvallende conclusie die uit dit project kan worden getrokken is dat op een termijn van 15 tot 20 jaar het accent zal liggen op het optimaliseren en verder ontwikkelen van bestaande materialen; spectaculair nieuwe materialen worden dan (nog) niet toegepast in de bouw vanwege het ontbreken van een duidelijke vraag en schaafeffecten. Er zullen wel andere toepassingen, verschijningsvormen of constructies zijn, maar ook deze bouwen voort op wat er in 1997 al te zien is.

Deze uitkomst hangt voor een deel samen met de in deze studie gevolgde werkwijze om op basis van de functie van het bouwdeel het best passende materiaal te definiëren. De keuze van het materiaal is namelijk niet vrij te maken van de bouwmethode en het fabricageproces. Bij consequent doorgevoerde montage op de bouwplaats speelt de gebruikte grondstof van de component bovendien een ondergeschikte rol; in dat geval zijn de vorm- en maatkarakteristieken van de aansluiting tussen twee componenten bepalend.

Installaties spelen een belangrijke rol in de gebouwen van de toekomst. Leidingensystemen zijn in hoge mate bepalend voor de veranderbaarheid van het hele gebouw. De ontwikkeling van een visie over de veranderbaarheid van een gebouw moet dan ook samengaan met de ontwikkeling van een flexibel installatie-concept. Vooral de toeleverende industrie zal de eerste aanzet moeten geven om te komen tot de ontwikkeling van *plug and play*-producten met groot bedieningsgemak. Want alleen zij zijn om verschillende redenen in staat om de wensen van de moderne woonconsument te vertalen naar bruikbare producten.

De markt vraagt om een kortere levertijd en in het algemeen om een kortere ontwikkeltijd. Gezien deze ontwikkeling van de bouwmarkt naar een consumentenmarkt is er behoefte aan gebouwssystemen die gemakkelijk te veranderen, te vervangen of te verplaatsen zijn. Voor de bouwwereld blijkt het moeilijk te zijn om snel in te spelen op die wensen van gebruikers. Er is in de markt plaats voor verschillende systemen naast elkaar, mits deze niet al te specifieke gereedschappen nodig hebben en dus met enige inspanning van de doe-het-zelver te combineren zijn. Bewoners en gebruikers van gebouwen kunnen dan zelf wijzigingen aanbrengen in hun veranderbare gebouw. Dat zou hun woonplezier en hun betrokkenheid bij het gebouw sterk vergroten.

Het aandeel van materialen in de totale kosten van een gebouw is nauwelijks interessant. Door flexibele en aanpasbare installaties toe te passen – die een iets grotere investering kunnen vergen – kunnen kosten worden bespaard in dezelfde orde van grootte als de jaarlijkse energie- en onderhoudskosten samen. Deze veranderbaarheid wordt bereikt door overdimensionering, modulariteit, demonteerbaarheid, automatische inregeling of de juiste keuze van het distributiemedium.

Modulariteit en maatordening zijn essentieel voor veranderbaarheid, voor fabrieksmatige productie van componenten en voor montage op de bouwplaats. Bij industrieel bouwen moet men op de bouwplaats op werktuigbouwkundige manier omgaan met maten en toleranties. Dat betekent dat maten (en dus toleranties) niet worden gestapeld, maar dat maten worden gegeven vanuit een vast referentiepunt. Dit heeft als voordeel dat de toleranties (en dus de afwijkingen) van de gewenste maat niet bij elkaar worden opgeteld.

Toepassing van lichte en sterke materialen en constructies zal opgang vinden in kantoren en andere utiliteitsgebouwen (bijv. fabriekshallen).

Als licht en sterk niet het hoofddoel is bij het ontwerpen van constructies, maar als deze ook brandwerend, geluidsisolerend, economisch of duurzaam moeten zijn, zijn lichte en sterke constructies in het nadeel. Het grootste voordeel van lichte en sterke constructies is dat je kunt besparen op de fundering; dat geldt weer niet voor zeer hoge gebouwen. Bij woningbouw heeft de fundering een klein aandeel in de stichtingskosten, zodat de meerkosten voor lichtere en sterkere constructies niet worden gedekt. Bovendien is het Bouwbesluit niet ingericht op een streven naar lichte en sterke constructies. Ook duurzaam bouwen lijkt dit – gezien de nadruk die wordt gelegd op warmte-accumulatie van gebouwen – tegen te gaan. Als een licht gebouw echter voldoet aan de eisen van geluidsisolatie en warmte-accumulatie (bijv. door warmte- en koude-opslag in de grond), te demonteren is en de componenten zijn te hergebruiken, is lichter bouwen ook duurzaam.

De veranderbaarheid van een gebouw wordt bevorderd door een sterke functiescheiding tussen de verschillende deelontwerpen van een gebouw. Dit betekent echter niet dat het gebouw in verschillende delen moet worden ontworpen. Het is juist raadzaam om in een vroeg stadium het ontwerpen te integreren, opdat ook een integrale kostprijsberekening en de laagst mogelijke milieubelasting mogelijk worden. De nadelige effecten van functiescheiding die op de loer liggen, kunnen op die manier worden voorkomen.

Vanaf het begin integraal ontwerpen leidt bij voldoende volume tot de laagste integrale kostprijs, omdat er in dat geval achteraf geen aanvullende eisen worden gesteld. Het is de moeite waard om te onderzoeken wat de gevolgen zijn voor de integrale bouwkosten van de Nederlandse gewoonte om de draagconstructie voor kantoorgebouwen tot het uiterste te belasten. De indruk bestaat dat verminderde flexibiliteit en aanpasbaarheid, zowel bij oplevering als gedurende de verdere levensduur van het gebouw kosten tot gevolg hebben, die hoger zijn dan de initiële kosten van een veranderbare draagconstructie via overdimensioneren.

Veranderbaarheid van gebouwen zal in de toekomst zo'n grote rol gaan spelen dat daaraan nu in de opleidingen op de verschillende niveaus meer aandacht moet worden besteed om er in 2015 iets aan te hebben.

Om gebouwen echt veranderbaar te kunnen maken, is er behoefte aan materialen die een redelijke prijs combineren met grote nauwkeurigheid, duurzaamheid en prestatie. Een verandering van de aanbestedingsprocedure in de zin van het definiëren van een prestatie en het laten aanbieden van materialen door geïnteresseerde bouwers zou de ontwikkeling van nieuwe materialen wel sterk bevorderen.



Bijlage A

Demontabele draagconstructie

*ir. R.W. Angenent**

Aan een draagconstructie kan een aantal eisen worden gesteld (par. A.1); het in paragraaf A.2 en A.3 uitgewerkte systeem is een voorbeeld van een draagconstructie met een puntvormige (de-)assembleerbare constructieve verbinding en voldoet aan deze eisen. Alle illustraties zijn afkomstig van Bureau Angenent.

A.1 PROGRAMMA VAN EISEN

Aan puntvormige constructieve verbindingen, zoals in een constructie met elementen die worden verbonden in knooppunten, worden de volgende eisen gesteld:

1. Reversibiliteit
De verbinding moet op eenvoudige wijze meerdere malen gesloten en weer geopend kunnen worden. Losnemen en herverbinden moet ook na vele jaren van gesloten verbinding nog mogelijk zijn.
2. Standaardisatie
De verbinding dient gestandaardiseerd te zijn. Uitwisseling moet mogelijk zijn.
3. Gereedschapsgebruik
Voor het bevestigen en losnemen mag specialistisch gereedschap (*dedicated tools*) nodig zijn.
4. Bedieningsgemak/vakmanschap
Het is essentieel dat er enig vakmanschap nodig is voor het werken met de verbinding. De verbinding moet echter ook *fool-proof* zijn.
5. Verwijderbaarheid
Het is toegestaan dat eerst andere componenten verwijderd of verplaatst moeten worden, voordat het mogelijk is om een bepaalde component te verwijderen.
6. Compensatie vorm- en plaatstolerantie en uitzetting
De verbinding hoeft niet te compenseren voor vorm- en plaatstoleranties en uitzetting.
7. Continuïteit
 - a. De verbinding hoeft geen even groot weerstandsmoment te hebben als de lineaire componenten die deze verbindt. De verbinding dient echter ook geen scharnier te zijn. Enige momentstijfheid is gewenst.
 - b. De verbinding dient geen koudebrug te vormen.
 - c. De verbinding dient een brandwerendheid te hebben die in de orde van grootte ligt van de componenten die deze verbindt.

* Roland Angenent is directeur van Bureau Angenent, Quality Assurance Consultancy.

8. Borging

De verbinding dient geborgd te kunnen worden.

A.2 DRAAGCONSTRUCTIE

Er is gekozen voor een draagconstructie van het type skelet, omdat dit het meest veranderbaar is (zie par. 3.3.3). De gebruikte kolommen en balken geven de minste richting aan de invulling van de ruimten.

De draagconstructie bestaat uit balkvormige componenten die door middel van snelkoppelingen aan elkaar geschakeld worden (fig. A.1). De draagconstructiecomponenten hebben een moduulmaat van bijvoorbeeld 10×10 , 20×20 en 30×30 cm².

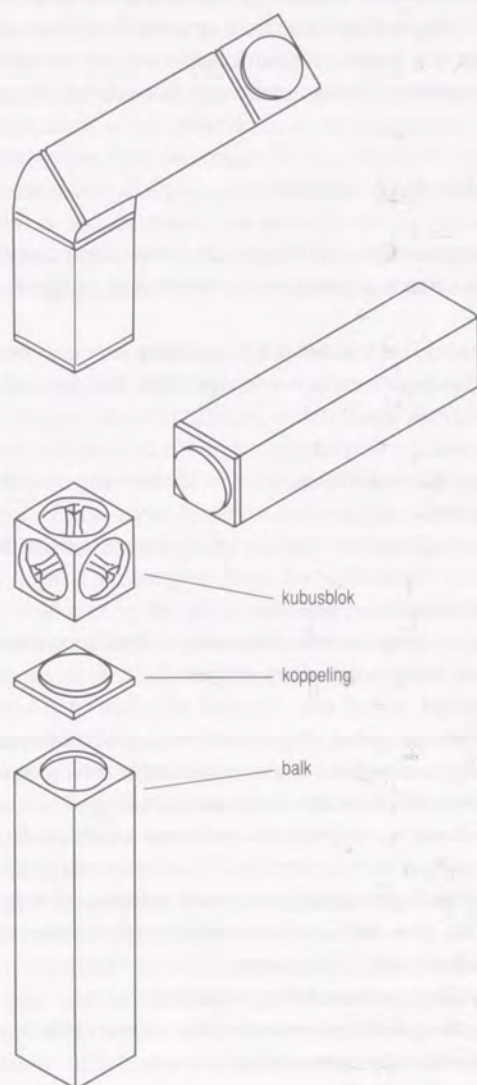


Fig. A.1 Balken en koppelingen

De fundering geschiedt op palen of poeren (primaire fundering). De lengte van de paal is afhankelijk van de gesteldheid van de ondergrond. Op 'staal' kan een korte paal worden geslagen of geboord of een poer worden toegepast. Op het uiteinde past een stelbare kop, die de paal of poer verbindt met het rooster van funderingsbalken. Door de stelbaarheid wordt de plaatsingsnauwkeurigheid van de primaire fundering gecompenseerd. Ook kan voor latere verzakking gecompenseerd worden. Voor het plaatsen van de componenten is een lichte bouwkraan nodig. Het windverband wordt gevormd door een aantal strategisch geplaatste schijven. Fig. A.2 laat de draagconstructie zien, toegepast in een dak.

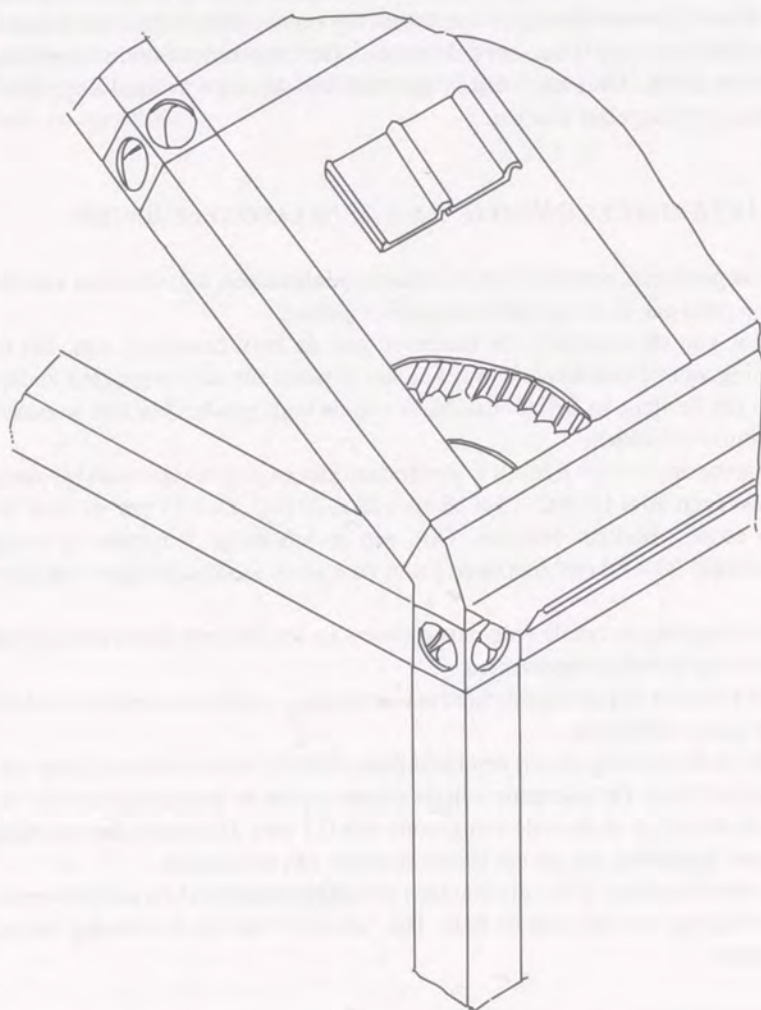


Fig. A.2 De draagconstructie toegepast in een dak

A.3 COMPONENTEN

De benodigde componenten zijn funderingspalen of poeren, funderingsstelstukken, balkvormige componenten en koppelstukken (kubus, scharnier, enz.).

De balkvormige componenten kunnen in verschillende materialen uitgevoerd worden, bijvoorbeeld beton, gelamineerd hout, staal, aluminium, kunststof en of gehard glas. Hiermee zijn ze geschikt voor verschillende toepassingen, zoals funderingsbalk, kolom, verdiepingsbalk of dakbalk. Balken kunnen in de fabriek worden geornamenteerd.

Balkcomponenten worden op de bouwplaats gekoppeld in koppelcomponenten. Deze zijn er in verschillende uitvoeringen, bijvoorbeeld als kubus (zes koppelvlakken) en als scharnier (twee koppelvlakken). Ook zijn ornamentele koppelcomponenten mogelijk. Uit losse flenzen kan een willekeurig gevormd koppelblok op bestelling samengesteld worden.

A.4 INTERFACECONDITIE EN KOPPELINGSTECHNIEK

Alle componenten, zowel de balken als de koppelstukken, zijn voorzien van flenzen met een rond gat. In dit gat past een snelkoppeling.

De flens kan op verschillende manieren aan de balk bevestigd zijn. Dit is een beslissing van de fabrikant. Wel is het aan te raden om de bevestiging zodanig te maken dat de flens in het afvalstadium van de balk gescheiden kan worden voor hergebruikdoeleinden.

De maatvoering van de flenzen is gestandaardiseerd. Dit betekent dat bijvoorbeeld de flensmaten $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $15 \times 15 \text{ cm}^2$, $20 \times 20 \text{ cm}^2$, $25 \times 25 \text{ cm}^2$ of $30 \times 30 \text{ cm}^2$ tot de eerste voorkeur behoren. Ook een rechthoekige flensmaat is mogelijk, bijvoorbeeld $20 \times 40 \text{ cm}^2$ met twee gaten voor twee snelkoppelingen van 20 cm.

De snelkoppeling is om de volgende redenen als los element uitgevoerd en niet als uiteinde van de balkcomponenten:

- Een klein los koppelingselement is eenvoudiger geautomatiseerd te maken dan een groter balkeinde.
- Een snelkoppeling die uit een balkeinde steekt is kwetsbaarder tijdens vervoer dan een flens. De tolerantie van de diameter van de koppeling (en van het gat in de flens) ligt in de orde van grootte van 0,1 mm. Daarom is het verstandiger om de koppeling pas op het laatste moment aan te brengen.
- De snelkoppeling is een mechanisch bewegend onderdeel en zal dus eerder aan vervanging toe zijn dan de balk. Het 'slijtdeel' kan nu eenvoudig vervangen worden.

De snelkoppeling is een verbindingselement dat tussen twee flenzen geplaatst wordt en na bekrachtiging deze twee flenzen doorverbindt (fig 5.16).

De bekrachtiging vindt plaats met behulp van perslucht, het lossen door middel van vacuüm. De snelkoppeling is voorzien van een aansluitventiel. Door toediening van 10 bar perslucht wordt de holgezette eindplaat van de koppeling vlak gedrukt. Deze klemt zich hierdoor vast in het gat van de flens die het einde van de balk vormt. De

plaat blijft in de vlakke vorm ook als de druk weggenomen wordt. De verbinding is nu gesloten.

Door 0,5 bar vacuüm wordt de verbinding weer verbroken. De eindplaat wordt uit de vlakke stand gezogen. In de holle stand wordt de klemming in het flensgat opgeheven.

Er is geen druk nodig om de verbinding gesloten te houden. De perslucht dient alleen voor de bediening van de koppeling en niet om de verbinding in stand te houden.

Perslucht en vacuüm worden opgewekt met een draagbare snoerloze compressor. Deze compressor is voorzien van een drukmeter en van elektronica die aan de hand van het drukverloop kan constateren of de verbinding correct tot stand is gekomen. De compressor signaleert of de verbinding gesloten of geopend is, of er lekkage optreedt, en dergelijke.



Bijlage B

Vlakkvullingssysteem

*ir. R.W. Angenent**

Aan een vlakkvullingssysteem kan een aantal eisen worden gesteld (par. B.1); het in paragraaf B.2 tot en met B.5 uitgewerkte systeem is een voorbeeld van een vlakkvullingssysteem met een constructieve (de-)assembleerbare lijnverbinding en voldoet aan alle eisen. De illustraties zijn – tenzij anders vermeld – afkomstig van Bureau Angenent.

B.1 PROGRAMMA VAN EISEN

Aan lijnvormige (de)assembleerbare verbindingen, zoals bij een vlakkvullingssysteem worden de volgende eisen gesteld:

1. Reversibiliteit
De verbinding moet op eenvoudige wijze meerdere malen gesloten en weer geopend kunnen worden. Losnemen en herv verbinden moet ook na vele jaren van gesloten verbinding nog mogelijk zijn.
2. Standaardisatie
De verbinding dient gestandaardiseerd te zijn. Uitwisseling moet mogelijk zijn.
3. Gereedschapsgebruik
Voor het bevestigen en losnemen mag specialistisch gereedschap (*dedicated tools*) nodig zijn.
4. Bedieningsgemak/vakmanschap
De bediening van de verbinding dient ook voor de niet al te handige doe-het-zelver haalbaar te zijn. Het is niet toegestaan dat er vakmanschap nodig is voor het werken met de verbinding.
5. Fool-proofing
De verbinding dient *fool-proof* te zijn. Wanneer de verbinding fout gemonteerd is, moet dit meteen duidelijk zichtbaar zijn.
6. Verwijderbaarheid
De verbinding moet het mogelijk maken dat elke component verwijderd kan worden, zonder dat eerst andere componenten moeten worden verplaatst of verwijderd.
7. Compensatie vorm- en plaatstolerantie en uitzetting
De verbinding dient te compenseren voor vorm- en plaatstoleranties en uitzetting.

* Roland Angenent is directeur van Bureau Angenent, Quality Assurance Consultancy.

8. Continuïteit

- De verbinding dient een weerstandsmoment te hebben dat in de orde van grootte ligt van die van de componenten die deze verbindt.
- De verbinding dient geen koudebrug te vormen.
- De verbinding dient voor een aantal fysische aspecten eigenschappen te hebben die in de orde van grootte liggen van die van de vlakvullende componenten die deze verbindt. Het gaat hier vooral om dampdichtheid, waterdichtheid, luchtdichtheid, geluidsdichtheid en brandwerendheid.

Voor lijnvormige constructieve verbindingen zijn dan nog enkele aanvullende eisen van kracht:

9. Borging

Verbindingen van constructieve schijven moeten geborgd kunnen worden.

10. Continuïteit

De verbinding dient de krachten te kunnen opvangen, die bij het gebruik van een component als windverband op de verbinding worden uitgeoefend.

B.2 COMPONENTEN VOOR DE VLAKVULLING

Het hier voorgestelde systeem bestaat uit vlakcomponenten die aan de randen met elkaar en met de draagconstructie verbonden worden door middel van tweezijdig aangebrachte strips (fig. B.1 t/m fig. B.3). De strips zijn aan de component verbonden door middel van een klittenband-achtige 'klikverbinding'. In een aantal prototypen is gebruik gemaakt van Dual Lock 'klikband' van 3M. Om de verbindingstrips in het vlak te verzinken, zijn de randen van de componenten iets smaller uitgevoerd dan de componenten zelf. De dikte van de verbinding is gestandaardiseerd op bijvoorbeeld 10, 15, 20 of 25 cm.

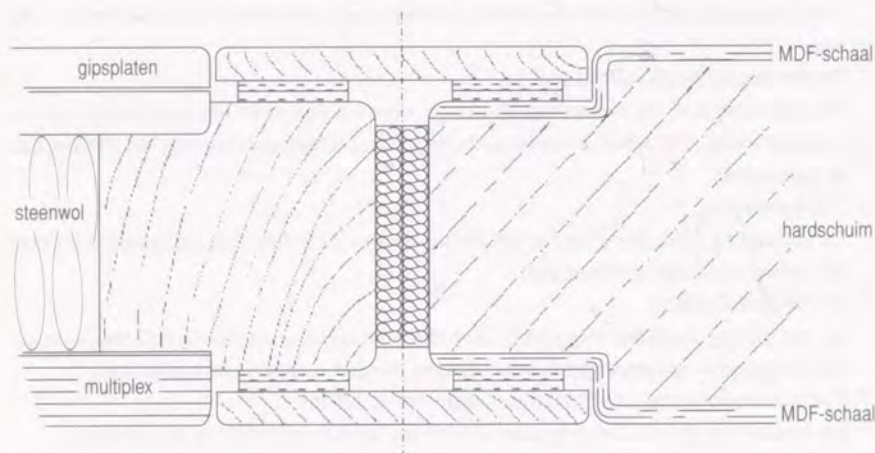


Fig. B.1 Vlakvullende constructie in schematische doorsnede

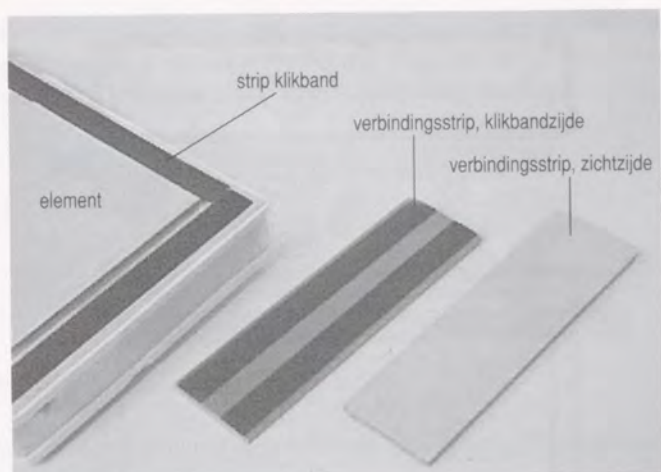


Fig. B.2 Element en verbindingsstrip



Fig. B.3 Twee verbonden elementen

B.3 COMPONENTEN

Componenten kunnen elke soort vlakcomponent zijn, zoals al in de inleiding is genoemd. Het materiaal waarvan de componenten zijn gemaakt, is geheel vrij. Componenten kunnen bijvoorbeeld de volgende opbouw hebben:

- hout-skelettype met gipsplaat, steenwol en multiplex (fig. B.1, linkerplaat);
- honingraat-karton-hardboard sandwich zoals deuren;
- harde steenwolplaat met staalbekleding;
- PS-schuimplaat met MDF-bekleding (fig. B.1, rechterplaat);
- hergebruikt materiaal;
- nieuw te ontwikkelen materialen of composieten.

Een voorbeeld is de 'recycle-component' (fig. B.4) die is gemaakt van afgedankte PUR-gevulde glasvezelversterkte polyesterconstructies, zoals bij boten. De kern is gemaakt van met glasvezel verontreinigde PUR en de schil is gemaakt van een in kunststof matrix gebonden glasvezelpolyester granulaat.

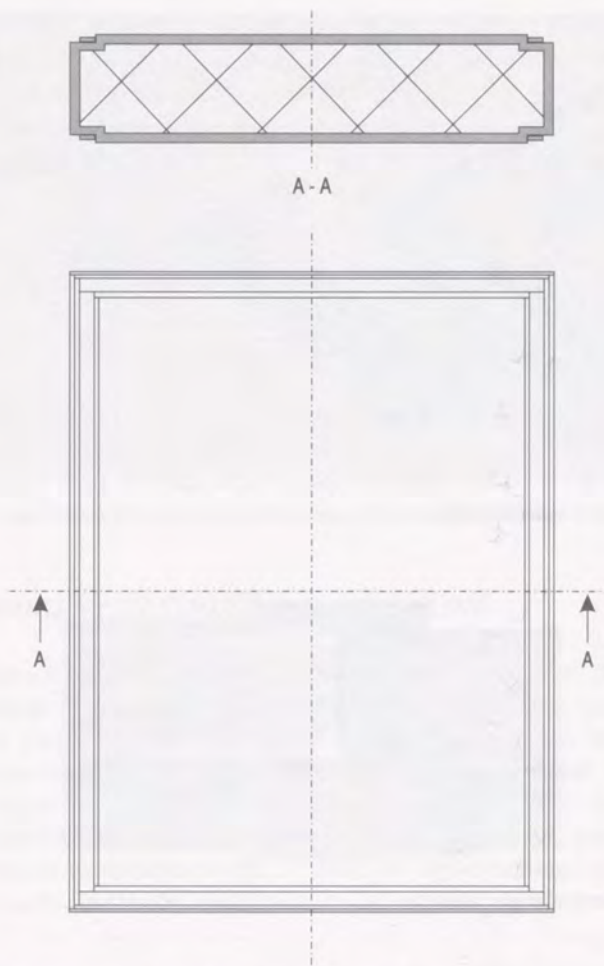


Fig. B.4 Sandwichcomponent uit PUR/glasvezel/polyesterafval

De dikte van de componenten is gestandaardiseerd, omdat de verbinding gestandaardiseerd is. De overige afmetingen van de componenten zouden gestandaardiseerd kunnen worden op hele maten, bijvoorbeeld volgens het maatsysteem van bijlage D of van bijlage F.

B.4 VERBINDING

De verbinding is hier gedacht als een mechanische verbinding, bestaande uit een soort paddestoelvormige uitstulpsels die in elkaar grijpen (fig. B.5). Vorm en materiaal van de uitstulpsels bepalen hoeveel kracht hiervoor nodig is.

Door kracht uit te oefenen worden de twee strips in elkaar gedrukt. Door een tegengestelde kracht kunnen de strips weer uit elkaar genomen worden. De kracht om een strip in zijn geheel tegelijkertijd los te trekken, is op deze manier zeer groot. Alle 'paddestoeltjes' moeten dan tegelijk verbuigen. Dit is de normale belasting tijdens gebruik van het bouwwerk. Vastzetten en losnemen is mogelijk, omdat de

bevestigings- en lostrekkraft geconcentreerd wordt op een klein deel van de verbinding. Vergelijk dit met een ritssluiting waar het openen en sluiten zich ook concentreert in een klein punt dat langs de verbinding beweegt.

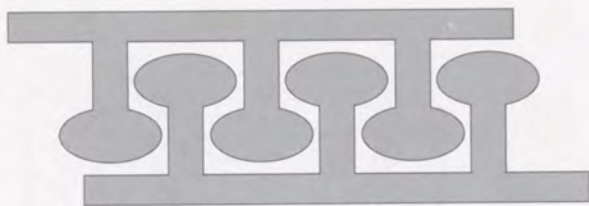


Fig. B.5 Verbindend principe: Dual Lock klikband van 3M

Verbinding van elementen met verschillende dikte is mogelijk met verloopstukken (fig. B.6).

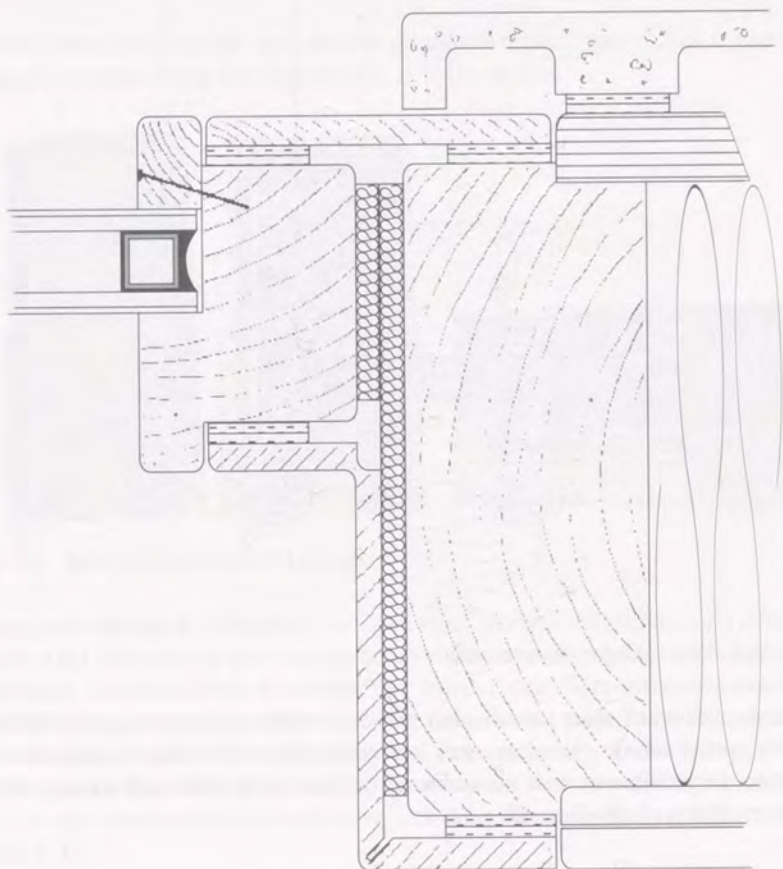


Fig. B.6 Verbinding van twee elementen met verschillende dikte

Deuren en ramen worden op dezelfde manier bevestigd. Om het kozijn vorm te geven is hier een wat dikkere verbindingstrip van hout gekozen. De componenten zijn hier opgebouwd uit een harde steenwolplaat met een stalen bekleding (fig. B.7).

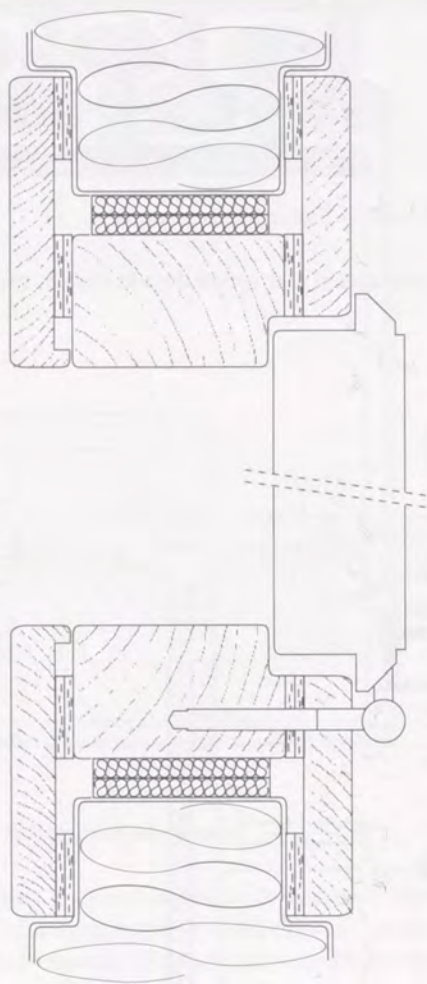


Fig. B.7 Deur met verbindingen (bovenaanzicht)

Een wand, plafond of vloer kan worden verbonden met een u-vormig profiel (fig. B.8). Dit profiel wordt dan echter wel 'onlosmakelijk' met andere componenten verbonden. Eigenlijk wordt de component waaraan het profiel verbonden wordt, aangepast via een nieuwe interface.

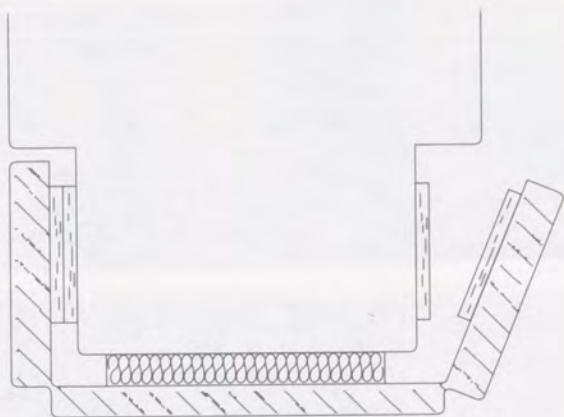


Fig. B.8 Verbinding met een u-vormig profiel

Buitenwandcomponenten kunnen met dezelfde verbindingstechniek bekleed worden, bijvoorbeeld met wandtegels (fig. B.9; fig. B.10).

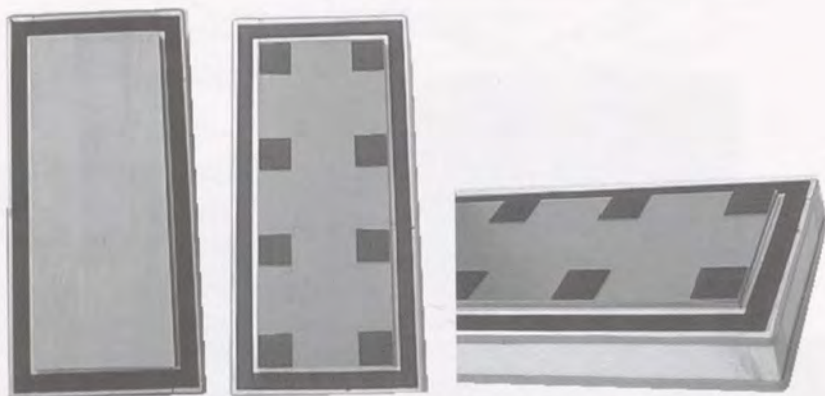


Fig. B.9 Buitenwandcomponent 30 x 60 cm²

De tegels zijn aan de achterkant voorzien van klikverbindingsplaatjes. Deze sluiten aan op het klikband op de componenten van de buitenwand. De tegels worden niet gevoegd. De open voeg is bekend van bijvoorbeeld natuursteenconstructies. In plaats van tegels kunnen natuurlijk ook natuursteen, hout, kunststof of staal als gevelmateriaal gebruikt worden. Ook kan een aansluiting op de regenpijp worden geïntegreerd. De verbinding heeft als voordeel dat het een onzichtbare verbinding is. Er zijn geen schroeven, bouten of iets dergelijks aan de buitenkant zichtbaar (fig. B.11).

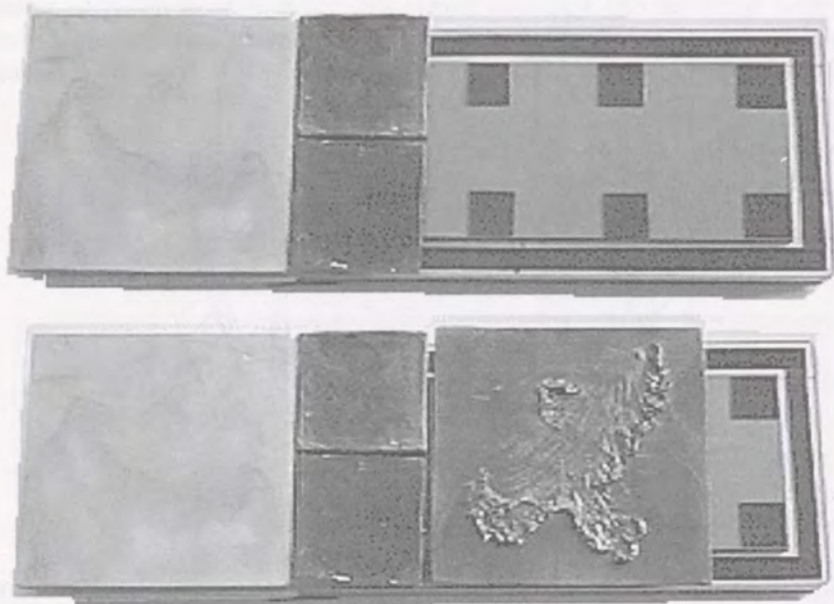


Fig. B.10 Buitenwandcomponent met tegels

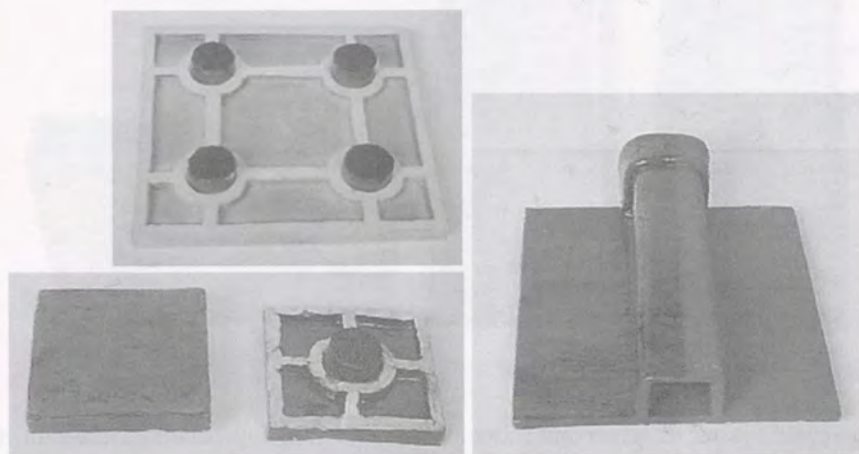


Fig. B.11 Linksboven: vlakke wandtegel $30 \times 30 \text{ cm}^2$. Linksonder: idem $15 \times 15 \text{ cm}^2$. Rechts: tegel met afvoerbuïs voor regenwater

B.5 LEIDINGEN

Bij het uitgewerkte bouwsysteem in paragraaf B.2 is ervan uitgegaan dat leidingen op verschillende manieren doorgevoerd moeten kunnen worden:

- door holle vloeren, plafonds of muren;
- door leidingkoker-elementen in wanden;
- door leidingkoker-elementen op wanden;
- door componenten van een verhoogde vloer;
- door componenten van een verlaagd plafond.

Hiervoor kunnen verschillende componenten worden ontworpen, zoals in de figuren B.12 tot en met B.15. Om het beeld ethisch te vervolmaken, worden op de plaatsen waar geen leidingen (hoeven te) lopen identieke sierplinten geplaatst (fig. B.14; fig. B.15).

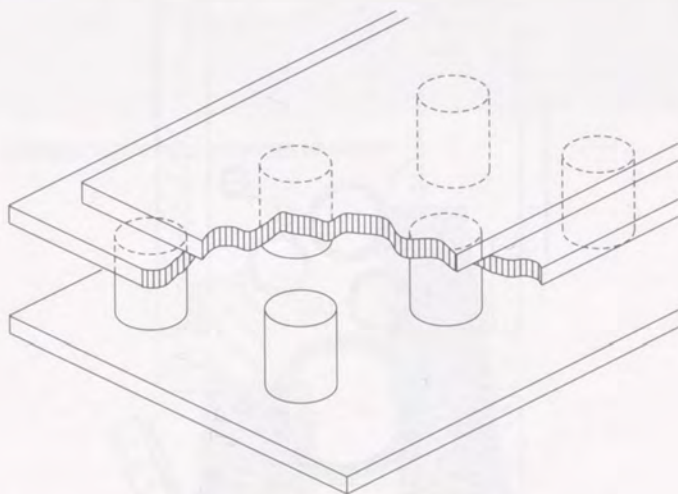


Fig. B.12 Leidingvoerende vlakvullende componenten in wand, vloer of plafond

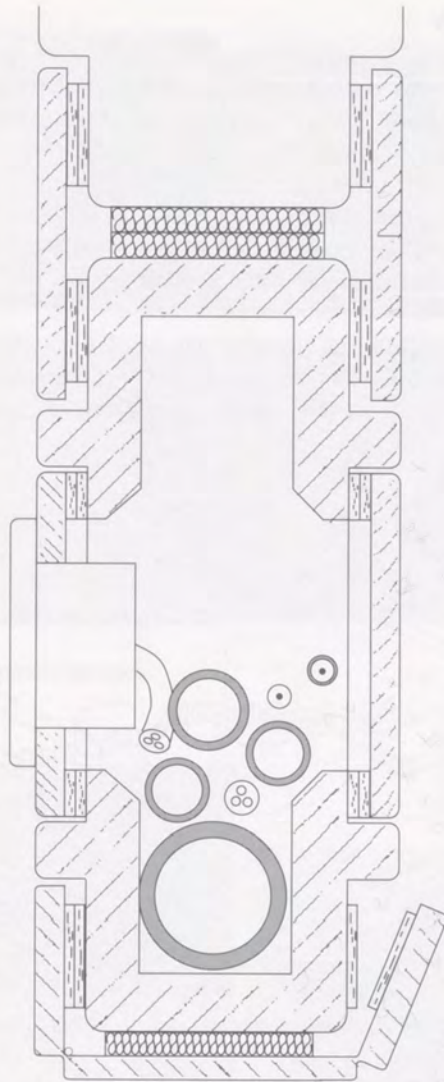


Fig. B.13 Leidingkoker opgenomen in een wand



Fig. B.14 Leidinggoot op de wand, ontworpen als sierplint

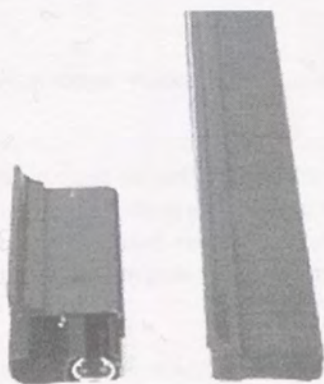


Fig. B.15 Leidingvoerende plint (links) en uiterlijk identieke sierplint (rechts)



Bijlage C

Leidingverbindingen

*ir. R.W. Angenent**

Aan (de-)assembleerbare leidingverbindingen wordt een aantal eisen gesteld (par. C.1). De daarna in paragraaf C.2 tot en met C.7 beschreven bestaande systemen of prototypen voldoen geheel of gedeeltelijk aan deze eisen. De illustraties zijn – tenzij anders vermeld – afkomstig van Bureau Angenent.

C.1 PROGRAMMA VAN EISEN

Aan (de-)assembleerbare leidingverbindingen worden de volgende algemene eisen gesteld:

1. **Reversibiliteit**
De verbinding kan weer losgenomen worden. Dit maakt een dynamische toepassing mogelijk.
2. **Bedieningsgemak**
Bij assemblage wordt ervan uitgegaan dat verbindingen vele malen geopend en gesloten worden. De verbindingen moeten uitnodigen tot bediening. Er moeten weinig barrières zijn, zoals benodigd gereedschap, vereiste kennis en ervaring, benodigde kracht. Bij voorkeur kan een verbinding geopend en gesloten worden door een leek zonder gebruik te maken van gereedschap.
3. **Fool-proofing**
De verbinding kan slechts op één manier, de juiste, worden gemaakt. Dit is nodig, omdat de verbinding door leken (= niet-technisch deskundigen) tot stand zal worden gebracht. De verbindingstechniek moet intrinsiek veilig zijn.
4. **Standaardisatie**
De detaillering van de verbinding is gestandaardiseerd. Dit is nodig om de componenten na loskoppeling weer op een andere component te kunnen aansluiten.
5. **Compensatie vorm- en plaatstolerantie en uitzetting**
Waar niet wordt uitgegaan van slangen en snoeren en dergelijke kan het nodig zijn dat de verbinding vorm- en plaatstoleranties en uitzetting of krimp kan opvangen. Het is echter ook mogelijk deze functie in de componenten zelf of in speciale componenten onder te brengen.
6. **Continuïteit**
De essentiële eigenschappen van de verbinding moeten een kwaliteit hebben die in dezelfde orde van grootte ligt als die van de componenten die erdoor verbonden worden.

* Roland Angenent is directeur van Bureau Angenent, Quality Assurance Consultancy.

Dit betekent dat de verbinding even (lucht-, damp-, water-, geluid-)dicht, sterk en geleidend is als de componenten.

7. Individuele verwijderbaarheid van componenten

De verbinding moet het mogelijk maken een enkele component uit een installatie te verwijderen zonder dat eerst vele andere componenten verwijderd of verplaatst moeten worden. Voor flexibele componenten is aan deze eis veelal al voldaan.

C.2 ELEKTRICITEIT

De bestaande stekker en contactdoos voldoen aan de eisen. Er komen steeds meer elektrische apparaten op de markt die vroeger ingebouwd moesten worden in het leidingsysteem en die nu via de bestaande stekker tussengeschakeld worden. Deze apparaten, die volgens het *plug and play*-principe werken, zijn goede voorbeelden van het toekomstige elektriciteitssysteem. Ze zijn in elke bouwmarkt te koop (fig. C.1).



Fig. C.1 *Plug and play*-schemerschakelaar en kWh-meter (Power monitor, Conrad)

Momenteel zijn het lasdopje, het lasblokje en de schroefverbinding standaardverbindingen in elektrische leidingsystemen. Deze kunnen allemaal vervangen worden door stekkerverbindingen die aan de gestelde eisen voldoen. Te beginnen in de meterkast, kan de inkomende kabel van het nutsbedrijf via een stekker aan de hoofdzekering verbonden worden, deze weer via een stekker aan de kWh-meter, de kWh-meter in het zekeringenbord, en van daaruit gaan snoeren met stekkers naar de verbruikspunten. Wieland Bamberg levert onder andere de hiervoor ontwikkelde stekkers (fig. C.2 t/m fig. C.9).

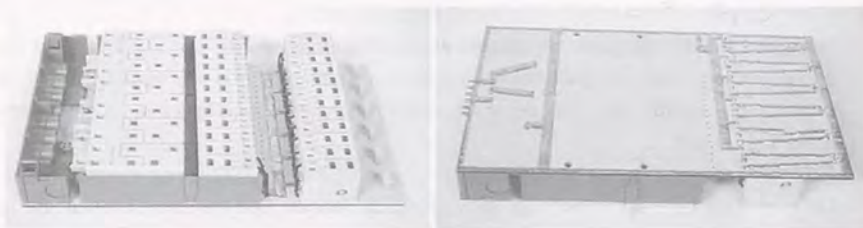


Fig. C.2 'Moederbord' voor een elektriciteitsinstallatie

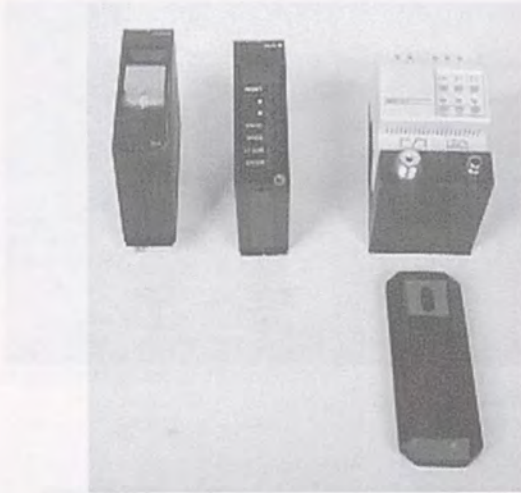


Fig. C.3 Automatische veiligheden, zenderbediende schakelaar en afstandsbediening zijn alle inplugbaar

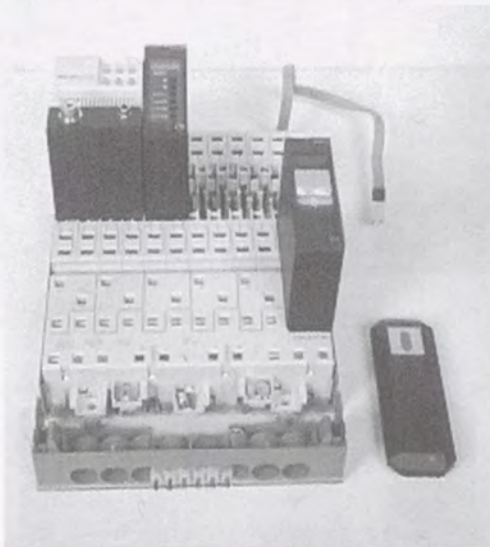


Fig. C.4 'Moederbord' voor een elektriciteitsinstallatie. Veiligheden en zenderbediende schakelaars zijn ingeplugd

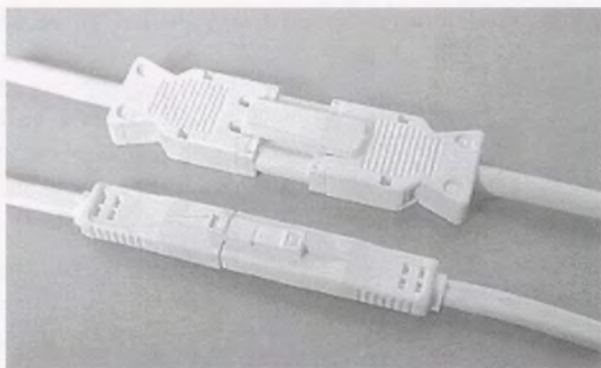


Fig. C.5 Stekker ST-18 (Wieland Bamberg)

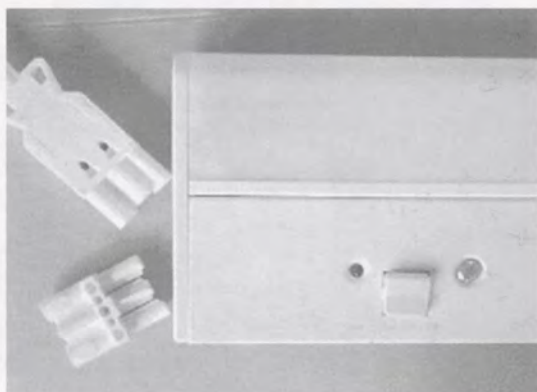


Fig. C.6 TL-balk met ST-18 aansluiting (Massive), te koop in elke bouwmarkt

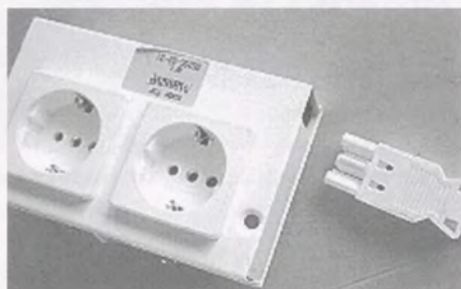


Fig. C.7 Wandcontactdoos met ST-18 aansluiting (Massive)



Fig. C.8 Naderingsschakelaar met ST-18 aansluitingen

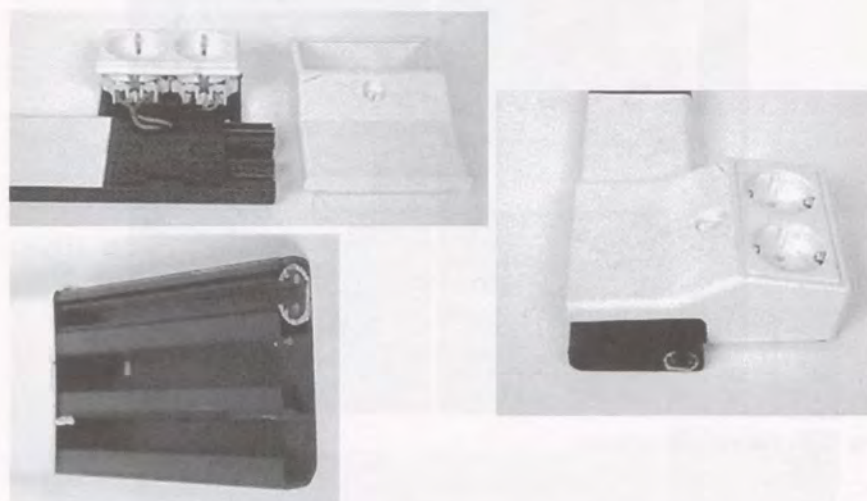


Fig. C.9 Plint met spanningsrail. Contactdoos erop klikken en deze is meteen aangesloten

C.3 GAS

Gasinstallaties kunnen geheel met slangen uitgevoerd worden. De nieuw te ontwerpen gasslang dient uiteraard aan alle veiligheidseisen te voldoen. Gaskoppelingen met ingebouwde gasstop bestaan reeds en worden experimenteel toegepast (fig. C.10). Deze dienen echter op alle plaatsen in de gasinstallatie toegepast te worden, dus ook voor de aansluiting van de gasmeter, de cv-ketel, de geiser en de verbinding van leidingen onderling.

C.4 CENTRALE ANTENNE-INRICHTING (CAI)

Ook hier kunnen alle nu nog geschroefde verbindingen vervangen worden door stekkers (fig. C.11).



Fig. C.10 Gasstopcontact (met dank aan ir. D.H. Recter, GGR Gas)

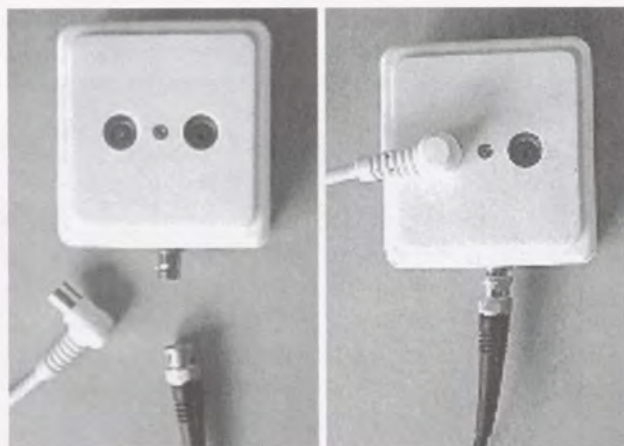


Fig. C.11 CAI-doos met connector

C.5 WATER

Voor de tuinslang is er al een de facto-standaard ontstaan voor de koppeling. Dit is de bekende Gardena kunststofsnelkoppeling die te koop is in een bouwmarkt of tuincentrum (fig. C.12). Deze koppeling is er ook met een waterstop, zodat de verbinding verbroken kan worden zonder dat er water verloren gaat. Allerlei waterverbruikende apparaten worden met deze koppeling uitgerust, ook ander tuingereedschap, zoals bijvoorbeeld hogedrukreinigers.

In het buitenland zijn diverse waterleidingsystemen te koop die gebruik maken van snelkoppelingen (fig. C.13; fig. C.14). Ze voldoen deels aan de eisen van paragraaf C.1.

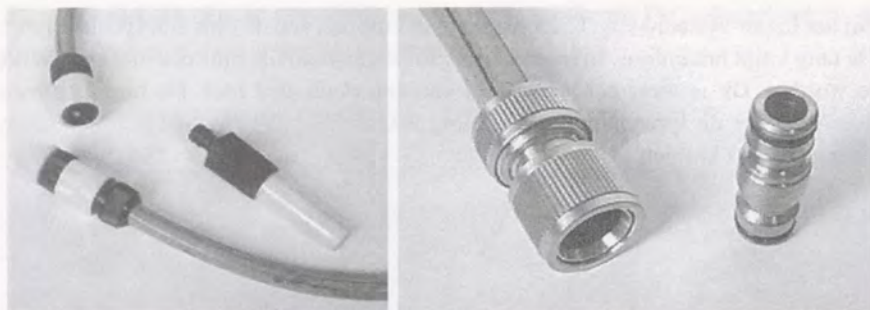


Fig. C.12 Gardena snelkoppeling in kunststof links en in koper rechts



Fig. C.13 Belgisch waterleidingsysteem met slangen en knelverbindingen. Dit systeem vereist nog het gebruik van een sleutel of waterpomptang

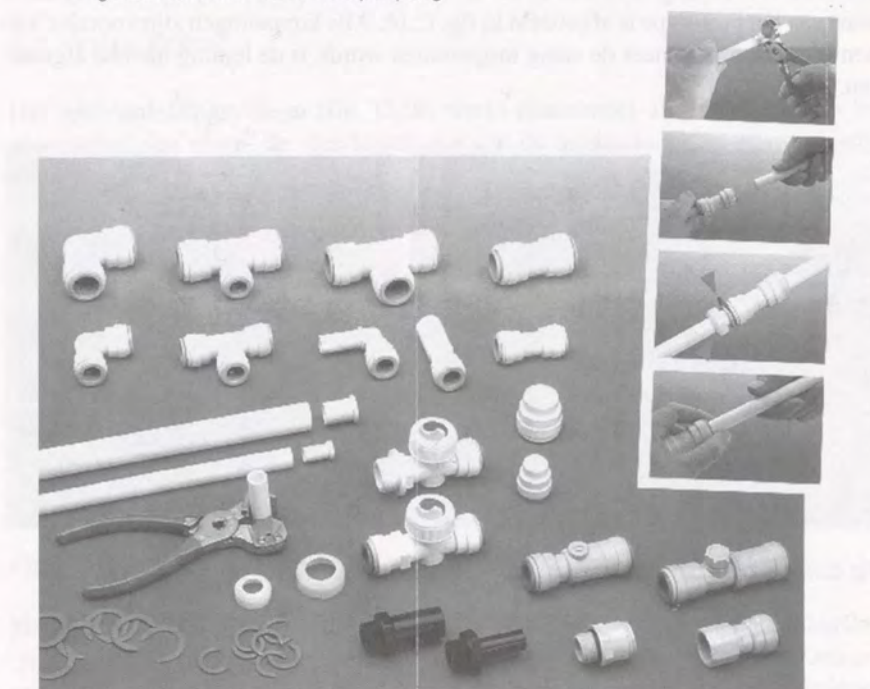


Fig. C.14 In Duitsland verkocht waterleidingsysteem met slangen en schuifverbindingen. Het vereist geen enkel gereedschap voor het maken van de verbinding

Bron: Estair

Bij het Estair-systeem (fig. C.15) vereist het knippen van de buis een speciale tang. De tang knipt braamloos. In tegenstelling tot zagen hoeft de buis dus niet afgewerkt te worden. Dit is weer een voorbeeld van een *dedicated tool*. De tang is alleen geschikt voor dit type buis. De handeling is uiterst simpel en door iedereen uit te voeren: alleen knijpen.

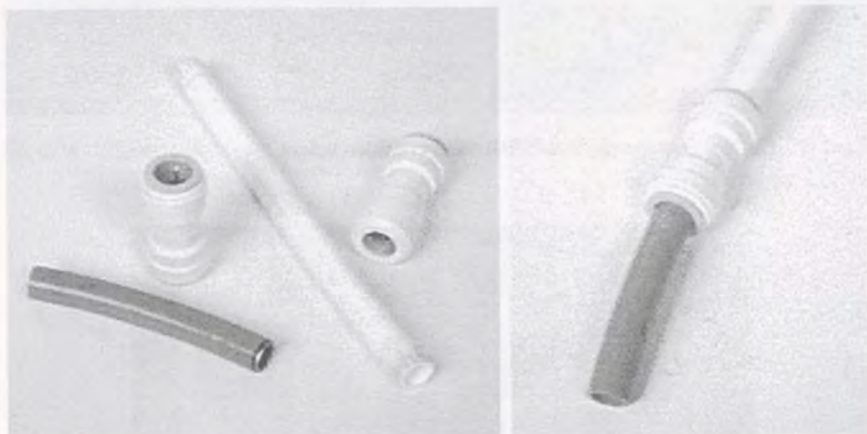


Fig. C.15 Zowel buis als slang kunnen verbonden worden met het Estair-systeem

Een voorbeeld dat geheel aan de eisen voldoet is het *plug and play*-watersysteem waarvan het prototype is afgebeeld in fig. C.16. Alle koppelingen zijn voorzien van een waterstop. Wanneer de slang losgenomen wordt, is de leiding meteen afgesloten.

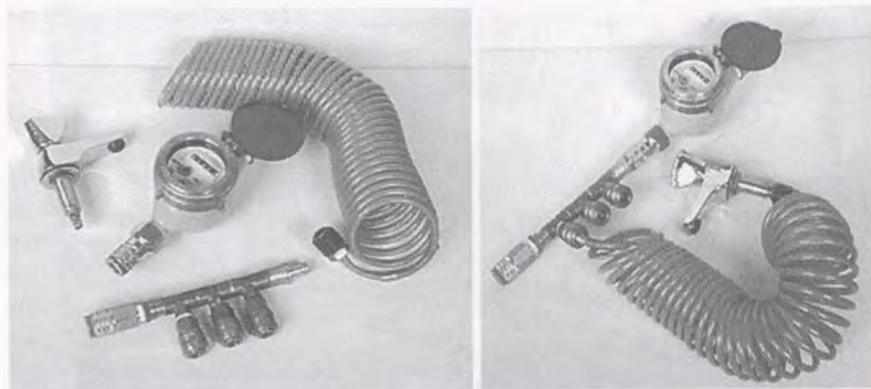


Fig. C.16 Plug and play-watersysteem maakt gebruik van snelkoppelingen zoals bij perslucht. Er zijn geen kranen meer nodig

C.6 CENTRALE VERWARMING

Cv-installaties worden al vaak met slangen uitgevoerd. De verbinding tussen radiator en slang is echter een knelverbinding. In Japan is reeds een stekker-verbinding

ding ontwikkeld (fig. C.17). Deze stekker is zelfsluitend. De radiator kan in de zomer afgekoppeld en opgeslagen worden.

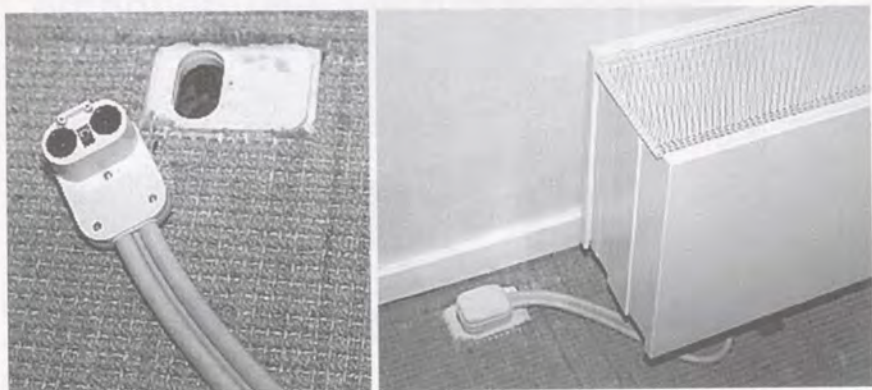


Fig. C.17 Plug and play-systeem voor de cv maakt gebruik van zelfsluitende stekker en contactdoos
Bron: Flat van de Toekomst, Eindhoven

Niet alleen radiatoren kunnen op deze manier aangesloten worden. Ook de verbindingen met de cv-ketel, verdelers, T-stukken, regelapparatuur en dergelijke kunnen voorzien worden van dergelijke snelkoppelingen.

C.7 TELEFOON

Het telefoonleidingsysteem (fig. C.18) werkt momenteel al geheel volgens het programma van eisen. De standaardisatie van de modulairstekker is wereldwijd uitgevoerd.



Fig. C.18 Plug and play-systeem voor de telefoon met modulaire stekker (elke bouwmarkt)

Het monteren van de stekker gebeurt met een *dedicated tool*. Met de modulairtang (fig. C.19) kan maar één ding gedaan worden, namelijk de modulairstekker aan een snoer vastmaken. Maar dit gebeurt wel zeer efficiënt en gemakkelijk. Voor strippen en verbinden hoeft alleen maar geknepen te worden. Hiermee ontstaat een hoogwaardige verbinding met trekontlasting. Alle technologie zit in de modulairstekker

en in de tang. Dit is 'de-skilling' van de verbindingstechniek op zijn best. De telefoonmonteur zien wij dan ook niet meer in onze woning verschijnen.

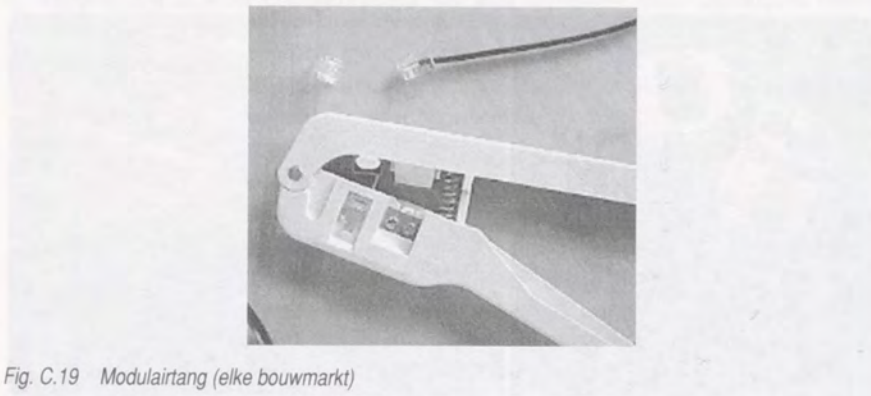


Fig. C.19 Modulairtang (elke bouwmarkt)



Bijlage D

Componenten en een maatsysteem

*ir. R.W. Angenent**

Om componenten gemakkelijk te kunnen assembleren moeten ze aan een aantal eisen voldoen. Deze eisen worden uitgewerkt in paragraaf D.1. Een van de eisen gaat over de standaardisatie van maten. Ook aan maatsystemen kunnen eisen worden gesteld (par. D.2). Het hier uitgewerkte maatsysteem, het door Bureau Angenent ontworpen 'Systeem A', voldoet aan deze eisen. Systeem A is een maatsysteem dat de plaats van de (potentiële) deellijnen van de constructie specificiert. De afstand tussen deellijnen wordt uitgedrukt in een aantal malen de moduulmaat. De moduul is echter niet steeds gelijk; hij neemt toe met de maat van het bouwdeel. Hierdoor ontstaat een fractaal karakter (par. D.3). Systeem A gaat uit van voorkeursmaten en kent series van eerste en tweede voorkeursmaten (par. D.4). Het maatsysteem gaat ervan uit dat de voegen in de constructie worden gebruikt voor het compenseren van vorm- en plaatstoleranties, uitzetting en krimp. De maat van de voegbreedte is daarom een onderdeel van het maatsysteem.

D.1 PROGRAMMA VAN EISEN VOOR (DE-ASSEMBLEERBARE) COMPONENTEN

1. Standaardisatie van maten
Om dynamisch te kunnen zijn moeten componenten uit een bouwwerk verwijderd kunnen worden en elders in het bouwwerk of in een totaal ander bouwwerk toegepast kunnen worden.
Voorbeelden van systemen met uitwisselbare componenten zijn Lego, Lundia en Meccano.
2. Standaardisatie van de koppeling
Reconstrueren dan wel veranderen van een bouwwerk betekent het loskoppelen van een component en de component elders weer aankoppelen (deconstrueren en vervolgens construeren). Om aankoppelen mogelijk te maken dient het uiteinde van de component aan bepaalde voorwaarden te voldoen die hechting aan een andere component mogelijk maken. Voor verschillende soorten componenten is een verschillende koppeling nodig.
3. Directe bruikbaarheid (*plug and play*)
Een component is na plaatsing en montage direct bruikbaar. Er zijn geen aanvullende handelingen nodig, zoals schilderen, afstellen, inregelen.

* Roland Angenent is directeur van Bureau Angenent, Quality Assurance Consultancy.

4. Samenhangende vormgeving

De componenten van een systeem dienen zodanig te zijn dat zij een gebouw opleveren waarin een samenhang zichtbaar is. Verschillende stijlseries zijn uiteraard mogelijk.

5. Geautomatiseerd te fabriceren

De voorgestelde componenten zullen complexer zijn en of aan hogere maatspecificaties voldoen dan de gebruikelijke bouwmaterialen. Om de kosten te beperken dienen ze met serieproductietechnieken gemaakt te kunnen worden.

6. Op specificatie te fabriceren

Een gebouw dat slechts uit standaardcomponenten bestaat zou mechanisch en steriel kunnen worden. Daarom dient het altijd (ook financieel) mogelijk te zijn *specials* te maken, die uiteraard met een standaardinterface aansluiten op de bestaande standaardcomponenten. Een gebouw dat voor een groot deel bestaat uit standaardcomponenten kan door enkele speciaal ontworpen componenten toch een heel persoonlijk karakter krijgen.

D.2 PROGRAMMA VAN EISEN VOOR EEN MAATSYSTEEM

De volgende eisen kunnen worden gesteld aan een maatsysteem:

1. Uitwisselbaarheid

Het maatsysteem maakt uitwisselbaarheid van componenten mogelijk.

2. Beperking toegelaten maten

Het maatsysteem beperkt het aantal mogelijke maten.

3. Vrijheid van vormgeving

Het maatsysteem maakt het mogelijk binnen acceptabele marges te voldoen aan de behoeften van ontwerper, bouwer, eigenaar en gebruiker. Het maatsysteem vormt geen keurslijf voor de vormgeving.

D.3 FRACTAAL-MODULAIR KARAKTER

Bij een systeem met een fractaal-modulair karakter gaat het om een systeem waarbij de grootte van de moduul een functie is van de afmeting. Grote afmetingen hebben een grote moduul en kleine afmetingen een kleine moduul. De kleinste afmeting in het maatsysteem is de dikte van de verbinding (voegbreedte). De grootste maat is de te verwachten grootste afmeting van een woning, hier gesteld op circa 24 m.

Wat betreft de hoekmaten geldt hetzelfde. Er zijn ook modulen voor de hoek. Deze zijn 15° en 5°.

Ter vergelijking: een ander bekend en algemeen geaccepteerd moduulsysteem met een oplopende moduulmaat is het metrisch maatsysteem voor de schoefdraad. Hierin kennen we de moduul van 1 mm voor M3, M4, M5, M6. Daarna gaan we over naar de moduul van 2 mm voor M8, M10, M12. Omdat de sterkte van de bout toeneemt met het kwadraat van de diameter, neemt ook de moduul kwadratisch toe. Daarom volgt op de moduul van 2 mm de moduul van 4 mm voor M16, M20, M24, enzovoorts.

D.4 VOORKEURSKARAKTER

De term 'voorkeur' geeft aan dat er sprake is van een bepaalde voorkeur voor een maat. Het maatsysteem maakt gebruik van een eerste en een tweede voorkeur voor een bepaalde moduul (tabel D.1). De eerste voorkeur levert een maatserie courante maten op (tabel D.2). Deze maten kunnen in voorraad gehouden worden. De tweede voorkeur levert maten op die minder courant zullen zijn, maar wel toegestaan. Deze maten zullen op specificatie geproduceerd worden. Ook dit zien we terug bij het maatsysteem voor de schroefdraad.

Afmetingengebied [mm]	Moduulmaat 1 ^e voorkeur [mm]	Moduulmaat 2 ^e voorkeur [mm]
12,5 - 50		12,5
50 - 100	25	12,5
100 - 300	50	25
300 - 900	100	50
900 - 2700	300	100
2700 - 8100	900	300
8100 - 24300	2700	900

Tabel D.1 Moduulmaten

Uit de voorkeursmoduulmaten ontstaan series van eerste en tweede voorkeursmaten (tabel D.3).

Moduul [mm]	Maat [mm]	Moduul [mm]	Maat [mm]	Moduul [mm]	Maat [mm]	
12,5	12,5	300	600	2700	5400	
	25		700		6300	
	37,5		800		7200	
25	50		900		8100	
	75		1200		10800	
	50		100		1500	13500
			150		1800	16200
100	200		2100		18900	
	250		2400		21600	
	900		300		2700	24300
		400	3600			
		500	4500			

Tabel D.2 Maatseries van de eerste voorkeur in Systeem A

Moduul [mm]	1 ^o voorkeursmaat [mm]	2 ^o voorkeursmaat [mm]	Moduul [mm]	1 ^o voorkeursmaat [mm]	2 ^o voorkeursmaat [mm]
12,5	12,5		900/300	2700	3000
	25				3300
	37,5			3600	3900
25/12,5	50	62,5			4200
	75	87,5		4500	4800
50/25	100	125			5100
	150	175		5400	5700
	200	225			6000
	250	275		6300	6600
100/50	300	350			6900
	400	450		7200	7500
	500	550			7800
	600	650	2700/900	8100	9000
	700	750			9900
	800	850		10800	11700
	900	1000			12600
300/100		1100		13500	14400
	1200	1300			15300
		1400		16200	17100
	1500	1600			18000
		1700		18900	19800
	1800	1900			20700
		2000		21600	22500
	2100	2200			23400
		2300		24300	
	2400	2500			
	2600				

Tabel D.3 Maatseries van de eerste en tweede voorkeur in Systeem A

Hoeken 1 ^e voorkeur (°)	Hoeken 2 ^e voorkeur (°)	Hoeken 1 ^e voorkeur (°)	Hoeken 2 ^e voorkeur (°)
	5		55
	10	60	65
15	20		70
	25	75	80
30	35		85
	40	90	
45	50		

Tabel D.4 Hoekseries Systeem A

De hoeken in de andere drie kwadranten (90° – 360°) worden op dezelfde manier ingedeeld.

D.5 DEELLIJNEN

Bij een montagesysteem neemt de verbinding de belangrijkste plaats in. De verbinding wordt gestandaardiseerd, de component niet. Om deze reden geeft het maatstelsysteem de plaats van de verbindingen – de potentiële deellijnen – aan en niet de afmetingen van de component. Een maat in systeem A wordt aangegeven als bijvoorbeeld A100, A300, A900. Dit betekent dat de afstand tussen de deellijnen 100, 300 en 900 mm bedraagt. De werkelijke afmeting van de component is kleiner dan de A-maat (fig. D.1).

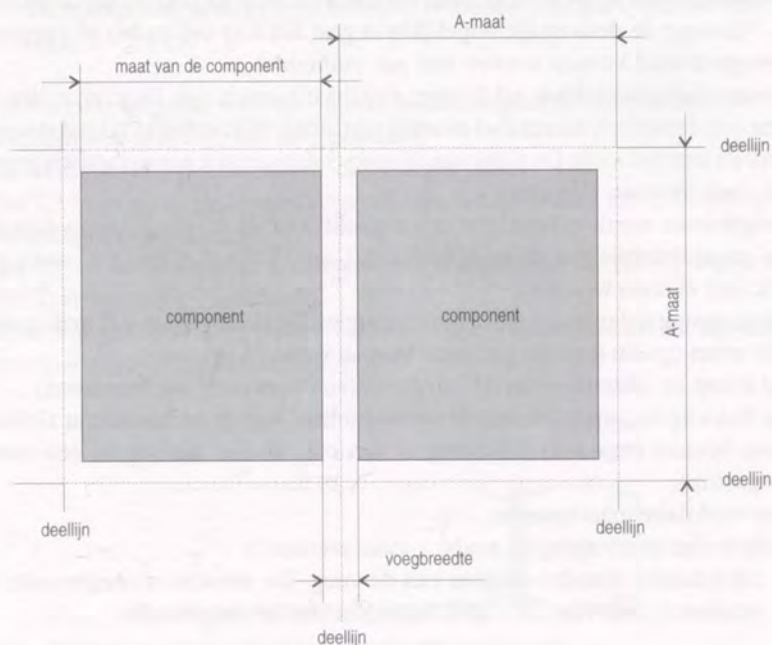


Fig. D.1 Maatvoering bij Systeem A

D.6 TOLERANTIE

Een maat voorschrijven heeft geen zin wanneer niet een uitspraak gedaan wordt over de tolerantie van die maat. Een component moet worden gemaakt en daarbij is het niet mogelijk een absolute maat te produceren. We spreken hier in eerste instantie over vormtolerantie.

Overwegingen bij het bepalen van de vormtolerantie zijn:

- De vorm- en de plaatstolerantie en de uitzetting of krimp moeten samen niet groter zijn dan de voegbreedte. De optelling van deze drie maatverschillen dient namelijk in de voeg gecompenseerd te kunnen worden.
- De tolerantie moet voor alle maten gelijk zijn. Het is een absolute tolerantie (2 mm) en niet een relatieve tolerantie (2%). Dit is nodig omdat alle maatverschillen in dezelfde gestandaardiseerde voegbreedte gecompenseerd moeten worden.
- De tolerantie moet technisch haalbaar (produceerbaar) zijn voor verschillende soorten productiewijzen en materialen. Dit maatsysteem is als universeel maatsysteem voor de bouw bedoeld en dus van toepassing op constructies in bijvoorbeeld beton, hout, staal, glas en kunststof.

De laatste eis is het meest dwingend. Als compromis tussen verschillende productietechnieken is voorlopig gekozen voor een vormtolerantie van circa 2 mm.

D.7 VOEGBREEDTE

Een verbinding zal in de praktijk geen dikte nul hebben. Er is altijd een naad of een voeg. Vanwege de demontagemogelijkheid gaat het hier om naden of voegen die niet weggesmeerd kunnen worden met een vulmiddel.

Voor oppervlaktematerialen zal de voeg zichtbaar kunnen zijn. Daarom zullen deze voegen ook esthetisch acceptabel moeten zijn, zoals bijvoorbeeld bij baksteenmet-selwerk en tegelzetwerk. De maat van de voeg is daarom ook een esthetisch gegeven (naast vorm, textuur, kleur, enz.).

De voegbreedte wordt in het algemeen bepaald door de volgende overwegingen:

- De maattolerantie van de componenten. Componenten zullen niet exact gefabriceerd kunnen worden.
- De plaatsingstolerantie van de componenten. Een component zal in de praktijk niet exact op een deellijn geplaatst kunnen worden.
- De krimp en uitzetting van de componenten (thermisch, vochtopname).
- De benodigde constructiebreedte voor dat deel van de verbinder dat zich in de voeg bevindt (bijv. een afdichting of een constructief deel, zoals een versterkingsstrip).
- Het modulaire maatsysteem.
- Esthetische overwegingen, zoals:
 - De relatieve breedtevariëaties van de voeg. De variatie in voegbreedte mag maximaal ongeveer 20 – 25% bedragen van de voegbreedte.

- De verhouding van de maat van het omsloten vlak tot de voegbreedte. Het oppervlak van het omsloten vlak moet in de orde van grootte zijn van het aanliggende voegoppervlak.

De voegmaat moet afgetrokken worden van de maat van de component om de werkelijke dimensie van de component te krijgen. Het is daarom van belang om voor het gehele bouwwerk één en dezelfde voegmaat te kiezen. Wanneer een 'grote' en een 'kleine' voeg naast elkaar bestaan, zijn er ook twee werkelijke afmetingen voor elke modulaire afmeting en dus voor elke component.

Voor de voegmaat van Systeem A is 12,5 mm gekozen met als argumenten:

- Het is de kleinste moduulmaat van het maatsysteem.
- Deze voegmaat geeft voldoende ruimte aan:
 - de vormtolerantie van de component: circa 2 mm;
 - de plaatsingstolerantie van de component: circa 2 mm;
- De thermische uitzetting/krimp van een in de praktijk te verwachten grote component. Hiervoor is gedacht aan een verdiepingsvloerplaat met een overspanning van 6 meter, een thermische uitzettingscoëfficiënt van circa $10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ en een temperatuurverschil van 60 K: 3,6 mm. Wanneer de component bij 20 °C is geproduceerd, is de component bij 50 °C 1,8 mm langer en bij -10 °C 1,8 mm korter. De uitzettingscoëfficiënten: beton: $10 - 12 [10^{-6}/\text{K}]$, staal: 11,7, hout: 3 - 5.
- De uitzetting of krimp ten gevolge van vochtopname bij houten constructies voor een grote component. Hiervoor is gedacht aan een houten balkvoerende component met een overspanning van 7,5 meter en een uitzetting of krimp in de vezelrichting van 0,4%. De totale krimp of uitzetting is dan 3 mm.
- De ruimte voor afdichtingsmiddelen, verbindingstrips, verstijvers en dergelijke: 2 - 5 mm.

Het *worst case* scenario voor een houten bouwcomponent is bijvoorbeeld:

1. De component is 2 mm te lang gemaakt.
2. De component is 2 mm over de deellijn geplaatst.
3. De 7,5 m lange droge houten component neemt vocht op, zet 0,4% uit en wordt daardoor 3 mm langer.
4. De 7,5 m lange houten component is geproduceerd bij 20 °C, warmt op tot 50 °C en zet dus 1,1 mm uit.
5. In de voeg zit een oplegprofiel van 4 mm dik constructiestaal dat bijvoorbeeld een vloer verbindt met een balk (fig. D.2).

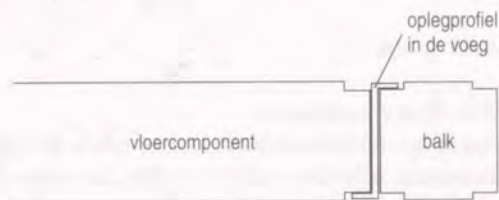


Fig. D.2 Stalen oplegprofiel in een voeg verbindt een vloer met een balk

Hierdoor wordt in het ergste geval dus 12,1 mm van de voeg van 12,5 mm in beslag genomen. De punten 1, 2 en 5 moeten bij het sluiten van de verbinding gecompenseerd worden. Dit is een statische compensatie. De punten 3 en 4 (totaal 4,1 mm) moeten tijdens het gebruik steeds opnieuw gecompenseerd worden. Het gebouw wordt namelijk steeds opgewarmd, afgekoeld, vochtig, droog. Dit is een dynamische compensatie (dilatatatie) die door de verbinding opgenomen moet worden.

D.8 VOORBEELDEN

Een paar voorbeelden van maatvoering: een balkdoorsnede (fig. D.3) en een wandcomponent.

▷ Voorbeeld 1: Balkdoorsnede

Voor de doorsnede van een balk wordt de modulmaat vierkant A300 gekozen. De maatvoering wordt als volgt aangegeven: balk met doorsnede A300 × A300. De maat is gebaseerd op een afstand tussen de deellijnen van 300 mm. Omdat de voeg 12,5 mm bedraagt, moet rondom de balkdoorsnede 6,25 mm vrij gehouden worden voor de verbinding. De streefmaat van de balk is dan $287,5 \times 287,5 \text{ mm}^2$.

Door de tolerantie van circa 2 mm kunnen de werkelijke doorsnedematen hiervan afwijken. Ook hoeft de doorsnede niet precies rechte hoeken te hebben. De maten moeten binnen de twee vierkanten (tolerantiegrenzen) $285,5 \times 285,5 \text{ mm}^2$ en $289,5 \times 289,5 \text{ mm}^2$ blijven.

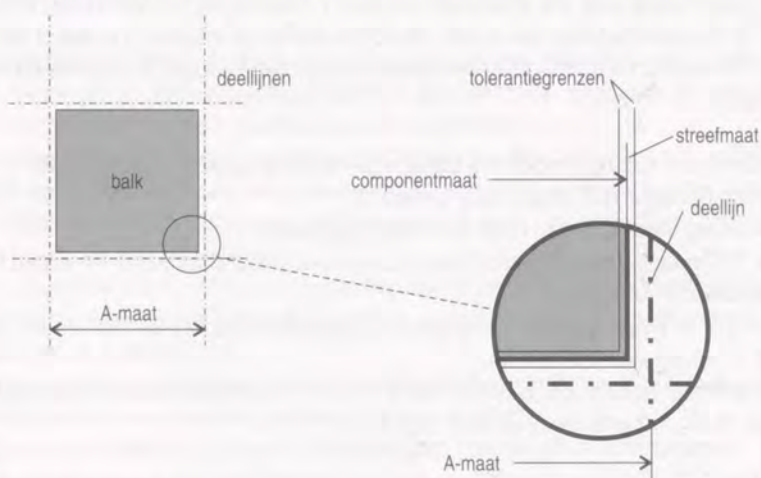


Fig. D.3 Maatvoering balkdoorsnede

▷ Voorbeeld 2: Wandcomponent

Een verdiepingshoge buitenwandcomponent heeft in systeem A de eerste voorkeursmaat A2400 × A800 × A200. De maat 2400 mm is gebaseerd op de modul 300 mm. De maat 800 mm is op de modul 100 mm gebaseerd. De maat 200 mm valt in het gebied van de 50 mm modul.

De voegmaat bedraagt 12,5 mm. Dit betekent dat de streefmaten van de component zelf $2387,5 \times 787,5 \times 187,5 \text{ mm}^3$ zijn. Door de tolerantie van circa 2 mm mogen de werkelijke afmetingen van de component bijvoorbeeld $2398 \times 789 \times 189 \text{ mm}^3$ zijn.



Bijlage E

Verbindingen en materialen

Nr.	Techniek	Materiaal	Aspecten
1.	Metselen	Specie	Geen montagetechniek, vakmanschap nodig, uithardingstijd, geen demontage mogelijk zonder beschadiging van de component
2.	Spijkeren	Spijker	Droge techniek, te automatiseren, beperkt demontabel, beschadiging van de component, gereedschap nodig
3.	Nieten	Niet	Droge techniek, te automatiseren, beperkt demontabel, beschadiging van de component bij demontage, gereedschap nodig
4.	Schroeven	Schroef	Droge techniek, te automatiseren, beperkt demontabel, beperkte beschadiging van de component bij demontage (gaatjes), gereedschap nodig
5.	Bouten	Bout	Droge techniek, te automatiseren, goed demontabel, geen beschadiging van de component bij demontage, gereedschap nodig
6.	Opleggen	Slab, rubber	Droge techniek, eenvoudig, geen gereedschap nodig, geen fixatie (behalve zwaartekracht)
7.	Lijmen	Lijm	Uithardingstijd, geen demontage mogelijk zonder beschadiging van de component
8.	Klikken, snappen, klemmen	Kliksluiting, snapsluiting, klem	Droge techniek, geen gereedschap nodig, eenvoudig, goed demontabel
9.	Pen-gat of veer-groef verbinden	Materiaal component	Droge techniek, geen gereedschap nodig, eenvoudig, in sommige gevallen beperkte fixatie, goed demontabel
10.	Vervormen	Popnagel, klinknagel	Droge techniek, <i>dedicated tool</i> , beperkt demontabel, laat gaten achter in de component

Tabel E.1 (1^e deel) Bestaande verbindingsmogelijkheden

<i>Nr. Techniek</i>	<i>Materiaal</i>	<i>Aspecten</i>
11. Knellen	Knelkoppeling	Droge techniek, eenvoudig, demontage mogelijk zonder beschadiging van de component (buis), beperkt herbruikbaar
12. Lassen	Lasmateriaal, materiaal component	Geen montagetechniek, vakmanschap nodig, geen demontage mogelijk zonder beschadiging van de component
13. Solderen	Soldeer	Geen montagetechniek, vakmanschap nodig, geen demontage mogelijk zonder resten soldeer achter te laten, beperkt demontabel
14. Schieten	Schietnagel, kruit	Droge techniek, eenvoudig aan te brengen, bij demontage verlies van nagel en gaten in de component
15. 'Instorten'	Mortel, beton	Geen montagetechniek, uithardingstijd, geen demontage mogelijk zonder beschadiging van de component
16. 'Afsmeren'	Specie, gips, enz.	Geen montagetechniek, vakmanschap nodig, uithardingstijd, geen demontage mogelijk zonder beschadiging van de component
17. Voegen	Voegspecie	Geen montagetechniek, vakmanschap nodig, uithardingstijd, geen demontage mogelijk zonder beschadiging van de component

Tabel E.1 (2^o deel) Bestaande verbindingsmogelijkheden

Nr. Techniek Beoordeling montage- en demontagemogelijkheden bij lijnvormige verbindingen tussen componenten

	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	8c	9	10
Eis*												
1. Metselen	nee	ja	nee	nee	nee	ja	ja, statisch	ja	nee	ja	non-reversibel	druk ja
2. Spijkeren	beperkt	ja	ja	nee	nee	ja	ja, statisch	ja	nee (afhankelijk van toepassing)	ja (afhankelijk van materiaal)	in-zichzelf geborgd	ja
3. Nietten	beperkt	ja	ja	ja	ja	ja	ja, statisch	ja (afhankelijk van aantal)	nee (afhankelijk van toepassing)	ja (afhankelijk van materiaal)	in-zichzelf geborgd	ja
4. Schroeven	ja (beperkt hergebruik)	ja	ja	ja (dedicated tool)	ja (dedicated tool)	ja	ja, statisch	ja	nee (afhankelijk van toepassing)	ja (afhankelijk van materiaal)	in-zichzelf geborgd	ja
5. Bouten	ja	ja	beperkt	ja (dedicated tool)	ja (dedicated tool)	ja	statisch: bij voorgeboord gat beperkt	ja	nee (afhankelijk van toepassing)	ja (afhankelijk van materiaal)	ja	ja
6. Opleggen	ja	nee	nee (niet nodig)	ja	nee	ja	ja, statisch dynamisch	nee	ja	ja	ja	druk ja
7. Lijmen	nee	nee	ja	ja (dedicated tool)	ja (dedicated tool)	ja	ja, statisch dynamisch mogelijk	ja	ja	ja	non-reversibel	afhankelijk van lijmsort

Tabel E.2 (1^o deel) Beoordeling van de methoden van tabel E.1

* Uit paragraaf B.1

Nr Techniek Beoordeling montage- en demontagemogelijkheden bij lijnvormige verbindingen tussen componenten

Nr	Techniek	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	8c	9	10
8.	Klikken, snappen, klemmen	ja	nee (?)	nee (niet nodig)	ja	ja	ja (afhankelijk van toepassing)	statisch één-dimensionaal mogelijk, dynamisch mogelijk	ja	ja (kunststof)	ja (lineair profiel)	ja	ja
9.	Pen-gat of veer-groef verbinden	ja	ja (?)	nee (niet nodig)	ja	ja	nee (afhankelijk van toepassing)	ja, statisch dynamisch mogelijk	ja (geborgd)	afhankelijk van materiaal	ja	ja	ja
10.	Vervormen (poppen, klinken)	nee	ja	ja	beperkt	ja	ja	statisch: bij voorgeboord gat beperkt	ja	nee	ja	in zichzelf geborgd	ja
11.	Knellen	ja	ja	nee	ja	ja	ja	ja, statisch	ja	n.v.t.	ja	ja	ja
12.	Lassen	nee	ja	deels	nee	nee	ja	ja, statisch	ja	nee	ja	non-reversibel	ja
13.	Solderen	nee	ja	nee	nee	nee	ja	ja, statisch	ja	nee	ja	non-reversibel	nee

Tabel E.2 (2^e deel) Beoordeling van de methoden van tabel E.1

* Uit paragraaf B.1

Nr. Techniek Beoordeling montage- en demontagemogelijkheden bij lijnvormige verbindingen tussen componenten

Eis*	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	8c	9	10
14. Schieten	nee	ja	ja	ja	ja	ja	ja, statisch	ja	nee	ja (afhankelijk van materiaal)	non-reversibel	ja
15. 'Instorten'	nee	nee	nee	nee	nee	ja	ja, statisch	ja	nee	ja	non-reversibel	ja
16. 'Alsmeren'	nee	nee	deels	nee	nee	ja	ja, statisch	beperkt	nee	ja	non-reversibel	nee
17. Voegen	nee	nee	deels	nee	nee	ja	ja, statisch	beperkt	nee	beperkt	non-reversibel	nee

Tabel E.2 (3^e deel) Beoordeling van de methoden van tabel E.1

* Uit paragraaf B.1

<i>Nr.</i>	<i>Techniek</i>	<i>Sector</i>	<i>Materiaal</i>	<i>Aspecten</i>
1.	Ritsen (rits met schakels)	Textiel	Kunststof, metaal	Droge techniek, zeer demontabel, vormgesloten, mogelijk afdichtingsproblemen, kan grote krachten opnemen
2.	Lineaire klemsluiting evt. met schuiver ('zip-lock')	Verpakking	Kunststof	Droge techniek, zeer demontabel, vormgesloten, goede afdichting, kan geen grote krachten opnemen
3.	Klitten	Textiel, meubels	Kunststof	Droge techniek, zeer demontabel, vormgesloten, mogelijk afdichtingsproblemen, kan mogelijk grote krachten opnemen, 'afpel'-risico
4.	Naaien	Textiel	Kunststof draad, metaaldraad	Naaimachine nodig, gaten in element nodig, demontabel met verlies van draad, kan grote krachten opnemen bij voorspanning in draad
5.	Magnetische kracht	Belettering	Magneet (folie)	Droge techniek, zeer demontabel, kan geen grote krachten opnemen, 'afpel'-risico
6.	Mild klevende lijm	Kantoorbenodigdheden	Lijm	Droge techniek, zeer demontabel, verzorgt afdichting, kan geen grote krachten opnemen, 'afpel'-risico
7.	'Tie-wrap' (geklemd tandverbinding)	Elektrotechniek	Kunststof	Droge techniek, met enige moeite of speciaal gereedschap demontabel, kan krachten opnemen
8.	'Sealen'	Verpakking	Kunststof	Speciaal gereedschap of draad of folie voor verhitting nodig, beschadiging van de component bij demontage, goede afdichting, kan grote krachten opnemen, beperkte brandwerendheid
9.	'Hotmelten'	Verpakking	Hotmeltlijm	Speciaal gereedschap of draad of folie voor verhitting nodig, lijmrest op de component bij demontage, goede afdichting, kan grote krachten opnemen, beperkte brandwerendheid

Tabel E.3 Potentiële verbindingsmogelijkheden afgeleid uit andere sectoren dan de bouw

* 'Hotmelten': lijm is aanwezig op de componenten en wordt verhit met een ingegoten draad of externe smelter.

Nr. Techniek Beoordeling montage- en demontagemogelijkheden bij lijnvormige verbindingen tussen componenten

Eis*	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	8c	9	10
1. Ritsen (rits met schakels)	ja	ja	niet nodig	ja	ja	ja	nee, statisch; ja dynamisch	ja	ja (kunststof)	mogelijk	in zichzelf geborgd	ja
2. Lineaire klemsluiting evt. met schuiver ('zip-lock')	ja	ja	niet nodig	ja	ja	ja	nee	beperkt	ja	ja	geborgd door schuiver	beperkt
3. Klitten	ja	ja	niet nodig	ja	ja	ja	ja, statisch en dynamisch	ja	ja	nee	ja	beperkt
4. Naaien met kunststof of metaaldraad	ja, verlies draad	mogelijk	naamachine ontwikkelen	beperkt	beperkt	ja	ja, bij flexibel draad	ja	metaal: nee, kunststof: ja	mogelijk	in zichzelf geborgd	ja
5. Magnetsche kracht	ja	ja	niet nodig	ja	ja	ja	ja	beperkt	ja	ja	nee	nee
6. Mild klevende lijm	ja	ja	niet nodig	ja	nee, werking neemt af na enige cycli	ja	ja	beperkt	ja	ja	nee	nee

Tabel E.4 (1^o deel) Beoordeling van de technieken van tabel E.3

* Uit paragraaf B.1

Nr. Techniek Beoordeling montage- en demontagemogelijkheden bij lijnvormige verbindingen tussen componenten

Eis*	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	8c	9	10
7. 'Tie-wrap' (geklemde tandverbinding)	mogelijk	ja	voor demontage ontwikkelen	ja	ja	ja	ja	ja	ja	mogelijk	in zichzelf geborgd	ja
8. 'Sealen'	nee	ja, materiaa zelf, vorm smeltvlak	mobile (ont)seal-machine ontwikkelen	bepert, afhankelijk van machine	afhankelijk van machine	ja	ja, statisch	ja	ja	ja	non-reversibel	ja
9. 'Hotmellen'	ja, lijmrest beperkt te hergebruiken	ja	(ont)smelter of draadverhitter ontwikkelen	bepert, afhankelijk van gereedschap	afhankelijk van gereedschap	ja, statisch; ja, dynamisch bij flexibele lijm	ja	ja	ja	ja	in zichzelf geborgd	ja

Tabel E.4 (2^e deel) Beoordeling van de technieken van tabel E.3

* Uit paragraaf B.1



Bijlage F

Voorstel voor maatafstemming

prof. dr. ir. J. Delrue*

Deze bijlage is een vertaling van het document ISO/TC59 SC1 N148, *New viewpoints on modular dimensional co-ordination in building*. De internationale normcommissie TC59 houdt zich bezig met Building construction; de eerste technische subcommissie van deze normcommissie is actief op het gebied van Dimensional co-ordination. Deze technische subcommissie bestaat uit afvaardigingen uit verschillende landen. Ongeveer 20 landen zijn actief als *participant*, eenzelfde aantal is *observer*. België en Nederland zijn beide *participant*.

Sinds de publicatie van *The evolving house* [Bemis, 1936] en vanaf de eerste Amerikaanse norm over dit onderwerp [A62, 1941] heeft de module 4" (ca. 10 cm) reeds een hele weg afgelegd. In meer dan honderd landen is een nationale norm voor modulaire maatcoördinatie in de eigen bouwindustrie aanvaard die uitgaat van een module van 10 cm ($\approx 4''$ of 1 M).

Tegelijkertijd is het overduidelijk dat de bouwpraktijk enerzijds behoefte heeft aan grotere modulen (bijv. voor structurele overspanningen) en anderzijds aan kleinere modulen (bijv. voor schrijnwerk, gevelstenen, enz.). Met andere woorden, er is een duidelijke behoefte aan een multimodulaire aanpak.

In de wereld van de internationale standaardisatie bestaat er nu een brede consensus over de rol van 30 cm (3 M), alhoewel het toepassingsveld van deze grotere module helemaal niet goed omschreven is. Men moet helaas vaststellen dat er zelfs in grotere markten zoals de VS of de EG nog geen doorbraak van maatdiscipline in de bouwpraktijk is.

Een van de problemen, zo niet het grootste, dat de toepassing van modulaire maatcoördinatie in bouwontwerp en bouwpraktijk heeft verhinderd, is dat het probleem van de bouwknoop over het hoofd wordt gezien. Bouwknoopen zijn schakelingen en vervlechtingen van verscheidene bouwdelen. Zij kunnen bestaan uit (overwegend) één bouw materiaal, bijvoorbeeld beton (fig. F.1) of staal, maar meestal zijn het combinaties van meer materialen.

* Jan Delrue is hoogleraar Architectuur aan de Faculteit der Toegepaste Wetenschappen van de Katholieke Universiteit Leuven, en voorzitter van de technische normcommissie TC59 SC1.

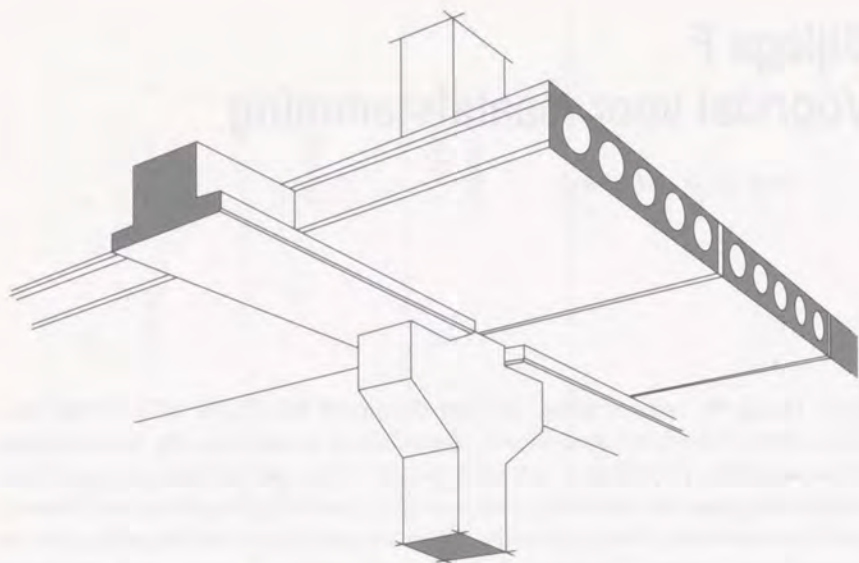


Fig. F.1 Voorbeeld van een eenvoudige bouwknoop in 1 materiaal (beton)

Zelfs bij modulaire nominale maten (bijv. een overspanning met bij schetsontwerp een maat $n \times 30$ cm), treedt een diepgaande maaterosie op als eenmaal de materialen worden gekozen (bijv. vloer in T-balk in beton op stalen kolom) en de constructie op de hierbij passende wijze wordt gedimensioneerd. De maatsdiscipline van het eerste schetsontwerp zal in de meeste gevallen ver te zoeken zijn als het stadium van de uitvoeringstekeningen is bereikt. Door deze erosie zijn in de eerste stadia van de bouwvoorbereiding de uiteindelijke productiematen nauwelijks voorspelbaar.

Om alle eerdergenoemde redenen staat de behoefte aan een meer omvattende aanpak die uitgaat van het principe van een verschillend karakter voor horizontale en verticale maten, en van slechts vier categorieën maten in de bouw, niet ter discussie.

Horizontale maten versus verticale maten

Kenmerkend voor de bouw is dat het karakter van horizontale (lengte, breedte) en verticale maten (hoogte) fundamenteel verschillend is. Verticale afmetingen zijn ergonomisch bijzonder belangrijk, uit het oogpunt van schoonheid en vormgeving subtiel en economisch gevoelig. Horizontale maatvoering echter heeft eerder een maatgevend karakter. Er zijn praktisch geen bouwproducten waarvan de horizontale en verticale maten onderling verwisselbaar zijn. Daarom is het een valstrik om nog langer te proberen dezelfde modules en sub- of multimodules voor verticale en horizontale maatvoering te gebruiken.

Vier categorieën maten

De afmetingen met een coördinerende rol in de architectuur en in de bouwproductie kunnen in vier, en niet meer dan vier categorieën worden onderverdeeld.

Deze categorieën zijn in een toenemende orde van grootte:

- technische afmetingen
- functionele (ergonomische) afmetingen
- ruimtelijke maten
- structurele maten

Technische afmetingen

De logica van technische afmetingen, zoals een muurdikte of een kolomsectie is afhankelijk van materiaalkeuze, technische eigenschappen, logistieke beschouwingen en dergelijke. Over het algemeen betreft het kleinere afmetingen.

Functionele (ergonomische) afmetingen

De logica van functionele of ergonomische afmetingen, zoals de hoogte van een zitbank of de dagmaat van een deuropening berust op ergonomische elementen, dus ook op antropometrische gegevens. In het algemeen staan deze maten in horizontale zin in relatie tot een statische dan wel een dynamische houding (60 cm, 90 cm) van het menselijk lichaam. In verticale zin daarentegen zijn kleine stappen noodzakelijk, onder andere als functie van leeftijd, ras, geslacht en conditie.

Ruimtelijke maten

De achtergrond van ruimtelijke maten, zoals de afmetingen van een slaapkamer of de maten van een klaslokaal is vooral bij maten in het horizontale vlak gebaseerd op regelgeving (bijv. de normen voor sociale huisvesting of voor de bouw van scholen). De reeks horizontale ruimtelijke maten begint bij kleinere cellen en loopt op tot zeer grote vergaderruimten. In verticale zin is de ruimtelijk gerelateerde afmeting met de grootste coördinerende invloed de hoogte van vloer tot vloer; die maat is meer coördinerend dan de dagmaat van vloer tot zoldering. Deze reeks verticale coördinerende afmetingen is beperkt en loopt van 2,60 tot 5,60 m.

Structurele maten

Structurele maten zijn vaak overspanningen. Deze maten zijn van nature horizontaal, en duidelijk onderscheiden van de ruimtelijke maten. In zeer uitzonderlijke gevallen (zoals bij dragend metselwerk of grote auditoria) kunnen afmetingen van dit type samenvallen met de ruimtelijke maat. In veruit de meeste ontwerpen verschillen ze van elkaar. De groep structurele maten is over het algemeen de grootste categorie.

In een gebruikelijk ontwerpproces begint de ontwerper met de ruimtelijke organisatie, en beslist dus eerst over ruimtelijke maten. Bij het specificeren van de inhoud van de ruimten, de meubels en de overige uitrusting komen de functionele afmetingen eraan te pas. Pas in een later stadium wanneer materiaalkeuze en constructiemethode vastliggen, komt de structurele en technische maatvoering ter sprake. Het onderkennen van deze vier duidelijk onderscheiden categorieën van afmetingen laat een precieze maatdiscipline toe waarbij modules, submodules en multimodules elk een goed omschreven toepassingsveld krijgen.

Van alle partners in het bouwproces hebben architecten veruit de grootste invloed op de maatvoering. Omwille van hun verantwoordelijkheid voor de kwaliteit van de gebouwde omgeving, hebben zij directe inspraak in het maatvoeringsproces.

Maar vanuit diezelfde beroepsverantwoordelijkheid moeten zij hun ontwerpgedrag kunnen verantwoorden, zowel uit ecologisch als uit economisch oogpunt. Met het voorstel om voorkeursniveaus te hanteren (keuze voor 'harde' of 'zachte' modulen) wordt de architect vanuit dit idee een werkbaar kader aangereikt.

ONDERSCHIED TUSSEN WONING- EN UTILITEITSBOUW

Gebouwen kunnen wat architectuur, ontwerp, bouwpraktijk en industrie betreft grofweg in twee grote sectoren worden ingedeeld:

- de woningbouw; weliswaar worden woningen in een grote variëteit van woonvormen en typologieën gebouwd, maar zij worden steeds gekenmerkt door kleine traveematen (4 – 8 m) en typische huiselijke activiteiten;
- de utiliteitsbouw, die meestal grotere overspanningen (7 – 15 m) kent.

Een goed voorstel voor maatordening moet het onderscheid tussen deze twee sectoren duidelijk weerspiegelen. Het voorstel van de internationale normcommissie 'Dimensional co-ordination', gepresenteerd in de tabellen F.1 en F.2, is gebaseerd op de eerdergenoemde argumenten. Het wijst modulen (M = 10 cm) toe aan goed afgebakende categorieën maten op een manier die herkenbaar is voor alle actoren in het bouwproces.

MAATVOERING VAN DE BOUWKNOOP

Het probleem van de bouwknoop waarin de verschillende categorieën van afmetingen samenkomen, kan nu op een praktische wijze worden aangepakt. Elk gebouw bestaat uit een permanent en een aanpasbaar gedeelte (zie ook hoofdstuk 3). Het permanente deel noemen we de draagconstructie of 'drager' (fig. F.2). Het geheel van delen en systemen dat op flexibiliteit en aanpasbaarheid is ontworpen wordt inrichting of 'inbouw' genoemd.

Afmetingen	1 ^e voorkeur	2 ^e voorkeur
Horizontaal coördinerende maten		
Technische maten	M/2	M/4
Functionele maten	1 M	M/2
Ruimtelijke maten	3 M	1 M
Structurele maten	6 M	3 M
Verticaal coördinerende maten		
Technische maten	M/4	M/8
Functionele maten	M/2	M/4
Vloer-tot-vloer hoogte	1 M	M/2

Tabel F.1 Voorkeursmodulen voor coördinerende maten in de woningbouw

Afmetingen	1 ^e voorkeur	2 ^e voorkeur
Horizontaal coördinerende maten		
Technische maten	1 M	M/2
Functionele maten	3 M	1 M
Ruimtelijke maten	6 M	3 M
Structurele maten	18 M	6 M
Verticaal coördinerende maten		
Technische maten	M/2	M/4
Functionele maten	1 M	M/2
Vloer-tot-vloer hoogte	2 M	1 M

Tabel F.2 Voorkeursmodulen voor coördinerende maten in de utiliteitsbouw

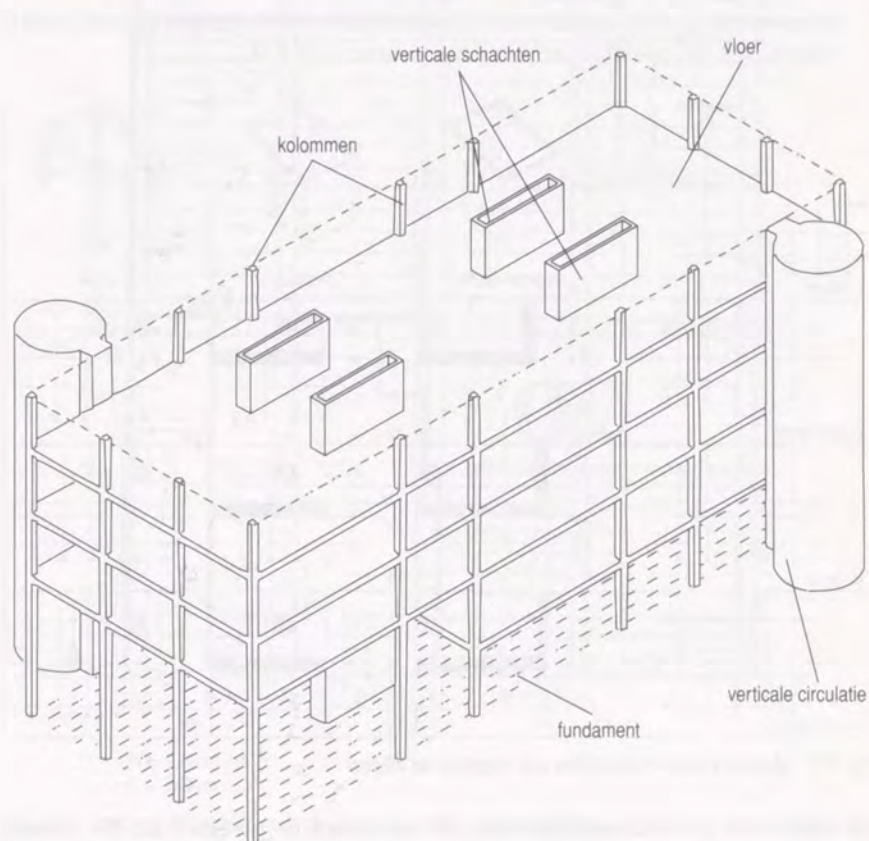


Fig. F.2 De drager, structuur of draagconstructie

Bron: [Boekholt, 1974]

Er zijn drie basistypen draagconstructies (zie ook par. 3.3.3 en 3.4.5). Dit zijn:

1. de dragende wand, ook wel 'doos' genoemd; meestal uitgevoerd in metselwerk of geprefabriceerde betonnen elementen (beton);

2. de schijfstructuur, ook wel 'raat' genoemd; meestal gestort beton (gietbouw);
3. het skelet; uitvoerbaar in beton, staal of hout.

In de praktijk kunnen deze drie typen ook gecombineerd voorkomen.

De onderdelen van de inbouw worden geordend volgens een inbouwraster met bijvoorbeeld een maaswijdte van 60 cm. Omdat onderdelen van de inbouw per definitie flexibel moeten zijn, worden ze systematisch op inbouwrasterlijnen gecentreerd. Delen van de structuur daarentegen kunnen als permanent onderdeel van het gebouw naar keuze van de ontwerper op drie verschillende wijzen aan het structuurraster worden gerelateerd:

- gecentreerd op een structuurraster dat samenvalt met de lijnen van het inbouwraster (fig. F.3A);
- als bij een Schotse ruit (tartanraster): in bepaalde daarvoor vrijgelaten stroken in het inbouwraster (fig. F.3B);
- gecentreerd op een structuurraster dat echter in beide richtingen een half veld is verschoven ten opzichte van het inbouwraster (fig. F.3C).

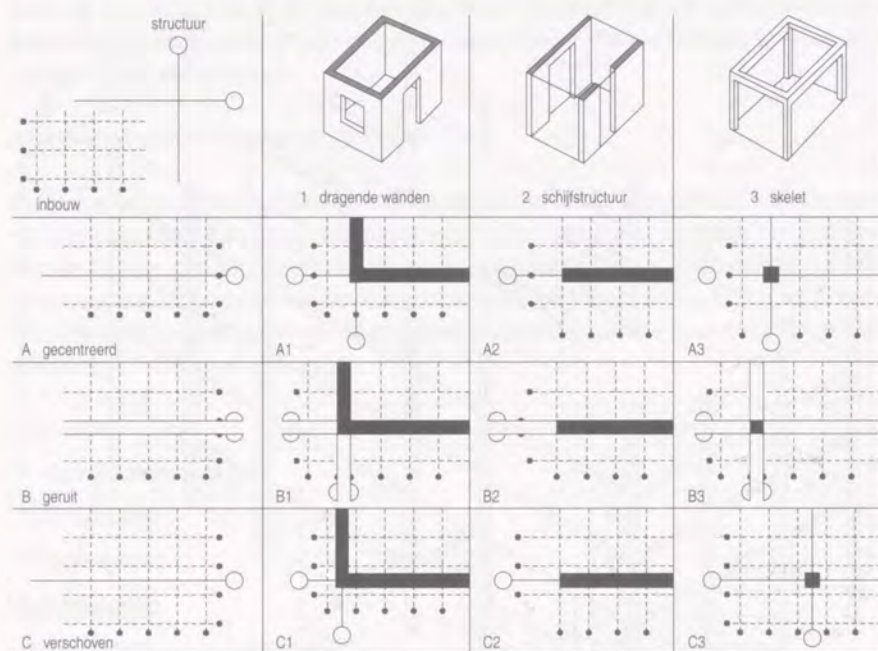


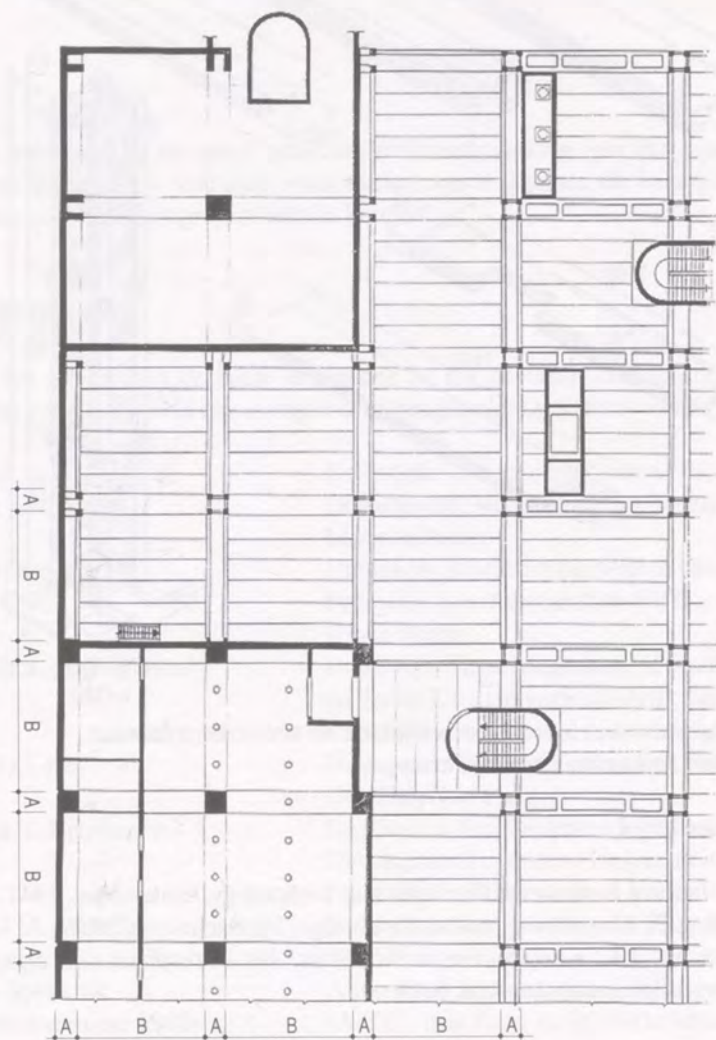
Fig. F.3 Mogelijke horizontale rasters voor structuur en inbouw

De dikte van de structurelementen, en eventueel de breedte van de Schotse ruit-stroken, is modulair volgens de technische modulen. Structuurrasters zijn modulair volgens structurele modulen, terwijl het inbouwraster de ruimtelijke moduul volgt.

Op die manier zijn alle afmetingen in alle fasen van het bouwproces voorspelbaar zodra het voorkeursniveau is gekozen en de modulaire discipline vaststaat.

Ter illustratie zijn nog enkele voorbeelden toegevoegd van gebouwen waarvan het ontwerp is gebaseerd op modulaire raster:

- een gebouw voor de universiteit in Trondheim, Noorwegen (fig. F.4);
- een laboratorium in Duitsland (fig. F.5).



A = 1,20 m
B = 7,20 m

Fig. F.4 Deel van het schema van de wapening in de geprefabriceerde vloerdelen (Universiteitsgebouw, Trondheim, Noorwegen)

Bron: Per Knudsen, Trondheim (Noorwegen)

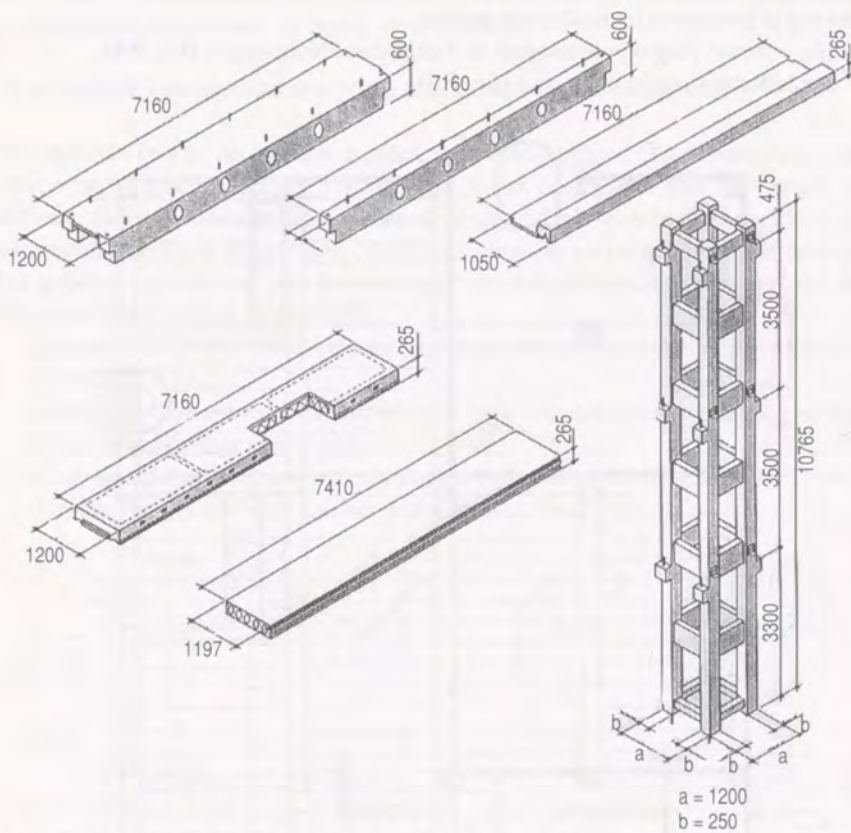


Fig. F.5 Geprefabriceerde betonnen componenten voor een laboratorium in Duitsland
Bron: Per Knudsen, Trondheim (Noorwegen)

Referenties

- A62, National Institute on Standards and Technology, Gaithersburg, 1941
- BEMIS, A.F., *The evolving house*, Cambridge, Massachusetts, 1936
- BOEKHOLT, J.T., e.a., *Denken in varianten; het methodisch ontwerpen van dragers*, Alphen aan den Rijn, 1974



Organisatie van de studie

Deze publicatie is tot stand gekomen met medewerking van een groot aantal deskundigen. STT is veel dank verschuldigd aan al degenen die belangeloos veel tijd en energie aan dit project hebben besteed.

STUURGROEP

Voor het vinden van de juiste invalshoek en het bewaken van het inhoudelijke gehalte van de studie is een stuurgroep samengesteld. Deze bestond uit:

prof.dr.ir. E. Aernoudt (tot 1 maart 1996)	Katholieke Universiteit Leuven (B), Departement Metaalkunde en Toegepaste Materiaalkunde
W. Frommé	Ubbink nv, Doesburg en Nederlandse Federatie voor Kunststoffen (NFK), Groep Bouw
prof.dr.ir. Ch.F. Hendriks	Bond voor Materialenkennis, Zwijndrecht en Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek
mr. G.G. Key	Nederlands Verbond Toelevering Bouwbedrijf (NVTB), Den Haag
prof.ir. J. Kristinsson	Kristinsson Architecten en Ingenieurs, Deventer en Technische Universiteit Delft, Faculteit der Bouwkunde
ir. A.J.M. Siemes	Bond voor Materialenkennis, Zwijndrecht en TNO Bouw, Rijswijk
ir. D. Spekkink (tot 26 november 1996)	Adviesraad Technologiebeleid Bouwnijverheid (ArTB), Den Haag en EGM Onderzoek, Dordrecht
dr. A.P.M. van der Veek	Bond voor Materialenkennis, Zwijndrecht en European Materials Research Consortium (voorzitter)
ir. J. Werner	Volker Stevin Speurwerk en Ontwikkeling, Woerden
prof.ir. J. Westra bi	Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit der Bouwkunde en Stichting Boosting

WERKGROEP FLEXIBILITEIT IN GEBOUWEN

- | | |
|--|--|
| ing. J. Arnolds
prof.dr.ir. J. Delrue | Innovatiecentrum Oost-Brabant, Eindhoven
Bureau Archiduk, Leuven (B) en Katholieke
Universiteit Leuven, Departement
Architectuur, Stedebouw en Ruimtelijke
Ordering (voorzitter) |
| prof.ir. N.A. Hendriks | BDA Geveladvies bv, Gorinchem en
Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit
der Bouwkunde |
| ir.drs. F.K. Hutters | Innovatiecentrum Midden-Nederland, Utrecht
(tot 1 januari 1997), KennisPlatform Bouwen
& Installeren, Utrecht |
| H.R.J. van der Kluit
ir. A.A. Koedam
prof.ir. P.G.S. Rutten | AEGON Nederland, Den Haag
Nationale Woningraad, Almere
Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit
der Bouwkunde |
| ir. W.A.C. de Vries Robbé
ir. P. van der Werff
(tot 1 juli 1996) | Staalbouw Instituut, Rotterdam
Woon Zorg Nederland, Amsterdam |

WERKGROEP HOOG BOUWEN

- | | |
|---|---|
| dr.ir. R. Hamerlinck
K. Hoogendoorn
drs. R.J.H. Korenromp | Staalbouw Instituut, Rotterdam
Adviesbureau Peutz & Associés, Zoetermeer
Tauw Milieu, Deventer (tot 1 september 1996),
TNO Afvalstoffen, Apeldoorn |
| R.R. Meyer (tot 1 maart 1996)
ir. R. Nijssen
dr.ir. G.P.C. van Oosterhout | Reynolds Architectuursystemen, Harderwijk
ABT Adviesbureau voor Bouwtechniek, Arnhem
Technische Universiteit Delft, Faculteit der
Civiele Techniek (tot 1 september 1996),
TNO Bouw, Rijswijk |
| ir. H. Ouwerkerk
(tot 27 augustus 1996) | Stichting Produktontwikkeling Betonmortel
(SPOB), Amsterdam en NBM Amstelland,
Arnhem |
| ir. E.M.C.J. Quanjel | Architectenbureau Van den Broek en Bakema,
Rotterdam |
| ir. J.H. Voorrips
prof.ir. C.J.M. Weeber | Ballast Nedam IGB, Maarssen
De Architecten Cie, Amsterdam en
Technische Universiteit Delft, Faculteit der
Bouwkunde (voorzitter) |

WERKGROEP LICHT EN STERKE CONSTRUCTIES

- | | |
|---------------------|--|
| ing. M.J.G. Bartels | oprichter Ingenieursbureau Bartels, Lochem
(voorzitter) |
|---------------------|--|

W.E.A. ten Berge	Ten Berge Coating Systems, Alphen aan den Rijn
ir. W. Looverie (tot 1 maart 1996)	Bekaert, Zwevegem (B)
prof.ir. D.R.W. Martens	Studieburo Dirk Martens, Zingem (B) en Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit der Bouwkunde
ing. A. Mooiman	Centrum Hout, Almere
ir. N. Noort	Koninklijke Hoogovens, IJmuiden
ir. J. Tepper	Stybenex, Zaltbommel
A.H. de Vries	TNO/TPD Afdeling Keramiek, Eindhoven

WERKGROEP MONTAGE EN ASSEMBLAGE OP DE BOUWPLAATS

ir. R.W. Angenent	Bureau Angenent, Apeldoorn/Zeist
E. Bakker	Strukton Bouwprojecten, Groningen
ir. E. Braaksma	Koninklijke Hoogovens, IJmuiden
ir. R.C. Dorgelo	Stichting Bouwresearch (SBR), Rotterdam (voorzitter)
ir. J.G. Drooger	Rijksgebouwendienst (RGD), directie Ontwerp & Techniek, Den Haag (tot 1 juni 1996), directie Zuid-West, Schiedam
ir. R.J.M. van Ginderen	Rijksplanologische Dienst (RPD), afdeling Coördinatie Bouwbeleid, Den Haag
J.W.J. van Ham	REWA Budel nv, Budel
ir. H.J. van den Hil	Polynorm Bouwprodukten, Bunschoten Spakenburg
ir. A.A. Koedam	Nationale Woningraad, Almere
ir. V. Thöne	Technische Universiteit Delft, Faculteit der Bouwkunde
ir. B.M. Verboom	Ubbink nv, Doesburg (tot 1 februari 1997), Redland Dakprodukten bv, Montfoort

PROJECTLEIDING

Het project stond onder leiding van ir. Annemieke Venemans, projectleider bij STT. Bij de organisatie van het project en het verwerken van de teksten werd zij bijgestaan door Rosemarijke Otten, projectsecretaresse. De discussies met en adviezen van ir. Herman de Cock en drs. Erik van de Linde, respectievelijk oud-directeur en directeur van STT, hebben het project mede vormgegeven. De illustraties in dit boek zijn verzorgd door ir. Karel van Loon en ir. Christiaan van Loon. Aan de redactie is meegewerkt door Rosemarijke Otten en drs. Erik van de Linde. De laatste heeft ook meegewerkt aan de totstandkoming van de bij dit boek behorende losse samenvatting.



STT-publicaties

1. Toekomstbeeld der techniek
ir. J. Smit, 1968
2. Techniek en toekomstbeeld, telecommunicatie in telescopisch beeld
prof.dr.ir. R.M.M. Oberman, 1968
3. Verkeersmiddelen
prof.ir. J.L.A. Cuperus e.a., 1968
4. Hoe komt een beleidsvisie tot stand?
ir. P.H. Bosboom, 1969
5. De overgangsprocedures in het verkeer
prof.ir. J.L.A. Cuperus e.a., 1969
6. De invloed van goedkope elektrische energie op de technische ontwikkeling in Nederland
dr. P.J. van Duin, 1971
7. Electrical energy needs and environmental problems, now and in the future
ir. J.H. Bakker e.a., 1971
8. Mens en milieu: prioriteiten en keuze
ir. L. Schepers e.a., 1971
9. Het voeden van Nederland, nu en in de toekomst
prof.dr.ir. M.J.L. Dols e.a., 1971
10. Barge Carriers: some technical, economic and legal aspects
drs. W. Cordia e.a., 1972
11. Transmissiesystemen voor elektrische energie in Nederland
prof.dr. J.J. Went e.a., 1972
12. Elektriciteit in onze toekomstige energievoorziening: mogelijkheden en consequenties
dr.ir. H. Hoog e.a., 1972
13. Communicatiestad 1985: elektronische communicatie met huis en bedrijf
prof.dr.ir. J.L. Bordewijk e.a., 1973
14. Techniek en preventief gezondheidsonderzoek
dr. M.J. Hartgerink e.a., 1973
15. Technologisch verkennen: methoden en mogelijkheden
ir. A. van der Lee e.a., 1973
16. Mens en milieu: beheerste groei
Stuurgroep en Werkgroepen voor Milieuzorg, 1973
17. Mens en milieu: zorg voor zuivere lucht
Stuurgroep en Werkgroepen voor Milieuzorg, 1973
18. Mens en milieu: kringlopen van materie
Stuurgroep en Werkgroepen voor Milieuzorg, 1973

-
19. Energy Conservation: ways and means
edited by J.A. Over and A.C. Sjoerdsma, 1974
 20. Voedsel voor allen, plaats en rol van de EEG
prof.dr. J. Tinbergen e.a., 1976
 21. Stedelijk verkeer en vervoer langs nieuwe banen?
Redactie: ir. J. Overeem, 1976
 22. Materialen voor onze samenleving
Redactie: ir. J.A. Over, 1976
 23. De industrie in Nederland: verkenning van knelpunten en mogelijkheden
Redactie: ir. H.K. Boswijk en ir. R.G.F.de Groot, 1978
 24. Toekomstbeeld der industrie
prof.dr. P. de Wolff e.a., 1978
 25. Arts en gegevensverwerking
Redactie: ir. R.G.F. de Groot, 1979
 26. Bos en hout voor onze toekomst
Redactie: ir. T.K. de Haas, ir. J.H.F. van Apeldoorn en ir. A.C. Sjoerdsma, 1979
 27. Steenkool voor onze toekomst
Eindredactie: ir. A.C. Sjoerdsma, 1980
 28. Distributie van consumentengoederen; informatie en communicatie in perspectief
Redactie: ir. R.G.F. de Groot, 1980 (ISBN 90 6275 052 4)
 29. Wonen en techniek; ervaringen van gisteren, ideeën voor morgen
Redactie: ir. J. Overeem en dr. G.H. Jansen, 1981 (ISBN 90 6275 053 2)
 30. Biotechnology; a Dutch Perspective
edited by J.H.F. van Apeldoorn, 1981 (ISBN 90 6275 051 6)
 31. Micro-elektronica in beroep en bedrijf; balans en verwachting
Samensteller: ir. H.K. Boswijk, 1981 (ISBN 90 6275 064 8)
Deelstudies:
 - 31-1 Micro-elektronica: de rundveehouderij (ISBN 90 6275 066 4)
 - 31-2 Micro-elektronica: de grafische industrie en uitgeverijen (ISBN 90 6275 067 2)
 - 31-3 Micro-elektronica, procesinnovatie in de sector elektro-metaal (ISBN 90 6275 068 0)
 - 31-4 Micro-elektronica: productinnovatie van consumentenprodukten en diensten voor gebruik in huis (ISBN 90 6275 069 9)
 - 31-5 Micro-elektronica: het ontwerpproces (ISBN 90 6275 070 2)
 - 31-6 Micro-elektronica: het bankwezen (ISBN 90 6275 071 0)
 - 31-7 Micro-elektronica: het kantoor
 - 31-8 Micro-elektronica: het reiswezen (ISBN 90 6275 073 7)
 - 31-9 Micro-elektronica: de belastingdienst
 32. Micro-elektronica voor onze toekomst; een kritische beschouwing
Samenstellers: burggraaf E. Davignon e.a., 1982 (ISBN 90 6275 089 3)
 33. Toekomstige verwarming van woningen en gebouwen
Eindredactie: ir. A.C. Sjoerdsma, 1982 (ISBN 90 6275 094 X)
 34. Flexibele automatisering in Nederland; ervaringen en opinies
Redactie: ir. G. Laurentius, ir. H. Timmerman en ir. A.A.M. Vermeulen, 1982

-
35. Automatisering in de fabriek; vertrekpunten voor beleid
Redactie: ir. H. Timmerman, 1983 (ISBN 90 6275 112 1)
 36. Informatietechniek in het kantoor; ervaringen in zeven organisaties
Samensteller: drs. F.J.G. Fransen, 1983 (ISBN 90 6275 135 0)
 37. Nederland en de rijkdommen van de zee: industrieel perspectief en het nieuwe
zeerecht
Redactie: ir. J.F.P. Schönfeld en mr.dr.s. Ph.J. de Koning Gans, 1983
(ISBN 90 62 75 111 3)
 38. Man and Information Technology: towards friendlier systems
edited by J.H.F. van Apeldoorn, 1983 (ISBN 90 6275 136 9)
 39. De kwetsbaarheid van de stad; verstoringen in water, gas, elektriciteit en
telefonie
Redactie: ir. G. Laurentius, 1984 (ISBN 90 6275 145 8)
 40. Bedrijf, kennis en innovatie
Redactie: ir. H. Timmerman, 1985
 41. De toekomst van onze voedingsmiddelenindustrie
Redactie: drs. J.C.M. Schogt en prof.dr.ir. W.J. Beek, 1985
 42. Techniek voor ouderen
Redactie: ir. M.H. Blom Fuhri Snethlage, 1986 (ISBN 90 14 03822 4)
 43. Nieuwe toepassingen van materialen
Redactie: ir. A.J. van Griethuysen, 1986
 44. Onderhoudsbewust ontwerpen nu en in de toekomst
Redactie: ir. G. Laurentius, 1987
 45. Kennissystemen in het onderwijs
Redactie: ir. J.J.S.C. de Witte en drs. A.Y.L. Kwee, 1987
 46. Kennissystemen en medische besluitvorming
ir. J.J.S.C. de Witte en drs. A.Y.L. Kwee, 1987
 47. Kennissystemen in de dienstensector
Redactie: drs. A.Y.L. Kwee en ir. J.J.S.C. de Witte, 1987
 48. Kennissystemen in de industrie
ir. J.J.S.C. de Witte en drs. A.Y.L. Kwee, 1988
 49. Grenzen aan techniek
Redactie: ir. A.J. van Griethuysen, 1989 (ISBN 90 14 03880 1)
 50. Opleiden voor de toekomst: onderdeel van bedrijfsbeleid
ir. H.B. van Terwisga en drs E. van Sluijs, 1990
 51. Plantaardige grondstoffen voor de industrie
Redactie: drs. W.G.J. Brouwer, 1991 (ISBN 90 14 03882 8)
 52. Inspelen op complexiteit: mens, techniek, informatie en organisatie
Redactie: drs. M.J.A. Alkemade, 1992 (ISBN 90 14 03883 6)
 53. Elektriciteit in perspectief, 'Energie en milieu' in de industrie
Redactie: ir. E.W.L. van Engelen, 1992
 54. Goederenvervoer over korte afstand
Redactie: ir. M.J. Venemans, 1994 (ISBN 90 14 04928 5)
 55. Schone kansen, denkbeelden over ondernemerschap en milieumanagement
Redactie: ir. E.W.L. van Engelen en J. van Goor, 1994 (ISBN 90 04929 3)
 56. Microsystem technology: exploring opportunities
edited by Gerben Klein Lebbink, 1994 (ISBN 90 14 05088 7)

-
57. Digitale leermiddelen in beroepsopleidingen
Redactie: dr. A. ten Wolde, 1996 (ISBN 90 61 55 7305)
58. Gezonde productiviteit, innoveren voor betere arbeidsomstandigheden
Redactie: ir. A. Korbijn, 1996 (ISBN 90 61 55 7445)

Overige uitgaven:

- De innovatienota: een aanvulling
H.K. Boswijk e.a., 1980
- Het belang van STT (toespraak bij het 15-jarig bestaan van STT)
prof.ir. Th. Quené, 1983
- Mariene ontwikkelingen in de Verenigde Staten, Japan, Frankrijk, West Duitsland, het Verenigd Koninkrijk en Nederland: organisatie, aandachtsgebieden en budgets
Redactie: ir. J.F.P. Schönfeld en mr.drs. Ph.J. de Koning Gans, 1984
(uitgave van de Voorlichtingsdienst Wetenschapsbeleid, ministerie van Onderwijs en Wetenschappen)
- New Applications of Materials
edited by A.J. van Griethuysen, 1988 (ISBN 0 9513623 0 5)

Alle publicaties waarbij het ISBN is vermeld, zijn verkrijgbaar via de boekhandel. De overige publicaties zijn te bestellen bij STT, Postbus 30424, 2500 GK Den Haag, telefoon (070) 391 98 56, gironummer 1609900.



Subsidieverleners STT

Deze studie kwam tot stand dankzij de financiële steun van bedrijfsleven, overheid en Koninklijk Instituut van Ingenieurs.

ABN AMRO Holding
Akzo Nobel
Alcatel Nederland
Amsterdam Airport Schiphol
AVEBE
Bakkenist Management Consultants
Campina Melkunie
Cosun
CSM
Delft Instruments
DHV Beheer
Dow Benelux
Dredging International
DSM
Du Pont de Nemours (Nederland)
Eerste Nederlandse Cement Industrie (ENCI)
Eldim/Interturbine Group of Companies
EnergieNed
Ericsson Telecommunicatie
Europe Combined Terminals
Fugro
Gamma Holding
GE Plastics
Getronics
Groupe Schneider
Heidemij
Heineken Nederland
Hoechst Holland
W.A. Hoek's Machine- en Zuurstoffabriek
Hollandsche Beton Groep
Indivers
Industriële Consulente Nederland
ING Bank
Interuniversitair Micro-Elektronica Centrum Leuven
KEMA
Koninklijke Gist brocades

Koninklijke Hoogovens
Koninklijk Ingenieurs- en Architectenbureau HASKONING
Koninklijk Instituut van Ingenieurs
Koninklijke Pakhoed
Koninklijke PTT Nederland
Koninklijke Schelde Groep
Koninklijke Ten Cate
F. van Lanschot Bankiers
Lucent Technologies Network Systems
Micro*Montage
Ministerie van Economische Zaken
Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Nationale Investeringsbank
Nederlandsche Apparatenfabriek Nedap
Nederlandse Gasunie
Nederlandse Participatie Maatschappij
Nederlandse Spoorwegen
Nederlandse Unilever Bedrijven
Norit
Océ Nederland
Origin
Overlegorgaan Productiesector
Philips Electronics
Polynorm
Rabobank Nederland
Rank Xerox Manufacturing (Nederland)
Roccade Informatica Groep
Sep
Shell Nederland
Siemens Nederland
Simac Techniek
Solvay Chemie
Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland
Stork
Unisys
Urenco
VNU Verenigde Nederlandse Uitgeversbedrijven
Vredestein



Register

aanpasbaarheid 24, 35, 39, 42, 47, 51, 54, 61-65, 67, 69-70, 78, 86, 90-91, 96-100, 102-105, 185, 234, 284

Alporas 227-228

aluminium 90, 94-95, 115, 125, 200, 208, 218-219, 223, 227-228, 238

aramide 231

Archigram 160, 163

baksteen 133, 208, 268

beton 23, 31, 37, 40, 52, 64, 66-67, 69, 98-100, 102, 105, 113, 115, 125, 150-151, 186-187, 192-194, 208, 211, 217-218, 220, 223-224, 227-231, 238, 268-269, 281-282, 285-286, 288

Bond voor Materialenkennis 23-24, 29, 158, 201

Bouwbesluit 31-32, 90, 218-219, 234

Bouwprocesbesluit 204

Buckminster Fuller 160, 162

composieten 215, 223, 243

draagconstructie 37, 42, 51-53, 55-56, 58, 60-66, 69-70, 90, 96-98, 102, 114, 116, 125, 130, 133, 140, 163-164, 168-169, 172, 177, 184, 191, 195, 199, 207-210, 216-217, 224, 234-237, 242, 284

Duurzame woningbouw 110

Eiffel 155, 159-161, 213

emancipatie 78

energiegebruik 26, 29, 42, 64, 67, 71, 82, 84, 91, 103-105, 109-110, 112-113, 117, 120

epoxyhars 228

Euromast 186-188

Euromat'97 24

Fibonacci 37

flexibiliteit 30, 34-36, 39-40, 42, 45, 50, 53-54, 58, 62-67, 69-70, 78, 90, 96-100, 102-103, 105-107, 123, 191, 234, 284

Foster 92-94

fotovoltaïsche energie 166

glas 23, 31, 90-92, 94-95, 125, 182, 218, 230, 238, 243-244, 268

Habraken 34-36, 38, 40
hardhout 200, 229
Herron 163
Hoogstad 93, 96
hout 23, 26, 28, 31, 55, 67, 115, 123-124, 128, 148, 150, 164, 175-177,
199-200, 207-208, 211, 218, 220, 223-224, 227, 229-232, 238, 243, 246-247,
268-269, 286

inrichting 37, 42, 44-45, 53-55, 72-73, 75-76, 89, 100, 117-118, 130, 189, 217,
257, 284
ISO/TC59 143, 281

keramiek 23
klei 27-28, 40, 45, 55, 65-66, 74, 78, 86, 99-100, 102, 112, 115, 117, 123-125,
127-128, 135, 138-139, 150-151, 163, 169, 172, 175, 182, 185, 204, 211, 214,
220, 229-230, 232, 234, 238, 245, 264, 267, 269, 281, 283-284
koolstof 217-218, 223, 228-229, 231
kunststof 31, 48-49, 52, 55, 125, 133, 145, 147, 150, 164, 208, 217-218,
223-224, 230-231, 238, 243, 247, 258-259, 268

Laminated Veneer Lumber 229
Lego 38, 82, 106, 139-140, 145, 263
Lignostone 231
Lundia 38, 263

maatafstemming 33, 37, 281
maatsysteem 34-35, 37, 142-143, 244, 263-265, 267-269
materiaalkeuze 66, 93, 98, 109, 118, 151, 283
materiaaltechnologie 23-25, 32
Meccano 263
methode 23, 25-26, 30, 33-34, 37, 52, 67, 102-104, 106, 112, 115, 120, 123,
140, 145, 153, 172, 174, 176, 191, 199, 201, 207, 218-219, 229, 233, 283
modulaire coördinatie 129, 143
modulariteit 82, 233-234

Nationaal pakket Duurzaam bouwen 31, 109
Nervi 160, 162
nylon 165, 197

Open Bouwen 40, 54, 107, 129, 143
overdimensioneren 62, 82, 85, 97-98, 234

papierfoam 177, 200
Perrault 93, 95
Plan van aanpak Duurzaam bouwen 110
Porocom 224, 230
prijsvraag 39

SAR 34-35

staal 38, 64, 66-69, 97-100, 115, 125, 147, 158, 176, 186-187, 192-194,
197-199, 208, 211, 218, 223-224, 227, 229, 231, 237-238, 243, 247, 268-269,
281, 286

triplex 229, 231

Twaron 197

Vasconi 93, 95

veranderbaarheid 30, 33-36, 39-43, 45, 51-52, 54, 61-63, 69-71, 79, 82, 85-86,
89-90, 96-98, 103, 117, 140, 142, 185, 233-234

verminderde mobiliteit 45, 54-56

vezelversterkt 125, 208, 217-218, 224, 227-229, 231, 243

Vinex 29, 156

vliegass 230

voorspanstaal 197

windenergie 175, 177



In de gezamenlijke studie van de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT) en de Bond voor Materialenkennis (BvM) die ten grondslag ligt aan dit boek is een toekomstbeeld van de woning- en utiliteitsbouw in 2015 geschetst. Op basis van de trends flexibiliteit in gebouwen, montage op de bouwplaats, hoog bouwen en lichte en sterke constructies zijn de functionele eisen aan materialen en bouwdelen geanalyseerd en zijn aanzetten gedaan voor nieuwe materialen, componenten, toepassingen en methoden. Door de grote kennis en praktijkervaring van de deelnemers aan de studie, afkomstig uit de bouwwereld, het onderzoek, de overheid en het bedrijfsleven, werd duidelijk dat materialen niet los gezien kunnen worden van de te volgen bouwwijze. Deze constatering heeft geleid tot het motto 'Bouwwijs'.

Bouwwijs betekent verstandig bouwen door met zorg gekozen materialen systematisch te koppelen aan de te volgen bouwmethode. Bouwwijs betekent ook een integrale innovatieve bouwwijze die weinig beslag legt op het milieu door minder energie- en materiaalgebruik, en door minder intensief onderhoud en beheer, en minder sloopafval. Behalve hoofdstukken die zijn gebaseerd op de eerdergenoemde trends, bevat dit boek beschouwingen over onderwerpen die raakvlakken hebben met deze trends. Dit zijn de thema's duurzaam bouwen, veranderbaarheid, bouwen in Nederland en in België, en arbeidsomstandigheden.

De auteurs hebben geprobeerd de tradities van de huidige bouwwereld even los te laten en visies te ontwikkelen. Dat er inderdaad een grote rijkdom aan ideeën en inzichten in dit boek is verwoord is te danken aan hun creativiteit. STT en BvM hopen dat de geschetste visies u inspireren tot een innovatief gebruik van materialen en methoden in de bouw.

