

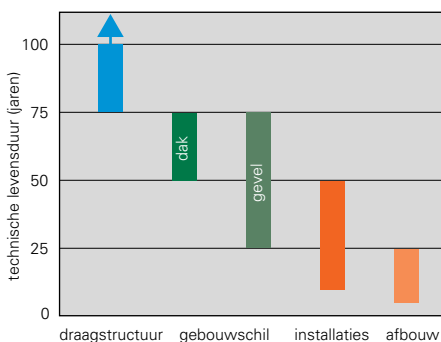
Aanpasbare draagstructuur

De stagnerende nieuwbouwproductie en de grote leegstand van kantoren voedt de discussie over de levensduur van gebouwen. Uit onderzoek is bekend dat levensduurverlening de meest duurzame maatregel is om milieu-impact te verminderen, simpelweg omdat de belasting over meer jaren wordt verdeeld. Flexibel bouwen krijgt urgentie. In de praktijk is het echter niet gemakkelijk om de gewenste flexibiliteit te vertalen naar een bouwtechnisch systeem dat goed is afgestemd op veranderingen. De resultaten van een universitair onderzoek naar deze afstemming, met daarbij een focus op de draagconstructie.

dr.ir. R. Gijsbers

Roel Gijsbers is onderzoeker building technology aan de Technische Universiteit Eindhoven.

Dit artikel is gebaseerd op het proefschrift *Aanpasbaarheid van de draagstructuur – Veranderbaarheid van de drager op basis van gebruikerseisen in het kader van Slimbouwen* dat geheel is te downloaden via <http://alexandria.tue.nl/extra2/723151.pdf>.



1. De technische levensduur van de verschillende bouwlagen waarin de montagevolgorde wordt bepaald door de technische levensduur.

Met meer 'flexibiliteit' van gebouwen kan de gebruikswaarde ervan worden vergroot. De eindgebruikers zijn de belangrijkste schakel voor het optimaliseren van de gebruikswaarde. Gebruikers besteden immers ongeveer 80% van hun tijd in gebouwen, die dus een groot deel van het leef- en werkgenot bepalen. De eisen die men aan dit verblijf stelt verandert continue. In feite moet een technisch antwoord worden gevonden om aan een toekomstige, lastig te voorspellen vraag te voldoen. De wijze waarop de bouwtechniek gebruiksflexibiliteit kan faciliteren wordt met name sinds de jaren '60 van de vorige eeuw intensief onderzocht. Het uitgangspunt – sindsdien – is dat het bouwtechnisch systeem wordt opgedeeld in een permanent en een veranderbaar gedeelte, respectievelijk 'drager' en 'inbouw'. Flexibiliteit kent in de literatuur verschillende subvormen en benamingen, met vaak grofweg dezelfde betekenis. Dit leidt tot verwarring in de praktijk. Daarom is een ordening nodig die helder is, en waarvan de definities sluitend zijn (zie kader p. 55). Daarnaast zijn ook de technische kenmerken geïdentificeerd die voor de ontwerper als handvat kunnen dienen. Met flexibiliteit wordt hier bedoeld die tijdens de gebruiksfase wordt benut, ofwel *gebruiksflexibiliteit*.

Aanpasbaarheid

Gebruiksflexibiliteit heeft vooral betrekking op functionaliteit, en niet direct op technische oplossingen. Het technische hulpmiddel dat kan worden toegepast om tijdens de gebruiksfase flexibiliteit te activeren, is gedefinieerd als *aanpasbaarheid*. In de definitie is opgesloten dat een aanpassing altijd omkeerbaar is en dat deze met minimale middelen kan worden gerealiseerd. In totaal zijn er elf vormen van aanpasbaarheid geïdentificeerd waaronder verplaatsbaarheid, verwijderbaarheid, vervangbaarheid en opwaardeerbaarheid.

Aanpasbaarheidsmaatregelen zijn de sleutel tot het blijvend vervullen van gebruikerseisen, maar niet onbepaald. Extra techniek

maakt een gebouw veelal duurder. Het is daarom des te belangrijker dat aanpasbaarheidstechnieken op de juiste plek worden toegepast en op het juiste moment kunnen worden geactiveerd, zodat niet hele gebouwen hoeft te worden aangepakt. Aanpasbaarheid moet niet uitsluitend effectief bijdragen aan het flexibel gebruik, maar ook op een efficiënte wijze, in termen van (aanpassings)kosten, uitvoeringsinspanning en milieubelasting. Hiervoor moeten alle levensfasen van een gebouw worden beschouwd (van ontwerp tot bouw, gebruik, onderhoud, verbouw en sloop).

Orde

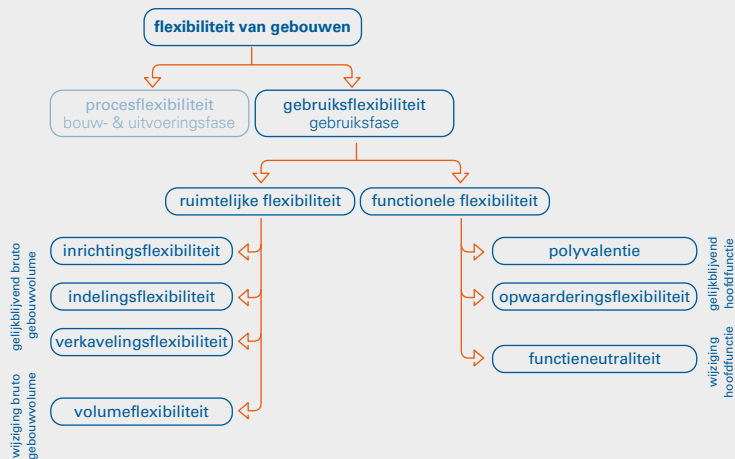
De efficiëntie van een aanpassing wordt sterk bepaald door de verstrengeling van de verschillende gebouwonderdelen. Een gebouw kan technisch worden ontworpen met een duidelijk onderscheid tussen bouwlagen (*afb. 1*) die technisch en functioneel onafhankelijk zijn. Aanpasbaarheid in een afzonderlijke laag maakt het mogelijk om op termijn de specifieke eigenschappen te wijzigen, aansluitend aan de eisen van de gebruiker. De montagewijze, bij voorkeur droog, demontabel en bereikbaar, speelt een cruciale rol bij de inspanning die nodig is om een aanpassing te realiseren.

Flexibiliteit en aanpasbaarheid

In de huidige bouwpraktijk worden aanpasbaarheidsmaatregelen voornamelijk toegepast in de bouwlagen die laat in het bouwproces worden aangebracht, zoals de afbouw en de installaties. Een praktijkscan heeft dit uitgewezen (*tabel 1*).

Het blijkt ook dat de praktijkoplossingen zelden echt aanpasbaar zijn. Vaak zijn verbindingen niet omkeerbaar en belandt een groot gedeelte van het aangepaste onderdeel alsnog op de afvalhoop. Denk hierbij aan 'aanpasbare' binnenwandsystemen, die vrij te plaatsen zijn, maar meestal nauwelijks herbruikbaar. Er wordt bovendien weinig rekening gehouden met de wijze waarop systemen aansluiten. Het één kan het ander namelijk hinderen wanneer een

Definities van flexibiliteitsvormen



Gebruiksflexibiliteit: het vermogen van gebouw om tijdens de gebruiksfase ruimtelijke en/of functionele veranderingen te ondergaan, afgestemd op specifieke gebruikerseisen.

Ruimtelijke Flexibiliteit: maatregelen voor veranderingen in en aan de ruimte.

Inrichtingsflexibiliteit: de inrichting en afwerking van een ruimte kan worden veranderd zonder de vorm en afmetingen van de ruimte te wijzigen.

Indelingsflexibiliteit: de mogelijkheid tot wijzigingen in ruimte-indelingen, waarbij de vorm en afmetingen van ruimten veranderbaar zijn binnen de gebruikruimte van één gebruiker.

Verkavelingsflexibiliteit: de mogelijkheid tot wijzigingen in de verkaveling van de plattegrond. Het gaat hierbij om de ruimteverdeling tussen alle afzonderlijke gebouwgebruikers.

Volumeflexibiliteit: de mogelijkheid tot het vergroten of verkleinen van het gebouwwolume en het aantal vierkante meters gebruiksooppervlak door het toevoegen of verwijderen van aan- en uitbouwen.

Functionele Flexibiliteit: maatregelen voor veranderingen aan de gebruiksfunctie van een ruimte.

Polyvalentie: de functie van een ruimte kan veranderen. Er is geen sprake van een andere gebruiker, de hoofdfunctie blijft hetzelfde en er worden geen aanpassingen van bouwkundige aard gedaan.

Opwaarderingsflexibiliteit: de functionaliteit van een ruimte is met een beperkte aanpassingsinspanning te verbeteren. Er kan sprake zijn van een andere gebruiker, maar de hoofdfunctie blijft hetzelfde.

Functieneutraliteit: de capaciteit van een gebouw of gebouwdeel om een andere functie te huisvesten, zonder of met beperkte bouwkundige aanpassingen.

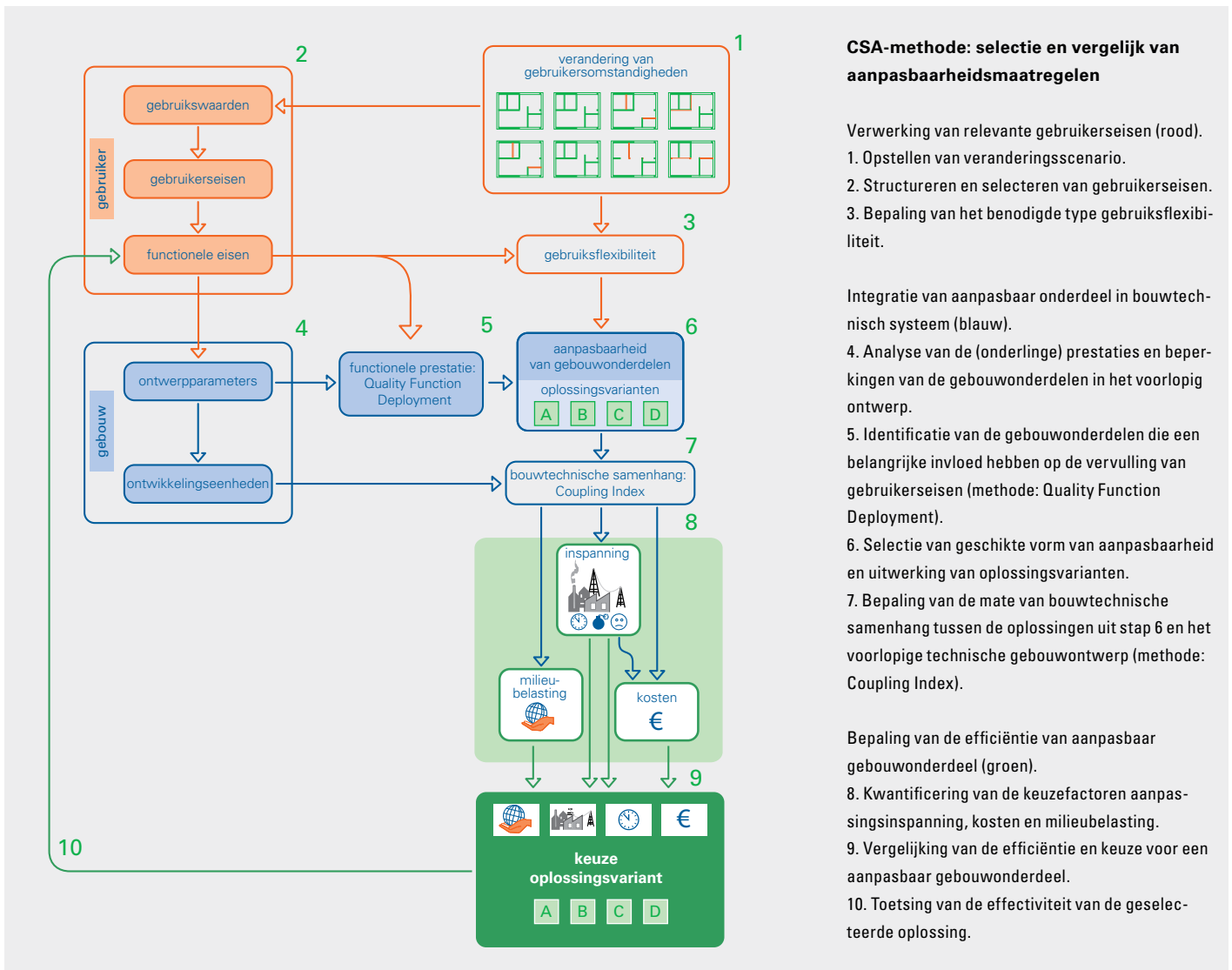
aanpassing gewenst is, hoewel het op zichzelf een slimme oplossing lijkt. Een holle leidingvloer heeft bijvoorbeeld grote potentie om veranderingen in de indeling te kunnen ondersteunen, vanwege de vrije plaatsing en bereikbaarheid van installaties. In de praktijk blijkt echter een volledig demontabele topvloer niet te worden toegepast, maar voorziet men slechts in een zone waarin de holle ruimte bereikbaar is. De aanpasbaarheid kan daardoor nog slechts ten dele worden benut. De ontvlechting van gebouwlagen is in de praktijk nog niet ver genoeg doorgedrongen.

Aanpasbaarheid als instrument

Een beeld van de toekomstige gebruikerseisen maakt het mogelijk om te voorspellen waar aanpasbaarheid op termijn wenselijk is. Onderzocht is daarom hoe gebruikerseisen zich ontwikkelen en hoe deze te vertalen naar technische bouwprestaties. Vervolgens is met deze informatie een methode ontwikkeld die deze vertaalslag kan maken en waarin de effectiviteit en de efficiëntie van verschillende aanpasbaarheidsmaatregelen kunnen worden getoetst en vergeleken. In deze CSA-methode (Comparatieve Selectiemethode voor Aanpasbaarheidsmaatregelen) (kader p. 56) kan de ontwerper met een set (toekomstige) gebruikerseisen een gefundeerde keuze maken voor technische aanpasbaarheidsoplossingen in de vorm van (bestaande) producten. Vervolgens wordt vergeleken welke oplossing het meest efficiënt is, op basis van kosten, uitvoeringsinspanning en milieubelasting (afb. 2). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de bouwfase en de gebruiksfase. Dit is essentieel, omdat een aanpasbaar onderdeel juist in geval van een gewenste aanpassing veel minder kosten en inspanning met zich meebrengt dan een conventionele oplossing, die wellicht in de bouwfase kosten bespaart. Daarnaast kan een aanpassing meer dan één keer nodig zijn tijdens de levensduur van het gebouw, waardoor een eventueel voordeel zwaarder mee kan wegen. Het is gebleken dat oplossingen die relatief eenvoudig aanpasbaar zijn, en waarvan onderdelen grotendeels herbruikbaar zijn, op de lange duur efficiënter zijn dan (conventionele) niet-aanpasbare oplossingen.

Tabel 1. Toegepaste vormen van aanpasbaarheid per gebouwlaag volgens de huidige stand der techniek.

bouwlaag	vormen van aanpasbaarheid										
	verplaatsbaar	reconfigureerbaar	deelbaar	samenvoegbaar	verwijderbaar	uitbreidbaar	inkrimpbaar	vervangbaar	opwaardeerbaar	doorbreekbaar	vervormbaar
1. draagstructuur						■	■			■	
2a. schil: dak		■	■							■	
2b. schil: gevel					■			■		■	■
3. installaties	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■
4. afbouw	■	■			■	■	■	■	■	■	■



CSA-methode: selectie en vergelijk van aanpasbaarheidsmaatregelen

Verwerking van relevante gebruikerseisen (rood).

1. Opstellen van veranderingsscenario.
2. Structureren en selecteren van gebruikerseisen.
3. Bepaling van het benodigde type gebruiksflexibiliteit.

Integratie van aanpasbaar onderdeel in bouwtechnisch systeem (blauw).

4. Analyse van de (onderlinge) prestaties en beperkingen van de gebouwonderdelen in het voorlopig ontwerp.
5. Identificatie van de gebouwonderdelen die een belangrijke invloed hebben op de vervulling van gebruikerseisen (methode: Quality Function Deployment).
6. Selectie van geschikte vorm van aanpasbaarheid en uitwerking van oplossingsvarianten.
7. Bepaling van de mate van bouwtechnische samenhang tussen de oplossingen uit stap 6 en het voorlopige technische gebouwontwerp (methode: Coupling Index).

Bepaling van de efficiëntie van aanpasbaar gebouwonderdeel (groen).

8. Kwantificering van de keuzefactoren aanpassingsinspanning, kosten en milieubelasting.
9. Vergelijking van de efficiëntie en keuze voor een aanpasbaar gebouwonderdeel.
10. Toetsing van de effectiviteit van de geselecteerde oplossing.

De gebouwontwerper kan met de CSA-methode op gestructureerde wijze keuzes maken voor flexibel gebouwgebruik en die op logische wijze in het technisch systeem integreren. Ook wordt daarbij inzichtelijk gemaakt of de gekozen bouwtechniek voldoende geschikt is voor de beoogde aanpasbaarheid, of dat een ander systeem of product een betere basis biedt om de flexibiliteit te benutten.

Flexibiliteit in de constructie

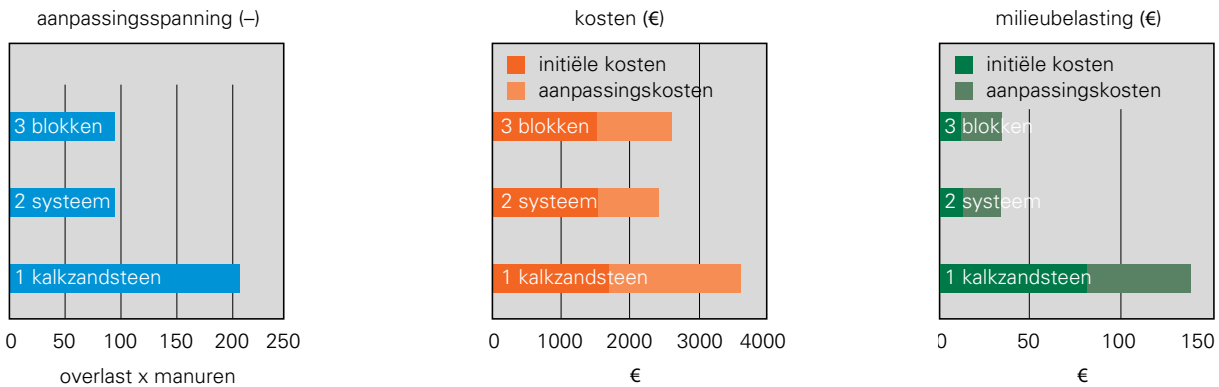
Volgens het drager-inbouw-beginsel is de constructie onveranderbaar. In de praktijk wordt dit ook zonder uitzondering toegepast. De primaire functie van de constructie

is draagkracht en veiligheid. Maar ook voor het functionele ruimtegebruik is de draagstructuur sterk bepalend. De constructiewijze, het draagvermogen, de typen constructie-onderdelen, de stramienafmetingen en de vrije hoogte zijn hierin belangrijke factoren. De ontwerpkeuzes voor deze factoren bepalen grotendeels de ruimtelijke en functionele veranderingsmogelijkheden voor het gebouw en zijn daarom van grote betekenis voor de toekomstige gebruikswaarde.

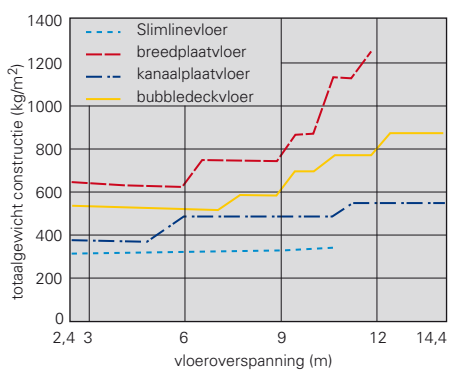
Overmaat: effectief en inefficiënt

In het constructief ontwerp is gebruiksflexibiliteit tegenwoordig een belangrijk aspect. Overmaat is het sleutelwoord. Grote over-

spanningen en ruime stramienafmetingen bieden veel indelingsvrijheid. Ook de keuze voor een kolommenstructuur laat een vrijere indeling toe dan een schijvenstructuur. Een overmaat in draagcapaciteit schept de mogelijkheid voor volumeflexibiliteit, bijvoorbeeld via een optop- of een aanhangmodule. Daarnaast geeft extra draagkracht de ruimte zwaardere gebruiksfuncties te huisvesten. Deze constructieve flexibiliteit blijkt in de praktijk effectief, maar is tegelijkertijd bijzonder inefficiënt. De draagstructuur is gemiddeld genomen verantwoordelijk voor 60% van het totale gebouwgewicht. Grote overspanningen leiden tot zware constructieve onderdelen en daardoor tot een exces-



2. Een voorbeeld van de resultaten van een uitgewerkte case study voor drie varianten voor verplaatsbare binnenwanden. De aanpassingscores gelden voor één aanpassing en kan worden vermenigvuldigd met de frequentie tijdens de gebruikslevensduur.

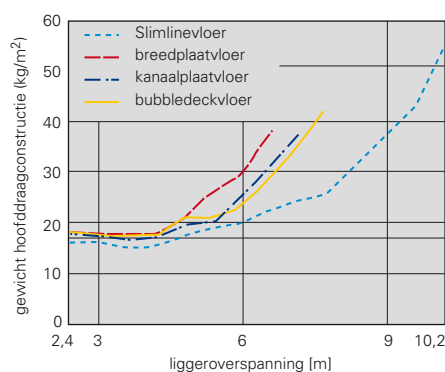


3. Totaalgewicht van de constructie (vloeren, liggers en kolommen) per vierkante meter vloeroppervlak bij een kantoorfunctie met een variabele vloeroverspanning en liggeroverspanning van 5,4 m.

sief gebruik van materiaal en niet-bruikbaar gebouwvolume. Indelingsvrijheid kent bovendien een limiet, waardoor de meerwaarde van een grote overspanning begrensd is.

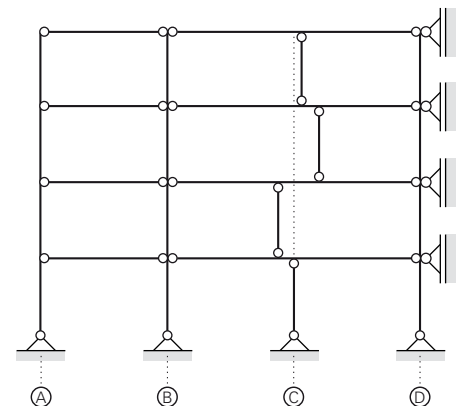
Aanpasbaarheid versus overmaat

In het onderzoek is de vraag gesteld of het mogelijk is om excessief materiaal- en volumegebruik terug te dringen door de overspanningsafmetingen te beperken en toch voldoende indelingsvrijheid te bieden. Wellicht paradoxaal, maar aanpasbaarheid kan hierin mogelijk het antwoord bieden. Voor de constructie is dat echter een nog onontgonnen gebied. Het onderzoek is



4. Gewicht van de onderdelen van de hoofddraagconstructie (liggers en kolommen) per vierkante meter vloeroppervlak bij een kantoorfunctie met een variabele liggeroverspanning en vloeroverspanning van 5,4 m.

bepert tot meerlaagse woon(zorg)- en kantoorgebouwen met een staalskelet. Het blijkt mogelijk om grofweg 50% minder constructiegewicht en vloerdikte te besparen door simpelweg de stramienafmetingen te beperken en door lichtere holle leidingvloer te kiezen (afb. 3 en 4). Dit is een forse afname, van milieubelasting en kosten. Het theoretische optimum ligt bij een stramienafmeting van 3,6x3,6 m. Er is echter uitgezocht bij welk stramien de kolommen werkelijk een belemmering vormt voor een optimale plattegrondindeling: dat is vanaf 5,4x6,0 m. Aanpasbaarheid van de draagstructuur kan in dat geval mogelijk uitkomst bieden.



5. Rekenmodel voor de constructieve analyse van het verplaatsen van kolommen in een geschoord raamwerk.

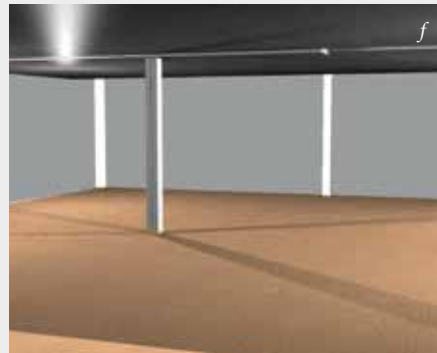
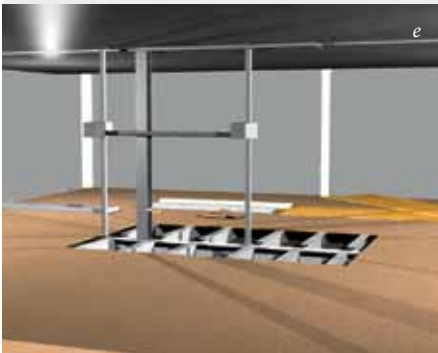
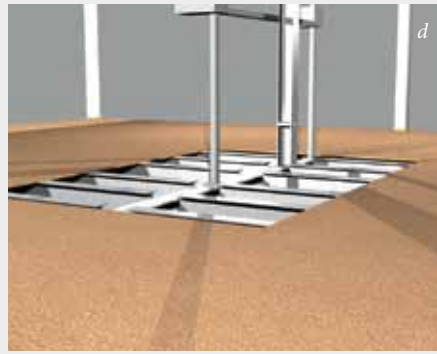
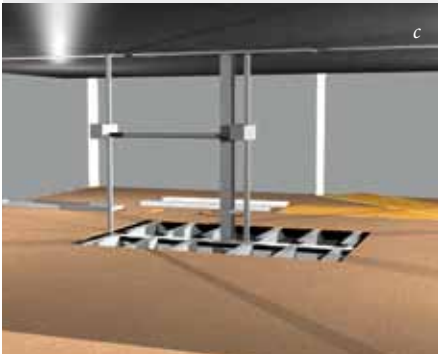
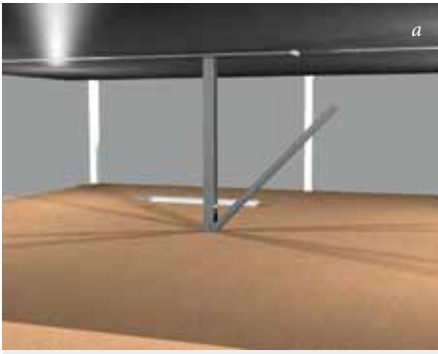
Verplaatsen van kolommen

Bij kleine stramienafmetingen kan het uitkomst bieden om kolommen over een geringe afstand te kunnen verplaatsen, om toch voldoende indelingsvrijheid te realiseren. Voor een functionele meerwaarde blijkt dat ongeveer 50% van de kolommen (niet gelegen in het gevelvlak) verplaatsbaar zou moeten zijn met een range van 2,4 m (1,2 m in twee richtingen). Om de technische haalbaarheid te onderzoeken, is allereerst is met een serie rekenmodellen (met variërende kolomafstanden en kolomverplaatsingen) de constructieve haalbaarheid aangetoond (afb.5). Doordat krachten niet in een rechte lijn worden

Advertentiepagina

Advertentiepagina

Advertentiepagina



Uitvoeringsvolgorde

a/b: Allereerst moeten de kolom en de omliggende constructiedelen vrijgemaakt worden. De omkasting om de kolom wordt verwijderd, de afdekkap die de geleidingsrail aan het oog onttrekt wordt gedemonteerd en de demontabele topvloer wordt verwijderd. Hierdoor worden de kolom en de verbindingen met de boven- en onderligger toegankelijk voor werkzaamheden.

c: De hulpconstructie wordt geplaatst tussen de vloerliggers in de voorgeboorde gaten. Langzaam wordt met een vijzeltechniek de dragende functie van de kolom overgenomen. Hierdoor is de kolom spanningsvrij en kunnen de verbindingen worden losgedraaid.

d: Het onderste deel van de kolom wordt verwijderd. Hierna kan het resterende deel van de kolom, dat nu in de geleidingsrail aan de bovenligger hangt, naar de nieuwe locatie worden gerold. Het onderste deel wordt gemonteerd in de modulair voorgeboorde gaten, waardoor meet- en stelwerk niet nodig zijn. De kolomdelen worden herenigd en alle boutverbindingen met de liggers worden hersteld.

e/f: De kolom wordt weer langzaam op spanning gebracht en gelijktijdig worden de verbindingen volledig gefixeerd. De hulpconstructie kan worden verwijderd en de afbouwelementen kunnen worden teruggezet.

afgevoerd, worden de liggers extra belast. De extreme dwarskrachten bij de verplaatsing kunnen worden opgelost door lokaal de lijfplaten van de geïntegreerde ligger te verdikken. Deze beperkte ingreep is voldoende om ervoor te zorgen dat alleen de buigstijfheid nog maatgevend is. De constructieve haalbaarheid is aangetoond door het constructiegewicht te vergelijken met dat van een model met een liggeroverspanning die tweemaal zo groot is. Het aantal verdiepingen waarbinnen de materiaalbesparing nog rendeert, ligt in de orde van grootte van 10 à 15. Daarbij geldt: hoe minder verdiepingen, hoe groter de materiaalwinst. Het uitgangspunt van de productontwikkeling was dat een kolom binnen één dag en met beperkte overlast voor de gebruiker moet kunnen worden verplaatst. De eindoplossing wijkt niet veel af van een 'normale' kolom. Het verschil zit hem voornamelijk in het verbinding met de liggers. Anders dan gebruikelijk wordt de verplaatsbare kolom tussen de liggers geplaatst.

Het verplaatsingsproces is relatief eenvoudig en niet arbeidsintensief (zie kader boven). Het enige benodigde hulpmiddel is een hulpconstructie die tijdelijk de dragende functie overneemt.

Meerwaarde

De effectiviteit van het verplaatsen van kolommen voor de indeelbaarheid van de plattegrond is een ontwerpexperiment aangetoond. De efficiëntie is getoetst met de CSA-methode. Hierbij zijn twee constructies van een kantoorgebouw met vier verdiepingen vergeleken; de ene met verplaatsbare kolommen (vloeroverspanning 5,4 m) en de andere met een starre constructie met een grotere vloeroverspanning van 9 m. Het is gebleken dat een verplaatsbare kolom kostentechnisch efficiënter is tot een gelimiteerd aantal van zeven verplaatsingen (per verplaatsbare kolom) tijdens de gebruikslevensduur van het gebouw. Door de verplaatsbare kolom is in de case 4% bespaard op het totale constructiegewicht inclusief

vloeren (bij toepassing van een Slimlinevloer van $\pm 300 \text{ kg/m}^2$), en 19% op de hoeveelheid staal in de draagstructuur.

Levensduurgestuurd

Exacte besparingen zijn niet het belangrijkste resultaat. Het voornaamste is dat een frisse blik op flexibel bouwen, gecombineerd met een meer gestructureerde bouwtechniek, leidt tot een verrassend inzicht. De stelling dat de drager onveranderbaar is, is niet meer houdbaar. Hierdoor blijkt zelfs meerwaarde te behalen op economisch en milieutechnisch gebied. Tot op heden is in de bouwpraktijk nog vooral de initiële fase doorslaggevend voor de besluitvorming. De trend is echter dat een lange termijnvisie belangrijker wordt, waardoor levensduurdenken terrein wint. Deze bewustwording creëert ruimte en bestaansrecht voor methoden zoals de CSA-methode, waarmee ontwerpers de verantwoordelijkheid kunnen nemen om levensduurgestuurd te ontwerpen. •