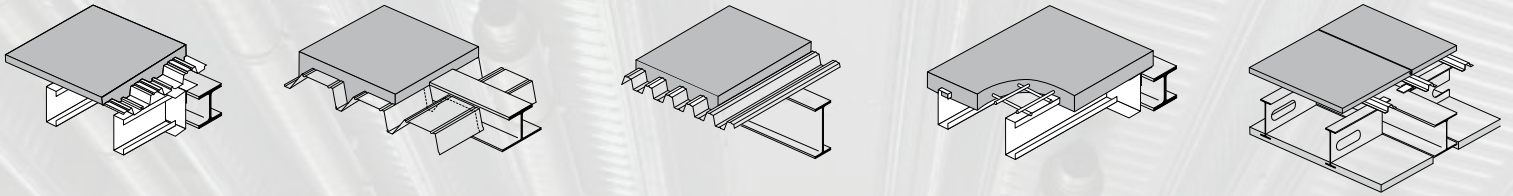


Duurzame stalen vloersystemen





‘We should not try to forecast what will happen, but try to make provisions for what cannot be foreseen’

(John Habraken, Nederlands architect en auteur van *De dragers en de mensen - Het einde van de massawoningbouw*, 1961)

Voorwoord

Vloerconstructies hebben invloed op de levenscyclus van gebouwen. Een vloer die slechts voor één functie, bijvoorbeeld als kantoorverblijf, is ontworpen beperkt de levensduur van een gebouw ten opzichte van die met een minder rigide, dus flexibeler vloersysteem. Door de toenemende behoefte aan duurzaamheid zijn zogeheten levensbestendige gebouwen gewenst: gebouwen die tijdens hun technische levensduur kunnen worden aangepast aan een ander gebruik. Bovendien groeit het bewustzijn dat we minder materialen moeten verbruiken. Het streven naar cradle-to-cradle productsystemen en een ‘circulaire economie’ zijn daarvan leidende beginsels.

Met deze syllabus kan een weloverwogen keuze voor een licht (stalen) vloersysteem worden gemaakt. Opbouw, samenstelling en samenwerking met installaties en de onderliggende en omringende (staal)constructie kunnen worden afgestemd op huidig en toekomstig gebruik.

In dit document is uitgegaan van ‘functioneel specificeren’. Dit biedt de ontwerpende partijen mogelijkheden voor het verbeteren van de prijs/prestatieverhouding (kosten/baten-verhouding) en het stimuleren van innovatie. De levenscyclusbenadering is toegepast, en het voor de bouw nog niet zo gangbare Systems Engineering. Dat is feitelijk niets anders dan een methode om precies datgene te bouwen wat opdrachtgevers, gebruikers en andere relevante partijen willen, nu en later. Andere belangrijk toevoeging is het onderscheid in variant-invariant. Welke onderdelen zijn niet aan te passen, en welke wel? De combinatie bepaalt de flexibiliteit van de vloer.

De syllabus is samengesteld en gebaseerd op oudere en recente publicaties. Daardoor kan een enkele passage gedateerd zijn, maar de essentie blijft hetzelfde.

Wim Verburg
Adviesbureau voor Bouwmarketing, Rotterdam

Colofon

Uitgave

Bouwen met Staal, Zoetermeer

Samenstelling

Delen van deze publicatie zijn overgenomen uit het vakblad *Bouwen met Staal*, op onderdelen uitgebreid en mede gebaseerd op het *Handboek Star-Frame Solutions* en de brochure *Voorbeelden in staalbouw*.

Vormgeving

SD communicatie, Rotterdam

Foto omslag

Fas Keuzenkamp (ESIC, Noordwijk)

Vrijwaring

Uitgever en samenstellers verklaren dat de inhoud van deze brochure zorgvuldig en naar beste weten is samengesteld. Zij aanvaarden geen aansprakelijkheid voor eventuele (zet)fouten en voor schade, van welke aard dan ook, die het gevolg is van handelingen en/of beslissingen die zijn gebaseerd op de geboden informatie.

© Bouwen met Staal 2013

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, in welke vorm dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

ir. B. Potjes

Bennie Potjes is bouwkundig ingenieur en werkzaam als technisch adviseur bij Bouwen met Staal.

De hoofdfuncties van een vloer zijn tamelijk eenvoudig: belastingen afdragen en ruimten van elkaar scheiden, vooral voor geluid en brand. Maar het kiezen van de optimale vloerconstructie is niet zo eenvoudig. Daarbij spelen vele aspecten, met in de hoofdrol de installaties. Integraal kiezen is dus het devies en een onlangs afgerond onderzoek van Bouwen met Staal helpt daarbij. Veranderende eisen aan gebouwen en de wens tot verbetering van bouwprocessen maken lichte vloerconcepten interessanter dan ooit, zo stelt het onderzoek. En een nieuw ontwikkeld kostenmodel laat zien dat lichte vloeren kunnen concurreren in appartement- en kantoorgebouwen.

vooral tot doel kennis te verzamelen. Nu is het afgerond en vastgelegd in een eindrapport. Als vervolg daarop organiseert Bouwen met Staal op 18 september 2008 een seminar, dit najaar verschijnt ook een praktisch gericht brochure. Dit artikel is in grote lijnen gebaseerd op het genoemde onderzoek.

Concurreren

De belangrijkste conclusie uit het onderzoek is dat lichte vloeren inderdaad kunnen concurreren met traditionele betonnen vloeren. Welk type vloer de beste keuze is, hangt vooral af van de specifieke eisen per project. Bij de keuze moeten alle relevante aspecten worden meegewogen. Oftewel, de keuze moet 'integraal' worden gemaakt. Het grootste voordeel van lichte vloeren is niet bij uitstek dat de harde basisfuncties van een vloer (dragen en scheiden) voor de

deelactivering of door het toepassen van PCM's (Phase Change Material) die eenzelfde effect hebben (zie *kader p. 53*).

Daarbij vormt een staalconstructie met een lichte vloer een lagere belasting voor het milieu. Stalen producten zijn volledig recyclebaar, zodat uiteindelijk minder grondstoffen nodig zijn. Voor het transporteren van stalen constructie-onderdelen zijn weinig transporten nodig. Door licht en efficiënt te bouwen kan 10% tot 15% worden bespaard op het totale vrachtverkeer; ongeveer een kwart van al het huidige vrachtverkeer is bestemd voor de bouw. Dat vermindert de verkeersdruk en de CO₂-uitstoot dus aanzienlijk. Installateurs en bouwkundigen zullen de komende jaren de uitdaging moeten aangaan om goede oplossingen te ontwikkelen waarbij installaties in bouwkundige onderdelen worden geïntegreerd. Dat geldt overi-

Integrale keuze van vloeren loont

Lichte vloerconstructies met stalen componenten bestaan al lang en sommigen worden inmiddels betrekkelijk vaak toegepast. Maar er lijkt iets te veranderen. De laatste jaren zien regelmatig nieuwe concepten het levenslicht en ook daarvan neemt de toepassing toe, al is het in veel gevallen voorzichtig. De markt lijkt gevoeliger te worden voor de voordelen die de bedenkers van deze concepten claimen.

De veranderende eisen die de markt stelt en de introductie van nieuwe concepten vormden in 2006 aanleiding een onderzoek te beginnen. De commissie 'Integraal ontworpen vloer voor de staalbouw' onder leiding van prof.ir. J.W.B. Stark onderzocht de toepassing van stalen vloerconcepten met stalen draagconstructies. Met speciale aandacht keek deze commissie naar de relatie tussen installaties en vloeren. Het onderzoek had

laagste inkoopprijs worden vervuld. De voordelen zijn indirecter, en daardoor vaak minder goed zichtbaar, maar kunnen wel doorslaggevend zijn. De laatste jaren zijn juist die minder opvallende eigenschappen van lichte vloeren zwaarder gaan wegen, door veranderende eisen aan gebouwen en de wens tot verbetering van bouwprocessen. Dat verklaart het toenemend succes van lichte vloerconcepten.

Zwaar bouwen achterhaald

Er is allang geen noodzaak meer om zwaar te bouwen om zo te voldoen aan de eisen van comfort en geluidisolatie. Lichte vloeren opgebouwd uit meerlaagse, ontkoppelde constructies presteren uitstekend op geluidisolatie. En net als zware vloeren kunnen lichte vloeren een bijdrage leveren aan een thermisch aangenaam klimaat door bouw-

gens niet uitsluitend voor de vloer, maar ook voor de wanden. Prefabricage van installatie-onderdelen moet het bouwproces simpeler maken, wat uiteindelijk tot een kortere bouwtijd zal leiden.

Het kostenmodel dat in het kader van het onderzoek 'Integraal ontworpen vloer voor de staalbouw' is ontwikkeld, toont aan dat met lichte vloeren economisch aantrekkelijke gebouwen kunnen worden gemaakt.

Vijf typen vloeren

In dit artikel worden vijf lichte stalen vloeren vergeleken (zie *tabel 1*):

- stalen cassettevloer (Ides);
- holle staal-betonvloer (Infra+-vloer, nu bekend als Slimline);
- staalframebouw vloer;
- hoge staalplaat-betonvloer;
- lage staalplaat-betonvloer.



Lichte staalframebouw vloer maakt extra lagen mogelijk.



Het Kraanspoor in Amsterdam kreeg Slimline vloeren voor een beperkte verdiepingshoogte.



Staalskelet en staalplaat-betonvloeren economisch door laag eigengewicht en bouwsnelheid.

Tabel 1 geeft de algemene gegevens van deze vijf vloertypen. Tabel 2 geeft een overzicht van de fysische en technische eigenschappen, en van de meest geëigende toepassingen. Elke vloer heeft immers door zijn specifieke eigenschappen een toepassingsgebied waar de voordelen het best worden benut. Voor een vergelijking met traditionele vloeren zijn ook de eigenschappen van de breedplaatvloer en de kanaalplaatvloer opgenomen.

Alle aspecten meewegen

Voor een goede keuze van de vloer moeten, zoals gezegd, alle aspecten meewegen. Om te beginnen gelden voor elke vloer in principe dezelfde basiseisen, die afhankelijk van de toepassing worden gekwantificeerd.

- Dragen van verticale belasting. De vloer moet voldoende sterk en stijf zijn, en trillingsongevoelig.
- Overbrengen windbelasting naar stabiliteitselementen. Voor deze functie moet de vloer als schijf werken.
- Scheiden van ruimten. Hiervoor moet de vloer voldoende geluidisolatie hebben en voldoende brandwerend zijn.

Naast bovengenoemde basiseisen zijn het meestal andere randvoorwaarden die bepalend zijn voor de vloerkeuze.

- Plattegrond, met positie van kolommen of wanden. De keuze van de vloer hangt af van de overspanningen en de vorm van de plattegrond. Denk daarbij aan onregelmatige of niet-rechthoekige vormen, sparingen.
- Warmte- en koudebuffering. De vloer kan bijdragen aan het binnenmilieu. Voorwaarde is dat de onderkant 'vrij' moet blijven; er kan dan geen doorgaand plafond worden toegepast.
- Leidingen in het vloerpakket. Met leiding-integratie zijn dunne vloeren mogelijk. Van leidingintegratie wordt gesproken als de leidingen zijn opgenomen in het vloerpakket maar wel bereikbaar blijven.
- Afwerking onderzijde. Sommige vloeren zijn al voorzien van een afgewerkte onderzijde, zodat een systeemplafond niet nodig is. Zo kan het vloerpakket dunner zijn en worden bespaard op de kosten van een plafond.
- Zichtbaarheid van liggers onder de vloer. Liggers die onder de vloer uitkomen, kunnen het beeld van een vlak plafond verstoren.
- Flexibiliteit. Bij vloeren met de mogelijkheid tot leidingintegratie kan de vloer betrekkelijk eenvoudig worden aangepast.
- Logistiek. Bij binnenstedelijke locaties is de bouwplaats vaak moeilijk bereikbaar, ontbreken opslagmogelijkheden en is er weinig manoeuvreerruimte voor bouw-

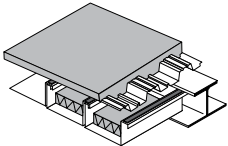
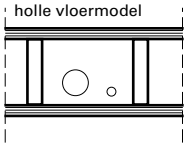
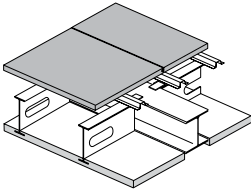
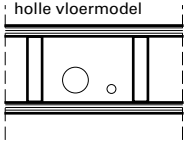
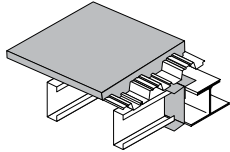
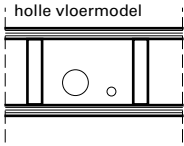
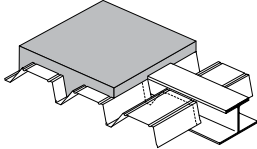
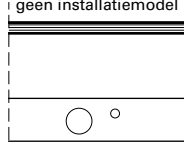
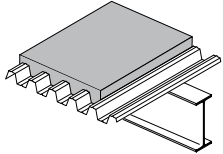
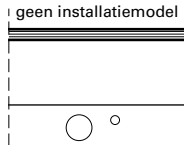
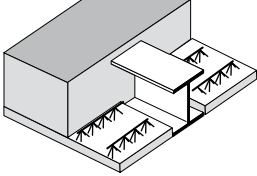
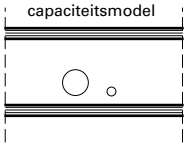
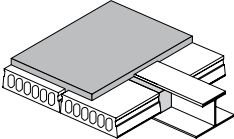
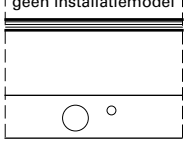
elementen. Dan zijn handzame vloeren in het voordeel.

Een belangrijk criterium bij de keuze is vanzelfsprekend de kosten. Daarbij gaat het niet alleen om de inkoopkosten van de vloer zelf. Ook 'vervolgkosten' moeten worden meegewogen, met daarbij besparingen door een kortere bouwtijd, een kleiner geveleppervlak en lager gebouwgewicht. Van bovenstaande randvoorwaarden worden de belangrijkste toegelicht.

Warmte- en koudebuffering

Een van de maatregelen om het energieverbruik van een gebouw te beperken is bouwdeelactivering (ook bekend als betonkernactivering), oftewel de inzet van (dragende) bouwdeelen voor de warmteopslag of '-buffering'. Doordat een bouwdeel warmte of koude tijdelijk opslaat en vervolgens weer afgeeft, blijft de binnentemperatuur constanter en is dus minder verwarming of koeling nodig. Voor bouwdeelactivering blijkt de vloer het beste medium om te verwarmen terwijl het plafond het beste medium is om te koelen. Dit omdat koude lucht zwaarder is en dus daalt, terwijl warme lucht opstijgt. Vanuit comforteisen is het prettig

Tabel 1. Opbouw, flexibiliteit en toepassingsgebied van vijf 'stalen' vloeren, vergeleken met twee betonnen vloeren.

vloertype	beschrijving		flexibiliteit		toepassingsgebied
			installatiemodel ¹⁾	toegang leidingen ²⁾	
Ides vloer	Vloer opgebouwd uit doors- c.q. gootvormige koudgevormde, verzinkte stalen delen. Open bovenzijde afgewerkt met b.v. multiplex of anhydriet.			ja	Gebouwen waarbij een dunne en zeer lichte vloer is gewenst.
Slimline	Vloer bestaat uit prefab betonplaat waarin onderflens van staalprofielen zijn meegestort. De rest van het profiel steekt boven de plaat uit. De stalen liggers zijn voorzien van sparingen t.b.v. installaties.			ja	Gebouwen waarbij leidingintegratie en bouwdeelactivering is gewenst.
staalframe- bouw vloer	Draagstelsel wordt gevormd door koudgevormde, verzinkte stalen C-profielen. Onderkant wordt afgewerkt met gipsplaten en bovenkant met plaatmateriaal of anhydriet.			ja	Gebouwen waarbij een dunne en zeer lichte vloer is gewenst.
staalplaat- betonvloer (hoog)	Vloer bestaat uit hoge geprofileerde staalplaat die constructief samenwerkt met betonopstorting.			ja	Gebouwen met een grillige plattegrond. Gebouwen waarbij een hoge bouwsnelheid is gewenst.
staalplaat- betonvloer (laag)	Vloer bestaat uit lage geprofileerde staalplaat die constructief samenwerkt met betonopstorting.			ja	Gebouwen met een grillige plattegrond en kleine overspanningen. Gebouwen waarbij een hoge bouwsnelheid is gewenst.
breedplaat- vloer	Prefab betonplaat die op de bouwplaats wordt afgestort tot massieve betonvloer.			nee	Beton- en staalskeletbouw.
kanaalplaat- vloer	Prefab betonplaat voorzien van kanalen.			ja	Gebouwen met rechthoekige plattegrond met grote overspanningen.

Toelichting

1. De vloeren zijn onderscheiden naar de volgende installatiemodellen^[6].

- capaciteitsmodel: leiding meegestort;
- geen installatiemodel: geen directe relatie installaties met de vloer, leiding onder de vloer;
- holle vloermodel: installatie in de vloer.

Bij de bepaling van de installatiemodellen is uitgegaan van installaties met een doorsnede van maximaal 150 mm.

Grotere installaties (zoals luchtbehandeling) moeten veelal onder de vloer worden aangebracht.

2. Mogelijkheid om bij leidingen te komen.

Phase Change Materials Een alternatief voor vloeren zonder bouwdeelactivering is het toepassen van fase-overgangsmaterialen (beter bekend als PCM). Bij de fase-overgang van vast naar vloeibaar wordt een grote hoeveelheid thermische energie (ook wel latente warmte) verbruikt zonder dat de temperatuur van het materiaal verandert. Met dit principe werken ook ijsblokjes in een glas frisdrank: het ijsblokje absorbeert bij het smelten warmte, waardoor de frisdrank langer koel blijft. Voor de toepassing in gebouwen zijn vooral PCM's interessant met een faseovergang bij zo'n 23 tot 26 °C. Komt de luchttemperatuur daarboven, dan zal de PCM warmte gaan bufferen, waardoor de ruimte langer koel blijft zonder energieverbruik. PCM's kunnen tien tot twintig keer meer energie bufferen dan traditionele steenachtige materialen. 10 mm PCM heeft ongeveer dezelfde capaciteit als 100 mm beton. En dat met een massa die te verwaarlozen is ten opzichte van beton. Momenteel zijn er PCM's op de markt die zijn gebaseerd op paraffine. Deze kunnen worden toegepast als dunne stroken die in een holle vloer kunnen worden gelegd. Ze zijn dus geschikt voor de toepassing in de Ides vloer en de staalframebouw vloer. Er zijn ook gipsplaten op de markt waarin PCM zit verwerkt. Deze zijn toe te passen als plafond.

in de winter warme voeten en in de zomer een koel hoofd te hebben.

Lichte vloeren

Voor bouwdeelactivering zijn zware betonnen vloeren niet noodzakelijk. Uit de praktijk blijkt dat voor een 24-uurs cyclus (dag-nacht) slechts zo'n 50 mm betondikte nodig is om de energie te bufferen. De Slimline en de staalplaat-betonvloeren lenen zich dus uitstekend voor bouwdeelactivering. Omdat ook de grootte van het vloeroppervlak een maat is voor het koel- en verwarmend vermogen van de vloer hebben vloertypen met een vergroot oppervlak, zoals de staalplaat-betonvloeren, een grotere warmteoverdracht. Daarmee kunnen deze dus sneller reageren op temperatuurveranderingen^[4]. Behalve passief kan bouwdeelactivering ook actief worden gebruikt. Daarbij wordt gebruikt gemaakt van watervoerende leidingen. Het instorten van watervoerende leidingen is zowel bij de Slimline als de staalplaat-betonvloer goed mogelijk.

Geluidisolatie

Traditionele, zware vloeren kunnen uitstekend presteren op het gebied van geluidisolatie. Maar daarvoor is wel veel massa nodig. Vloeren bestaande uit één laag, zoals breedplaatvloeren en kanaalplaatvloeren, moeten een massa hebben van minimaal 800 kg/m² om te voldoen aan de minimale geluidseisen uit het Bouwbesluit 2003. Dit komt overeen met een breedplaatvloer van 290 mm met een cementdekvloer van 50 mm. Vaak worden strengere eisen gesteld, bijvoorbeeld in het kader van duurzaam bouwen. Dan voldoet zelfs een betonvloer van 800 kg/m² niet meer. Dat maakt een lichte vloer met meer lagen aantrekkelijker. Meerlaagse vloerconstructies combineren goede prestaties met een laag eigen gewicht. Ze bestaan uit twee of drie lagen die akoestisch zijn 'ontkoppeld'^[3]. De lagen kunnen ontkoppeld zijn met alleen een luchtlaag ertussen, zoals bij een vrijdragend plafond, of met verende elementen zoals bij een 'zwevende' dekvloer. De geluidisolerende werking berust op het principe van het massa-veer-systeem. De verende laag bestaat meestal uit minerale wol, (kurk)rubbergranulaat of vilt.

De geluidisolatie is afhankelijk van de massa en stijfheid van de verschillende lagen en de gekozen materialen. De uiteindelijke prestaties hangen niet alleen af van de vloeropbouw; ook de aansluitingen aan de rest van de constructie moeten akoestisch zijn ontkoppeld. Dit vraagt een zeer zorgvuldige detaillering en uitvoering. Daar moet al in een vroeg stadium van het bouwproces rekening mee worden gehouden. Meerlaagse lichte vloeren bestaan in verschillende vormen^[3].

- Doorgaande 'verende' laag. Bijvoorbeeld een minerale wol met daarop de topvloer. Deze oplossing is geschikt voor staalplaat-betonvloeren.
- 'Verende' laag met regelwerk en daarop de topvloer. Deze oplossing is geschikt voor de Slimline en de hoge staalplaat-betonvloer. Bij de hoge staalplaat-betonvloer wordt over het algemeen ook nog een plafond toegepast. De Slimline vloer heeft al een afgewerkt plafond.
- Oplegging op stroken verend materiaal. Deze opbouw zien we bij de holle vloeren zoals de staalframebouw vloer en de Ides-vloer. De holten in de vloer worden gevuld met minerale wol. De staalframebouw vloer wordt ook nog voorzien van een vrijdragend plafond. De Ides vloer heeft al een afgewerkt plafond; met deze standaard oplossing voldoet de Ides vloer niet aan de geluidseisen voor de woningbouw.

Leidingen in het vloerpakket

Vooraf in de vloer zijn leidingen en bouwkundige constructies sterk verweven. Dat maakt het bouwproces chaotisch. Het boek *Slimbouwen*^[1] en het eindrapport van de commissie 'Integraal ontworpen vloer voor de staalbouw'^[2] doen aanbevelingen hoe de vloer een cruciale rol kan spelen bij het verbeteren van het bouwproces.

Scheiding casco en installaties

Het aanbrengen van de leidingen en installaties gebeurt tijdens de ruwbouwfase en de afbouwfase. De installateur kan zijn werkzaamheden niet in één keer afmaken, maar moet tijdens het bouwproces een aantal keren terugkomen. De bouwkundige en installatie-technische werkzaamheden

zijn dus niet goed op elkaar afgestemd. Het boek *Slimbouwen* pleit voor het opknippen van het bouwproces in een aantal deelprocessen die elkaar opvolgen en zo weinig mogelijk van elkaar afhankelijk zijn. Belangrijk daarbij zijn plaats, toegankelijkheid en veranderbaarheid van installatiedelen die zijn ondergebracht in de vloer. Het boek pleit voor zogenoemde 'leidingintegratie': daarbij zitten de leidingen wel in de vloer, maar zijn de bouwkundige en de installatie-technische werkzaamheden ontkoppeld. De installateur kan zijn werkzaamheden in één arbeidsgang afmaken als de ruwbouwfase is afgerond. Leidingintegratie is mogelijk bij een installatiemodel met holle vloeren (zie tabel 1 en ^[6]). Alle lichte vloeren behalve staalplaat-betonvloeren lenen zich bij uitstek voor leidingintegratie. Bij holle vloeren is het ook mogelijk om de 'kanalen' rechtstreeks te gebruiken voor luchttransport, bijvoorbeeld voor het ventileren van een ruimte.

Gunstige neveneffecten

Leidingintegratie verbetert niet alleen het bouwproces, maar heeft ook nog andere voordelen. Zo wordt het vloerpakket dunner (afb. 1), wat de totale gebouwhoogte en dus ook de kosten voor gevels en dergelijke reduceert. Verder blijven de leidingen toegankelijk, zodat leidingverloop en de installaties in de toekomst zonodig kunnen worden aangepast. Indien er is gekozen voor een topvloer van plaatmateriaal is dit relatief eenvoudig uit te voeren; bij een steenachtige topvloer is dit lastiger. Ook biedt leidingintegratie kansen voor nieuwe oplossingen voor het verhogen van het comfort in de woning of op de werkplek. Het werk- of leefklimaat kan namelijk het beste worden beheerst vanuit de vloer of het plafond. Zo is het best rekening te houden met plaatselijke factoren die het klimaat bepalen. Vanuit de vloer kan bijvoorbeeld verwarmde verse lucht worden aangevoerd; het is ook mogelijk watergekoelde lucht vanuit het plafond aan te blazen.

Integrale kostenafweging

Bij de keuze van een verdiepingvloer wordt vaak alleen gekeken naar de inkoopprijs van de vloer. Secundaire kostenvoordelen als

Tabel 2. Algemene gegevens van de vijf stalen vloertypen.

vloertypen	eigenschappen									
	fysisch					technisch				
	lucht- geluid- isolatie ¹⁾ (dB)	contact- geluid- isolatie ²⁾ (dB)	brand- werend- heid ³⁾ (min.)	massa ⁴⁾ (kg/m ²)	mogelijkheid bouwdeel- activering ⁵⁾	vloer- afwerking	dikte vloerafw. (mm)	dikte vloer ⁶⁾ (mm)	dikte vloer- pakket ⁷⁾ (mm)	over- spanning ⁸⁾ (m)
Ides vloer	-3 ⁹⁾	0 ⁹⁾	60 120 ¹⁰⁾	80 180	nee	dekvloer	30	200 340	200 340	5,0 7,0
Slimline	10 ¹¹⁾	10 ¹¹⁾	120	250 320	ja	dekvloer	50	300 500	300 500	5,5 11
staalframebouw vloer	≥ 0 ¹²⁾	≥ 5 ¹²⁾	60	130 160	nee	dekvloer	35	260 400	260 400	3,6 7,2
staalplaat- betonvloer (hoog)	8 ¹²⁾	12 ¹²⁾	60	260	ja	dekvloer	50	330	530	9,0
staalplaat- betonvloer (laag)	3 ¹²⁾	8 ¹²⁾	60	180 300	ja	dekvloer	80	180 280	380 480	2,5 5,5
breedplaatvloer	≥ 6 ¹³⁾	≥ 0 ¹³⁾	90	460 920	ja	dekvloer	50 100	200 400	200 400	4,5 9,5
kanaalplaatvloer	≥ 5 ¹³⁾	≥ 0 ¹³⁾	60 120	360 750	ja	dekvloer	50 100	200 500	400 700	7,5 17

Toelichting

- De genoemde waarden hebben betrekking op de kleinste resp. de grootste vloeroverspanning.
- Bij alle vloeren wordt uitgegaan van een steenachtige afwerkvloer.
- Er wordt uitgegaan van enkelvelds vloeroverspanningen.
- Alle vloeren, met uitzondering van de breedplaatvloer en de staalplaat-betonvloeren, zijn tijdens de uitvoeringsfase ongestempeld.
- De minimale prestaties zijn aangegeven; in sommige situaties zijn betere prestaties mogelijk.

1. $I_{lu,k}$ is karakteristieke isolatie-index voor luchtgeluid. Eis voor woningen volgens Bouwbesluit: $I_{lu,k} \geq 0$ dB.
2. I_{co} is isolatie-index voor contactgeluid. Eis voor woningen volgens Bouwbesluit: $I_{co} \geq +5$ dB.
3. Uitgegaan is van een brandwerendheid zonder extra voorzieningen.
4. Massa voor gehele vloerpakket, exclusief eventueel vrijdragend systeemplafond.

5. Andere mogelijkheid is het toepassen van faseovergangsmaterialen.
6. Dikte exclusief eventuele installatieruimte onder de vloer. De dikte is afhankelijk van de gekozen overspanning.
7. Totale dikte inclusief eventuele installatieruimte van 200 mm onder de vloer. De dikte is afhankelijk van de gekozen overspanning.
8. Gangbare range van overspanningen van de vloerplaat (dus zonder gebruikmaking van tussenliggers) bij een veranderlijke belasting van 2,5 kN/m².
9. Waarde volgens ^[7].
10. Indien voorzieningen zijn getroffen voor membraanwerking van vloer. Daarbij gaat de vloer werken als een soort net.
11. Waarde volgens leverancier.
12. Waarde volgens ^[3].
13. Waarde volgens ^[8].

Tabel 3. Invloed van vloertype op de verschillende kosten van een gebouw.

vloertype	onderdelen waarvan kosten door de vloer worden beïnvloed					
	vloer zelf	draagconstructie	fundering	gevel	plafond	bouwtijd
Ides vloer	-	0	+	+	+	+
Slimline	0	0	+	+	+	0
staalframebouw vloer	0	0	+	+	0	0
sb-vloer hoog	0	0	+	0	-	+
sb-vloer laag	+	-	+	0	-	+
kanaalplaatvloer	+	+	0	-	-	0
breedplaatvloer	0	-	-	0	+	-

Toelichting

- + gekozen vloer leidt tot lagere kosten 0 neutraal - gekozen vloer leidt tot hogere kosten

Meer informatie • Meer informatie over het rapport 'Lichte vloerconcepten voor de staalbouw'^[2] is te verkrijgen bij de auteur van dit artikel (bennie@bouwenmetstaal.nl) • Op donderdag 18 september 2008 organiseert Bouwen met Staal het seminar 'Integrale keuze van vloeren'. Na enkele inleidingen over het keuzeproces en de keuze-criteria komen specialisten aan het woord die ieder de nieuwste ontwikkelingen bij een bepaald vloertype bespreken. Bij dit eerste vloerenseminar is de keuze gevallen op de volgende vloeren in combinatie met een staalskelet: kanaalplaatvloeren, staalplaat-betonvloeren en holle staal-betonvloeren (Slimline). Aanmelden kan via info@bouwenmetstaal.nl • Met de SBR-praktijkrichtlijn *Trillingen van vloeren door lopen*^[14] is het vloercomfort te beoordelen en in de ontwerpfase te verbeteren. Op 11 november 2008 start Bouwen met Staal een cursus over dit onderwerp • Eind 2008 verschijnt de brochure *Integrale keuze van vloeren* met meer praktische informatie over de verschillende vloersystemen • SBR ontwikkelt een Vloerenwijzer, een verfijning en verbreding van de Keuzewijzer Verdiepingsvloeren. Deze is gratis te bestellen via info@slimbouwen.nl.



1. Relatie dikte van het vloerpakket, constructiehoogte en installatiehoogte, tussen een geïntegreerde en niet-geïntegreerde vloer.

gevolg van een kortere bouwtijd, een kleiner geveleppervlak en lager gebouwgewicht worden vaak niet meegenomen. Kostenonderzoek toont aan dat dit niet altijd terecht is.

Kostenmodel lichte vloeren

In opdracht van de commissie 'Integraal ontworpen vloer voor de staalbouw' heeft Vitruvius Consultancy een kostenmodel ontwikkeld voor lichte vloeren. Dit model berekent de totale bouwkosten, afhankelijk van de gekozen vloer. De exploitatiekosten (waaronder energiehuishouding) zijn buiten beschouwing gelaten. Ook voordelen met betrekking tot flexibiliteit, comfort en dergelijke zijn niet meegenomen. De elementprijs van de vloer wordt dynamisch bepaald. Dit betekent dat de prijs afhankelijk is van het totale vloeroppervlak, de overspanning van de vloer en de belasting. Een vloertype met een grote overspanning kost meer dan dezelfde vloer met een korte overspanning. Zo zal ook bij een groot vloeroppervlak de elementprijs afnemen. De berekening van de totale bouwkosten gebeurt op elementniveau. Het type vloer heeft invloed op de kosten van fundering tot en met begane grondvloer, skelet, gevels, inbouw en bouwkundige afwerking, bouwplaatskosten en overhead. De kosten van de elementclusters installaties en daken zijn onafhankelijk van de gekozen vloer.

Kostenconsequenties overzien

De secundaire voordelen van bouwen in staal met bekende lichte vloeren zijn met het kostenmodel nu ook gekwantificeerd. Zo blijken de kosten van de draagconstructie en

de fundering te dalen bij een staalconstructie met een lichte vloer. De kosten van de gevel nemen af als het vloerpakket compact is.

En door een korte bouwtijd nemen de tijdgebonden kosten, zoals de bouwplaatskosten af. Verder kan er bij de vloeren met leiding-integratie kosten worden bespaard voor een plafond. Tabel 3 geeft een overzicht van de relatieve kostenverschillen tussen de verschillende vloeren. Deze tabel geeft een richting voor een passende vloerkeuze.

Voor een goede kostenvergelijking tussen vloeren blijkt het belangrijk om altijd een integrale kostenafweging te maken. Op voorhand is het moeilijk aan te geven welke vloer leidt tot de laagste bouwkosten. Die afweging moet per project worden gemaakt. Zo zal het bijvoorbeeld bij een locatie met een slechte grondgesteldheid voordelig zijn een zo licht mogelijke vloer te kiezen. Bij een ontwerp met een dure gevel is weer een compact vloerpakket voordelig. De kosten van de draagconstructie zijn naast het gewicht van de vloer ook afhankelijk van de vloeroverspanning. Bij een korte, goedkopere vloeroverspanning moeten er meer stalen liggers worden toegepast wat de kosten weer doet stijgen.

Omdat degene die de vloer inkoopt de kostenconsequenties meestal niet overziet, is het beter de vloerkeuze over te laten aan de partij die de opdrachtgever vertegenwoordigt, bijvoorbeeld de architect of de ontwikkelaar. •

Literatuur

1. J.J.N. Lichtenberg, *Slimbouwen*, Aeneas, Bostel, 2005.
2. *Lichte vloerconcepten voor de staalbouw*. Eindrapport van de commissie Integraal ontworpen vloer voor de staalbouw, uitgave Bouwen met Staal, Zoetermeer, 2008.
3. *Kansen voor lichte verdiepinggebouwen*, Bouwen met Staal, Rotterdam, 2004.
4. *Thermisch actieve vloeren. Koelen en verwarmen met betonkernactivering*, SBR, Rotterdam, 2007.
5. *NEN 1070*. Geluidwering in gebouwen – Specificatie en beoordeling van de kwaliteit, 1999.
6. *Flexibele leidingvloeren in de praktijk*. Actualisatie van de brochure 'Variëren met Vloeren', SEV Realisatie en SBR, Rotterdam, 2005.
7. 'Themakatern vloeren', *Bouwwereld* 12 (2002).
8. P.E. Braat-Eggen en L.C.J. van Luxemburg, *Geluidwering in de woningbouw*, Spruyt, Van Mantgem en De Does, Leiden, 1993.
9. *NEN 5077*, Geluidwering in gebouwen – Bepalingsmethoden voor de grootheden voor luchtgeluidisolatie, contactgeluidisolatie, gevelgeluidwering en geluidniveaus veroorzaakt door installaties, 1991.
10. T. Jütte, 'Meer gebouw door intelligente vloer', *Bouwen met Staal* 151 (1999), p. 46-53.
11. 'Rembrandt Tower, Amsterdam', *Bouwen met Staal* 125 (1995), p. 26-47.
12. G.L.H.M. Henkens en P. Legendijk, 'Baken voor Kop van Zuid', *Bouwen met Staal* 162 (2001), p. 44-51.
13. I. ter Borch, *Bewoond optoppen met staalfraambouw*. Projectdocument 6. Renovatie vier woongebouwen Lage Land, Rotterdam, Bouwen met Staal, Zoetermeer, 2007.
14. *Trillingen van vloeren door lopen. Richtlijn voor het voorspellen, meten en beoordelen*, SBR, Rotterdam, 2005.

Ontwerp vloeren als verdienmodel



Bouwbedrijf Aan de Stegge/Continental Car Parks verwerkte 10.000 m² Quantum Deck vloer in een parkeergarage die architectenbureau Paul de Ruiter in opdracht van Gemeente Leiden ontwierp. Het gebouw is volledig demontabel voor hergebruik.

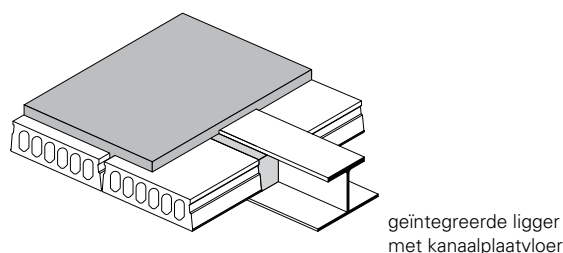
Vloerconstructies beïnvloeden de levenscyclus van een gebouw. Een vloer die slechts voor één functie is ontworpen, beperkt de mogelijkheden tot transformatie. Vloersystemen die wel meerdere functies kunnen 'dragen' zijn relatief eenvoudig te ontwerpen met een pve gebaseerd op de verwachte exploitatie van het object – in wisselende gedaantes. Kennis van Economisch Meest Voordelige Inschrijving (EMVI), levenscycli, variante & invariante (vloer)aspecten en System Engineering is noodzakelijk. Daarbij is te leren van ervaringen in de civiele sector.

Door de toenemende behoefte aan duurzaamheid zijn zogeheten levensbestendige gebouwen gewenst: gebouwen die tijdens hun technische levensduur kunnen worden aangepast aan een ander gebruik. Bovendien groeit het bewustzijn dat we minder materialen moeten *verbruiken*. Het streven naar C2C-systemen (product is grondstof) en de inherente 'circulaire economie' zijn daarvan voorboden. Gebouwen moeten niet meer lineair, maar circulair worden ontworpen (*afb. 1, p. 13*). De flexibiliteit (adaptiviteit) van gebouwen hangt (mede) sterk af van de vloerconstructie: sterkte, stijfheid, comfort maar vooral aanpasbaarheid in vorm, samenstelling en als installatie-medium. Voor het toevoegen van vloersystemen die een vooraf

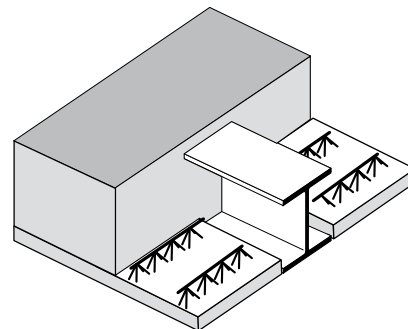
omschreven levenscyclus van het gebouw ondersteunen moet bij het ontwerp ervan een 'functioneel' programma van eisen beschikbaar zijn. Hierin kunnen alle gewenste prestaties worden beschreven. Om er voor te zorgen dat het toe te passen vloersysteem ook past in de bedrijfseconomische randvoorwaarden dient het pve aan te geven wat de baten van het vloersysteem zijn, ofwel de contant gemaakte huurpenningen. Deze baten worden immers niet bepaald door de fysieke vloer zelf maar door de realisatie van de wensen en prestaties: het pve.

Huurpenningen

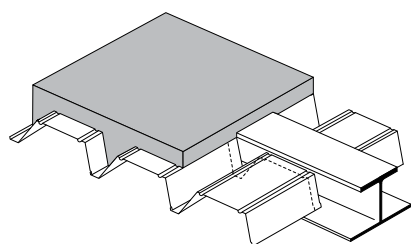
Een vloer is een middel om geld te verdienen. De baten bestaan uit de (contant) gemaakte



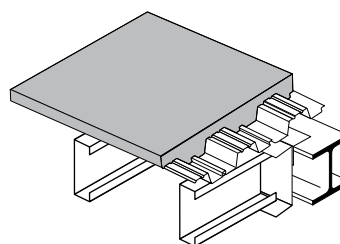
geïntegreerde ligger met kanaalplaatvloer



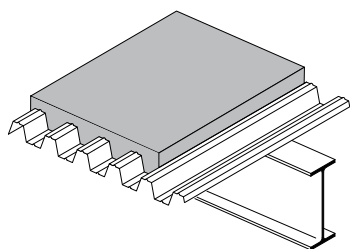
stalen ligger met breedplaatvloer



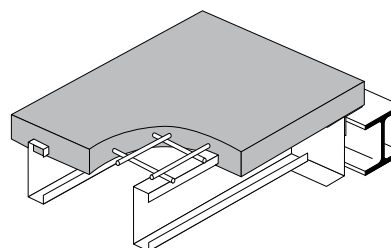
geïntegreerde ligger met hoge staalplaat-betonvloer



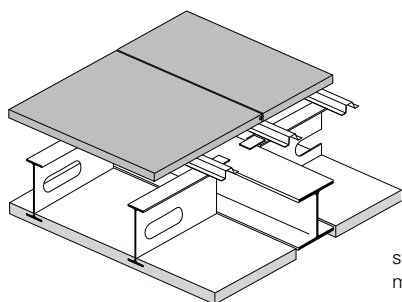
stalen ligger met staalframebouw vloer



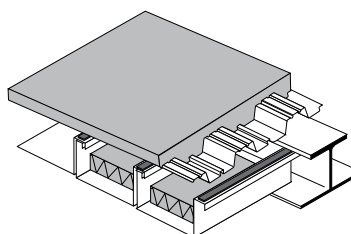
stalen ligger met lage staalplaat-betonvloer



stalen ligger met Quantum Deck vloer



stalen ligger met Slimlinevloer



stalen ligger met Ides vloer

huurpenningen, gedurende de gehele technische levensduur. Tijdens deze levensduur kan de functie van het gebouw veranderen. Het verdienvermogen van een vloer is evenredig aan het aandeel van de kosten van het gebouw. Als een gebouw 100% kost per m² bvo en de vloer kost 12% hiervan, dan is het verdienvermogen van de vloer gelijk aan 12% van de huurpenningen. De investering op verlenging van levensduur – het inbouwen van aanpasbare eigenschappen – loont 1-op-1.

Meest voordelig

Ontwerpen van gebouwen moeten worden gebaseerd op de waarde ervan voor de eindgebruiker. In 'de bouw' is het gebruikelijk om rekening te houden met de wensen van de

opdrachtgever, deze heeft echter (vaak) ook klanten waarmee rekening moet worden gehouden. Uiteindelijk functioneert een gebouw zolang mensen het willen gebruiken. De waarde voor eindgebruikers kan worden uitgedrukt in de – bij de dagelijkse praktijk van de GWW-sector al veel gebruikte – 'Economisch Meest Voordelige Inschrijving (EMVI)'. In plaats van inschrijving wordt ook 'aanbieding' gebruikt, dan heet dit 'EMVA'. Bij de specificatie van een vloer zoekt de ontwerper idealiter naar oplossingen waarvan de kosten, gedurende de verwachte exploitatieperiode, lager zijn dan de baten. De efficiëntie kan worden aangegeven door de 'kosten' te delen door de 'baten'. Een ideale oplossing ligt dus nogmaals in de EMVI: *gunnen op waarde*.

Bij EMVI wordt er in de GWW niet uitsluitend naar de prijs gekeken, eveneens wordt waarde gehecht aan kwalitatieve criteria als publieksgerichtheid (hinder buurtbewoners), duurzaamheid (levensduur en milieu), beschikbaarheid en projectbeheersing. Voor de toepassing van het EMVI-concept in de utiliteits- en woningbouw dienen ontwerpers zich eerst te richten op de processen die de vloer gedurende de technische levensduur moet dragen. In de bouw drukken we die uit in gebruiksfuncties, zoals het Bouwbesluit hanteert. Om nader invulling te kunnen geven aan het EMVI-concept zijn van belang de levensduurkosten en baten van een vloer op basis van de gekozen technische levensduur. Zie afbeelding 2 (p. 13) voor de componenten

van levensduurkosten versus het kosten- en batenplaatje. Om te komen tot een EMVI kan gebruikt worden gemaakt van het zogeheten *System Engineering*.

System Engineering

System Engineering is een nieuwe werkwijze – eveneens ontstaan in de GWW – dat door grote opdrachtgevers, zoals Rijkswaterstaat en Prorail, steeds vaker wordt geëist. In het kort komt het neer op het denken in systemen, expliciet (transparant) werken, levenscyclusbenadering en de mogelijkheid om op elk moment de voortgang te kunnen meten om een project beter te kunnen beheersen. Essentieel is dat System Engineering zich richt op de klantbehoefte(n) gedurende de gehele levenscyclus.

Elk bouwproces heeft diverse, opeenvolgende fasen waarin meerdere disciplines elkaar eens of vaker 'treffen'. Door fasen en disciplines systematisch en iteratief te benaderen en op eisen gestuurd te ontwikkelen, ontstaat een integraal optimum.

Eisen gestuurd ontwikkelen

De 'eisen' volgen de levenscyclus van het gebouw (*afb. 3*), met een mogelijk hergebruik. Tijdens het proces worden eisen van 'topspecificatie' naar '(sub)systeemspecificatie' ontwikkeld. Deze zogenaamde eisenboom leidt tot een functioneel pve. Een functioneel pve beschrijft *wat* het systeem moet doen en *hoe goed*. Het beschrijft dus bewust niet hoe het systeem eruit moet zien. Tegenover de 'eisenboom' staat de 'objectenboom' (oplossingen),

die dezelfde gradatie (van topniveau tot sub-systeemniveau) doorloopt.

Belangrijk ook is dat de eisen op een correcte wijze zijn geformuleerd. Een goede eis is SMART (Specifiek, Meetbaar, Aanvaardbaar, Realistisch, Tijdgebonden). Voor het anticiperen op het 'leven van een project' is RAMS ook een veel gebruikte systematiek voor de infrastructuur: het duidt op de samenhang tussen betrouwbaarheid (Reliability), beschikbaarheid (Availability), onderhoudbaarheid (Maintainability) en veiligheid (Safety). Het object is niet meer het (fysieke) doel, maar een middel, een faciliteit – ook voor meerdere doeleinden in de technische levensduur.

Variant-invariant

Gebouwen kunnen worden ontworpen voor één gebruiksfunctie: 'invariant'. Maar ook voor meerdere functies. Een gebouw heeft immers een technische levensduur van tientallen jaren: een 'variant' ontwerp dus. Kort omschreven.

- (a) Invariant: de technische levensduur is in overeenstemming met de functionele levensduur.
 - (b) Variant: de technische levensduur is onafhankelijk van de functionele levensduur.
- Bij optie (a) ontstaat een gebouw dat na de technische levensduur moet worden gerenoveerd of gesloopt. De hierbij vrijkomende producten en materialen dienen herbruikbaar of recyclebaar te zijn. Een woning blijft echter een woning tot zijn eind. Bij optie (b) bestaat de keuze tot functiewijziging via herbesteden/transformeren. Met

dit in ogenschouw kan het programma van eisen worden ontwikkeld, ook specifiek voor de vloer.

Voor het opstellen van een functioneel pve voor een vloer moet bekend zijn welke kwaliteiten/aspecten voor een vloersysteem relevant zijn. Kwaliteiten die voor iedere functie noodzakelijk zijn, vormen het invariante deel van het pve (levertijden, draagkracht, maatvastheid et cetera). De andere kwaliteiten zijn variant, zoals aanpasbaarheid, geluid- en brandwering en afwerkingsmogelijkheden.

Casus: 100 jaar, 4 functies

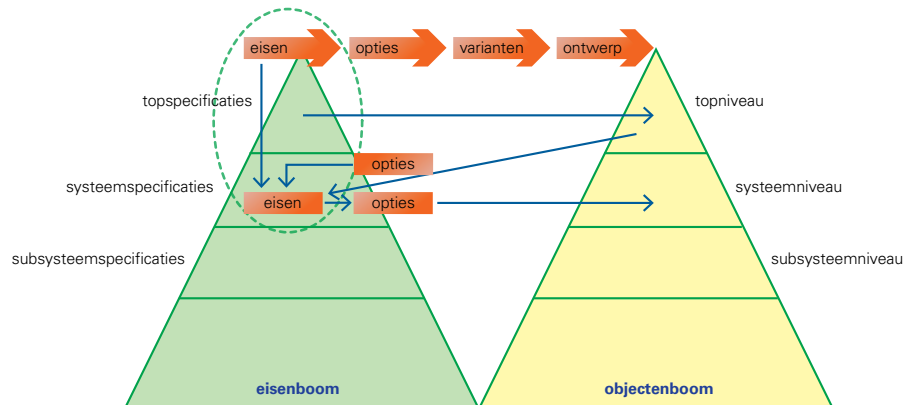
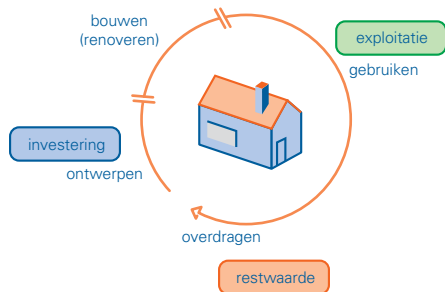
Op de volgende pagina's zijn vier courante vloeren toegelicht: de staalplaat-betonvloer, staalframebouw vloer, Quantumdeckvloer en de Slimlinevloer. De vergelijking is gemaakt met een fictieve casus: een gebouw met een levensduur van honderd jaar. In deze periode dient dit gebouw de volgende functies te accommoderen: senioren huisvesting, verpleeghuisvesting, kinderopvang en sociale woningbouw. Na deze periode wordt het gebouw gestript en het casco blijft – indien verantwoord – gebruikt worden voor andere functies. De vier genoemde functies passen bij de huidige demografische situatie in Nederland. De baten voor het accommoderen van deze zijn afhankelijk van de functie. Bij de casus is een *multicriteria-analyse* gehanteerd (rationeel kiezen van alternatieven op onvergelykbare aspecten), met de opties variant-invariant voor het kwalitatieve levensloopdeel. De baten en lasten kunnen worden gerepresenteerd als in *afbeelding 4*.



Impressie van de Morspoort Parkeergarage in Leiden waarin de Quantum Deck vloer is verwerkt.

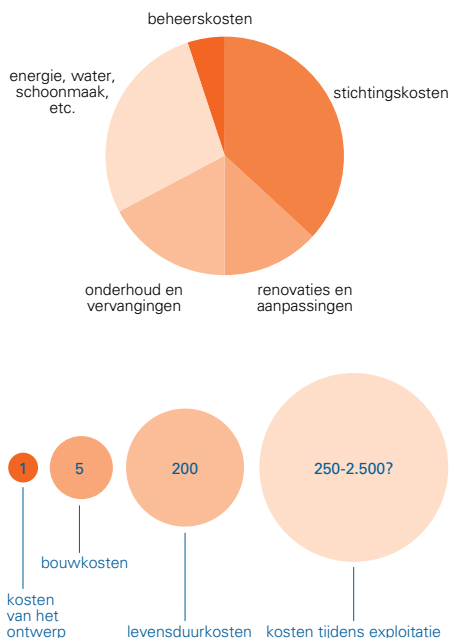
Circulaire economie

De circulaire economie geldt als een radicale breuk met het 'lineaire model' waarop de huidige wereldeconomie is gebaseerd. In dit model is de laatste levensfase van een product niet 'hergebruik', maar 'vernietiging': op de vuilnishoop of in de verbrandingsoven. Dit lineaire model is onhoudbaar omdat grondstoffen beperkt voorradig zijn. Bovendien kan de natuur niet ongelimiteerd afval en schadelijke stoffen opnemen. De grenzen van het lineaire model komen dan ook steeds dichterbij; grondstoffen worden duurder en schoon water en schone lucht worden schaarser. Het natuurlijke systeem is circulair en kan ontelbaar veel wezens voeden zonder dat tekorten of afvalbergen ontstaan. Het nabootsen van de natuur (*biomimicry* of *biomimetisme*) is een van de belangrijke aspecten van de circulaire economie. De cradle-to-cradle gedachte is gebaseerd op de circulaire economie, maar dan meer op productniveau (bron: mvnederland.nl – 12 juli 2013).

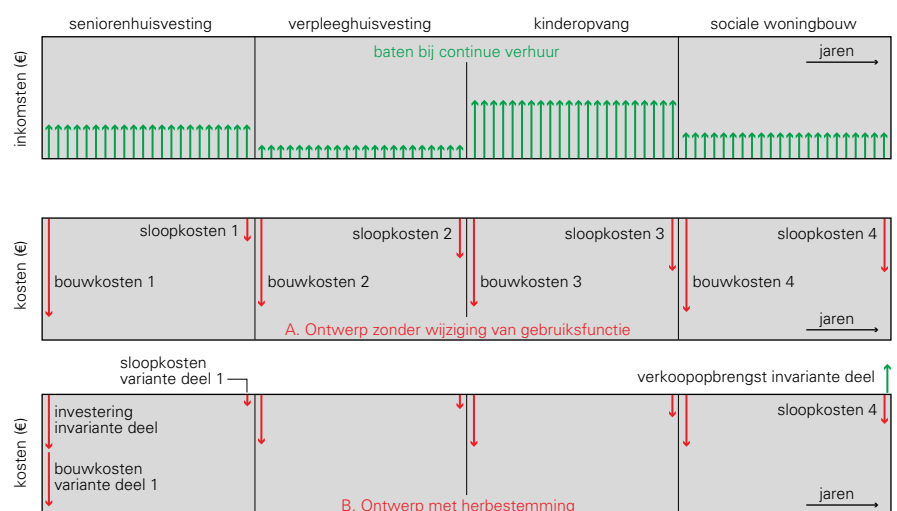


1. Aanpasbaarheid van gebouwen: geen lineair leven (begin-eind-sloop/start), maar een circulair bestaan: meerdere functies en na demontage herbruik- of recyclebare producten.

3. Het ideale programma van eisen ontwikkelt zich van grof naar fijn als 'eisenboom' ('topspecificatie' → '(sub)-systeemspecificatie'). Daardoor kan het 'object' ook ideaal worden ontwikkeld.



2. Levensduurkosten (boven) versus 'het échte kosten- en batenplaatje' van Royal Academy of Engineering (onder). De ontwerp- en bouwkosten zijn bijzonder klein ten opzichte van de levensduurkosten en de te verwachte baten.



4. Baten en lasten van een gebouw met vier opeenvolgende functies met onderscheid naar invariant (A) en variant (B).

Pve

Voor het opstellen van een functioneel pve voor een vloer is van belang te weten welke kwaliteiten voor een vloersysteem relevant zijn, ingedeeld in aspecten. Kwaliteiten die voor iedere functie noodzakelijk zijn vormen het invariante deel van het pve. De andere zijn variant. Hieronder staan aspecten die in het pve kunnen worden opgenomen met daarbij wenken en tips op (sub)-onderdelen. De tabellen bij de vier uitgelichte vloersystemen op de volgende pagina's zijn hierop gebaseerd.

Variant/invariant

Hiermee is kwalitatief beschreven in welke mate een vloerconstructie tijdens de levensduur bedrijfseconomisch verantwoord geschikt kan worden gemaakt voor het dragen van een andere functie.

Uitvoeringsaspecten

In deze publicatie ligt het accent op vloeren die goed kunnen gecombineerd worden met een staalconstructie. Dit zijn in de regel vloeren die de bouwsnelheid van het skelet ondersteunen. Aangezien veel vloeren meerlaags zijn, behoeft de bouwsnelheid van het gehele vloersysteem niet gelijk te zijn aan die van het staalskelet. Het gaat om de mate waarin dat een dragend deel van het vloersysteem tijdens de bouw van het skelet als 'werkvloer' kan functioneren en de constructie kan stabiliseren. Deze snelheid noemen we montagesnelheid. Ander uitvoeringsaspecten zijn:

- levertijd;
- maatnauwkeurigheid (toleranties);
- grootte van de elementen (kunnen ze door de deur?);
- kraaninzet (welke kraan/hijscapaciteit is er voor de plaatsing van het vloersysteem nodig?);
- kunnen er in het werk nog sparingsen worden gemaakt (zo ja, tot welke afmeting?);
- is het een droog vloersysteem?
- is er een BIM-productmodel van het vloersysteem beschikbaar?

Flexibiliteit bij ontwerp ruwbouw

In 'andere' industriële sectoren wordt het zogenaamde Klant(en)OrdeOntkoppelPunt (KOOP) gehanteerd. Ofwel: tot welke

moment in de voorbereidings- of productiefase zijn wijzingen door te voeren. In het algemeen wordt er naar gestreefd het KOOP richting eindgebruik op te schuiven. Dit uiteraard onder de voorwaarde dat het geen meerkosten tot gevolg heeft.

Geometrische aspecten

Hoe is de geometrie van de dragende constructie?

- orthogonaal;
- driehoekig;
- willekeurig.

Hoeveel hoogte is beschikbaar voor het vloersysteem? Dit is inclusief de onder of boven vloer aanwezige leidingen, verhoogde vloeren en plafonds.

Op welke wijze dienen de leidingen voor elektra, sanitair en de klimaatbeheersing in de vloer opgenomen te worden? Dit wordt aangegeven met onderstaande modellen:

- gootmodel (de vloerranden zijn verlaagd voor leidingdoorvoer);
- hollevloermodel (in de vloer kunnen leidingen en/of installaties worden gelegd);
- capaciteitsmodel (leidingen zijn ingestort);
- verhoogde vloermodel (zoals een computervloer).

Esthetische wensen

Dient de vloerconstructie aan de onderzijde zichtbaar te blijven?

Constructieve aspecten

- overspanningen en constructiehoogte;
- afdracht van horizontale belasting (schijfwerking) naar de stabiliteitsconstructie;
- massa;
- comfortniveau bij een loopbelasting;
- welke type gevels kan de vloer dragen.

Brandveiligheid

- welke WDBDO-prestaties kan door de vloer geleverd worden?
- welke bijdrage levert de vloerconstructie aan de permanente vuurbelasting?

Thermische aspecten

- dient de vloer om de ruimten thermisch te scheiden?
- zo ja, bepaal de gewenste Rc-waarde.

Heeft de vloer een functie in het kader van de klimaatbeheersing van de ruimten?

- nee (geen eisen);
- passief (alleen in de vorm van het leveren van warmte-accumulerend vermogen);
- actief (de vloer is voorzien van leidingen voor bouwdeelactivering).
- is combinatie met phase changing materials (pcm's) wenselijk?
- is er vloerverwarming?

Akoestisch prestaties

Lucht- en contactgeluidisolatie, de eisen zijn afhankelijk van de functie.

Belasting van het milieu

Uitgangspunt is dat het vloersysteem voldoet aan het pve. De belasting van het milieu bestaat uit de milieubelasting die het gevolg is van het materiaalgebruik dat aan het vervullen van één functie kan worden toebedeeld.

Deze milieubelasting kan met een milieuge-richte levenscyclusanalyse worden bepaald. De milieubelasting kan niet bepaald worden met GPR-gebouw of andere software. Die hanteren namelijk gemiddelden en houden geen rekening met variante/invariante bouwdeelen.

De duurzaamheid is vooral gebaat bij de realisatie van de gewenste functionaliteit. Materiaalarm ontwerpen is geen doel op zich. Kies concepten die voldoen aan het pve. Vervolgens kan de milieubelasting van het concept worden vastgelegd.

Vloerafwerking

- is een afwerkvloer wenselijk?
- kan de constructieve vloer van (keramische) tegels voorzien worden?

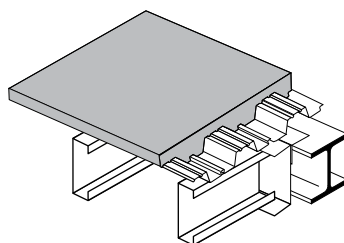
Beschikbare informatie

- overspanningstabellen;
- details;
- meetgegevens/rapporten. •

DUURZAME VLOERSYSTEMEN (2): STAALFRAMEBOUW VLOER

Schuttersveld, Delft. In de voormalige bibliotheek (links op de foto) van TU Delft konden met staalframebouw vloeren verdiepingen worden gemaakt in de relatief lage ruimte. De oude houten kap in het entreegebouw (rechts) is grotendeels vervangen door staalframebouw wanden en vloeren.

Een staalframebouw vloer is een metalen versie van de klassieke houten balklaag. De balken zijn vervangen door C-profielen van verzinkte, geprofileerde staalplaat. De hoogte van het profiel en de staaldikte zijn afhankelijk van de overspanning en bijvoorbeeld de plooiestabiliteit. Op de profielen kan een houtplaat komen of een geprofileerde staalplaat waarop na montage op de bouw een steenachtig materiaal wordt gestort. De profielen liggen in de richting van de langste overspanning. Door de profielen op de koppen te koppelen (met hoekstaal) en door deze te combineren met (staal) plaat, ontstaan geprefabriceerde elementen. De h.o.h.-maten van de profielen en hun hoogte worden per project geoptimaliseerd. De maximale overspanning is in de orde van 10 m, hierbij worden profielen toegepast van ± 400 mm hoog. Bij staalframebouw vloeren is het drager-inbouwprincipe ver doorgevoerd. Het 'kale' prefab staalframevloer element vervult de constructieve functie, deze is invariant. Alle andere gewenste prestaties/functies worden door de afbouw gerealiseerd (variant). De afbouw kan geheel volgens het 'doos-in-doos'-concept worden aangebracht. Er kan worden gekozen voor een steenachtige dekvloer. Deze



kan gedurende de beoogde levenscyclus worden aangepast/verwijderd. Het is een hol vloersysteem: leidingen kunnen in de constructieve ruimte worden opgenomen. De vloeronderdelen zelf worden verbonden met bouten en schroeven en zijn dus zonder meer herbruikbaar. De vloer kan worden geleverd met een KOMO-certificaat (IKOB-BKB IKB 1071). De vloer laten zich combineren met staalframecasco's, staalskeletbouw, beton- en houtconstructies, maar ook met de steenachtige casco's. Via een voorgemonteerde lip kan de vloer in willekeurig welk systeem worden ingehangen. Een gebouw met staalframebouw vloeren kan tijdens zijn levenscyclus meerdere gebruiksfuncties faciliteren. Gedurende de



levenscyclus worden de zogeheten invariante delen mogelijk toegevoegd of vervangen. Bij het bepalen van de milieubelasting dient deze van de onderdelen toegerekend te worden aan de functie(s) die het accommodeert. Zowel staal als gips zijn te beschouwen als C2C. Sparingen in de staalprofielen kunnen niet zonder meer worden gemaakt. Zorg ervoor dat de gaten buiten te constructieve centra liggen.

De vloer kan aan alle eisen aan bouwfysica voldoen (geluid, trillingen en brand) maar de samenstelling (opbouw), overspanning en aansluitingen zijn daarin dominante parameters. Dit aspect is daarom – voor een objectief vergelijk – buiten beschouwing gelaten.

variant/ invariant ¹⁾	andere functie	verkavelbaar ²⁾	LTV/HTK ³⁾	PCM ⁴⁾	installatieswijziging	samenstelling (opbouw)
	ja	ja	ja	ja	ja	+++
uitvoering	levertijd	toleranties	afmetingen	transport	droog/nat	BIM ⁵⁾
	± 8 wkn	± 2 mm	2,5x8 m	materiaalintensief	beide	nee
flexibiliteit ontwerp en uitvoering	aanpasbaarheid elementen	aanpasbaarheid onderdelen	vormvrijheid	opbouw/samenstelling	KOOP ⁶⁾	
	in ontwerp vrij, tijdens ruwbouw minder (vooral bij prefab)	dragende delen per berekening	in ontwerp vrij, tijdens ruwbouw minder (vooral bij prefab)	alle opbouw is mogelijk	ruwbouw/afbouw	
geometrie ⁷⁾	vorm	leidingdoorvoer	sparingen			
	orthogonaal	via holle ruimte	door bovenplaat, door dragende delen per berekening			
constructief	overspanning	constructiehoogte	schijfwerking	massa		
	< 10 m	< 400 mm	ja	> 125 kg/m ²		

1) Hoe een vloer tijdens de beoogde levensduur bedrijfseconomisch verantwoord geschikt kan worden gemaakt voor een andere functie.

2) Bij functieverandering is de verticale scheidingsconstructie onafhankelijk van de draagconstructie.

3) Mogelijkheid van LTV = Laag Temperatuur Verwarming en HTK = Hoog Temperatuur Koeling.

4) Mogelijkheid van het gebruik van PCM. PCM = Phase Changing Material; het materiaal vangt warmte op door 'faseverandering' (vast $\rightarrow$ vloeistof) en geeft het door reverse gedaan teppwisseling weer terug (vloeistof $\rightarrow$ vast).

5) Beschikbaarheid van BIM-model.

6) Het Klant(en)OrderOntkoppelPunt is het moment dat aangeeft hoe ver stroomopwaarts een klantenorder (nog) doordringt in het productieproces en dus kan worden aangepast.

7) Geometrische aspecten: wat is de vorm van het dragende element, zijn doorvoeren mogelijk.

Beschrijving

De draagconstructie van staalframebouw vloeren met dunwandige koudgevormde staalprofielen is gelijk aan alle andere dragende stijl- en regelwerksystemen, zoals houtskeletbouw. Hier is sprake van prefabricage, afgekort prefab, waarbij alle materialen van tevoren in een fabriek of werkplaats tot elementen worden gemaakt, waarna deze naar de bouwplaats worden getransporteerd en verwerkt. Gebruik van prefab elementen kan de bouwtijd aanzienlijk versnellen in de uitvoeringsfase, maar vraagt meer tijd in de voorbereidingsfase. Alles moet goed uitgedacht en uitgetekend zijn, zodat men in de uitvoering geen dure en tijdrovende aanpassingen meer hoeft te verrichten. Een voordeel van prefabricage is dat de elementen van hogere en constante kwaliteit gemaakt kunnen worden omdat het fabricageproces in een gespecialiseerde en gecontroleerde omgeving plaatsvindt met een beter klimaat. De vloerprofielen worden gerolvormd uit verzinkt staalband met diktes van 1,0 tot 5 mm. Hoogte, breedte en profilering is sterk producentafhankelijk (lees: machine-inherent) maar meestal worden C-220 profielen gebruikt (h.o.h. 400 of 600 mm). Constructief is een C 185 vaak voldoende, maar vanwege de integratie van installaties in de holle vloeren is C 220 gunstiger. De oplegzijden zijn voorzien van hoekprofielen die op de dragers worden gelegd, er wordt vaak voor een ingehangen constructie gekozen. In de liggers zitten gaten Ø 130 mm op vaste plaatsen (de momentluwe zones). Hierdoor kunnen W- en E-installaties worden verslept.

Overspanning ligger

Maximaal tot 10 m, optimaal is 7,2 m.

Overwegingen bij het vloerontwerp

De vloeren worden doorgaans ingehangen tussen de draagwanden of -balken (balloonmethode), maar oplegging komt ook voor (platformmethode). De constructiehoogte is met name afhankelijk van de afwerking. Bij een houtplaat van 22 mm ontstaat een constructiehoogte van 242 mm. Wanneer een zwaluwstaartplaat met anhydriet wordt toegepast is de constructiehoogte minimaal 256 mm.



Kenmerken

Een geringe vloerdikte, leidend tot een reductie van de totale vloerhoogte en kosten voor de gevel. Het geïntegreerde systeem levert een nagenoeg vlakke onderzijde. Het maakt leidingintegratie mogelijk en biedt makkelijke verplaatsbaarheid van binnenwanden. Tussen de profielen zijn openingen beschikbaar waar de leidingen in kunnen. Bij stabiliteit door schijfwerking speelt materiaal en materiaaldikte een rol, maar vooral de onderlinge bevestiging voor krachtsoverdracht. Een gebouw met staalframebouw vloeren kan tijdens zijn levenscyclus meer gebruiksfuncties dragen. Gedurende deze levenscyclus worden invariante delen mogelijk toegevoegd of vervangen. Bij het bepalen van de milieubelasting dient deze van de onderdelen toegerekend te worden aan de functie(s) die het accommodeert. Zowel staal als gips zijn te beschouwen als C2C.

Leidingintegratie

Makkelijke plaatsing van leidingen en installaties in de vloer. Kleine installaties en leidingen (met een standaard doorsnede van 130 mm, volgens berekening van de constructeur) zijn door openingen in het lijf van de ligger heen te voeren.

Ontwerpbenadering

- ga uit van zo groot mogelijke elementen;
- plaatsing volgens afspraken systeemlijnen;
- lengte maatvoering nx300 mm;
- optimale lengte 4500-7200 mm;
- maximale lengte 7200 mm;
- breedte maatvoering nx600 mm;
- optimale breedte 1800-3000 mm;
- maximale breedte 4200 mm;
- zo veel mogelijk repetitie (gelijke delen);

- eigen gewicht $\pm 75 \text{ kg/m}^2$ (houtplaat);
- eigen gewicht $\pm 100 \text{ kg/m}^2$ (anhydriet).

Profielvormen

Liggers meestal C 220-profielen en hoger, andere profileringen komen voor.

Totale vloerhoogte

242-450 mm afhankelijk van vloer- en plafondafwerking. De afwerking is een houtplaat of zwaluwstaartplaat met anhydriet. Dat is afhankelijk van de toepassing: voor een dakelement volstaat een houtplaat met daarop de verdere afwerking (dampremmende folie, isolatie, dakbedekking), voor een verdiepingvloer in een woning geeft een anhydrietvloer veel meer kwaliteit. Zeker wanneer dit wordt gecombineerd met een geïntegreerd vloerverwarmingssysteem

Brandbescherming

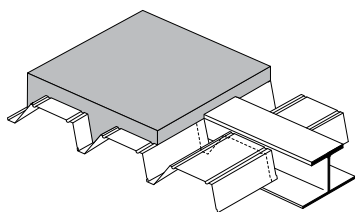
De brandwerendheid wordt verzorgd door de (gipskartonnen) plafondafwerkingen. In een woning geheel van staalframebouw kan voor een volledige brandwerendheid tegen bezwijken van 60 minuten met een 30 minuten-plafond worden volstaan (1x15 mm gips). De vloer 'valt' dan van de 60 minuten brandwerende wanden af; voor hogere waarden voor de vloer (90 en 120 minuten) is dubbele of meervoudige gipsbeplating nodig.

Verbindingen

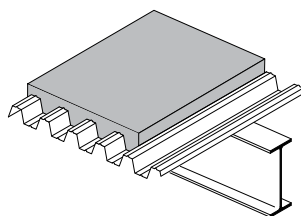
Mechanische verbinding (zelftappers, bouten of soms popnagels) onderling en via een oplegprofiel (hoekstaal) aan de constructie rondom. •

DUURZAME VLOERSYSTEMEN (3): STAALPLAAT-BETONVLOER

Het 60 m hoge Fletcher Hotel aan de A2/A9 heeft slechts een diameter van 24 m en herbergt 120 kamers. De staalplaat-betonvloeren liggen tussen de staalprofielen die radiaal 'hangen' aan de centrale betonkern. Het hotel ontving een GreenCalc B-certificaat. (foto: Jannes Linders via Benthem Crouwel Architects).



geïntegreerde ligger met hoge staalplaat-betonvloer



geïntegreerde ligger met lage staalplaat-betonvloer

Staalplaat-betonvloeren zijn geprofileerde staalplaten waarop in het werk beton wordt gestort. Er zijn uitvoeringen voor combinatie 'lage' staalplaat-betonvloeren met HE- of IP-profielen (op de bovenflens) en er is een versie voor 'hoge' staalplaat-betonvloeren met geïntegreerde liggers (op de onderflens). De 'lage' plaat overspant minder ver. In beide gevallen is er sprake van een staal-betonconstructie. Om de samenwerking tussen de betonschijf en de stalen ligger te verbeteren worden er stalen deuvels op de liggers gelast. Staalplaat-betonvloeren zijn ontwikkeld voor staalskeletbouw. De montage van de stalen beplating volgt direct op de assembla-

ge van de staalconstructie. De kraan hijst een pakket geprofileerde beplating op het gemonteerde staal en vervolgens worden de platen 'uitgelopen' en bevestigd. Het betonstorten kan later gebeuren. De uitharding van het beton is voor de voortgang geen beperkende factor. De stalen beplating fungeert tijdens de montage als de werkvloer. Vervolgens is de plaat de verloren bekisting en de wapening van de staalplaat-betonvloer. Het is dus een hybride constructie. Om de samenwerking tussen de beplating en beton te realiseren is de beplating van onder andere 'dimples' voorzien. Gebouwen met staalplaat-betonvloeren kunnen tijdens de beoog-

de levensduur geschikt worden gemaakt voor het dragen van een andere functie. Een staalconstructie met staalplaat-betonvloer is invariant, de sterkte en stijfheid zijn niet aan te passen. De prestaties van het invariante deel kunnen door afbouw op het gewenste prestatieniveau worden gebracht. De afbouw is dus variant.

De vloer kan aan alle eisen aan bouwfysica voldoen (geluid, trillingen en brand) maar de samenstelling (opbouw), overspanning en aansluitingen zijn daarin dominante parameters. Dit aspect is daarom – voor een objectief vergelijk – buiten beschouwing gelaten.



variant/ invariant ¹⁾	andere functie	verkavelbaar ²⁾	LTV/HTK ³⁾	PCM ⁴⁾	installatiewijziging	samenstelling (opbouw)
	ja	ja	ja	ja	ja	++
uitvoering	levertijd	toleranties	afmetingen	transport	droog/nat	BIM ⁵⁾
	± 1-4 wkn	± 1 mm	n.v.t.	materiaalextensief	nat	nee
flexibiliteit ontwerp en uitvoering	aanpasbaarheid elementen	aanpasbaarheid onderdelen	vormvrijheid	opbouw/samenstelling	KOOP ⁶⁾	
	optimaal	afhankelijk van constructie	optimaal	constructie = star, afbouw is vrij	ruwbouw/afbouw	
geometrie ⁷⁾	vorm	leidingdoorvoer	sparingen			
	divers	via holle ruimte/onder en in de vloer	tot bepaalde grootte 'onbeperkt', daarna per berekening			
constructief	overspanning ⁸⁾	constructiehoogte	schijfwerking	massa		
	< 8 m	< 300 mm	ja	< 365 kg/m ²		

1) Hoe een vloer tijdens de beoogde levensduur bedrijfseconomisch verantwoord geschikt kan worden gemaakt voor een andere functie.

2) Bij functieverandering is de verticale scheidingsconstructie onafhankelijk van de draagconstructie.

3) Mogelijkheid van LTV = Laag Temperatuur Verwarming en HTK = Hoog Temperatuur Koeling.

4) Mogelijkheid van het gebruik van PCM. PCM = Phase Changing Material; het materiaal vangt warmte op door 'faseverandering' (vast → vloeistof) en geeft het door reverse gedaantewisseling weer terug (vloeistof → vast).

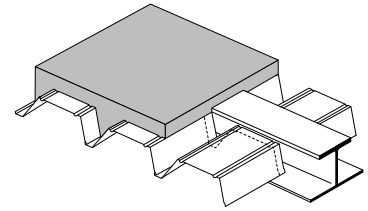
5) Beschikbaarheid van BIM-model.

6) Het Klant(en)OrderOntkoppelPunt is het moment dat aangeeft hoe ver stroomopwaarts een klantenorder (nog) doordringt in het productieproces en dus kan worden aangepast.

7) Geometrische aspecten: wat is de vorm van het dragende element, zijn doorvoeren (leidingen) mogelijk.

8) Tijdelijke onderstempeling kan noodzakelijk zijn.

DUURZAME VLOERSYSTEMEN (3A): HOGE STAALPLAAT-BETONVLOER



Beschrijving

De hoge staalplaat-betonvloer is een vloersysteem dat bestaat uit asymmetrische liggers (ASB: Asymmetric Beams) die hoge staalplaat-betonvloeren ondersteunen. ASB's zijn warmgewalste stalen liggers met een bredere onderflens. De bovenkant van de bovenflens is geribbeld en werkt daardoor zelfs zonder deuken constructief samen met het betondek. De staalplaat overspant tussen de onderflenzen van de liggers en draagt het betondek en de overige belastingen in de montagefase. Overspanningen zijn normaliter gebaseerd op een raster van 6 tot 9 m. De vloerdikte varieert van 280-350 mm. De hoge staalplaat vereist tijdelijke ondersteuning tijdens de montage bij overspanningen groter dan 6 m. ASB-profielen zijn beschikbaar met de hoogtes 280 en 300 mm. Binnen dit assortiment zijn er vijf ASB's met relatief dunne lijven en vijf ASB(FE)-profielen. Deze Fire Engineered-profielen hebben zonder extra bescherming een brandwerendheid van 60 minuten bij een standaardkantoor. Installaties zijn te integreren door verlengde openingen in de liggerlijven te maken, en door leidingen tussen de ribben van de staalplaat te plaatsen. Als randliggers zijn RHS-liggers te gebruiken bestaande uit een rechthoekig kokerprofiel (RHS: Rectangular Hollow Section) met een flensplaat aan de onderzijde gelast. Maar ook ASB's zijn te gebruiken en liggers waarbij de vloerplaat op de bovenzijde rust.

Overspanning ligger

Meestal een raster van 6 tot 7,5 m, maar rasters van 9 bij 9 m zijn mogelijk.

Overwegingen bij het vloerontwerp

Bij een rechthoekige plattegrond is een vloerplan met ASB-liggers in de middenzone en 'gewone' randliggers doorgaans goedkoper dan ASB-liggers die in dwarsrichting overspannen. Wringing kan de profielkeuze, de richting van de liggers en de randliggers bepalen. RHS-liggers weerstaan torsiekrachten beter. Staalplaten hebben tijdelijke ondersteuning nodig bij een overspanning groter dan 6 m (dubbele ondersteuning bij een overspanning van 9 m).

De vloerdikte wordt beïnvloed door het betondek (voornamelijk voor de brandwerendheid), de betonnen druklaag op de ASB, en het betondek op de randligger. Er is geen constructieve samenwerking bij een betonnen druklaag van minder dan 30 mm. Er moet worden nagedacht over de detaillering van de kolom-liggerverbindingen, omdat de flenzen van de ASB breder zijn dan de kolom en wellicht een raveling behoeven. De vloeren zijn te ontwerpen met software die verkrijgbaar is via steel-sci.org.

Kenmerken

Een geringe vloerdikte, leidend tot een reductie van de totale vloerhoogte en kosten voor de gevel. Het geïntegreerde plafondsysteem levert een nagenoeg vlakke onderzijde. Dit maakt leidingintegratie mogelijk en biedt makkelijke verplaatsbaarheid van binnenwanden. Zonder extra maatregelen een brandwerendheid van 60 minuten. Tussen de ribben zijn veel openingen beschikbaar waar de leidingen in kunnen.

Leidingintegratie

Makkelijke plaatsing van leidingen en installaties onder de vloer. Kleine installaties en leidingen (met een doorsnede tot 160 mm) zijn door openingen in het lijf van de ligger heen te voeren.

Ontwerpbenadering

Liggers in een raster met tussenafstanden van 6 m, 7,5 m of 9 m. Let op: als de staalplaat meer dan 6 m overspant zijn tijdelijke ondersteuning nodig. Dit kan invloed hebben op de planning. Kies de staalplaat en ontwerp het betondek. Wees er zeker van dat de hoogte van het dek en de wapening de vereiste brandwerendheid leveren. Ontwerp de ASB's met de software. Kies Fire Engineered-profielen als extra brandbescherming vermeden moet worden. Zorg ervoor, dat het betondek ten minste 30 mm dekking heeft boven de ASB-ligger. Of kies een betondikte die gelijk is aan de bovenkant van de ASB en voorziet deze van wapeningsstaven die door het lijf van de ligger heen voeren. Ontwerp randliggers gebruik makend van

RHS-liggers of liggers die onder de vloer uitsteken, en let daarbij op de detaillering van de gevelaansluitingen. Let er op, dat de hoogte van de randligger overeenkomt met de dikte van het betondek.

Profielvormen

overspanning ligger	overspanning staalplaat-betonvloer (m)		
	6	7,5*	9*
6 m	280 ASB100	280 ASB136	300 ASB153
7,5 m	280 ASB136	300 ASB153	300 ASB185
9 m	300 ASB153	300 ASB185	300 ASB249

*tijdelijke ondersteuning noodzakelijk

Staalkwaliteiten

ASB's zijn uitsluitend verkrijgbaar in S355. RHS-liggers zijn beschikbaar in S275 en S355.

Totale vloerhoogte

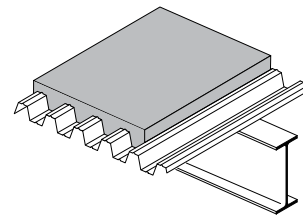
1000-1200 mm met luchtbehandeling (en computervloer).
700-900 mm met lichte installaties (en computervloer).

Brandbescherming

Voor brand ontworpen ASB(FE)-liggers met het lijf en de bovenflens omstort met beton hebben vanaf 60 minuten brandwerendheid extra brandwerende maatregelen nodig. Bij ASB's met dunne lijven is dit bij meer dan 30 minuten brandwerendheid het geval. Dit gebeurt meestal door aan de onderzijde brandwerende beplating aan te brengen. RHS-randliggers hebben normaliter extra bescherming nodig bij een brandwerendheidseis groter dan 60 minuten. Dit wordt meestal gedaan door de onbeschermde zijden van brandwerende beplating te voorzien.

Verbindingen

ASB's hebben kopplaatverbindingen nodig (meestal met 6 of 8 bouten) om torsiekrachten te weerstaan. RHS-liggers gebruiken vaak uitstekende kopplaatverbindingen.



Beschrijving

Een staal-beton constructie bestaat uit I- en H-vormige stalen liggers waarbij op de bovenflens deuvels zijn gelast. Deze zorgen ervoor, dat de ligger en de staalplaat-betonvloer constructief samenwerken. De betonnen vloer en stalen ligger hebben samen een hogere sterkte en stijfheid dan afzonderlijk. Staalplaat-betonvloeren overspannen tussen secundaire vloerliggers, die op hun beurt worden ondersteund door primaire liggers. De secundaire en primaire liggers zijn zo ontworpen, dat ze constructief samenwerken met de vloer. Randliggers doen dat niet, al zijn deuvels te gebruiken voor de constructieve samenhang en om windbelastingen over te brengen.

Een staalplaat-betonvloer bestaat uit een dunne staalplaat en een betonnen dek die constructief samenwerken. Een wapeningsnet is in het dek aangebracht om de brandwerendheid van de vloer te vergroten, om puntbelastingen te verspreiden, om het gebied rondom de deuvels in dwarsrichting te wapenen en om krimp scheuren te beperken.

In de meeste gevallen is de staalplaat zonder tijdelijke ondersteuning te monteren. De plaat draagt in de montagefase het gewicht van het niet-verharde beton en de belastingen en is ten minste ontworpen als een ligger over drie steunpunten. De staalplaat-betonvloer is in de meeste gevallen ontworpen als een ligger op twee steunpunten.

Overspanning ligger

Secundaire liggers: overspanning 6 tot 15 m en hart-op-hart maat 2,5 m tot 4 m. Primaire liggers: overspanning 6 tot 12 m.

Overwegingen bij het vloerontwerp

Plaats de secundaire liggers zo, dat ze niet hoeven te worden ondersteund tijdens de montage. Secundaire liggers met grotere overspanningen verdienen doorgaans de voorkeur.

Bij lage profielen lopen de leidingen onder de liggers door. Ze beïnvloeden op deze wijze de totale vloerhoogte sterk. Maak bij hoge liggers openingen in het lijf om de installaties en leidingen doorheen te voeren.

Randliggers kunnen doorbuigen onder het gewicht van de relatief zware gevel. Kies dan

voor de randliggers hogere profielen dan voor de veldliggers.

Kenmerken

Lage en lichte profielen, daarom lichtgewicht en economisch.

Grote beschikbaarheid van warmgewalste profielen.

Leidingintegratie

De verwarmings- en ventilatie-units zijn in het brede gedeelte tussen de liggers te plaatsen, maar de kanalen moeten onder de ligger door. Leidingen zijn door plaatselijke openingen in het lijf van de ligger te voeren. De openingen hebben een maximale doorsnede van 60% van de profielhoogte.

Ontwerpbenadering

Neem secundaire liggers met een overspanning van 6 tot 15 m die 3 m hart-op-hart liggen. Primaire liggers kunnen 2 tot 3 maal de hart-op-hart maat van de secundaire liggers overspannen, dus 6 tot 9 m.

Kies de vloerplaat en het betondek, gebruik makend van belastingtabellen of software die door de fabrikant beschikbaar zijn gesteld. Vermijd gebruik van tijdelijke ondersteuning tijdens de montage. Ga na of de gekozen betondikte en de wapening voldoen aan de brandwerendheidseisen.

De oriëntatie van het betondek verschilt tussen de secundaire en primaire liggers. Plaats bij secundaire liggers (afhankelijk van de doorsnede vorm van de plaat) de deuvels ongeveer 300 mm van elkaar. Gebruik bij primaire liggers deuvels op een onderlinge afstand van 150 mm.

Profielvormen

Profielhoogte is ongeveer 1/24 van de overspanning voor secundaire liggers en 1/18 van de overspanning voor primaire liggers.

Secundaire liggers: IPE 300 bij een overspanning van 7,5 m en een hart-op-hart maat van 3,75 m.

Primaire liggers: IPE 360 bij een overspanning van 7,5 m en een hart-op-hart maat van 7,5 m.

Staalkwaliteiten

Secundaire liggers en randliggers: gebruike-

lijk zijn S235 of S355.

Primaire liggers: gebruikelijk is S355.

Totale vloerhoogte

Gebruikelijk is de totale vloerhoogte 1000 tot 1200 mm bij een raster van 9 m met een computervloer van 150 mm hoog en luchtbehandelingskanalen die onder de liggers doorgaan.

Type beton

- Normaal beton weegt in verharde toestand 2400 kg/m³.
- Lichtgewicht beton weegt in verharde toestand 1850 kg/m³.

Normaal beton levert een betere geluidsisolatie. Deze betonsoort wordt dus gebruikt bij woongebouwen, ziekenhuizen, enzovoort. Lichtgewicht beton heeft als voordeel dat de massa van het totale gebouw kleiner wordt en de fundering lichter kan. Er zijn grotere overspanningen mee te maken en het heeft een hogere brandwerendheid. En er zijn dunnere vloeren mee te maken: 10 mm dunner dan met normaal beton. Lichtgewicht beton is niet overal beschikbaar.

Betonkwaliteit

Gebruik ten minste C25/30. Pas C35/45 toe bij delen die snel slijten.

Brandbescherming

Liggers (gemiddeld).

- Opschuimende verf: 1,5 mm voor 90 minuten brandwerendheid.
- Brandwerende beplating: 15-25 mm voor 90 minuten brandwerendheid.

Kolommen (gemiddeld).

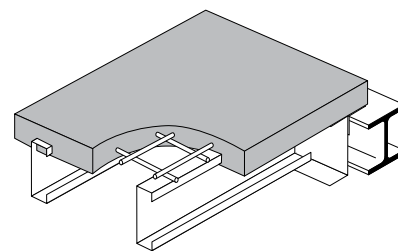
- 15 mm dikke plaat voor 60 minuten brandwerendheid.
- 25 mm dikke plaat voor 90 minuten brandwerendheid.

Verbindingen

Eenvoudige verbindingen die geen momenten, maar uitsluitend normaalkrachten en dwarskrachten overbrengen: hoekprofiel-, kopplaat- en lipverbindingen om de secundaire liggers aan de primaire liggers te bevestigen. •

DUURZAME VLOERSYSTEMEN (4): QUANTUM DECK VLOER

De twintig woningen in de Apeldoornse wijk Zonne-entree zijn gemaakt voor een Collectief Particulier Opdrachtgeverschap. Met de Quantum Deck vloer is op gewicht bespaard maar is wel een prestatie soortgelijk aan de traditionele steenachtige vloeren geleverd. Leidingen kunnen in de holle ruimte tussen de profielen worden gelegd of in de betonlaag worden meegestort (foto: Courage Architecten).



De Quantum Deck vloer bestaat uit een frame van koudgewalste (C-)profielen van verzinkte staalplaat die gedeeltelijk zijn ingestort in een gewapende betonschil van 50 tot 70 mm dik aan de bovenzijde van de vloer. Conceptueel behoort deze vloer tot de staalframe-betonvloer. De profielen liggen in de richting van de overspanning, hoe groter de overspanning hoe zwaarder de profielen (hoogte en staaldikte). Het frame en de betonschil werken constructief samen. De profielen zijn op de koppen verbonden via hoeklijn, tevens de oplegging. Het geheel wordt geprefabriceerd op de bouwplaats

aangeleverd. De gangbare afmetingen zijn 3x8 m.

Bij de Quantum Deck vloer is het drager-inbouwprincipe (functiesplitsing) toegepast. Als er hoge geluideisen worden gesteld, kan de vloer worden gecombineerd met een speciaal (vrij hangend) plafond en/of een extra (isolatie)dekvloer.

De vloerelementen laten zich uitstekend combineren met staalskeletbouw, staalframebouw, kalkzandsteen, houtconstructies en prefabbeton. Door de vloerelementen te combineren met compact gedimensioneerde stalen liggers steken deze niet onder

de vloerprofielen uit. Verder zijn veel karakteristieken gelijk aan die van een staalframebouw vloer, hoewel deze betonvariant per definitie beter scoort, bijvoorbeeld op trillingsgedrag en schijfwerking.

De vloer wordt geleverd met een KOMO-certificaat (IKOB-BKB IKB 1319). Doordat de vloerprofielen deels zijn ingestort neemt de demontabiliteit op (sub)onderdeelniveau af. Leidingen kunnen in de vloer opgenomen worden: het zogenaamde holle vloermodel. Sparingen in de profielen moeten wel in de ontwerpfase worden meegenomen. Daarentegen kunnen de leidingen voor koeling en verwarming in de betonlaag worden opgenomen. Grote sparingen door het lijf van de profielen moeten buiten de constructieve zones (dwarskracht- en momentintensieve delen) liggen.

De vloer kan aan alle eisen aan bouwfysica voldoen (geluid, trillingen en brand) maar de samenstelling (opbouw), overspanning en aansluitingen zijn daarin dominante parameters. Dit aspect is daarom – voor een objectief vergelijk – buiten beschouwing gelaten.

variant/ invariant ¹⁾	andere functie	verkavelbaar ²⁾	LTV/HTK ³⁾	PCM ⁴⁾	installatieswijziging	samenstelling (opbouw)
	ja	ja	ja	ja	ja	++
uitvoering	levertijd	toleranties	afmetingen	transport	droog/nat	BIM ⁵⁾
	± 8 wkn	± 2-5 mm	3x8 m	materiaalintensief	droog	nee
flexibiliteit ontwerp en uitvoering	aanpasbaarheid elementen	aanpasbaarheid onderdelen	vormvrijheid	opbouw/samenstelling	KOOP ⁶⁾	
	in ontwerp goed, in ruwbouw afhankelijk van aantasting sterkte en stijfheid	dragende delen per berekening	in ontwerp redelijk vrij, tijdens ruwbouw minder (prefab)	alle opbouw is mogelijk	ruwbouw/afbouw	
geometrie ⁷⁾	vorm	leidingdoorvoer	sparingen			
	orthogonaal	via holle ruimte	tot bepaalde grootte 'onbeperkt, daarna per berekening			
constructief	overspanning	constructiehoogte	schijfwerking	massa		
	< 11 m	< ±300 mm	ja	> 180 kg/m ²		

1) Hoe een vloer tijdens de beoogde levensduur bedrijfseconomisch verantwoord geschikt kan worden gemaakt voor een andere functie.

2) Bij functieverandering is de verticale scheidingsconstructie onafhankelijk van de draagconstructie.

3) LTV = Laag Temperatuur Verwarming; HTK = Hoog Temperatuur Koeling.

4) Mogelijkheid van het gebruik van PCM. PCM = Phase Changing Material; het materiaal vangt warmte op door 'faseverandering' (vast → vloeistof) en geeft het door reverse gedaantewisseling weer terug (vloeistof → vast).

5) Beschikbaarheid van BIM-model.

6) Het Klant(en)OrderOntkoppelPunt is het moment dat aangeeft hoe ver stroomopwaarts een klantenorder (nog) doordringt in het productieproces en dus kan worden aangepast.

7) Geometrische aspecten: wat is de vorm van het dragende element, zijn doorvoeren mogelijk.

Beschrijving

Het Quantum Deck vloersysteem is een geprefabriceerde staalframe-betonvloer met stalen liggers en aan de bovenzijde een betonlaag(je) waarin de bovenflensen zijn opgenomen. Het staal is koudgevormd verzinkt staal van maar 1,5-2,0 mm dik. Dit staal is gerolvormd tot C-profielen die rug-aan-rug in de overspanningsrichting een drager vormen met een uitgebalanceerde verhouding tussen gewicht en constructieve capaciteit. Dit komt mede door de samenwerking met het zelfverdichtende beton aan de bovenzijde: er vormen zich 'T-profielen' met beton in de drukzone en staal in de trekzone. De vloer heeft geen extra toplaag nodig en is water- en luchtdicht. Het oppervlak is glad (= bovenkant bekisting). Aan de onderzijde van de vloer worden eventueel voorzieningen getroffen voor brandbescherming en/of geluidisolatie, afhankelijk van de eisen. De vloer wordt ook veel gebruikt in (tijdelijke) parkeergarages.

Overspanning ligger

Meestal maximaal tot 14 m.

Overwegingen bij het vloerontwerp

Bij deze vloer wordt een betonnen dek van 51, 61 of 71 mm gecombineerd met stalen C-profielen. De dikte van het dek is afhankelijk van de toepassing: voor standaard binnengebruik volstaat 51 mm, bij een buiten-toepassing wordt een betondikte van 61 mm toegepast en wanneer er slangen voor vloerverwarming/koeling worden geïntegreerd is de betondikte 71 mm. De oplegging is volgens de ballonmethode: ingehangen tussen de draagwanden of draagbalken. Afhankelijk van de constructieve randvoorwaarden betekent dit dat het peil van de vloer bij een betondek van 51 mm op 61 mm boven de oplegging komt te liggen. Variabelen hierbij zijn de betondikte, de dikte van het warmgewalst stalen oplegprofiel in de vloer en eventueel de dikte van het oplegvilt. De volgende wand wordt geplaatst op dit vloerniveau. Eventueel kan worden gekozen voor het sticksysteem wanneer dat qua ontwerp of bouwproces voordeel biedt. Dan zitten op de vier hoeken vierkante stalen kokers. De vloer wordt dan op vier kolommen gezet die in de



kokers steken. Daarop worden ook weer vier kolommen geplaatst waarmee het gebouw verder wordt opgebouwd. Deze methode wordt vaak toegepast bij systeembouw.

Kenmerken

Een geringe vloerdikte, leidend tot een reductie van de totale vloerhoogte en kosten voor de gevel. Het geïntegreerde systeem levert een nagenoeg vlakke boven- en onderzijde. Het maakt leidingintegratie mogelijk en biedt makkelijke verplaatsbaarheid van binnenwanden. Tussen de profielen zijn openingen beschikbaar waar de leidingen in kunnen. Bij stabiliteit kan de betonlaag worden gebruikt als schijf. Het eigen gewicht van de Quantum Deck vloer ligt op $\pm 180 \text{ kg/m}^2$, de variabele belasting varieert tussen 175 en 750 kg/m^2 . Hogere waarden zijn mogelijk maar projectspecifiek. In combinatie met een vrijdragend plafond ontstaat een woningscheidende constructie (voldoet aan eisen voor brand en akoestiek).

Leidingintegratie

Makkelijke plaatsing van leidingen en installaties in de vloer. Kleine installaties en leidingen (met een standaard doorsnede van 130 mm, volgens berekening van de constructeur) zijn door openingen in het lijf van de ligger heen te voeren.

Ontwerpbenadering

- ga uit van zo groot mogelijke elementen;
- plaatsing volgens afspraken systeemlijnen;
- lengte maatvoering $\text{nx}300 \text{ mm}$;
- optimale lengte 5000-8000 mm;

- maximale lengte 11.000 mm;
- breedte maatvoering $\text{nx}600 \text{ mm}$;
- optimale breedte 1800-3000 mm;
- maximale breedte 3600 mm;
- zo veel mogelijk repetitie (gelijke delen);
- variatie in breedte is kostbaarder dan variatie in de lengte (vanwege gecompliceerdere aanpassing van de mal);
- eigen gewicht $\pm 180 \text{ kg/m}^2$.

Profielvormen

Bij de optimale overspanning wordt gekozen voor een C 220-profiel. Dit geeft een constructiehoogte (bovenkant beton-onderkant C-profiel) van minimaal 251 mm.

Totale vloerhoogte

300-550 mm afhankelijk van vloer- en plafondafwerking.

Brandbescherming

De brandwerendheid wordt verzorgd door de (gipskartonnen) plafondafwerkingen. In een woning geheel van staalframebouw kan voor een volledige brandwerendheid tegen bezwijken van 60 minuten met een 30 minuten-plafond worden volstaan (1x15 mm gips). De vloer 'valt' dan van de 60 minuten brandwerende wanden af; voor hogere waarden voor de vloer (90 en 120 minuten) is dubbele of meervoudige gipsbeplating nodig.

Verbindingen

Mechanische verbinding (zelftappers, bouten of soms popnagels) onderling en via een oplegprofiel (hoekstaal) aan de constructie rondom. •

DUURZAME VLOERSYSTEMEN (5): SLIMLINEVLOER

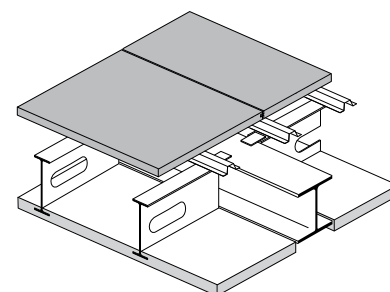
De staalconstructie van woongebouw La Fenêtre in Den Haag is 'ingevuld' met Slimlinevloeren voor flexibiliteit tijdens de bouw én voor op langere termijn, zodat verschillende indelingen (wijziging installaties) mogelijk zijn. Recent heeft de Slimlinevloer (in combinatie met een staalskelet) de beoordeling 'milieuklasse 2A' van NIBE gekregen (foto: Cor van Eldik).

De Slimlinevloer bestaat uit een geprefabriceerde betonplaat van 70 mm dik aan de onderzijde waarin de onderflensen van de dragende staalprofielen zijn ingestort. De vloerliggers zijn voorzien van sparingen voor leidingdoorvoeren. De vloer wordt afgedekt met een zogenaamde topvloer, op de stalen liggers. De stalen liggers lopen in de richting van de overspanning. De Slimlinevloer is ontwikkeld om letterlijk ruimte te bieden voor kabels en leidingen. Dit verklaart ook de positie van de betonschil aan de onderzijde. De betonschil heeft geen primaire constructieve functie. De betonschil vormt wel de bodem van de leidingzone, verzorgt de schijfwerking, levert een bijdrage aan de geluidisolatie, verzorgt de brandveiligheid, verbetert het dynamisch gedrag en is werkvloer in de uitvoeringsfase. Voor de topvloer kan gekozen worden uit een aantal uitvoeringen. Indien de holle ruimte de eerste tiental jaren niet toegankelijk hoeft te zijn dan volstaat een geprofileerde staalplaat met anhydriet of een cementgebonden spaanplaat op omegaprofielen. Ook is er een speciale Slimline-computervloer ontwikkeld.

De vloerelementen laten zich combineren met staalskeletbouw en dragende gevels van beton. Bij staalskeletbouw is combinatie met liggers goed mogelijk. De profielen van de hoofdconstructie kunnen in het vloerpakket worden opgenomen.

Een Slimlinevloer kan tijdens de beoogde levensduur geschikt worden gemaakt voor het dragen van een andere functie. Bij een functiewijziging kunnen de topvloer en de distributieleidingen worden verwijderd of verlegd. Hierbij is het een groot voordeel dat de leidingzone onderdeel is van het compartiment dat de er in aanwezige leidingen bedienen. Een functiewijziging is per verdieping uitvoerbaar.

Leidingen kunnen in de vloer worden opgenomen. Gaten in de vloerprofielen moeten wel in de ontwerpfase worden meegenomen. Aangezien dwarskrachten door het lijf gedragen worden, moeten de grotere sparings buiten de krachtencentra worden gehouden. Dat geldt ook voor de momentzones.



De vloer kan aan alle eisen aan bouwfysica voldoen (geluid, trillingen en brand) maar de samenstelling (opbouw), overspanning en aansluitingen zijn daarin dominante parameters. Dit aspect is daarom – voor een objectief vergelijk – buiten beschouwing gelaten.

variant/ invariant ¹⁾	andere functie	verkavelbaar ²⁾	LTV/HTK ³⁾	PCM ⁴⁾	installatiewijziging	samenstelling (opbouw)
	ja	ja	ja	ja	ja	++
uitvoering	levertijd	toleranties	afmetingen	transport	droog/nat	BIM ⁵⁾
	± 6 wkn	± 5 mm	3,5x16,2 m	materiaalintensief	droog	nee
flexibiliteit ontwerp en uitvoering	aanpasbaarheid elementen	aanpasbaarheid onderdelen	vormvrijheid	opbouw/samenstelling	KOOP ⁶⁾	
	in ontwerp goed, in ruwbouw afhankelijk van aantasting sterkte en stijfheid	dragende delen per berekening	in ontwerp redelijk vrij, tijdens ruwbouw minder (prefab)	alle opbouw is mogelijk	ruwbouw/afbouw	
geometrie ⁷⁾	vorm	leidingdoorvoer	sparingen			
	orthogonaal	via holle ruimte	standaard gatenpatroon, afwijkingen per berekening			
constructief	overspanning	constructiehoogte	schijfwerking	massa		
	< 16,2 m	< 700 mm	ja	< 300 kg/m ²		

1) Hoe een vloer tijdens de beoogde levensduur bedrijfseconomisch verantwoord geschikt kan worden gemaakt voor een andere functie.

2) Bij functieverandering is de verticale scheidingsconstructie onafhankelijk van de draagconstructie.

3) LTV = Laag Temperatuur Verwarming; HTK = Hoog Temperatuur Koeling.

4) Mogelijkheid van het gebruik van PCM. PCM = Phase Changing Material; het materiaal vangt warmte op door 'faseverandering' (vast → vloeistof) en geeft het door reverse gedaantewisseling weer terug (vloeistof → vast).

5) Beschikbaarheid van BIM-model.

6) Het Klant(en)OrderOntkoppelPunt is het moment dat aangeeft hoe ver stroomopwaarts een klantenorder (nog) doordringt in het productieproces en dus kan worden aangepast.

7) Geometrische aspecten: wat is de vorm van het dragende element, zijn doorvoeren mogelijk.

Beschrijving

De vloer bestaat uit parallelle stalen liggers waarvan de onderflenzen zijn ingestort in een betonnen onderdek. Op de bovenflenzen steunt een, al dan niet demontabele, topvloer. Het beton blijft aan de onderzijde in het zicht. Het doel is om de constructieve elementen te scheiden van de leidingen en installaties en om een hoge flexibiliteit te bieden in het ontwerp en tijdens de gebruiksfase. Het systeem maakt het makkelijk om de leidingen en installaties aan te passen.

Overspanning ligger

- Prefab Slimlinesysteem waarbij de ingestorte stalen liggers zich gedragen als secundaire liggers: 4,5 tot 9,6 m.
- Overspanning hoofdligger: 6 tot 12 m; deze dragen de Slimlinevloerliggers.
- Standaard vloerhoogte bij een bepaalde overspanning: 275 mm bij 4,50 m, 295 mm bij 5,40 m, 355 mm bij 7,20 en 445 mm bij 9,60 m.
- Standaardbreedte prefab element van 2400 mm vanwege transporteisen.

Overwegingen bij het vloerontwerp

De (secundaire) stalen liggers zijn onderling verbonden door het betonnen dek aan de onderzijde.

- Eigen gewicht: 1,60 kN/m² (exclusief de topvloer).
- Trillingen: metingen aan bestaande gebouwen tonen aan, dat de minimum eigenfrequentie boven 7 Hz ligt.
- Geluidseigenschappen: De Slimlinevloer en de vloermaterialen vormen een tweeledige constructie die tegemoet komt aan de functionele eisen voor kantoor- en woongebouwen.
- Warmtecapaciteit: omdat er geen plafond is, kan het beton dienen als warmtebuffer om de binnentemperatuur te reguleren.
- Is te gebruiken als begane-grondvloer met isolatie aan de onderzijde, namelijk 80 mm EPS, $R_c = 2,52 \text{ m}^2\text{K/W}$. Dit is inclusief de warmteweerstand van de vloerconstructie.

Kenmerken

Een geringe vloerdikte, leidend tot een reductie van de totale vloerhoogte en kosten voor de gevel. Het geïntegreerde systeem levert een nagenoeg vlakke onderzijde. Het maakt lei-



dingintegratie mogelijk en biedt makkelijke verplaatsbaarheid van binnenwanden. Zonder extra maatregelen een brandwerendheid van 120 minuten. Tussen de ribben zijn openingen beschikbaar waar de leidingen in kunnen.

Leidingintegratie

Makkelijke plaatsing van leidingen en installaties in de vloer. Kleine installaties en leidingen (met een doorsnede tot 160 mm) zijn door openingen in het lijf van de ligger heen te voeren.

Ontwerpbenadering

Het gewicht van de Slimlinevloer is vrijwel onafhankelijk van de overspanning. Bij grote overspanningen blijft de dikte van betonschil gelijk en variëren uitsluitend de afmetingen van de I-vormige liggers. Het gewicht van een 'kale' vloer zonder topvloer bedraagt ongeveer 195 kg/m². Het gewicht van de complete vloer hangt af van de toegepaste topvloer en varieert van 250-300 kg/m². De betonschil

van de Slimline-elementen worden middels een lasverbinding in langsrichting gekoppeld.

Profielvormen

Liggers meestal IPE, hoogte afhankelijk van overspanning.

Staalkwaliteiten

Liggers zijn beschikbaar in S235 en hoger.

Totale vloerhoogte

340-915 mm afhankelijk van topvloerafwerking.

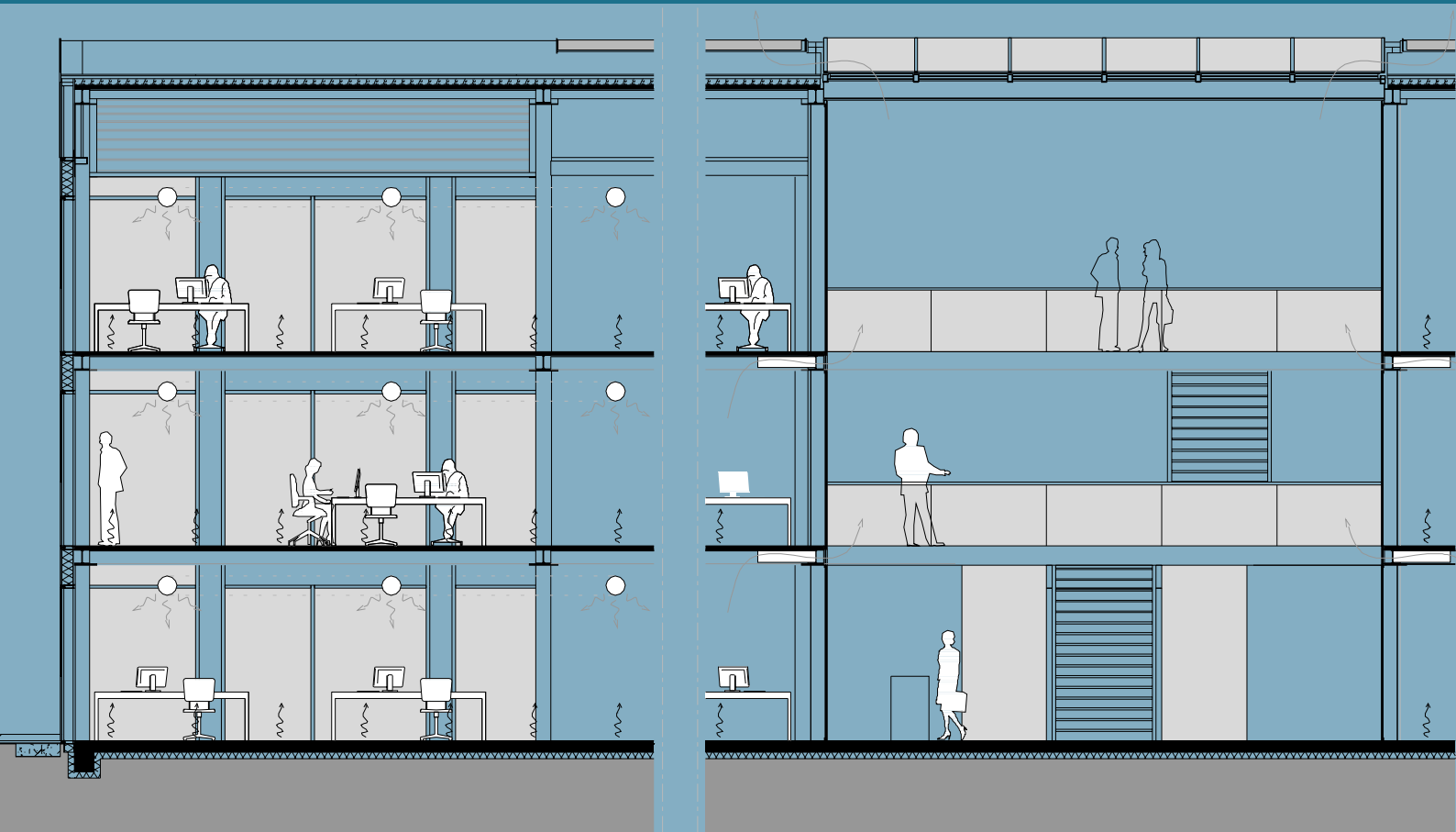
Brandbescherming

Aan de onderzijde zijn geen extra voorzieningen nodig tot 90, soms 120 minuten. Meestal volstaat de betonlaag. Aan de bovenzijde gelden vaak geen eisen.

Verbindingen

Mechanische en/of gelaste verbindingen aan de staalconstructie. Bij een betonnen oplegging worden ankers in het beton gestort. •

Duurzame stalen vloersystemen



Bouwen met Staal

Boerhaavelaan 40
2713 HX Zoetermeer
Postbus 190
2700 AD Zoetermeer
tel: 079-3531277
fax: 079-3531278
info@bouwenmetstaal.nl
www.bouwenmetstaal.nl

BOUWEN MET STAAL

Bouwen met Staal stimuleert het gebruik van staal in de bouw en is dé onafhankelijke kennisorganisatie, die alle partijen in de bouw ondersteunt bij het toepassen van staal. Bouwen met Staal initieert onderzoek voor de kwaliteitsverbetering van stalen bouwproducten en ontwerp- en bouwprocessen met staal en werkt mee aan de totstandkoming van regelgeving voor staaltoepassingen.

Daarnaast verzorgt Bouwen met Staal de promotie, voorlichting en educatie voor een breder én beter gebruik van staal. Tot de producten en diensten behoren opleidingen en cursussen, studieboeken, het vakblad *Bouwen met Staal*, projectadvies, de Helpdesk, de Nationale Staalprijs en de Nationale Staalbouwdag.

Bouwen met Staal: platform en partner voor het bouwen met staal.