

Onderzoek naar externe veiligheid tijdens de bouwfase

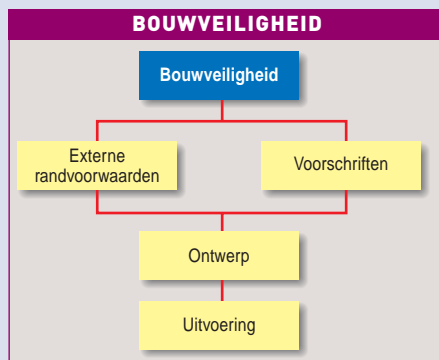
Veilig bouwen bij meer

Een belangrijk aspect van het bouwen boven wegen, sporen of bestaande gebouwen is de veiligheid voor derden tijdens de bouwfase. Aan de TU Delft is een onderzoek verricht dat deze veiligheidsaspecten in kaart brengt. Het is een hulpmiddel voor besluitvormers bij het afwegen van mogelijke veiligheidsmaatregelen.

IR. S.I. SUDDLE

Door de schaarse ruimte (in binnensteden) zijn de laatste jaren in West-Europa projecten ontwikkeld, waarbij meervoudig ruimtegebruik centraal staat. Beheersing van veiligheid speelt bij deze projecten een cruciale rol. Het gaat dan vooral om de veiligheid van derden, dus van personen die niet expliciet bij het bouwproces betrokken zijn, zoals weggebruikers waarboven bouwwerkzaamheden plaatsvinden. De vraag is van welke aspecten de veiligheid van derden bij dergelijke projecten afhangt en hoe deze veiligheid is te waarborgen tijdens de uitvoeringsfase, zodat op economisch verantwoorde wijze geen overschrijding plaatsvindt van de normen voor maatschappelijke risicoacceptatie.

Veiligheid wordt geassocieerd met de mate van het lopen van risico. Risico, de (faal)kans maal het gevolg, kan uitgedrukt worden in materiële schade en in aantal slachtoffers.



Model met de vier hoofdaspecten voor de veiligheid van derden.

Dit risico mag de normen niet overschrijden. Om het risico te bepalen is een kwalitatieve en een kwantitatieve risicoanalyse nodig. Het wettelijk kader kent geen expliciete normen voor de veiligheid van derden.

Casestudies naar gebouwen over de Utrechtse Baan hebben aangetoond dat de problemen sterk zijn te reduceren door in een zo vroeg mogelijk stadium van het bouwproces de eisen inzake hinder en veiligheid zo gedetailleerd mogelijk vast te leggen. Helderere afspraken tussen de mensen die verantwoordelijk zijn voor het treffen en bewaken van de veiligheidsmaatregelen zijn ook belangrijk. Bovendien is een adequate en effectieve inrichting van de bouwplaats vereist om potentieel gevaar en overlast te beperken.

Veiligheidsaspecten

Om veiligheid en risico van derden te bepalen is bij de sectie Gebouwen en Bouwtechniek van de subfaculteit Civiele Techniek van de TU Delft onderzoek verricht naar de aspecten waar de bouwveiligheid van afhangt. Er is een model opgesteld dat de veiligheid van derden in kaart brengt en dat vier hoofdaspecten onderscheidt. Allereerst vormen de voorschriften een handboek voor de procesgang tijdens het project; deze dienen onder andere om de veiligheid tijdens de bouw te beheersen. Maar ook tijdens het ontwerpen dienen zij als basis voor bijvoorbeeld de constructieberekeningen. Het wettelijk kader kan ook gezien worden als een onderdeel van de voorschriften.

Naast de voorschriften vormen de externe randvoorwaarden een belangrijk onderdeel voor de veiligheid van derden. Deze externe randvoorwaarden, opgelegd door de omge-

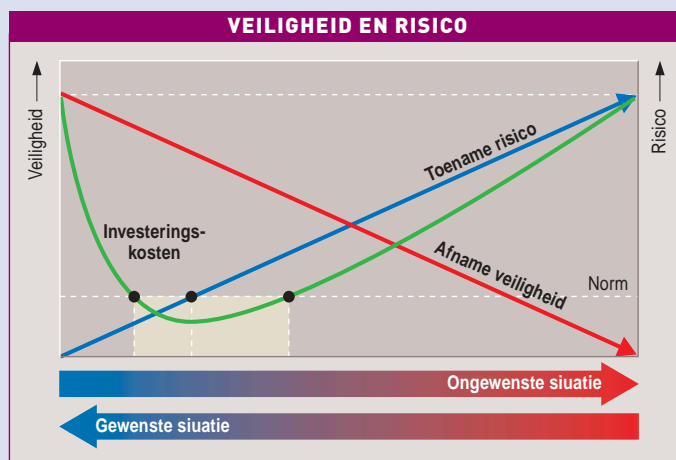


ving, verwoorden typisch een onderdeel dat niet of nauwelijks te veranderen is. Een ander hoofdaspect voor de veiligheid van derden is het ontwerp, onder te verdelen in de dimensies van het gebouw, de architectuur, constructie, functie en technologie; deze zijn tijdens het ontwerp beheersbaar. Het vierde hoofdaspect is de uitvoering. In de uitvoeringsfase van het project zijn de in de ontwerpfase benoemde aspecten moeilijk te veranderen. Mogelijke fouten komen echter in de uitvoeringsfase aan het licht. Van belang tijdens de uitvoeringsfase zijn de organisatie, de betrokken partijen, de beheersaspecten en de preventieve maatregelen.

voudig ruimtegebruik



Casestudies naar gebouwen zoals hier over de Utrechtse Baan in Den Haag toonden aan dat veiligheidsproblemen sterk zijn te reduceren, door in een vroeg stadium van het bouwproces de hinder- en veiligheidseisen zo gedetailleerd mogelijk vast te leggen.



Veiligheid uitgezet tegen risico.

ruimtegebruik zich vooral toespitst op de beheersing van het risico van vallende elementen op het object waarop gebouwd wordt. Het doet er in dit geval niet toe of de vallende elementen delen van een steiger zijn, boutjes, moertjes, bekistingen, gebouwdelen, balken, hamers of bouwvakkers. Deze vallende voorwerpen brengen de veiligheid van derden, in zowel maatschappelijke als economische zin, in gevaar. Het valscenario is derhalve onder de loep genomen.

Vervolgens is een kwantitatieve risicoanalyse uitgevoerd, met behulp van Bayesiaanse netwerken voor een modelgebouw gesitueerd over een 2 x 2-baansweg, bestaande uit tien verdiepingen, waarbij de overspanningslengte 20 meter is en de overbouwingslengte 50 meter. De Bayesiaanse netwerken vormen een grafisch hulpmiddel om de relaties tussen de gebeurtenissen en de aspecten vast te stellen en zijn in het vervolgetraject gekwantificeerd in kansen. Gekeken is naar twee topgebeurtenissen, te weten extra kosten en letsel. De mogelijk kwantificeerbare parameters die volgen uit het model voor de bouwveiligheid van derden zijn: de onderliggende situatie, de (ontwerp)fouten, de plaats waar het voorwerp valt, het al dan niet bezwijken van de hoofdconstructie, het gewicht van het vallende voorwerp, de hoogte waarvan het object valt en het al dan niet vallen van een voorwerp van een bepaalde gewichtsklasse.

Een dergelijk netwerk is ook opgesteld voor het bouwen over sporen en gebouwen. In dit netwerk is de onderlinge relatie te zien tussen de parameters. Deze relaties zijn uitgedrukt in conditionele kansen en omvatten alle mogelijke scenario's die vallende elementen kunnen veroorzaken.

Resultaten risicoanalyse

Uit de resultaten van de kwantitatieve risicoanalyse volgt dat uit maatschappelijk oogpunt het bouwen boven weginfrastructuur de onveiligste vorm van overbouwen is (voor derden), gevolgd door het bouwen boven railinfrastructuur; het bouwen over bestaande gebouwen is de veiligste vorm van overbouwen van de drie. Uit economisch oogpunt verschillen het bouwen over railinfrastructuur en het bouwen over weginfrastructuur niet significant van elkaar. Wederom is het bouwen over bestaande gebouwen gunstiger opzichte van de andere vormen.

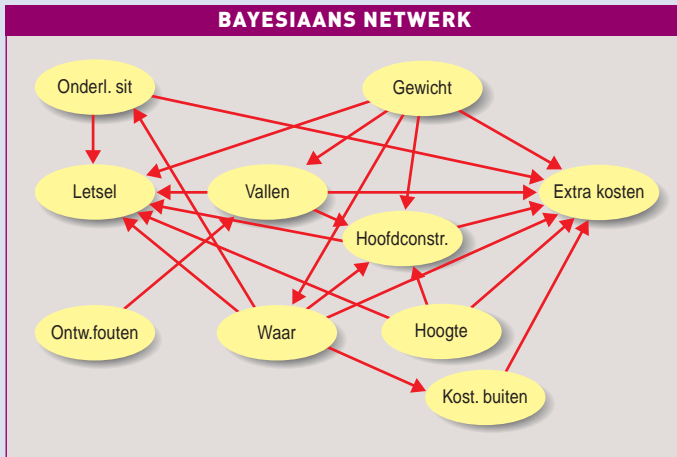
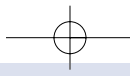
Bij toetsing van de drie vormen van overbouwen aan de normen voor maatschappelijke risicoacceptatie - onder te verdelen in groeps- en individueel risico - is gebleken dat bij het bouwen boven wegen en sporen de norm enigszins wordt overschreden. Maatregelen voor de veiligheid bij bouwen boven een weg zijn uitgewerkt in een optimalisatie.

Gevoeligheidsanalyse

In de uitwerking is door middel van een gevoeligheidsanalyse nagegaan welke aspecten dominant zijn in het Bayesiaanse netwerk. De dominante aspecten zijn: het aantal handelingen per project, de plaats van vallende elementen, de onderliggende situatie en het gewicht van elementen. Verder zijn de risicozones van het gebouw, de gevels waar het gebouw de weg kruist, een belangrijk punt voor het veiligheidsaspect voor derden. Factoren die nauwelijks van invloed zijn, zijn het al dan niet bezwijken van de hoofdconstructie en de eventuele (ontwerp)fouten. Met het oog op de gevoeligheidsanalyse is

Risicoanalyse

Om te bepalen hoe de vier onderdelen waar de bouwveiligheid van afhangt in relatie staan tot het risico, is een risicoanalyse uitgevoerd. In beginsel is deze analyse kwalitatief uitgevoerd met de zogenaamde FMEA-techniek (Failure Mode and Effect Analysis). Het doel van deze techniek is een zo volledig mogelijk beeld te geven van ongewenste gebeurtenissen en gevolgen bij een project. In dit geval is deze techniek toegespitst op de bouw van een gebouw over weginfrastructuur. Uit de analyse blijkt dat de problematiek van veiligheid en hinder bij de uitvoering van bouwprojecten, waarbij sprake is van meervoudig



Met behulp van een Bayesiaans netwerk worden de relaties tussen gebeurtenissen en veiligheidsaspecten vastgelegd.

| RISICOANALYSE | | | | |
|----------------------------------|-----------|-------------|-----------------------|-----------------|
| Vorm van overbouwen | weg | rail | gebouw | |
| Verwachte dodelijke slachtoffers | 1,65 | 1,33 | 8,01·10 ⁻⁴ | maatschappelijk |
| Verwachte gewonde slachtoffers | 5,46 | 1,72 | 8,10·10 ⁻⁴ | maatschappelijk |
| Verwachte kosten per project | € 945.000 | € 1.035.750 | € 17.700 | economisch |

Uit de resultaten van de kwantitatieve risico-analyse blijkt dat maatschappelijk gezien het bouwen boven weg-infrastructuur de meest onveilige vorm van overbouwen is voor derden

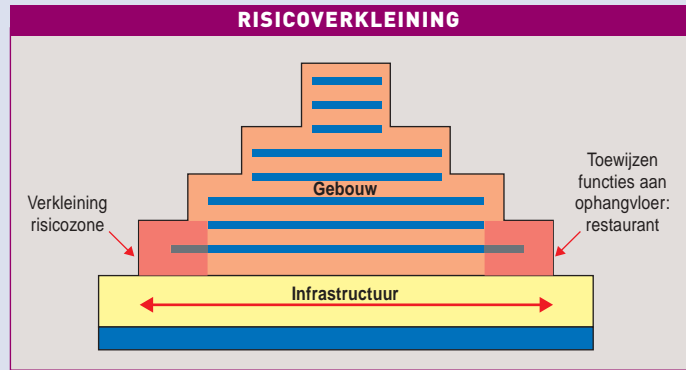
een aantal maatregelen opgesteld voor de optimalisatie. Per maatregel zijn de totale kosten, bestaande uit de investeringskosten en risico, en het verwachte aantal dodelijke slachtoffers bepaald.

Het aantal dodelijke slachtoffers is te reduceren tot nul als men kiest voor de maatregel om de weg af te sluiten tijdens het project of om het 's nachts uit te voeren. Controversieel is dat de (investerings)kosten relatief hoog uitvallen. Deze kosten zijn laag bij het pompen van beton in combinatie met een betonnen opvangvloer in de risicozone. Ook reduceert het verwachte aantal doden met een factor drie ten opzichte van de nulsituatie (modelgebouw), wanneer geen opvangvloer aanwezig is en kanaallaadvloeren zijn gebruikt. Deze verandering betekent echter geen substantiële verbetering ten opzichte van de nulsituatie.

Het toepassen van een opvangvloer heeft het voordeel dat deze het risico elimineert van kleine elementen. Bovendien neemt het ook het psychologisch (schrik)effect weg bij derden. Hiermee is globaal ook een optimalisatie gedaan voor het bouwen boven sporen, want de risico's daarvan zijn overeenkomstig met die bij het bouwen over een weg.

Besluitvorming

De besluitvormer, meestal de gemeente, verkeert bij de afweging tussen te kiezen maatregelen in een dilemma: moet hij kiezen voor het minimaliseren van de economische schade of voor het verminderen van het aantal (dodelijke) slachtoffers. Uiteindelijk komt het erop neer dat naast de gangbare definitie van risico (kans maal gevolg) de controversiële, psychologische benadering van risico (een verondersteld gebrek aan beheersbaarheid) in de besluitvorming wordt meegenomen.



Verbetering van de veiligheid van derden door de verkleining van de hoogte van de risicozone door het gebouw een trapsgewijze vorm te geven.

De vorm van het gebouw kan eveneens een potentiële bijdrage leveren aan de veiligheid van derden. Zo is vermindering van de risicozone mogelijk, door het gebouw een trapsgewijze vorm te geven. Elementen die tijdens de bouw fase van hogere verdiepingen vallen, kunnen meerdere vloeren opvangen; hierdoor wordt het niet alleen sneller opgevangen, maar ook de impuls van het vallend object wordt sterk gereduceerd. Het aanpassen van de vorm van het gebouw kan leiden tot bijzondere architectonische ontwerpen. Men streeft ernaar om een bijzonder ontwerp te ontwikkelen bij dergelijke projecten. Ook kan de opvangvloer een aanvullende functie krijgen, zodat verwijdering na de bouw niet meer nodig is. Te denken valt aan een restaurant of een parkeergarage in de onderste lagen.

Vervolgonderzoek

De veiligheid van derden in de bouw fase is met dit onderzoek in kaart gebracht. Uiteraard zijn er andere vormen van veiligheidsanalyse denkbaar, zoals veiligheid tijdens de exploitatiefase of de invloed van de veiligheid van de infrastructuur op het gebouw. Deze zullen de komende drie jaar uitgebreid de aandacht krijgen in het promotieonderzoek 'veiligheid van meervoudig ruimtegebruik' aan de TU Delft, waar ook andere onderzoeken in het kader van meervoudig ruimtegebruik plaats zullen vinden onder leiding van prof. dipl.-ing. J.N.J.A. Vamberský

Ir. S.I. Suddle is promovendus bij de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, sectie Gebouwen en Bouwtechniek aan de TU Delft en is constructeur bij Corsmit Raadgevend Ingenieursbureau te Rijswijk.

Hierdoor wordt niet altijd beslist aan de hand van economische grondslagen, maar staat de mens voorop. Daarom kiest men in het algemeen toch voor een opvangvloer, hoewel deze slechts een geringe verbetering in het risiconiveau heeft.

Aanbevelingen

Het in praktijk brengen van de opgestelde maatregelen resulteert in een richtlijn voor het gemeentelijk bestuur en de ontwerper. Voor het gemeentelijk bestuur is het beter om het concept van risicoacceptatie en -beheersing te hanteren in plaats van risico-uitsluiting. De aanbeveling voor de ontwerper is om de opgestelde maatregelen te integreren in het ontwerp, waardoor een synergetisch effect optreedt. Enerzijds is de veiligheid van derden gewaarborgd, anderzijds kan de ontwerper aan de hand van de maatregelen een verantwoorde architectonische inkleuring geven aan zijn ontwerp. Dit kan hij bereiken door de afbouwconstructie of de vorm van het gebouw zodanig vorm te geven, dat de situatie tijdens de bouw veilig(er) wordt. Het beste is om de montage van een dergelijk afbouwelement verdiepingshoog van binnenuit te doen.

| KOSTEN MAATREGELN | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|-----------|---------------|----------------------------------|
| Maatregel | investeringskosten | risico | totale kosten | verwachte dodelijke slachtoffers |
| 0: nulsituatie | - | € 972.430 | € 972.430 | 1,65 |
| 1: zware betonvloer onder gebouw | € 329.860 | € 767.097 | € 1.096.057 | 0,69 |
| 2: zware betonvloer in risicozone | € 111.450 | € 772.504 | € 883.954 | 0,72 |
| 3: lichte plaat in risicozone | € 78.450 | € 846.242 | € 924.692 | 0,77 |
| 4: uitvoeren project in de nacht | € 1.750.000 | € 952.524 | € 2.702.524 | 0,01 |
| 5: afsluiten weg en omleiden verkeer | € 4.093.50 | € 951.159 | € 5.044.909 | 0 |
| 6: pompen beton | € 100.000 | € 892.741 | € 992.741 | 1,63 |
| 7: combinatie 2 en 6 | € 211.450 | € 695.431 | € 906.881 | 0,67 |

BRON: S.I. SUDDE

BRON: S.I. SUDDE

BRON: S.I. SUDDE

BRON: S.I. SUDDE

