

Belifting van hoogbouw

Hoogbouw bestaat bij de gratie van liften, en niet andersom. De liftkern in hoge torens is in functionele zin de slagader van het gebouw en in constructieve zin de ruggengraat. Sinds Elijah Graves Otis in 1854 de vanginstallatie uitvond werd liftgebruik voor personen veilig en bleek de belifting niet langer de beperkende factor voor hoog bouwen. Sindsdien heeft hoogbouw wereldwijd een vlucht genomen, waarbij vooral in Noord-Amerika en steeds vaker in Azië grenzen worden verlegd. Momenteel is de Taipei 101 met 508 meter het hoogste gebouw ter wereld, maar in Dubai zal nog dit decennium de eerste toren van meer dan 800 meter verschijnen.

- door ir. J. Wit*

Wereldwijd bepalen diverse aspecten de praktische begrenzings voor hoogbouw per regio. Het gaat hierbij in het bijzonder om:

- financiële aspecten (kosten arbeidsloon en grond);
- bouwtijd (fasering, investeringsrisico en arbeidstijd per dag);
- bodemgesteldheid (fundering);



Millenniumtoren te Rotterdam (132 m)

- FIGUUR 1-

- prestige;
- aardbevingsrisico en windrisico;
- toegankelijkheid/mobiliteit op maaiveldniveau;
- regelgeving (constructief, daglichttoetreding);
- energiegebruik en efficiëntie.

De haalbaarheid van hoogbouwplannen wordt in Nederland vaak sterk geminimaliseerd door onze bodemgesteldheid, de investeringsrisico's die met dergelijke grote projecten zijn gemoeid en de terughoudendheid van huurders om zich vroegtijdig aan dergelijk projecten te committeren. Bouwen boven 150 meter is in Nederland puur prestige en ontwikkelaars die alleen in rendement geïnteresseerd zijn, beginnen daar niet aan.

HOE HOOG IS HOOG?

In Nederland bestaan momenteel diverse plannen om het huidige hoogtepunt, de woontoren Montevideo (2005) in Rotterdam met 152 meter, te overtreffen. In Rotterdam is de Maastoren (164 meter) in aanbouw en in Utrecht is een voorlopig plan gelanceerd voor een toren van 242 meter, de Belle van Zuylen. Elders in Europa liggen deze grenzen al anders. In Londen, Frank-

furt en Moskou wordt geregeld 1,5-2x zo hoog gebouwd. In Londen is One Canada Square op Canary Wharf 235 meter hoog, terwijl er diverse goedgekeurde plannen liggen die in de komende 10 jaar voor torens van 250-300 meter hoog zullen zorgen. De hoogste toren in Frankfurt is de Commerzbank (259 meter), maar de geplande Millennium Tower moet maar liefst 369 meter hoog worden. De huidige hoogste toren van Europa staat in Moskou: de Triumph Palace is 264 meter hoog. Binnen twee jaar zullen hier echter vier torens van boven de 300 meter worden gerealiseerd, waaronder de Mercury City Tower van 380 meter hoog. Moskou heeft bovendien de hoogste geplande toren van Europa op de tekentafel liggen: de Russia Tower moet 612 meter hoog worden.

In Noord-Amerika en Australië heeft men al jarenlang ervaring met torens boven de 250 meter: sinds de aanslagen op het WTC in New York (508 meter) is de Sears Tower in Chicago met 442 meter de huidige hoogste toren in Noord-Amerika. In New York is nu de Empire State building de hoogste toren (381 meter) maar de beoogde Freedom Tower op de plek van het voormalige WTC-complex, wordt met zijn 541 meter de hoogste toren van dit werelddeel. Verder staan in New York, Chicago en Toronto tientallen torens boven 250 meter. In Australië is de maximale hoogte voor wolkenkrabbers ongeveer 250-300 meter, met als eenzame uitschieter de Q1 woontoren in Gold Coast City met 323 meter.

Als het gaat om hoog bouwen, heeft Azië de laatste jaren duidelijk wereldwijd het voortouw genomen. Momenteel staan in totaal acht van de tien hoogste torens ter wereld in Zuidoost-Azië. Vooral in Dubai en China schie-

* Deerns raadgevende ingenieurs BV



Skyline Chicago

- FIGUUR 2-

ten superhoge torens als paddestoelen de grond uit. In Zuidoost-Azië is bouwen tussen 300 en 400 meter hoog heel gewoon, terwijl bovendien de drie hoogste torens ter wereld in deze regio

staan: de Taipei 101 (508 meter) en de Petronas Twin Towers in Kuala Lumpur (492 meter). Bovendien zijn hier momenteel nog vier torens tussen 450 en 500 meter in aanbouw en staan twee

torens tussen 500 en 600 meter gepland. Toch zal vanaf 2008 de hoogste toren ter wereld in het Midden-Oosten staan: in Dubai is de 808 meter hoge Burj Dubai in aanbouw. In deze hoogbouw hotspot zullen bovendien voor 2010 nog minimaal elf torens tussen 350 en 500 meter verreizen...

DIMENSIONERING VAN LIFT-SYSTEMEN

Voor de totstandkoming en de haalbaarheid van hoogbouwplannen speelt de ontsluiting van het gebouw een cruciale rol: de dimensionering van interne transportsystemen bepaalt enerzijds als levensader de functionaliteit en leefbaarheid van een toren, maar resulteert door zijn afmeting tegelijkertijd in een aanzienlijk verlies aan verhuurbare oppervlakte per laag. En dat terwijl de liftkern in het bijzonder bij slanke gebouwen toch ook vaak de



Impressie Burj Dubai te Dubai (808 m)

- FIGUUR 3-

Parameters verkeersintensiteit			
Gebouwfunctie	Populatie	Bezettingsgraad	Piekvorming
Kantoor	1 werkplek per 18-25 m ² BVO of 1 werkplek per 10-15 m ² NVO	60-85 % komt binnen in de opgaande ochtendpiek (1 uur)	De opgaande piek is vrijwel altijd maatgevend (12,5-18 % per 5 minuten), tenzij het restaurant niet op de hoofdverdieping ligt.
Hotel	1,2-1,5 personen per kamer	90 % van de kamers is bezet	De neergaande piek in de ochtend is maatgevend: neergaand en opgaand ontbijtverkeer met neergaand checkoutverkeer (gezamenlijk 14-18 % per 5 minuten)
Woningen	Op basis van NEN 5080 afhankelijk van het aantal kamers per woning: 1,25 personen bij één of twee kamers 2,00 personen bij drie kamers 2,75 personen bij vier kamers 3,5 personen bij vijf of meer kamers	40-60 % vertrekt in de neergaande ochtendpiek	De neerpiek is maatgevend (3-6 % per 5 minuten) Let op: NEN 5080 zegt 7,5-20 %!
Onderwijsgebouw	1 personen per 4-7 m ² NVO	45-75 % komt voor het 1 ^e of 2 ^e collegeuur aan	De opgaande piek en/of de piek tijdens collegewisselingen is maatgevend (15-25 % per 5 minuten).

Indicatie populatie, bezettingsgraad en piekvorming per gebouwfunctie.

- TABEL 1-



LIFTECHNIEK IN TAIPEI 101

De hoogste toren ter wereld is momenteel de Taipei 101 (508 meter). In deze kantoortoren zijn in totaal 50 liften opgenomen, waarvan 34 dubbeldekkers en de twee snelste liften ter wereld. De totale investering in liften voor deze toren bedroeg circa US \$ 85 miljoen.

Voor het observatorium op de 89^e verdieping, dat voor het publiek toegankelijk is, beschikt deze toren over twee shuttleliften, die officieel door het Guinness World Book of Records worden erkend als de snelste liften ter wereld. Met volle cabines is de opgaande hefsnelheid 16,8 m/s (circa 60 km/u). Neergaand is de daalsnelheid 10,0 m/s (circa 37 km/u). Ter vergelijking: de snelste liften in Nederland lopen 6,0 m/s (de Delftse Poort te Rotterdam, de Rembrandttoren te Amsterdam, de Hofstoren te Den Haag en het WTC te Amsterdam).

De kooien van deze shuttles zijn uitgevoerd als luchtdichte drukcabines, uitgerust met een drukregulering, zoals ook in vliegtuigen wordt gebruikt. Deze zorgt voor een geleidelijk verloop van het drukverschil over de hefhoogte, zodanig dat pijn aan de oren van passagiers kan worden voorkomen. Het kritische drukverloop is ook de reden dat de liften neergaand minder snel lopen: drukopbouw is voor de oren veel pijnlijker dan drukval. Bovendien zijn de kooimeubels uitgevoerd met spoilers aan de boven- en onderzijde, die het gehele kooimeubel een aerodynamische capsulevorm geven. Hiermee wordt de luchtstroom soepel rondom de bewegende kooi geleid, waardoor energie wordt bespaard en het geluidsniveau in de kooi, door de luchtstroom in de schacht, wordt gereduceerd.

Trillingen in de kooi worden vrijwel volledig geëlimineerd door de toepassing van actief gestuurde rolgeleidingen in drie richtingen voor de ophanging van de kooi in de leiders. Bovendien bevindt zich op elke kooi een actieve massademper, die laterale bewegingen van de kooi uitdempt. Hiermee wordt bijvoorbeeld de kooibeweging die ontstaat bij het op volle snelheid passeren van een andere kooi in tegengestelde richting, nagenoeg gecompenseerd. Door deze voorzieningen is het ritcomfort fenomenaal, zeker gezien de exceptionele snelheid. De vanginstallatie, die in werking treedt als de kooi om welke reden dan ook 10 %

sneller zou lopen dan zijn nominale snelheid (bijvoorbeeld als de kabels of de motoras onverhoopt zouden breken, of de tractie verloren gaat), is uitgevoerd met remsloffen van silicone nitriet keramiek, om de kooi snel en veilig tot stilstand te brengen.

De kantoortoren (9^e t/m 84^e verdieping) wordt ontsloten alsof dit drie onafhankelijk op elkaar gestapelde segmenten van circa 112 meter hoog zijn. Transport van en naar de skylobby's op de 35^e en 59^e verdieping wordt verzorgd door tien snelle dubbeldekkers van 4.080 kg (27 personen per kooi), die passagiers met een shuttleverbinding zonder stops onderweg naar hun overstapniveau brengen. Elk van de drie subsegmenten wordt individueel met lokale dubbeldekkers van 2.700 kg (18 personen per kooi) ontsloten: vier lowrise- en vier highriseliften per segment. De toepassing van dubbeldeks liften voor in het bijzonder de shuttles naar de skylobby's, zorgt voor een verdubbeling van de transportcapaciteit per schacht. Ook de dubbeldekkers in deze toren zijn voorzien van een technische innovatie: de beide kooien zijn onafhankelijk van elkaar in het kooiframe opgehangen, waardoor deze onderling kunnen bewegen om verschillen in verdiepingshoogtes te compenseren.

Naast de reeds genoemde publieke shuttles naar het observatorium op de 89^e verdieping en de dubbeldekkers kent de Taipei 101 nog vier exclusieve personenliften (sky restaurant en executive club), vier algemene goederen- en brandweersliften, zes parkeerliften, elf personenliften in het podium (commerciële functies) en 50 roltrappen.

dragende constructieve kern van het gebouw is. In de eerste oriënterende fase van hoogbouwprojecten is er behalve de ontwikkelaar, de architect en de constructeur daarom nog een partij van belang: de verkeersdeskun-

dige. Hoe dimensioneer je het interne transport zodanig, dat routing en gebruik van transportmiddelen logisch zijn, terwijl ruimtebeslag minimaal is? En vooral: hoe bepaal je eigenlijk de benodigde capaciteit van stijpunten?

CAPACITEIT- EN WACHTTIJDANALYSE

Bij de totstandkoming van een liftontwerp voor zowel laag- als hoogbouw spelen in theorie aanvankelijk dezelfde inschattingen van gebruik en functionaliteit een rol, als in ieder ander project. Welke functie krijgt het gebouw (kantoor, woningen, hotel of een combinatie van deze), wat wordt daardoor de waarschijnlijke populatie en welke piekvorming in de vervoersvraag is bepalend: de opgaande piek, de neergaande piek of de lunchpiek? Achtereenvolgens dient te worden vastgesteld wat de volgende parameters zijn voor het te verwachten verkeersbeeld in de beoogde gebouwfunctie:

- de populatie (aantal medewerkers/bewoners);
- de bezettingsgraad (aanwezigheid/gelijktijdigheid);
- de piekvorming (welke verkeerspiek is maatgevend).

Hierbij geldt: benodigde capaciteit = populatie x bezetting x piekvorming (in % van de bezetting per 5 minuten)

In tabel 1 staan enkele richtwaarden voor de te hanteren waarden voor populatie, bezetting en piekvorming per gebouwfunctie. Een eigen projectspecifieke inschatting van deze parameters op basis van de individuele kenmerken, de projectgebonden situatie en het ambitieniveau van het project is echter cruciaal.

Vervolgens dient het gebouw zelf te worden beschouwd, waarbij vooral de volgende aspecten moeten worden onderkend en op de juiste wijze in de modellering moeten worden meegenomen:

- de hoogte van het gebouw en de individuele bouwlagen;
- de verdeling van de populatie over het gebouw;
- de hoofdverdieping(en) (waar komt men binnen of gaat men weg?);
- de verdeling van de populatie over de liftgroepen (indien men met meerdere groepen dezelfde bestemming kan bereiken);
- het trapgebruik.

Hiermee is het te verwachten verkeersbeeld en het gebouw vastgesteld en kan een bijpassende liftconfiguratie worden gedimensioneerd. In eerste instantie zal op basis van ervaring een inschatting worden gemaakt van de

benodigde liftgroep(en). Hierbij dienen de volgende aspecten te worden geschat:

Primair:

- het aantal liften per groep;
- het hefvermogen van de liften (kooioppervlakte);
- de bezettingsgraad van de kooien (reële kooivulling);
- de hefsnelheid van de liften.

Secundair:

- de versnelling van de liften;
- de deurtijden (openen en sluiten, afhankelijk van deurtype en -afmeting);
- de in- en uitstaptijden (afhankelijk van type gebruikers, vrije doorgang en kooivulling).

WANNEER IS DE VERKEERSAFHANDLING GOED GEDIMENSIONEERD?

Om te bepalen of de verkeersafhandeling in hoogbouw goed is gedimensioneerd, dienen de volgende aspecten te worden beoordeeld:

Primair:

De capaciteit moet in de drukste piek toereikend zijn, ofwel de liftconfiguratie moet voldoende verkeerscapaciteit kunnen bieden om het aanbod te kunnen afhandelen;

Secundair:

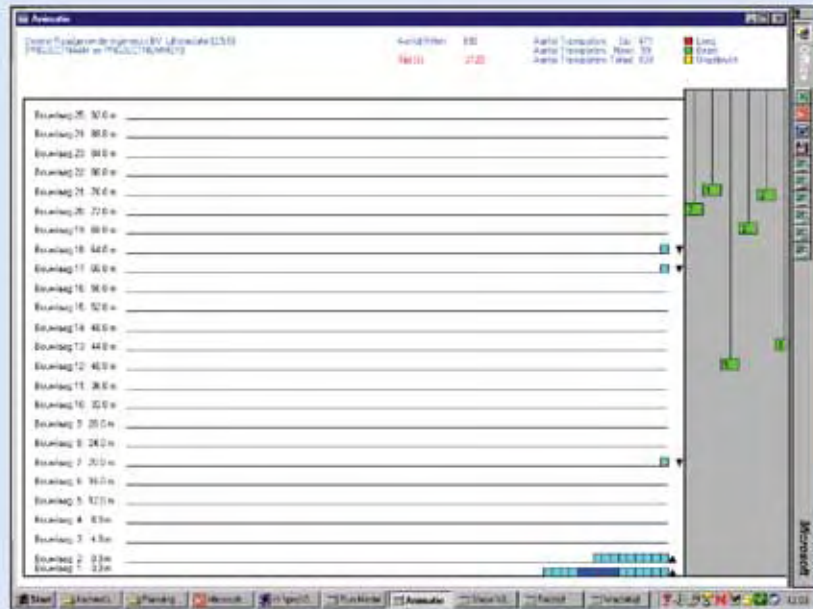
De wachttijden moeten in de drukste piek acceptabel zijn (niet alleen op de hoofdverdieping, maar overal);

Tertiair:

De snelheid moet hoog genoeg zijn, om binnen een acceptabele tijd de bestemming te bereiken (ook in een rechtstreekse rit zonder tussenstops);

Aanvullend:

- de robuustheid voor uitval: Bij uitval van een lift door storing en/of onderhoud, of door gebruik voor goedere transport of verhuizing, moet de restcapaciteit van de overgebleven liften nog steeds toereikend zijn;
- de robuustheid voor afwijkingen van de aangenomen verkeersparameters: Indien op de grenzen van de verzadiging wordt gedimensioneerd, zal elke wijziging of onjuiste inschatting van het verkeersbeeld leiden tot sterk verhoogde wachttijden en mogelijk zelfs capaciteitstekort;
- de duurzaamheid van het ontwerp: De liftconfiguratie moet binnen redelijke grenzen geschikt zijn om in de toekomst een eventueel veranderend verkeersbeeld te kunnen afhandelen. Als met een lage bezetting en lage piekvorming wordt gerekend dan



Voorbeeld simulatie verkeersafhandeling.

- FIGUUR 4-

kan het aantal liften worden gereduceerd, maar is het gebouw niet geschikt voor toekomstig verhuur aan andere partijen met andere kenmerken (hogere bezetting door bijvoorbeeld callcenter, sterke piekvorming door vaste werktijden). Hiervoor moet in de benadering enige overcapaciteit worden aangehouden;

- de wens of noodzaak om separate goederenliften en/of brandweerliften in de toren op te nemen, en de vraag of deze al dan niet in de groep(en) personenliften kunnen worden geïntegreerd.

Op bovenstaande aspecten kan redelijkerwijs veel invloed worden uitgeoefend. Bij een mismatch tussen het verkeersbeeld en de belifing wordt echter vaak de fout gemaakt dat men bij ongunstige uitkomsten niet het liftconcept aanpast, maar marchandeert met de uitgangspunten waarop eigenlijk helemaal geen invloed kan worden uitgeoefend: de aangenomen in- en

uitstaptijden, de kooibezetting, het trapgebruik, etc. Soms wordt zelfs achteraf de populatie, de bezetting of de piekvorming naar beneden bijgesteld om de resultaten te laten passen bij het maximaal haalbare (in financiële of ruimtelijke zin) belifingsconcept. Hierbij worden de oorspronkelijke uitgangspunten verloochend en wordt de werkelijkheid aangepast om bij het ontwerp te passen. Veel zuiverder en realistischer is het om de oplossing te zoeken in het aanpassen van bouwparameters (hoogte, bezetting per laag, minder hoofdstopplaatsen, separate parkeerliften, roltrappen, positie van restaurant, etc.) of de primaire parameters van de belifing (aantal liften, hefvermogen, hefsnelheid).

Wat is goed?

Het uiteindelijke beoordelingscriterium voor de verkeersafhandeling zal in de beleving van de gebruiker de wachttijd of de bestemmingstijd zijn. Er zijn echter geen normen voor acceptabele

Gebouwfunctie	Piekwachttijd		
	Excellent	Goed	Voldoende
Kantoor	≤ 25 sec.	≤ 30 sec.	≤ 35 sec.
Hotel	≤ 20 sec.	≤ 25 sec.	≤ 30 sec.
Woningen	≤ 35 sec.	≤ 40 sec.	≤ 45 sec.
Gezondheidszorg	≤ 30 sec.	≤ 40 sec.	≤ 50 sec.

Indicatie acceptabele wachttijden per gebouwfunctie.

- TABEL 2-



Woontorens in Hong Kong

- FIGUUR 5-

wachttijden, alleen ervaringsgetallen. Per project zal, afhankelijk van de gebouwfunctie, het ambitieniveau en het budget in overleg moeten worden vastgesteld wat de toe te passen richtwaarden voor bijvoorbeeld wacht- en bestemmingstijden moeten zijn. Ter illustratie zijn in tabel 2 enkele ervaringsgetallen voor wachttijden opgenomen, afhankelijk van gebouwfunctie en ambitieniveau.

Als indicatie voor de nominale reistijd (=hefhoogte/hefnelheid) wordt voor kantoorgebouwen in de regel 25 – 30 seconden aangehouden, terwijl voor woongebouwen 30-40 seconden acceptabel is. De nominale reistijd is een maat voor de toe te passen hefnelheid.

CALCULATIE VERSUS SIMULATIE

Terwijl voor eenvoudige (lage tot middelhoge) kantoorgebouwen een analyse door middel van een calculatie van de rondrittijd kan volstaan, is voor de verkeerstechnische beoordeling van hoogbouw simulatie onmisbaar. Bij de traditionele *rondrittijdberekening* wordt door middel van een theoretische calculatie de totale cyclustijd van één lift in een zuivere opgaande piek beschouwd. Hierbij wordt op de hoofdstopplaats de cabine virtueel volgeladen met reizigers, waarna door middel van kansberekening het aantal waarschijnlijke stops en de omkeerverdieping tijdens de rondrit worden geschat. Door het tijdsverlies van elk individueel onder-

deel van deze cyclus (opwaartse en neerwaartse rit, instappen, uitstappen, versnellen, vertragen) op te tellen, kan de totale rondrittijd (RRT) worden gecalculleerd. De theoretische definitie van deze rondrittijd is dan ook: “De verstreken tijd tussen twee opeenvolgende aankomsten van dezelfde lift op de hoofdstopplaats”. Door de RRT te delen door het aantal liften in de groep, kan de intervartijd worden verkregen, die wordt gedefinieerd als:

“De verstreken tijd tussen twee opeenvolgende aankomsten van een willekeurige lift op de hoofdstopplaats”. De intervartijd wordt als maat voor de prestaties van de liftgroep gehanteerd, waarbij in de regel wordt gesteld dat deze lager dan 30 seconden dient te zijn. Door de intervartijd te vermenigvuldigen met de praktische kooivulling bij vertrek vanaf de hoofdverdieping, kan worden gecalculleerd wat de afhandelcapaciteit van de groep is.

Hoewel de rondrittijdberekening in veel gevallen een betrouwbare inschatting oplevert van de benodigde liftgroep, is deze benadering slechts onder de volgende voorwaarden toepasbaar:

- een rondrittijdberekening kan slechts in een zuivere opgaande piek worden gebruikt en is daardoor voor woontorens (de maatgevende piek is de neergaande ochtendpiek), hotels (de maatgevende piek is de ochtendpiek met tegengesteld gericht verkeer) en lunchpieken in kantoren (de maat-

- gevende piek kent tegengesteld gericht verkeer) niet toepasbaar;
- er kan slechts sprake zijn van één hoofdstopplaats, wat inhoudt dat gebouwen met onderliggende parkeergelagen, een restaurant dat niet op de entreeverdieping gelegen is en overstapverdiepingen niet te beschouwen zijn;
- er mag geen sprake zijn van verstorend tussenverdiepingsverkeer tijdens de zuivere opgaande piek;
- alle liften in de groep dienen identiek te zijn.

Bijkomend probleem is dat het uiteindelijke beoordelingscriterium bij analyse van de rondrittijd, de intervartijd, geen betrouwbare maat is voor de werkelijke wachttijd. Zeker wanneer de vervoerscapaciteit tekortschiet, kunnen intervartijden acceptabel blijven terwijl de wachttijden “oneindig” hoog oplopen. Hierbij komt, dat het gebruik van de intervartijd als maatstaf voor de prestaties van een liftgroep met bestemmingsbesturing (zie kader elders) fundamenteel onjuist is. Bij bestemmingsbesturing moeten reizigers soms meerdere kooien met andere bestemmingszones voorbij laten gaan, voordat de aan hun toegewezen kooi arriveert. Hiermee vervalt de toch al dubieuze relatie tussen de intervartijd en de wachttijd per definitie in zijn geheel.

Vanwege bovenstaande beperkingen en het feit dat er in toenemende mate hoog en gestapeld wordt gebouwd, dient de analyse van de belofing steeds vaker door middel van *simulatie* te worden uitgevoerd. Hierbij wordt het verkeer, het gebouw en de liftgroep in een simulatieomgeving gemodelleerd. Elke verkeersstroom of verdieping wordt gevormd door een randomgenerator, die een waarheidsgetrouw verkeersbeeld aanbiedt aan de virtuele liftbesturing. Hoe complex of afwijkend de individuele stromen ook zijn (tussenverdiepingsverkeer, tegengesteld gericht verkeer, gelijktijdige goederenstromen), zij kunnen alle aan de liftbesturing worden aangeboden. De liftbesturing handelt de oproepen af zoals in het echt, waarbij de wacht- en bestemmingstijden worden geregistreerd. Zo ontstaat een verzameling gegevens, waaruit bijvoorbeeld conclusies kunnen worden getrokken over de gemiddelde en maximale wacht- en bestemmingstijd van de reizigers tijdens de verkeerspiek. Met de resultaten kan de verkeersafhande-

ling van verschillende liftconfiguraties en varianten worden beoordeeld en onderling vergeleken. Zo kan door een iteratief proces de optimale liftconfiguratie voor het gebouw worden vastgesteld. Het moge duidelijk zijn dat indien de beoordeling van de verkeersafhandeling op basis van liftsimulaties wordt gedaan, de intervaltijd als maat voor de prestaties dient te vervallen en de afhandeling uitsluitend op wach- en bestemmingstijden dient plaats te vinden.

Al met al is de dimensionering van liftgroepen bij hoogbouw een iteratief en tijdrovend proces. De belangen zijn echter zo groot, dat vroeg in het ontwerpproces de liftkern al op hoofdlijnen moet worden bevroren.

Er is een grondige kennis van liftechniek, besturingssystemen en simulatiemethoden benodigd om een goede inschatting van de benodigde liftcapaciteit voor hoogbouw te kunnen maken. Maar alleen met een goede gevoelsmatige inschatting van het gebruik en de piekvorming in de beoogde gebouwfunctie en de relatieve invloed van diverse parameters in de simulatiemethodiek (gevoeligheidsanalyse), is het mogelijk om ook echt een sluitende en betrouwbare analyse te maken van de benodigde verkeersafhandeling in een gebouw. Hierbij speelt de juiste inschatting van het effect van het menselijk gedrag en de beleving, de ontsluitingsmethode en de toegangscontrole tevens een belangrijke rol.

WAT MAAKT DE DIMENSIONERING VAN LIFTSYSTEMEN VOOR HOOGBOUW ZO LASTIG?

Het verschil tussen capaciteitsstudies bij laagbouw en hoogbouw is levensgroot qua diepgang en inspanning. Dit verschil wordt, naast de eerder genoemde verschillende analysemethoden (zie "Calculatie versus simulatie"), in het bijzonder veroorzaakt door de volgende vier aspecten:

- Er zijn bij hoogbouw meerdere varianten van de liftconfiguratie mogelijk. Terwijl bij laag- en middelhoogbouw (tot 70 meter) een centrale liftgroep in de regel alle lagen bedient, bestaat er bij hoogbouw afhankelijk van de hoogte een scala aan mogelijkheden om een gebouw te ontsluiten. De essentie hierbij is dat het

CONVENTIONELE BESTURING VERSUS BESTEMMINGSBESTURING

Bij conventionele liftbesturing maakt de liftgebruiker door richtingspijlen aan de liftbesturing kenbaar in welke richting hij wil reizen. Bij aankomst van een kooi wordt deze gevuld op basis van de oorspronkelijke aankomstvolgorde van oproepen. De besturing verzamelt daarbij wel de oproepen per richting, maar weet van tevoren niet welke bestemmingen er in de kooi zullen worden geselecteerd. Hierdoor is het risico groot, dat er niet alleen veel verschillende bestemmingen per rondrit zullen moeten worden aangedaan, maar verschillende liften zullen ook tegelijkertijd hetzelfde bestemmingsbereik bedienen. Bestemmingsbesturing heft dit probleem op, doordat reizigers al bij het plaatsen van hun oproep hun eindbestemming kenbaar maken. Dit biedt de besturing de mogelijkheid om door dynamische zonering bestemmingen in kooien te clusteren, waardoor de reistijd en het aantal stops sterk worden gereduceerd. Bovendien hoeft niet elke kooi tot vrijwel bovenin het gebouw te reizen. Bij het plaatsen van de oproep wordt aan de reiziger kenbaar gemaakt door welke lift hij zal worden bediend. Doordat bestemmingsbesturing optimaliseert op bestemmingstijden (wachttijd + rittijd) en niet op wachttijden, neemt de totale bestemmingstijd voor de reizigers af, waarbij echter vaak wel de wachttijd toeneemt ten opzichte van die van conventionele besturing.

Bestemmingsbesturing komt vooral tot zijn recht bij:

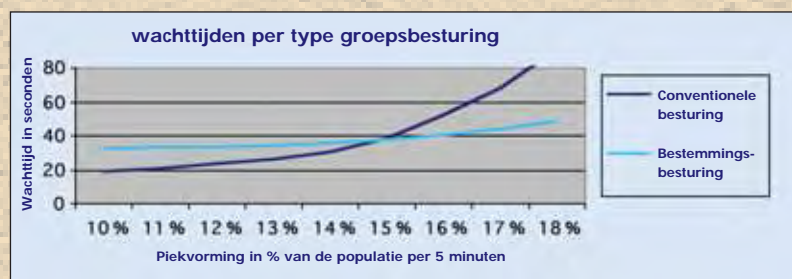
- hoge gebouwen, waarin grote dynamische zones kunnen worden gemaakt;
- grote liftgroepen, waarbij veel dynamische zones kunnen worden gemaakt;
- gebouwen met een hoge mate van piekvorming;
- gebouwen met een gering aandeel aan (verstoring) tussenverdiepingsverkeer;
- gebouwen met een vaste populatie, die kan wennen aan het systeem;

Voordelen van bestemmingsbesturing zijn:

- reizigers maken onderweg weinig stops en zijn zeer snel op hun bestemming;
- de kooivulling is lager, wat comfortabeler is voor de reizigers;
- ook bij hoge piekvorming (14-18 % van de populatie per vijf minuten) is de capaciteit nog toereikend. Bestemmingsbesturing kan dus als capaciteitsbooster worden gebruikt in situaties waarin meer capaciteit uit de liften moet worden gehaald;
- in een beperkt aantal gevallen is besparing van een lift en liftschacht mogelijk;
- doordat reizigers een lift krijgen toegewezen kunnen zij op de juiste plek in de lobby gaan staan wachten, hetgeen meer flexibiliteit in de lay-out van de liftkern brengt;
- vanwege het geringe aantal stops is het effect van verhoging van de hefsnelheid op de verkeersafhandeling veel groter.

Nadelen van bestemmingsbesturing zijn:

- de wachttijden zijn in de regel aanzienlijk hoger dan bij conventionele besturing, ook bij gering verkeer (zie onderstaande grafiek);
- liftgebruikers zullen moeten accepteren dat er soms meerdere kooien vertrekken voordat de aan hun toegewezen kooi aankomt;
- elke gebruiker moet zijn bestemming opgeven, ook bij groepen;
- misbruik en foutief gebruik (ghost passengers en missing passengers) hebben een sterk negatieve invloed op de verkeersafhandeling;
- nog niet toepasbaar in openbare gebouwen, omdat men nog niet voldoende vertrouwd is met het systeem.



voordelen biedt om het gebouw lifttechnisch in zones te verdelen. Hierbij kan naast de centrale liftgroep worden gedacht aan een verdeling in twee zones (lowrise – highrise) of drie zones (lowrise – midrise – highrise). Indien het gebouw hoger wordt dan circa 200 meter, dan dient te

worden overwogen om het gebouw in lifttechnische zin, fysiek te splitsen in meerdere gestapelde torens. Het onderste deel van de toren wordt door liften vanaf de hoofdverdieping ontsloten en er worden voor de bovenliggende gebouwzones skylobby's (overstapverdiepingen) gecreëerd, die

TWINLIFTEN

Sinds enkele jaren is het Twinlift-concept van ThyssenKrupp leverbaar, waarbij twee liften separaat van elkaar in één schacht opereren. Deze liften gebruiken dezelfde leiders en schachttoegangen, maar hebben individuele kooien, aandrijvingen, ophangingen en besturingen. Op drie niveaus zorgen mechanische en elektronische veiligheidsvoorzieningen er voor dat de kooien uit elkaars buurt blijven. Hierbij bedient de bovenste kooi in principe de bestemmingen in de bovenste gebouwhelft en de onderste kooi de onderste gebouwhelft hetgeen uitsluitend met bestemmingsbesturing mogelijk is. Uiteraard kan de onderste kooi pas vullen op de hoofdstopplaats als de bovenste kooi vertrokken is, en dient de onderste kooi ook weer onder dat niveau te wachten, voordat de bovenste kooi op de hoofdstopplaats terugkeert.

Afhankelijk van het verkeer en het gebouw zal de 2^e kooi in dezelfde schacht circa 30-50 % extra capaciteit leveren. Dit houdt in, dat bij grote groepen schachten kunnen worden bespaard.

Twinliften komen vooral tot hun recht bij:

- hoge gebouwen met een hoge piekvorming;
- grote liftgroepen;
- gebouwen met veel tussenverdiepingsverkeer.

Twinliften kunnen uitsluitend onder de volgende voorwaarden functioneren:

- er dient bestemmingsbesturing te worden toegepast, om de liften dynamisch uit elkaars zone te houden;
- er dient minimaal één conventionele lift in de groep te worden opgenomen voor transporten van de onderste naar de bovenste stopniveau. Dit is tevens de brandweerlift;
- er dient onder de hoofdstopplaats een aanzienlijke liftput van 8-10 meter aanwezig te zijn, waarin de onderste kooi kan afwachten tot deze de hoofdstop kan bedienen als de bovenste kooi vertrokken is. Dit kan in een (parkeer-)kelder zijn, maar het kan ook nodig zijn om door middel van roltrappen de hoofdstopplaats naar de 1^e of 2^e verdieping te verplaatsen.



door shuttle liften worden bediend. Reizigers zullen hier moeten overstappen op extra lokale liften. Hoe hoger de toren wordt, in hoe meer lifttechnische segmenten deze dient te worden onderverdeeld (zie kader Taipei 101). Als er een variant is gekozen, dan komt de fase van de fijnafstemming, waarbij de juiste ligging van de overstapverdiepingen wordt bepaald en per groep de benodigde hefvermogens en snelheden worden vastgesteld.

- *De invloed van bijzaken is ineens groot: een moeizame balans.* De invloed van individuele verkeerspa-

rameters op de verkeersafhandeling is bij hoogbouw vele malen groter dan bij laagbouw. Marginale verschillen bij de fijnafstemming van bijvoorbeeld parameters als piekvorming, populatie, deurtijden, in- en uitstaptijden, etc. kunnen de verkeersafhandeling in hoge mate beïnvloeden. De balans tussen aanbod en afhandeling ligt zoveel gevoeliger, dat deze bij de minste of geringste afwijking resulteert in een noodzakelijk wijziging van het liftconcept. De robuustheid van de verkeersafhandeling bij laagbouw is bij hoogbouw ver te zoeken.

- *Marges zijn klein: het moet in één keer goed.* Bij hoogbouw moet het ontwerp in een vroeg stadium in één keer goed zijn, waarna het niet of nauwelijks meer te wijzigen is. Aanpassing van uitgangspunten achteraf is nauwelijks mogelijk zonder het ontwerp opnieuw te dimensioneren. Om hoogbouwplannen haalbaar te maken, dienen (vooral in Nederland) vaak de beschikbare ontwerpmarges al in het voorlopig ontwerp te worden prijsgegeven, terwijl dit in strijd is met de gewenste flexibiliteit, die in volgende fasen nog wordt gevraagd. Vrijheden voor programmatische of architectonische wijzigingen zijn daardoor minimaal, maar als er toch sprake van is dan moet het liftenplan en/of het beliftingsconcept al snel worden aangepast.
- *Er zijn diverse besturingsvarianten mogelijk.* Waar bij laagbouw een eenvoudige conventionele op- en neerwaarts verzamelende liftbesturing volstaat, dient bij hoogbouw tevens de toepassing van bestemmingsbesturing te worden overwogen (zie kader elders). Bovendien is de kwaliteit en intelligentie van de groepsbesturing van wezenlijk belang, terwijl deze bij lage gebouwen veel minder invloed heeft. Hierbij spelen het herkennen van verkeerspatronen, het daarop aanpassen van de afhandeling en de zelflerendheid een belangrijke rol. Ook de toepassing van Twin liften (zie kader elders) dient te worden overwogen.

TECHNIEK EN COMFORT

Lifttechniek bij hoge snelheden

Hoewel het basisconcept qua ophanging en geleiding van hoogbouwliften niet wezenlijk verschilt van laagbouwliften, zijn er diverse aspecten die de techniek en het comfort nadrukkelijk compliceren. Dit resulteert in een meer dan lineaire toename van de intelligentie van de besturing, het beveiligingsniveau, de dimensionering van dragende componenten en daardoor het prijsniveau met de hoogte. Vanwege de hoge hefsnelheden bij hoogbouw wordt de tegengesteld gerichte luchtverplaatsing in de schacht een wezenlijk probleem. De luchtweerstand resulteert niet alleen in een verhoogd energiegebruik, maar de luchtverplaatsing langs de kooi zorgt voor

suizende en fluitende geluiden in die kooi. Om dit te voorkomen moeten de liftkooien in hoogbouw aan de buitenzijde aërodynamisch worden vormgegeven, waarbij een druppelvorm wordt benaderd en de lucht door spoilers langs de kooi wordt geleid. Om een storend bonkend geluid bij het passeren van de binnenzijde van elke schachtdeur te voorkomen, moet de voorwand van de schacht aan de binnenzijde tevens volledig worden beplaat tussen de schachtdeuren, om een gelijkmatige en vlakke schachtwand te creëren. Het kooimeubel zelf wordt geluidgeïsoleerd uitgevoerd, om geluidsoverlast in de kooi te beperken. Ook geluidoverdracht via de kooiventilatie moet worden beperkt.

Een bijkomend probleem bij hoge lift-snelheden is de plunjerwerking van de kooi in de schacht. Daarom moet er bij hoogbouw voor worden gezorgd dat de verplaatste lucht tussen diverse liftschachten kan worden uitgewisseld. Bij voorkeur worden alle liften in een gezamenlijke open schacht opgehangen, echter dit gaat ten koste van de constructieve draagkracht van de liftkern. Bovendien moet dan de volledige schacht voor alle liften met hetzelfde functiebehoud, brandwerendheid en (overdruk)ventilatie worden uitgevoerd. In de praktijk worden de tussenwanden van de schachten vaak geperforeerd uitgevoerd of worden boven- en onderin de schacht openingen (bypass) voor luchtuitwisseling opgenomen.

Om een acceptabel comfortniveau in de liftkooi te realiseren, is –ter voorkoming van trillingen– een zorgvuldige uitlijning van de leiders en een robuuste geleiding van de kooi noodzakelijk. Omdat bij hoge snelheden elke oneffenheid in de leideropstelling als een hinderlijke en oncomfortabele laterale trilling in de kooi voelbaar is, moeten de leiders zwaar zijn gedimensioneerd, moet het loopvlak en de lassen volledig glad zijn en moeten de bevestigingspunten worden gesteld met een nauwkeurigheid van micrometers. Hierbij dient een hoogwaardige rollen geleiding te worden toegepast. In dit verband speelt tevens het bestand zijn tegen de zetting van het gebouw en de reactie van de constructie op temperatuur- en atmosfeerwisselingen een belangrijke rol.

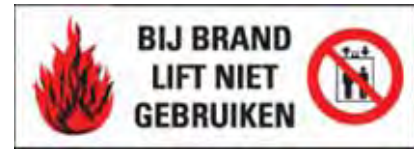
Ten slotte speelt het drukverschil over de schachthoogte nog een wezenlijke rol bij het liftontwerp. Om te voorko-

men dat de liftschacht als een schoorsteen gaat werken en de lucht langs alle deurspleten gaat fluiten, moeten de schachtdeuren luchtdicht worden uitgevoerd, bijvoorbeeld door middel van een labyrintsluiting. Daarbij moeten op de hoofdstopplaats alle directe verbindingen met de buitenlucht worden geëlimineerd door toepassing van dubbele luchtsluizen etc. Tevens moet de liftmachinekamer, ondanks de toepassing van mechanisch ventilatie, zo luchtdicht mogelijk worden uitgevoerd, zonder directe openingen naar de buitenlucht.

Ritcomfort

Het ritcomfort in liften wordt vooral bepaald door het geluidsniveau in de kooi en de laterale trillingen van de kooi. Net als bij liften met lage snelheden wordt in het ontwerp aangehouden dat het *geluidsniveau* in de kooi maximaal circa 48-52 dB(A) dient te zijn voor excellent ritcomfort. Een geluidsniveau boven 60 dB(A) wordt over het algemeen als onvoldoende ervaren. In tegenstelling tot bij laagbouw zijn hiervoor bij hoogbouw diverse aanvullende voorzieningen nodig (zie “Lifttechniek bij hoge snelheden”). Voor een goed ritcomfort dienen ook de *laterale trillingen in de kooi* (voor-achter, links-rechts) te worden beperkt. Dit stelt zeer hoge eisen aan de ophanging, geleiders en rolgeleiding. Waar ritcomfort bij lage hefsnelheden (tot 2,5 m/s) nauwelijks aanvullende eisen stelt aan de technische uitvoering en uitlijning van de liftinstallatie, is dit bij hogesnelheidsliften (vanaf 3,0 m/s) juist onmisbaar. Daar komt nog bij dat de hoge snelheid aanvullende comforteisen stelt aan de *versnelling/vertraging in axiale richting* (voor comfortabel optrekken en afremmen van de kooi) en de *axiale stoot* (het “aanbrengen” van de versnelling/vertraging). Bovendien zal de *drukopbouw* en de *drukval* in de kooi moeten worden beperkt. Bij snelheden boven 8-10 m/s zal de liftpassagier de drukopbouw in de oren bij neergaande ritten namelijk als pijnlijk kunnen ervaren. Ook de absolute drukopbouw van start tot stop en de tijd dat de drukopbouw aanhoudt spelen hierbij een rol. Dit houdt in dat bij zeer hoge snelheden, zoals de 17 m/s van de Taipei 101, de liften conform vliegtuigen moeten worden uitgevoerd als volledige drukcabines. Hoewel de pijnsensatie in de

oren bij drukval iets minder dan bij drukopbouw, dient ook de drukval bij opgaande ritten te worden gereguleerd. Een laatste aspect van het ritcomfort, de *kooivulling*, is niet uitsluitend hoogbouwspecifiek, maar dient in Europa te worden beperkt tot maximaal circa 70 % van de theoretische beladingsgraad (op basis van 75 kg per persoon).



Evacuatie met liften

Iedereen heeft altijd geleerd om in geval van brand of andere calamiteiten de liften niet te gebruiken. In superhoogbouw (bijvoorbeeld boven de 300 meter) is echter volledige evacuatie door middel van trappenhuizen een utopie: om een volledige toren van 400 meter te evacueren zal 1-3 uur nodig zijn. Om die reden zijn er de afgelopen jaren vooral in Azië en Australië twee trends waarneembaar: evacuatie per zone en evacuatie met liften. Bij evacuatie per zone wordt bij een calamiteit niet direct het gehele gebouw ontruimd, maar slechts de gebouwzone waarin de calamiteit gemeld is. Elke zone heeft zijn eigen evacuatielaag, waar personen veilig via trappen naar toe kunnen vluchten tot dat het gevaar geweken is. Deze laag heeft minimaal 1 uur functiebehoud en het is mogelijk om hier vluchtende stromen van vluchttrappenhuis te laten wisselen. Zo heeft de Taipei 101 bijvoorbeeld evacuatiezones onderin elke gebouwsegment van acht lagen. De tweede trend is evacuatie met liften, waarbij liften niet meer uitsluitend voor brandweer en hun personeel worden gebruikt, maar tevens voor de evacuatie van de gebouwpopulatie. Het moge duidelijk zijn, dat er aan deze liften veel extra eisen moeten worden gesteld voor functiebehoud, brandwerendheid, besturing en signalering. Vanwege mogelijk functioneren in panieksituaties moeten deze liften in evacuatiebedrijf ook andere instellingen voor overbelastingsschakeling, deursluiting en vollastschakeling hebben. Onderzocht moet worden of het mogelijk en verantwoord is om in deze situatie de daalsnelheid en versnelling op te voeren. Ten slotte moet door een intensieve uitwisseling van informatie



Impressie woontoren Strijkijzer te Den Haag (132).

-FIGUUR 6-

met het gebouwbeheersysteem de evacuatieprocedure dynamisch aanpasbaar zijn, waarbij afhankelijk van het type en de locatie van de calamiteit diverse evacuatieprocedures beschikbaar zijn (gezoneerd, volledig, bottom-up, top-down). Hierbij moet tevens worden gecontroleerd of de uitstap op de hoofdverdieping veilig kan plaatsvinden, of dat vanwege de calamiteit een andere evacuateroute noodzakelijk is (NEN-EN 81-73). En kan de benodigde lucht voor overdruk wel altijd veilig worden aangezogen, of moet een dynamisch ventilatiesysteem zelf op zoek naar de plek waar veilig rookvrije lucht kan worden aangezogen? Wereldwijd wordt momenteel veel onderzoek verricht naar de mogelijkheden en risico's van evacuatie met liften. Ook in Nederland is het evacueren met liften niet langer onbespreekbaar sinds de publicatie van de SBR-praktijkrichtlijn "Brandveiligheid in hoge gebouwen". In het kader van het nationale Convenant Hoogbouw, dat momenteel onder begeleiding van de NEN wordt ontwikkeld, krijgt dit vraagstuk ook in Nederland veel aandacht.

CONCLUSIE

Aan de belofing van hoogbouw dient een zorgvuldige en onafhankelijke capaciteitsanalyse met gebruikmaking van simulatie vooraf te gaan. Hierbij moet niet alleen het gebouw met zijn populatie en piekvorming juist worden gemodelleerd, maar dient tevens



Shuttlelift Atomium te Brussel.

-FIGUUR 7-

de liftconfiguratie en de fysieke of dynamische zonerings te worden vastgesteld. Behalve de keuze van de juiste groepsmaat, hefvermogen en hefsnelheid, speelt hierbij ook de keuze van het juiste type groepsbesturing (conventionele besturing versus bestemmingsbesturing) een cruciale rol. Aangezien dit vroeg in het ontwerpproces moet gebeuren omdat de liftkern de dragende kern van het gebouw vormt, moet dit vaak in één keer goed en kan de configuratie later moeilijk nog worden bijgesteld. Dit vraagt om logistiek en liftechnisch inzicht, veel ervaring en het aanhouden van de juiste marge in de benadering. Hierbij dient te worden gewaakt voor het bijstellen van de verkeerde parameters bij het detailleren van de verkeersafhandeling door middel van simulaties.

Om de veiligheid en het ritcomfort in de kooi ook bij hoge snelheden te waarborgen, zijn bij hoogbouw uiteenlopende aanvullende technische voorzieningen noodzakelijk. In het bijzonder aan de ophanging en geleiding moeten zeer hoge eisen worden gesteld, terwijl de aandrijving en regeling tegelijk robuust en nauwkeurig moeten zijn. Daarbij bepaalt de kwaliteit en intelligentie van de groepsbesturing uiteindelijk de efficiëntie van de verkeersafhandeling. Deze aspecten resulteren in een meer dan kwadratisch verband tussen de belofingskosten van hoogbouwtorens en de gebouwhoogte. Hoewel de Nederlandse hoogbouw in mondiaal perspectief

niet eens echt hoog mag worden genoemd, moet de logistiek en techniek van de belofing van torens ook hier niet worden onderschat. Zeker nu ook in Nederland steeds hoger gaat worden gebouwd en evacuatie met liften noodzakelijk wordt, zullen deze aspecten in de ontwikkeling van Nederlandse torens serieus aandacht moeten krijgen.



AUTEUR IR. JOCHEM WIT

Jochem Wit (1971) studeerde Werktuigbouwkunde aan de TU Delft en studeerde in 1995 af in de richting Transporttechniek & Logistiek. Na zijn afstuderen is hij in dienst getreden bij Deerns raadgevende ingenieurs BV, waar hij teamleider is van de expertisegroep Transport & Logistiek, een afdeling met specialisten op het gebied van liften, roltrappen, rolpaden, hellingbanen, gevelonderhoudinstallaties, bagagesystemen, buizenpostinstallaties, etc. Tevens geeft Wit daar leiding aan complexe projecten op het gebied van de nieuwbouw en renovatie van transportinstallaties in de utiliteit, de gezondheidszorg en luchtvaart. Wit is specialist op het gebied van capaciteitsstudies ter bepaling van de optimale belofing van gebouwen en heeft zich hierbij gespecialiseerd in verkeersstudies voor hoogbouw en ziekenhuizen.

Wit is lid van de Technische Werkgroep van het Convenant Hoogbouw en is voorzitter van de subwerkgroep Transportinstallaties. Binnen het Convenant Hoogbouw wordt onder begeleiding van de NEN gewerkt aan brancheafspraken (NTA's) voor de totstandkoming van hoogbouw in Nederland.