

Voorstudie ST - 8

# Drukschommelingen in stand- en ontspanningsleidingen

uitgave 2001



TNO-rapport  
2001-GI-LK-R007

## Vorstudie naar drukschommelingen in stand- en ontspanningsleidingen

TNO Bouw

Contactpersoon  
B.Knoll

Schoemakerstraat 97  
Postbus 49  
2600 AA Delft

Telefoon 015 269 69 00  
Fax 015 269 52 99

Datum  
12 september 2001

Auteur(s)  
Ing. W. Kornaat  
Ing. B. Knoll

Opdrachtgevers : TVVL en VNI



Vereniging van  
Nederlandse  
Installatiebedrijven

m.m.v. : ing. J.C. Phaff

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook, zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor onder-  
zoekopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

Projectnaam :  
Projectnummer : 006.06517.01.01

Aantal pagina's : 78  
Aantal tabellen :  
Aantal figuren :  
Aantal bijlagen : 5

© 2001 TNO

Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

TNO Bouw verricht onderzoek en geeft advies over  
bouwvraagstukken, voornamelijk in opdracht van onder  
meer de overheid, grote en kleine ondernemingen in de  
bouw, toeleveringsbedrijven en branche-instellingen.

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene  
Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan TNO,  
zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de  
Kamer van Koophandel te 's Gravenhage.

## Samenvatting

Dit rapport beschrijft een voorstudie naar de mogelijke oorzaken van drukschommelingen in binnenriolering. De aanleiding hiervoor is dat in toenemende mate geurhinder binnen hoge gebouwen of gebouwen grenzend aan hoge gebouwen optreedt, ten gevolge van het doorbreken van de watersloten van lozingstoestellen. Het doel van de voorstudie is aan te geven wat de meest waarschijnlijke oorzaken zijn.

In de voorstudie zijn vijf mogelijke oorzaken geïdentificeerd. Het betreft:

- winddrukken in het dakvlak bij de ontspanningsleidingen;
- drukvariaties in een gebouw;
- drukvariaties in een rioleringssysteem door lozingen;
- drukstoten door het dichtslaan van deuren;
- drukstoten door het afremmen van luchtstromingen in een gebouw.

Deze vijf effecten zijn nader gekwantificeerd, om hun belang te kunnen wegen.

Het blijkt dat als meest significante effecten zijn aan te merken:

1) *winddrukken bij de uitmonding van de ontspanningsleiding.*

Buiten bij de uitmonding van de ontspanningsleiding blijken stationaire onderdrukken in de orde van grootte van  $-750$  Pa op te kunnen treden bij een meteorologische windsnelheid van  $15$  m/s (windkracht 7 volgens Beaufortschaal).

Door een juiste keuze van de positie van de uitmonding van de ontspanningsleiding in het dakvlak (bijvoorbeeld centraal in het dakvlak) kunnen de drukniveaus worden beperkt. Stationaire onderdrukken van  $-350$  Pa bij gebouwen met een hoogte tot circa  $60$  m of zelfs  $-2000$  Pa bij gebouwen van  $200$  m hoogte, zijn desondanks niet uit te sluiten.

Daarnaast kunnen de winddrukken door turbulentie kortdurend nog eens met een factor  $1,4$  tot  $2,5$  toenemen. Ook variaties in de windrichting kunnen kortstondig voor grotere drukvariaties zorgen.

2) *drukvariaties door lozingen.*

Afhankelijk van de aanname van de vullingsgraad en vullingshoogte van de vrij vallende fractie van een lozing kunnen onderdrukken in een  $70$  m hoge standleiding optreden tussen  $-50$  en  $-1400$  Pa en overdrukken tussen  $230$  en  $470$  Pa. Daarbij kunnen drukschommelingen met een amplitude tot circa  $1500$  Pa optreden. Naarmate de lozing de leiding meer afsluit of het buitenriool deels vol staat met water kunnen de drukniveaus en variaties verder toenemen.

Gegevens uit voorbeeldprojecten (niet in het kader van het onderhavige onderzoek), onderschrijven de orde van grootte van de genoemde drukniveaus.

3) *dichtslaan van deuren.*

Hierdoor blijken drukstoten tot  $300$  Pa op te kunnen treden.

Het is de vraag in hoeverre dit effect van belang moet worden geacht. Het dichtslaan van deuren is niet uniek voor de hoge gebouwen waar problemen zijn geconstateerd. Aan de andere kant kunnen bij hoge gebouwen sterkere windeffecten vaker voor het dichtslaan van deuren zorgen, terwijl tegelijk de ad 1 genoemde windeffecten optreden. De combinatie van beide effecten kan dan voor problemen zorgen.

Uit berekeningen uitgevoerd met een dynamische model van een sifon blijkt dat de voornoemde effecten aanleiding geven tot het doorbreken van een minimaal te garanderen restwaterslot van 15 mm, indien rekening wordt gehouden met het complete krachtenspel op de vloeistof in een sifon.

De door wind en thermiek onder invloed van de ventilatieopeningen optredende drukniveaus in een gebouw (+40 Pa tot -135 Pa) en de drukstoten door het afremmen van luchtstromingen (40 tot 80 Pa) lijken vooralsnog een ondergeschikte rol te spelen.

Als maatregelen om de effecten van wind te beperken worden gezien:

- drukontspanleidingen van hoge gebouwen zo ver mogelijk van de dakranden af in het dakvlak laten uitmonden;
- de uitmondingsplaats van drukontspanleidingen van gebouwen die grenzen aan hoge gebouwen zo ver mogelijk van de hoge gebouwen situeren;
- ontluften in een ringleiding om het gebouw.

Zowel bij eigen als aangrenzende nieuwbouw dient te worden overwogen of vooraf een windstudie naar de invloed op de ontspanleidingen wenselijk is.

Als maatregelen om de effecten van de grotere drukstoten in hoge gebouwen te beperken, worden gezien:

- zoneren van standleidingen in hoge gebouwen, in combinatie met nieuw te ontwikkelen valonderbrekingen (slechte ervaringen met valonderbrekers in het verleden maken een herontwerp noodzakelijk);
- parallelle standleidingen in hoge gebouwen onderling op verscheidene plaatsen horizontaal op elkaar te ontspannen;
- een luchtbuffer aan de bovenzijde aan de standleiding te koppelen (effect nog nader vast te stellen);
- constructieve aanpassingen aan sifons uit te voeren ten aanzien van de waterslotheogte, dubbele uitvoering (verzamelruimte naar twee zijden), de vorm van de verzamelruimte (trechter- of buikvormig) of toevoeging van een expansievat.

Uit het onderzoek blijkt dat nog onzekerheden bestaan ten aanzien van:

- de invloed van turbulentie;
- de vallende fractie van de lozing bij hogere standleidingen.

Een verdere uitdieping op deze terreinen wordt aanbevolen.

## Inhoud

1	Inleiding .....	6
2	Oorzaken van drukschommelingen.....	8
2.1	Windaanval op een gebouw.....	8
2.2	Gebouw en ventilatiesysteem (drukvariaties in een gebouw) .....	9
2.3	Lozingen in het rioolstelsel .....	10
2.4	Dichtslaan van deuren .....	11
2.5	Afremmen van luchtstromen in een gebouw .....	11
3	Kwantificering van de effecten .....	13
3.1	Windaanval op een gebouw (winddrukken ter plaatse van ontspanningsleidingen).....	13
3.1.1	Aanpak .....	13
3.1.2	Uitgevoerde berekeningen.....	13
3.1.3	Resultaten.....	15
3.1.4	Bespreking van de resultaten .....	17
3.2	Gebouw en ventilatiesysteem (drukvariaties in een gebouw) ....	20
3.2.1	Aanpak .....	20
3.2.2	Resultaten.....	20
3.2.3	Bespreking van de resultaten .....	21
3.3	Lozingen in het rioolstelsel .....	23
3.3.1	Lozingsdrukken in standleidingen volgens NEN 3215.....	23
3.3.2	Rekenmodel van de lozing in hoge gebouwen.....	24
3.3.3	Uitgevoerde berekeningen.....	26
3.3.4	Resultaten.....	27
3.3.5	Bespreking van de resultaten .....	30
3.4	Dichtslaan van deuren .....	31
3.4.1	Aanpak .....	31
3.4.2	Uitgevoerde berekeningen.....	31
3.4.3	Resultaten.....	31
3.4.4	Bespreking van de resultaten .....	33
3.5	Afremmen van luchtstromingen in een gebouw .....	34
3.5.1	Aanpak .....	34
3.5.2	Berekeningen en resultaten .....	34
3.5.3	Bespreking van de resultaten .....	34
4	Dynamisch krachtenspel op een sifon.....	35
4.1	Aanpak.....	35
4.2	Uitgevoerde berekeningen.....	35
4.3	Resultaten .....	36

---

4.4	Bespreking van de resultaten.....	38
5	Conclusies en aanbevelingen .....	39
5.1	Conclusies.....	39
5.2	Aanbevelingen.....	41
6	Literatuurlijst .....	42
Bijlagen:		
A:	Winddrukberekeningen met de Cp-generator .....	43
B:	Informatie inzake windklimaat van Nederland .....	59
C:	Vergelijking van lozingsdrukken volgens NEN 3215 en volgens het toegepaste rekenmodel .....	63
D:	Drukverlopen door lozingen berekend met het rekenmodel .....	68
E:	Resultaten van drukmetingen uitgevoerd in de standleiding van een gebouw van 70 m hoog .....	77

# 1 Inleiding

In opdracht van de Vereniging van Nederlandse Installatiebedrijven (VNI) en de Nederlandse technische vereniging voor installaties in gebouwen (TVVL) is door de divisie Gebouw & Installatie van TNO Bouw een voorstudie uitgevoerd naar de mogelijke oorzaken van drukschommelingen in binnenriolering. De aanleiding hiervoor is dat in toenemende mate geurhinder optreedt binnen hoge gebouwen of in gebouwen die worden omringd door hoge gebouwen, ten gevolge van het doorbreken van de watersloten van lozingstoestellen.

Het doel van het vooronderzoek is aan te geven wat de meest waarschijnlijke effecten zijn die voor het doorbreken van de watersloten verantwoordelijk kunnen worden geacht. Op basis hiervan kunnen dan wellicht maatregelen worden ontwikkeld om de geurhinder te beperken of voorkomen.

In de voorstudie zijn vijf mogelijke oorzaken geïdentificeerd. De vijf beschouwde oorzaken, nader beschreven in hoofdstuk 2, zijn:

- 1) windaanval op een gebouw en dan met name in het dakvlak. In het dakvlak monden namelijk de ontspanningsleidingen uit en de drukvariaties op het dakvlak kunnen zo doorwerken in het rioleringssysteem;
- 2) drukvariaties in een gebouw door windaanval. In combinatie met het gebruik van met name de ventilatievoorzieningen in de gevels kan dit doorwerken op (de sifons van) het rioleringssysteem;
- 3) drukvariaties in het rioleringssysteem als gevolg van lozingen. Een toename van deze drukvariaties door hogere standleidingen in hogere gebouwen kan hierbij een rol spelen;
- 4) drukstoten in ruimten van een gebouw door het dichtslaan van deuren;
- 5) drukstoten door het afremmen van luchtstromingen in een gebouw.

Bij het onderzoek zijn enkele voorbeeldprojecten, waarbij problemen zijn geconstateerd, geïnventariseerd. Het betreft een wooncomplex in Vlissingen, grenzend aan hoogbouw, een appartemententoren in Voorburg alsmede een kantoorgebouw in Den Haag, bestaande uit een hoog en een middelhoog gedeelte met in de nabijheid andere hoogbouw. De uit de voorbeeldprojecten verkregen informatie is gebruikt als basis voor het onderzoek. Overigens is voor de voorbeeldprojecten niet getoetst of geheel volgens de eisen van NEN 3215 was geïnstalleerd.

Het onderzoek, uitgevoerd naar de winddrukken bij de ontspanningsleidingen, is beschreven in paragraaf 3.1 en uitgevoerd met behulp van de, door TNO ontwikkelde, Cp-generator [1]. Hiermee kan de winddrukverdeling worden bepaald, afhankelijk van de geometrie van een gebouw en de omliggende bebouwing. Voor het inschatten van de drukniveaus in een gebouw (zie paragraaf 3.2) is eveneens uitgegaan van berekeningen met de Cp-generator en beschikbare kennis en ervaring inzake de ventilatie van gebouwen.

De drukvariaties in rioleringsystemen door lozingen (zie paragraaf 3.3) zijn bepaald met een specifiek hiervoor opgezet dynamisch model (plunjer-model). Dit model is getoetst aan het geldende dimensioneringsprincipe voor rioleringsystemen. De drukvariaties door het dichtslaan van deuren zijn bepaald met een specifiek hiervoor opgezet rekenmodel (zie paragraaf 3.4). Drukstoten door het afremmen van luchtstromingen zijn op grond van aannamen theoretisch berekend voor een situatie met een “lange” gang (zie paragraaf 3.5). Elk van de paragrafen uit hoofdstuk 3 wordt afgerond met een resumé in termen van optredende drukken.

Om het effect van drukvariaties op de watersloten goed in te schatten is een dynamisch rekenmodel opgezet van een sifon, waarmee de uitslag van de vloeistof in de sifon in de tijd kan worden berekend. Op grond van deze effecten worden mogelijkheden ter verbetering aangegeven. Een en ander wordt beschreven in hoofdstuk 4.

Als laatste zijn in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen verwoord.

Het onderzoek is begeleid door een werkgroep bestaande uit:

Albert Alders	Peutz & Associés
Ronald de Gans	Geberit – voorzitter
Roel Hillebrand	Installatiebedrijf Middelburg
Arjan Pleysier	Cauberg-Huygen r.i.
Evert Reuser	Reuser Technisch Adviesbureau
Will Scheffer	VNI
Harry Toonen	Installatiebedrijf Middelburg
Irene van Veelen	ISSO
Rob de With	ING Vastgoed

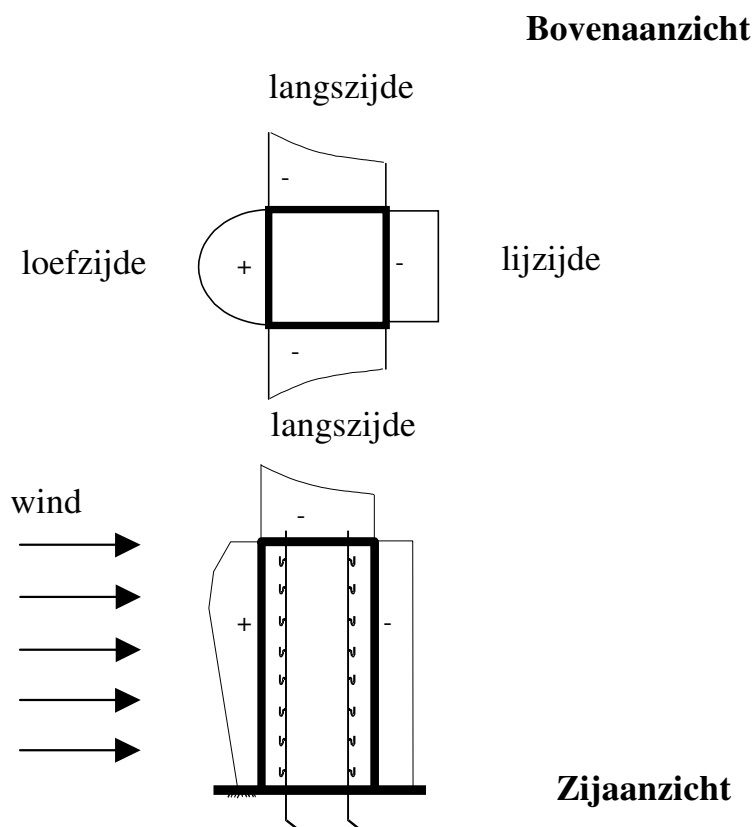


## 2 Oorzaken van drukschommelingen

### 2.1 Windaanval op een gebouw

Ten gevolge van windaanval ontstaan onder- en overdrukken op een gebouw. Een principeschets van een karakteristieke drukverdeling over een gebouw door windaanval is weergegeven in figuur 1.

Voor een goede werking is de riolering voorzien van een ontspanningsleiding welke uitmond in het dakvlak. De winddrukken op het dakvlak werken zo door in het rioolstelsel en zijn mede bepalend voor het drukverschil over de sifons.



figuur 1: Principeschets van de drukverdeling over een gebouw door windaanval.

De daadwerkelijke drukverdeling door windaanval zal van geval tot geval sterk kunnen variëren afhankelijk van de gebouwgeometrie en de omringende bebouwing. Ook zal afhankelijk van de windrichting de druk op een bepaalde locatie een grillig verloop te zien kunnen gegeven.

De winddrukkniveaus zijn evenredig met de windsnelheid in het kwadraat.

Afhankelijk van windrichting en windsnelheid zullen in de tijd variaties in de winddrukken op een bepaalde locatie op een gebouw optreden.

Meer kortstondige variaties in de winddrukken zijn echter te verwachten door:

1) *turbulenties in de luchtstroming.*

Turbulentie ontstaat door botsing van de luchtstroming met obstakels. Dit kunnen obstakels zijn in het voorland (gebied van waaruit de lucht aanstroomt) en meer nabij gelegen gebouwen.

Bij botsing tegen gebouwen wordt eenvoudig gezegd de windsnelheid verlaagd en omgezet in luchtwervelingen (turbulentie). In de regel geldt dat naarmate de hoogte toeneemt, de windsnelheid toeneemt en dus de winddrukken (over- en onderdrukken) op een gebouw toenemen. Op grotere hoogte wordt echter minder invloed ondervonden van de verstoring van de luchtstroom aan het (bebouwde) aardoppervlak. Daardoor wordt de windsnelheid met de hoogte stabiel(er) (minder snel te verstoren) en worden de fluctuaties door turbulentie verhoudingsgewijs beperkter;

2) *snelle variaties in de windrichting.*

In de praktijk blijkt dat kortstondige variaties in de windrichting in de orde van grootte van  $\pm 30^\circ$  veelvuldig optreden. Incidenteel kan dit wel tot  $\pm 60^\circ$  oplopen.

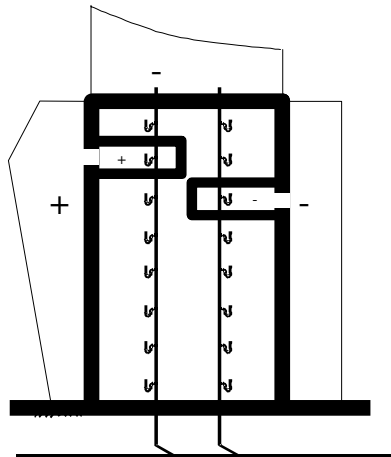
## 2.2 Gebouw en ventilatiesysteem (drukvariaties in een gebouw)

De optredende luchtdrukken in een gebouw worden bepaald door de winddrukken op het gebouw en de thermisch drijvende krachten in combinatie met onder andere:

- 1) de luchtdoorlatendheid van de gebouwschil;
- 2) de toe- en afgevoerde ventilatiedebieten;
- 3) het gebruik van gevelopeningen (ramen, ventilatieroosters en dergelijke).

De optredende luchtdrukken in een gebouw (in de vertrekken) bepalen in combinatie met de druk in het rioolstelsel het drukverschil over de sifons.

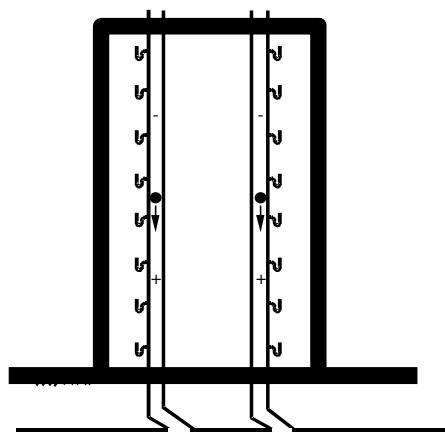
Ten aanzien van het gebruik van de ventilatievoorzieningen zullen de luchtdrukken in een gebouw het meest bepaald worden door het (kortstondig) openen van ramen en / of ventilatieroosters in de gevel (zie figuur 2).



figuur 2: Over- en onderdrukken in een gebouw door windaanval.

### 2.3 Lozingen in het rioelstelsel

Bij lozingen via het rioelstelsel zijn drukvariaties in de standleiding te verwachten. Door het naar beneden vallen van de geloosde massa zal onder de lozing drukopbouw plaatsvinden en boven de lozing een afname van de druk. In combinatie met de hiervoor genoemde aspecten zal dit het drukverschil over de sifons bepalen. De waterkolom in de sifons heeft een minimale hoogte van 15 mm, zodat drukverschillen tot 300 Pa kunnen worden opgevangen.



figuur 3: Drukken in een standleiding tijdens een lozing

Indien de lozing zich beweegt langs een op de standleiding aangesloten afvoerleiding, dan zal de druk in deze afvoerleiding plotseling van een overdruk omslaan naar een onderdruk. De optredende drukniveaus en hun variaties zijn hierbij afhankelijk van een groot aantal factoren, zoals:

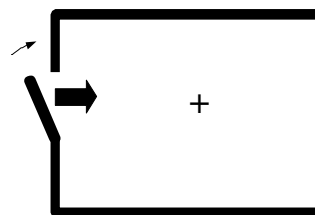
- de valhoogte (valsnelheid);
- de dimensionering en uitvoering van de standleiding met ontspanningsleiding;
- de mate van “afsluiting” van de standleiding door de lozing;
- de druk in het buitenriool.

De situatie waarin de standleiding aan de onderzijde via de grondleiding luchttechnisch van het buitenriool is afgesloten, doordat het buitenriool bijvoorbeeld “vol” met water staat, vormt een ongunstige situatie. De drukopbouw onder de lozing zal dan sterk op kunnen lopen. Uit de probleemprojecten komen aanwijzingen dat deze ongunstige situatie zich hier heeft voorgedaan.

## 2.4 Dichtslaan van deuren

Bovenop de hiervoor besproken effecten zijn momentane “drukschokken” mogelijk door bijvoorbeeld het dichtslaan van deuren (zie figuur 4).

Bij het dichtslaan van een deur wordt door de deur in feite een hoeveelheid lucht “verpompt”. Als de deur bijna dicht is, kan deze lucht echter nog maar moeilijk uit het achtergelegen vertrek ontsnappen. Als gevolg hiervan neemt de druk in het vertrek toe. Opgemerkt wordt dat in plaats van een drukopbouw uiteraard ook een drukafname kan optreden afhankelijk van de draairichting van de deur.



figuur 4: Drukopbouw door dichtslaan van deuren.

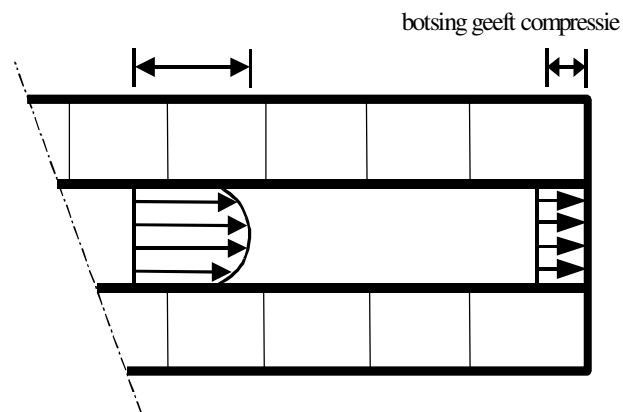
## 2.5 Afremmen van luchtstromen in een gebouw

Momentane “drukschokken” zijn in een gebouw eveneens te verwachten door het afremmen van luchtstromen.

Onder invloed van windaanval en thermiek, eventueel in combinatie met het gebruik van ramen, ventilatieroosters, buitendeuren, binnendeuren en dergelijke, kunnen met name in gangen en trappenhuizen “grote” luchthoeveelheden in beweging komen.

Indien vervolgens een deur of een ventilatievoorziening abrupt wordt gesloten (of dichtslaat), wordt deze luchtstroom in korte tijd afgeremd. Als de luchtstroom stroomopwaarts wordt afgeremd geeft dat daar een drukopbouw. Een en ander is geïllustreerd in figuur 5. Indien de luchtstroom stroomafwaarts wordt afgeremd, geeft dit op die plaats een drukafname.

Opgemerkt wordt dat deze problematiek niet of in beduidend mindere mate zal spelen bij gebouwen met een buitenschil zonder beweegbare delen.



figuur 5: Drukopbouw door afremmen van luchtstroming in een gang van bijvoorbeeld een kantoorgebouw.

### 3 Kwantificering van de effecten

#### 3.1 Windaanval op een gebouw (winddrukken ter plaatse van ontspanningsleidingen)

##### 3.1.1 Aanpak

Voor het berekenen van de winddrukken op een gebouw heeft TNO Bouw de Cp-generator ontwikkeld (zie [1]).

Met behulp van dit computerprogramma kan de winddrukverdeling over een gebouw worden bepaald, afhankelijk van:

- de gebouwgeometrie;
- de omringende bebouwing.

Met de Cp-generator worden de zogenaamde winddrukcoëfficiënten berekend voor door de gebruiker opgegeven posities op het gebouw. Een winddrukcoëfficiënt is een dimensieloze grootheid, die vermenigvuldigd met de dynamische druk van de meteorologische windsnelheid de locale onder- of overdruk geeft.

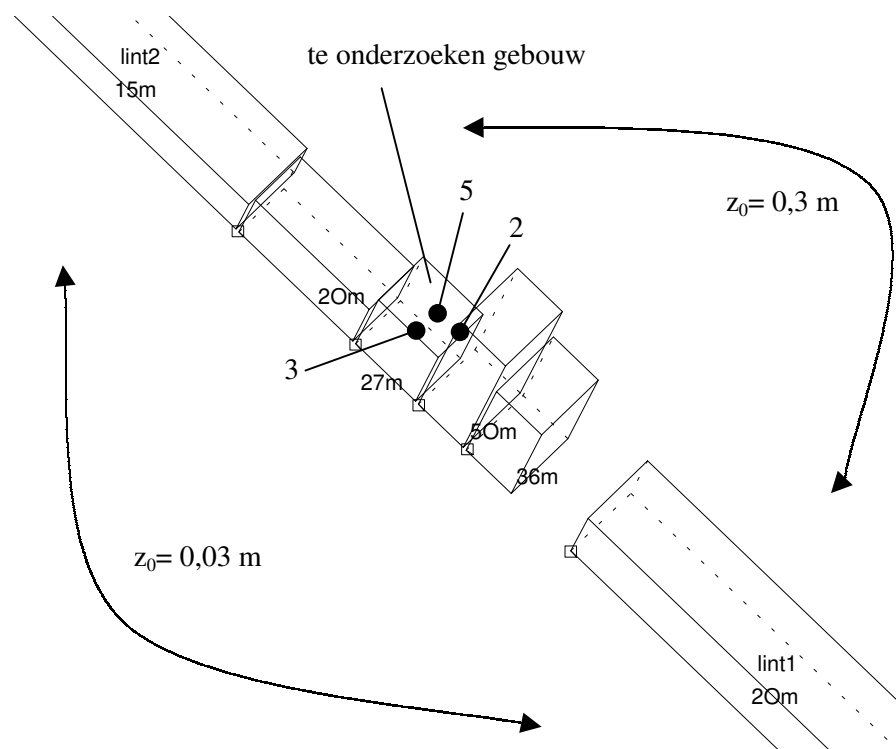
##### 3.1.2 Uitgevoerde berekeningen

Met de Cp-generator is de windaanval bepaald voor een gebouw waarbij in het verleden problemen met het rioleringsysteem zijn opgetreden. De problemen betreffen het leegzuigen of -blazen van sifons bij windaanval eventueel in combinatie met regen. Door de combinatie met regen is het de verwachting dat het buitenriool het water niet voldoende snel kan afvoeren en “vol loopt”.

Het onderhavige gebouw is 27 m hoog en onderdeel van de lintbebouwing aan een boulevard langs de zee. In het dakvlak bevinden zich aan 2 zijden, op halve diepte van het gebouw en op 0,5 m uit de gevel dan wel uit de aangrenzende bebouwing, de ontspanningsleidingen. Pal tegen dit gebouw staat aan de ene zijde een gebouw van 50 m hoog en aan de andere zijde een gebouw van circa 20 m hoog.

In figuur 6 is een en ander schematisch weergegeven. Tevens zijn in deze figuur met de nummers 2, 3 en 5 een drietal locaties in het dakvlak aangegeven waarvoor de winddrukcoëfficiënten nader worden geanalyseerd in het hierna volgende. Locatie 2 betreft een positie waarop ook in werkelijkheid één van de ontspanningsleidingen is aangebracht. Hiervoor aangegeven nummering stemt overeen met de nummering aangehouden bij de berekeningen met de Cp-generator en is niet aaneengesloten, omdat in totaal meer posities zijn beschouwd bij de berekeningen met de Cp-generator.

Aan de zeezijde kan de wind ongehinderd “aanstromen”. Een lage terreinruwheid ( $z_0$ -waarde = gemiddelde ruwheidshoogte van het terrein) van 0,03 m is hier aangehouden. Aan de landzijde is sprake van een lage, open stedelijke bebouwing (buitenwijk) waarvoor een  $z_0$ -waarde van 0,3 m is aangehouden.



- positie 2: op halve gebouwdiepte en op 0,5 m uit aangrenzend gebouw (werkelijke situatie);
- positie 3: midden van het gebouw op 0,5 m uit de voorgevel (aangenomen situatie);
- positie 5: in het midden van het dakvlak (aangenomen situatie)

figuur 6: Schematische weergave van een configuratie (A) waarvoor de winddrukcoëfficiënten zijn berekend (Noord = boven).

Verder is, op basis van de hiervoor besproken en in figuur 6 weergegeven uitgangssituatie, onderzocht wat het effect is van:

- 1) het verhogen van de  $z_0$ -waarde naar 2 m. Hierdoor wordt niet meer een min of meer ongunstige situatie aan zee, maar ligging in een stad nagebootst;
- 2) het verlagen van de hoge aangrenzende gebouwen tot eenzelfde hoogte als het te onderzoeken gebouw (=27 m);
- 3) het vergroten van de hoogte van het te onderzoeken gebouw van 27 m naar 60 m.
- 4) het vergroten van de hoogte van het te onderzoeken gebouw van 27 m naar 200 m.

Ter verduidelijking is een overzicht van de beschouwde configuraties weergegeven in tabel 1.

*tabel 1: Overzicht van de configuraties waarvoor winddrukberekeningen zijn uitgevoerd.*

configuratie	z <sub>0</sub> -waarde (-)	omschrijving	Hoogte gebouw <sup>(2)</sup> (m)	Hoogte aangrenzend gebouwen <sup>(3)</sup> (m)
A <sup>(1)</sup>	0,03 / 0,3	Open water of polderland	27	50/36
B	2	Stedelijke bebouwing	27	50/36
C <sup>(4)</sup>	2	Stedelijke bebouwing	27	27/27
D <sup>(4)</sup>	2	Stedelijke bebouwing	60	27/27
E <sup>(4)</sup>	2	Stedelijke bebouwing	200	27/27

- opm.:
- (1) oorspronkelijke configuratie, die overeenstemt met de praktijksituatie waarin de problemen zijn ondervonden (zie tevens figuur 6).
  - (2) hoogte van het onderzochte gebouw zie figuur 6.
  - (3) alleen de hoogte van de gebouwen die in werkelijkheid hoger zijn dan het te onderzoeken gebouw (zie figuur 6) zijn hier weergegeven en bij de verschillende configuraties gewijzigd.
  - (4) Niet de ongunstigste configuratie. Bij lage z<sub>0</sub> ongunstiger.

### 3.1.3 Resultaten

De resultaten van de berekeningen aan configuratie A zijn weergegeven in bijlage A. Dit betreft een volledige uitdraai van de berekeningen met de Cp-generator. In de eerste figuren van bijlage A wordt een overzicht gegeven van de gemodelleerde gebouwen en de posities waarvoor de winddrukcoëfficiënten zijn berekend. Voor het dakvlak zijn dit de posities 1 t/m 5. De posities 1 en 2 zijn de posities waar zich ook in werkelijkheid ontspanningsleidingen bevinden. In bijlage A zijn de berekende winddrukcoëfficiënten afhankelijk van de windrichting voor alle beschouwde posities aangegeven, terwijl in figuur 7 een en ander nogmaals voor positie 2 in het dakvlak is weergegeven.

Bij windkracht 7 (harde wind) bedraagt de meteorologische windsnelheid circa 15 m/s. Met de meteorologische windsnelheid wordt de windsnelheid aangeduid zoals deze gemeten wordt op 10 m hoogte in het vrije veld (meting op meteostation). Grofweg 0,3% van de tijd en aan de kust circa 1% van de tijd wordt deze windsnelheid nog overschreden (0,3% is circa 25 uur/jaar). De dynamische druk bij deze meteorologische windsnelheid is dan:

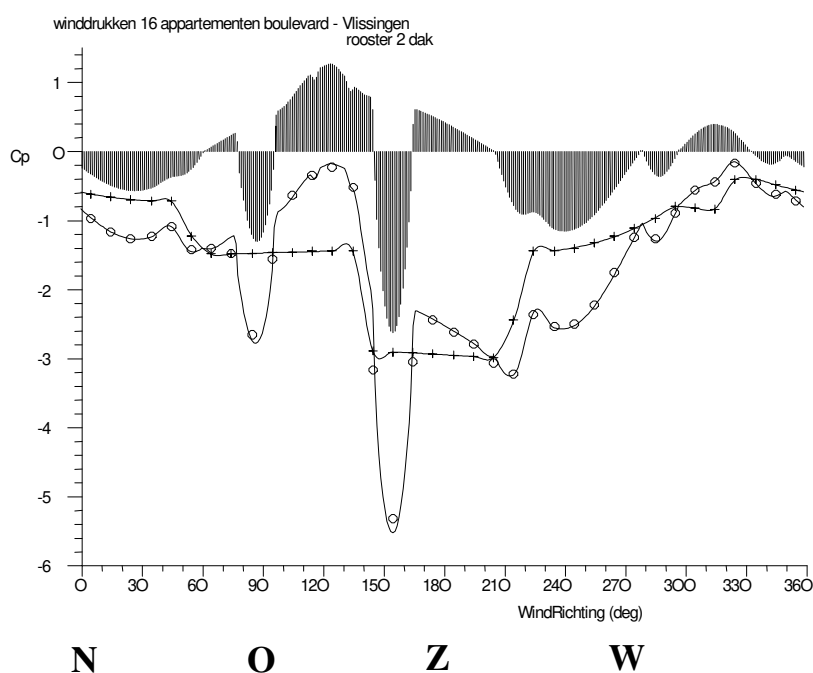
$$\frac{1}{2} * \rho * (v_{\text{meteo}})^2 = \frac{1}{2} * 1,2 * 15^2 = 135 \text{ Pa.}$$

waarin:



$\rho$  = soortelijke massa van lucht ( $\text{kg/m}^3$ );  
 $v_{\text{meteo}}$  = meteorologische windsnelheid zoals deze gemeten wordt op een meteostation op 10 m hoogte in het vrije veld.

In tabel 2 zijn de maximale (afhankelijk van de windrichting) winddrukcoëfficiënten voor de posities 2, 3 en 5 in het dakvlak (zie figuur 6) aangegeven en de bijbehorende onderdrukken bij een meteorologische windsnelheid van 15 m/s voor de beschouwde configuraties A t/m E.



- opm.:
- lijn met "rondjes" is verloop van de winddrukcoëfficiënt inclusief beïnvloeding door omringende bebouwing;
  - lijn met "plusjes" is verloop zonder beïnvloeding door omringende bebouwing;
  - gearceerd is beïnvloeding door omringende bebouwing aangegeven.

figuur 7: Verloop van de winddrukcoëfficiënt  $C_p$  op positie 2 in het dakvlak bij configuratie A.

tabel 2: Maximale winddrukcoëfficiënten ( $C_p$ -waarden) en onderdrukken in het dakvlak op de posities 2, 3 en 5 voor de beschouwde configuraties bij een meteorologische windsnelheid van 15 m/s.

configuratie	positie 2 <sup>(1)</sup>		positie 3		positie 5	
	$C_p$	druk	$C_p$	druk	$C_p$	druk
	(-)	(Pa)	(-)	(Pa)	(-)	(Pa)
A	-5,5	-743	-3	-405	-2	-270
B	-3	-405	-1,8	-240	-1	-135
C	-2,7	-360	-1,6	-215	-0,9	-120
D	-11	-1485	-6	-810	-2,7	-365
E	-30	-4050	-30	-4050	-16	-2160

opm.: (1) deze posities zijn aangegeven in figuur 6 en bijlage A.

### 3.1.4 Bespreking van de resultaten

Uit bijlage A en figuur 7 blijkt dat bij configuratie A de winddrukcoëfficiënten in het dakvlak een grillig verloop te zien geven en tot hoge waarden oplopen, vergeleken met de 300 Pa die de watersloten beschikbaar hebben.

De winddrukcoëfficiënt op positie 2 loopt op tot  $-5,5$  (zie figuur 7) bij een windrichting van circa  $150^\circ$ . Bij een meteorologische windsnelheid van 15 m/s treden hierdoor onderdrukken op tot ongeveer  $-750$  Pa (zie tabel 2). In dit geval worden deze hoge onderdrukken voor ongeveer 50% veroorzaakt door het hoge aangrenzende flatgebouw (zie gearceerde deel bij windrichting van  $150^\circ$  in figuur 7).

Behalve het hoge aangrenzende flatgebouw, draagt ook de ongestoorde “aanstroming” van de wind via zee (lage  $z_0$ -waarde) bij aan de hoge onderdrukken op positie 2. Indien de  $z_0$ -waarde wordt verhoogd naar een gebruikelijke waarde voor stedelijke bebouwing, neemt de winddrukcoëfficiënt op positie 2 (bij  $150^\circ$  windrichting) af tot  $-3$  (zie configuratie B in tabel 2). De onderdruk bij 15 m/s meteorologische windsnelheid neemt dan af tot  $-405$  Pa. Dit is echter nog steeds een hoge waarde.

Indien de hoogte van het aangrenzende gebouw van 50 en 36 m verlaagd wordt tot 27 m, neemt de winddrukcoëfficiënt op positie 2 af tot  $-2,7$  (zie configuratie C in tabel 3).

Door het onderzochte gebouw te verhogen van 27 m tot 60 m nemen de winddrukcoëfficiënten in het dakvlak sterk toe (zie configuratie D in tabel 2). Op positie 2 en 3 worden de maximale winddrukcoëfficiënten dan respectievelijk  $-11$  en  $-6$  met als gevolg erg hoge onderdrukken ( $-1485$  en  $-810$  Pa).

Als praktische limiet voor de gebouwhoogte is uitgegaan van 200 m (zie configuratie E). Bij een dergelijk hoog gebouw, gelegen in een stadskern met in de directe omgeving alleen beduidend lagere gebouwen (tot 25 m), zijn erg hoge onderdrukken in het dakvlak van circa  $-2000$  tot  $-4000$  Pa te verwachten (zie tabel 2).

Bij het interpreteren van de resultaten speelt niet alleen de onderdruk bij de uitmonding van de ontspanleiding op het dak een rol. Hij dient in samenhang te worden beschouwd met de drukken in de vertrekken met sifons. Als het gebouw zich in zijn geheel in het zog- of stuwgebied van een groot hoog nabij gelegen gebouw bevindt, kan het gehele drukk niveau op al deze plaatsen omlaag of omhoog gaan. De invloed van de nabijgelegen hoogbouw blijft dan toch beperkt. Alleen de grotere optredende fluctuaties kunnen voor problemen zorgen.

In het onderhavige voorbeeld is er echter geen sprake van volledige ligging in het zog- of stuwgebied van de hoogbouw. Uit het voorgaande mag derhalve worden geconstateerd dat bij configuratie A (situatie waarin problemen zijn geconstateerd) dusdanig grote onderdrukken in het dakvlak ter plaatse van de ontspanningsleidingen kunnen optreden, dat een negatieve invloed op het functioneren van het rioleringsysteem te verwachten is. Voor het onderhavige probleemgeval zal een en ander ons inziens ook een belangrijke rol spelen (gespeeld hebben).

Daarnaast blijkt echter dat ook bij meer stedelijke ligging (geen vrije aanstroming vanuit zee) of indien het gebouw hoger is dan 27 m, hoge drukken in het dakvlak optreden waarbij negatieve effecten op het rioleringsysteem mogelijk zijn. Oftewel ook in meer stedelijke bebouwing in het binnenland zijn, zeker naarmate de gebouwhoogte toeneemt, hoge onderdrukken in het dakvlak te verwachten met mogelijk nadelige effecten.

Door een goede keuze van de positie van de ontspanningsleiding in het dakvlak kunnen betreffende problemen door windaanval verminderd worden. Op positie 5 in het midden van het dakvlak zijn de winddrukcoëfficiënten een stuk gematigder (zie tabel 2). Toch zijn ook hier hoge onderdrukken mogelijk naarmate de gebouwhoogte toeneemt (zie tabel 2 configuratie D en E).

Behalve de grootte, kan ook de mate van variëren van de drukk niveaus in de tijd een negatief effect hebben op de goede werking van een rioleringsysteem. Uit figuur 7 blijkt dat de winddrukcoëfficiënt op positie 2 bij een windrichting variërend rond de  $150^\circ$  vrij sterk varieert van circa  $-2$  tot  $-5,5$ . Bij een winddrukcoëfficiënt van  $-2$  bedraagt de onderdruk bij 15 m/s meteorologische windsnelheid circa  $-270$  Pa. Oftewel bij geringe wijzigingen in de windrichting rond de  $150^\circ$  zijn grote en snelle variaties in de tijd in de winddruk te verwachten van  $750 - 270 = 480$  Pa. Bij de configuraties B en C bedraagt deze variatie in winddruk circa 270 Pa.

In hoeverre door turbulentie nog snelle variaties van winddrukken te verwachten zijn, is moeilijk aan te geven. Bij eerdere onderzoeken [2] aan gebouwen tot 10 m

hoog is gebleken dat de standaarddeviatie in de winddrukcoëfficiënten gemiddeld grofweg circa 40% bedraagt. Variaties in de winddrukken in de orde van grootte tot  $\pm 40\%$  zijn dan te verwachten.

De mate van turbulentie hangt echter af van een groot aantal zaken, zoals gebouwhoogte en -vorm, omringende bebouwing, atmosferische opbouw, etc. Tevens speelt een rol of de turbulentie in de aanstromende wind zelf aanwezig is of door het gebouw en zijn directe omgeving wordt gegenereerd.

In relatie hiermee wordt nog opgemerkt dat in [3] formules worden gegeven om de maximale winddrukken te bepalen ten behoeve van sterkteberekeningen. Hieruit volgt dat de winddrukken bij een gebouw van 30 m hoog respectievelijk 70 m hoog gedurende vlagen (pieken in de windsnelheid) nog een factor 2,5 respectievelijk 2 hoger kunnen liggen als buiten de pieken. Oftewel drukvariaties met een factor 2,5 à 2 kunnen mogelijk zijn.

Bij het waarden van deze drukvariaties speelt een rol in hoeverre er sprake is van een faseverschuiving (tijdsverschil) tussen het optreden van pieken aan de over- en onderdrukzijde van het rioleringsysteem. Ook de duur van de fluctuatie speelt een rol, vanwege traagheidseffecten, alsmede de demping in het volume van de leidingen. Later in dit rapport wordt een sifonmodel gepresenteerd, waarin traagheidseffecten en demping worden meegenomen.

In het voorgaande is steeds uitgegaan van een meteorologische windsnelheid van 15 m/s. Met meteorologische windsnelheid wordt de windsnelheid aangeduid zoals deze gemeten wordt op 10 m hoogte in het vrije veld (meting op meteostation). Om inzicht in het windklimaat in Nederland te verkrijgen zijn in bijlage B de volgende figuren opgenomen:

- 1) verdeling van de jaargemiddelde windsnelheid over Nederland;
- 2) aantal dagen per jaar met windsnelheid  $> 15$  m/s verdeeld over Nederland;
- 3) cumulatieve verdeling van de optredende windsnelheid langs de kust en in het binnenland.

Tevens is voor de gedachtebepaling in deze bijlage de Beaufortschaal opgenomen.

## 3.2 Gebouw en ventilatiesysteem (drukvariaties in een gebouw)

### 3.2.1 Aanpak

TNO Bouw heeft in internationaal verband meegewerkt aan de ontwikkeling van het ventilatierekenmodel COMIS [4]. Met dit ventilatierekenmodel kunnen de drukken in een gebouw berekend worden onder invloed van de winddrukken op de gebouwwomhulling en de thermische drijvende krachten. Belangrijke parameters zijn hierbij onder andere het gebruik van de ventilatievoorzieningen en de luchtdoorlatendheid van de gebouwschil.

Om door middel van onderzoek met dit ventilatierekenmodel een goed eenduidig inzicht te verschaffen van de maximaal te verwachten drukniveaus in gebouwen voert te ver voor deze voorstudie. Diverse parameters zijn hierbij namelijk van belang (gebouwindeling, gebouwhoogte, luchtdoorlatendheid, interne verbindingen, ventilatiesysteem en gebruik hiervan, winddrukken, etc), waardoor al snel een uitgebreid aantal situaties doorgerekend zou moeten worden om een goed universeel beeld te krijgen van de hoogte en de kans op bepaalde drukniveaus.

In het kader van deze voorstudie is daarom volstaan met het maken van een inschatting van de maximaal te verwachten drukniveaus in een gebouw op grond van:

- de winddrukken aan de gevels, zoals ze zijn berekend met de Cp-generator (zie paragraaf 3.1.1) voor de configuraties A t/m E zoals beschreven in paragraaf 3.1.2;
- gemaakte aannamen ten aanzien van het gebruik van de ventilatievoorzieningen (ramen en / of roosters) in de gevels.

Een en ander is gedaan uiteraard gebruik makend van ervaring en kennis opgedaan bij eerdere onderzoeken uitgevoerd met het ventilatierekenmodel COMIS.

### 3.2.2 Resultaten

De maximale positieve en negatieve winddrukcoëfficiënten, berekend met de Cp-generator op de gebouwgevels bij de configuraties A t/m E, zijn weergegeven in tabel 3. Uitgaande van een meteorologische windsnelheid van 15 m/s (zie tevens paragraaf 3.1) zijn de bijbehorende onder- en overdrukken berekend en eveneens weergegeven in tabel 3.

De maximale positieve winddrukcoëfficiënt treedt op op circa 80% van de hoogte van het gebouw, op de gevel waar de wind loodrecht op staat. In tabel 3 is dit dan ook aangeduid als “loefzijde”.

De maximale negatieve winddrukcoëfficiënt treedt op op een gevel waar de wind ongeveer evenwijdig langs stroomt. In tabel 3 is dit aangegeven als “langzijde”.

tabel 3: Maximale winddrukcoëfficiënten ( $C_p$ -waarden), over- en onderdrukken op de gevel aan loefzijde en de langsgevel voor de beschouwde configuraties, bij een meteorologische windsnelheid van 15 m/s.

configuratie <sup>(1)</sup>	Loefzijde		Langszijde	
	$C_p$ (-)	druk (Pa)	$C_p$ (-)	druk (Pa)
A	1,5	200	-1,5	-200
B	0,65	90	-0,75	-100
C	0,65	90	-0,75	-100
D	1,5	200	-2,0	-270
E	4,5	600	-13	-1750

opm.: (1) voor beschrijving zie paragraaf 3.1.2.

### 3.2.3 Bespreking van de resultaten

Indien de ventilatievoorzieningen (ramen en / of ventilatieroosters) aan de loef- en langszijde volledig geopend worden, kan de druk in de achterliggende ruimte maximaal gelijk worden aan de heersende winddruk aan de gevel.

Voor configuratie A (praktijksituatie waarbij problemen zijn geconstateerd) is dit voor loef- en langszijde respectievelijk 200 en -200 Pa (zie tabel 3).

Indien in plaats van een ligging aan zee en meer stedelijke ligging wordt aangehouden nemen deze drukken af tot 90 en -100 Pa (zie configuratie B in tabel 3). Het verlagen van het aangrenzende hoge gebouw heeft geen verdere invloed op de maximale drukken op de gevels (vergelijk configuratie C met B in tabel 3).

Indien de gebouwhoogte toeneemt van 27 m tot 60 m bij een stedelijke ligging, nemen de drukken aan de gevel en dus maximale drukken in het gebouw weer toe tot 200 en -270 Pa (zie configuratie D in tabel 3).

Aan de loefzijde zullen de ventilatievoorzieningen in situaties met hoge windsnelheden echter maar beperkt open gezet worden, omdat anders tochtproblemen en problemen met het dichtslaan van binnendeuren en dergelijke op zullen treden. Een realistische inschatting op grond van ervaring met berekeningen met het COMIS ventilatierekenmodel is dat de druk in het gebouw circa één vijfde zal bedragen van de winddruk aan de gevel.

Aan de langs- of lijzijde zullen de ventilatievoorzieningen in situaties met hoge windsnelheden verder opengezet kunnen worden. Hinder en problemen door de windaanval spelen hier minder sterk. Op grond van ervaring is een eerste inschatting dat de druk in het gebouw hier maximaal circa de helft zal bedragen van de winddruk aan de gevel.

Resumerend kan dus worden gesteld dat de maximale drukken, in een gebouw van 30 m hoog met vrije ligging én een gebouw van 60 m hoog bij meer stedelijke ligging, in de orde van grootte liggen van:

- + 40 Pa voor een ruimte aan de loefzijde ( $1/5 * 200$  Pa);
- -100 à -135 Pa voor een ruimte aan de langzijde ( $1/2 * (-200$  Pa à  $-270$  Pa).

Een gebouw met een hoogte van 200 m zal in de regel niet uitgevoerd zijn met te openen voorzieningen in de gevels. De drukken die hier binnen optreden zullen dan ook vooral bepaald worden door het luchttek in de gevels. Dit dient bij dergelijke hoge gebouwen beperkt te zijn, zodat een eerste inschatting is dat de binnendrukken vergelijkbaar zullen zijn als bij gebouwen van 60 m hoog.

Opgemerkt wordt nog dat de maximale geveldruk aan de loefzijde slechts langzaam met de hoogte van het gebouw afneemt. Winddrukken in de orde van grootte zoals aangegeven in tabel 3, treden dan ook over een aanzienlijk deel van de hoogte van het gebouw (aan de loefzijde) op.

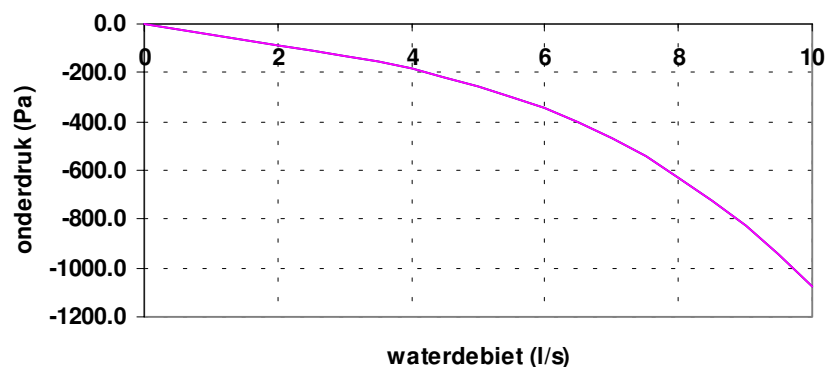
Ook de onderdrukken aan langzijde zullen optreden over een groot deel van de gebouwhoogte.

### 3.3 Lozingen in het rioelstelsel

#### 3.3.1 Lozingsdrukken in standleidingen volgens NEN 3215

De dimensionering van standleidingen volgens NEN 3215 is gebaseerd op het zogenaamde primaire systeem [5]. Dit houdt een systeem in waarbij zowel transport van water als lucht plaats kan vinden, zodat de druk niet te hoog op kan lopen. Als uitgangspunt geldt dat het water in de standleiding voornamelijk in een dunne laag langs de binnenomtrek van de buis zal gaan stromen, sterk geremd door de wrijving aan de wand. In het hart van de buis vindt hoofdzakelijk luchtstroming plaats, onder invloed van een restfractie van het water die in vrije val is.

In [5] worden formules gegeven voor het berekenen van de eindsnelheid van het water in een standleiding en de dikte van de waterlaag, zoals deze zich rondom in de buis vormt. Voor een standleiding, met een ontwerpmiddellijn van rond 117 mm inwendig, zijn de volgens deze formules berekende eindsnelheid en dikte van de waterlaag weergegeven in respectievelijk de figuren C1 en C2 van bijlage C voor een waterdebiet tot 10 l/s. Een en ander is berekend voor een wandruwheid van 1 mm, zoals steeds aangehouden in [5], respectievelijk een wandruwheid van 0,007 mm zoals geldt voor PVC-buizen volgens Recknagel [7]. Dit is gedaan om de mogelijke spreiding aan te geven. De wandruwheid van 1 mm wordt in NEN 3215 [9] aangehouden voor een binnenriolering ongeacht het toegepaste leidingmateriaal en met inbegrip van de weerstand van verbindingen en slibafzettingen. Verder wordt in [5] een empirische formule gegeven voor het berekenen van de onderdruk in een binnenriolering. De volgens deze formule berekende onderdruk bij een leiding van rond 117 mm (inwendig) is weergegeven in figuur 8.



figuur 8: *Onderdruk in een verticale leiding van rond 117 mm inwendig volgens de empirische formule uit [5] als functie van het waterdebiet.*



Op grond van de beschikbare informatie kan voor een standleiding, met een middellijn van rond 117 mm inwendig, worden uitgegaan van een ontwerpdebiet van circa 5 l/s. Volgens [5] bedraagt hierbij de onderdruk in de binnenriolering circa -250 Pa.

Het lozingsdebiet van 5 l/s dient als een ontwerpwaarde te worden beschouwd. Bij de bepaling is er van uitgegaan dat gelijktijdig verscheidene lozingen kunnen plaatsvinden. In de praktijk blijkt dat een lozing bij het bereiken van de standleiding al over enkele tot een tiental seconden is uitgevlakt, waarbij het debiet per lozing kan afnemen tot enkele tienden l/s. Dientengevolge wordt een debiet van 1 l/s in de praktijk voor een standleiding als meer realistisch beschouwd. Bij een dergelijk debiet kan worden berekend dat de onderdruk niet meer dan circa -50 Pa zal bedragen.

### 3.3.2 Rekenmodel van de lozing in hoge gebouwen

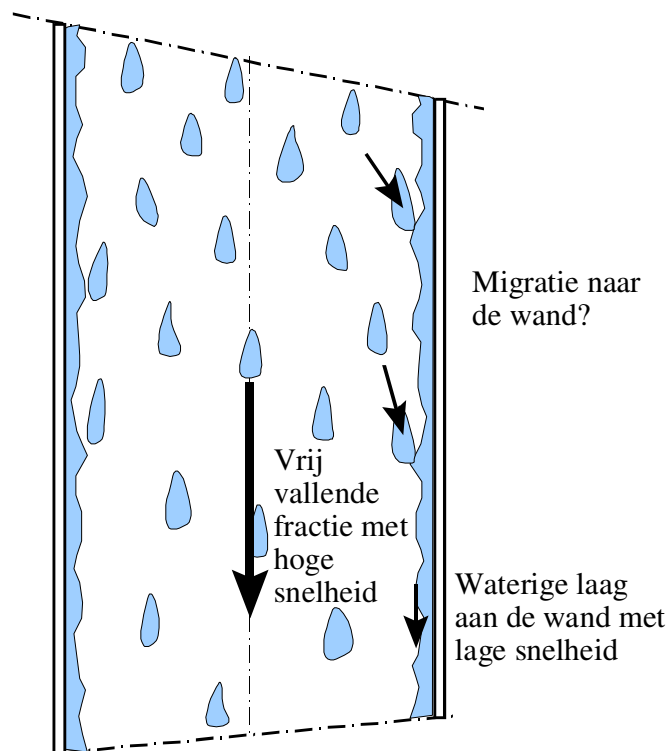
De voornoemde empirische formule is gebaseerd op onderzoek door Sharma, Chakrabarti en Khana uit 1981. Ook Schellenberg en het WTCB hebben empirische formules voor de onderdruk bij lozing afgeleid. Van BRE is een theoretische benadering bekend. Deze formules zijn van toepassing op lozingssituaties in gebouwen van beperkte hoogte, zoals woningen. Om voor hoge gebouwen een voorspelling te kunnen doen omtrent de drukopbouw in de standleiding tijdens lozing, is een rekenmodel opgezet dat de hoogte wel als parameter kent.

Het toegepaste rekenmodel van de lozing kent drie hoofdstromen (figuur 9):

- de stroming van het hoofddeel van de lozingsmassa langs de wand;
- vrije val van een gefragmenteerde restfractie;
- stroming van lucht om de lozing naar boven en voor de lozing uit naar het buitenriool.

Voor een realistische schatting van de restfractie in vrije val is uitgegaan van metingen van Campbell [10]. Hij bepaalde de dichtheidsverdeling van de lozingsmassa over de buisdoorsnede. Uit deze metingen is gebleken dat de waterring die langs de wand glijdt slechts 45% van de lozingsmassa bevat en dat van de wand naar het midden van de buis van een exponentiële afname sprake is, tot circa 2 volumeprocent in het hart van de buis.

Het is overigens de vraag of deze verdeling van de lozingsmassa ook bij hoge standleidingen geldig blijft. Campbell heeft zijn experimenten aan een 7 m hoge standleiding gedaan. Het is niet uitgesloten dat tijdens het vallen over grotere hoogte migratie van deeltjes naar de buiswand plaatsvindt, zodat een van kleinere vrij vallende fractie moet worden uitgegaan.



figuur 9: *Het rekenmodel gaat er van uit dat de lozing deels langs de buiswand stroopt, deels in fragmenten valt*

Op grond van de momentaan berekende valsnelheid wordt met het model iteratief de snelheid van de luchtstroming in de leiding bepaald, waarbij, uitgaande van de druk aan het begin van de standleiding, de opgegeven druk aan het eind van de standleiding wordt bereikt. In het model worden stromingsweerstand en versnellingsdrukken voor de luchtkolom in de standleiding en de luchtstroming ter plaatse van de lozing in beschouwing genomen. De hierbij gebruikte formules zijn ontleend aan [6].

Het drukverloop kan worden berekend afhankelijk van:

- de gebouwhoogte;
- de diameter van de standleiding;
- de ruwheid van de standleiding;
- het lozingsdebiet;
- de fractie in vrije val (oftewel de mate waarin de lozing de leiding afsluit);
- de riooldruk;
- het volume van het rioleringsstelsel (buffercapaciteit).

Het model is getoetst aan de empirische formule en beschouwingen volgens [5] (zie bijlage C). Het blijkt daarmee goed overeen te komen. Bepalend voor de uitkomsten zijn vooral de aannamen omtrent de restfractie in vrije val en het aangehouden lozingsdebiet.

Als de vrij vallende fractie tot onderaan in valbeweging blijft, blijkt ze in hoge standleidingen eindsnelheden tot in de orde van grootte van 20 m/s te kunnen bereiken. Bij een lozing die door het afvlakken secondenlang aanhoudt betekent dit dat een standleiding van 70 m hoog op een zeker moment van boven tot onder gevuld kan zijn met een 'mist' van vrij vallende deeltjes. Voor de luchtstroming dient er in dat geval rekening mee te worden gehouden dat de weerstand van de deeltjes over de gehele hoogte (stromingsweg) aanwezig is en dat dus een navenant hoge druk in de buis wordt opgebouwd. Dit betekent een toenemende lozingsdruk met de hoogte.

Anderzijds zorgt de van de buiswand tot het hart verlopende dichtheid er voor dat in het hart van de buis niet alleen de hoogste valsnelheden worden bereikt, maar ook de hoogste tegendrukken. Door deze hogere luchtdrukken in het midden van de buis is juist over grotere valhoogten migratie van deeltjes naar de wand aannemelijk. Het model zou in dat geval uit moeten gaan van een met de hoogte afnemende dichtheid van de fractie in vrije val. Dit zou betekenen dat de toename van de lozingsdruk met de hoogte dus weer wordt afgevlakt.

Zolang geen toetsing aan metingen in hoge gebouwen heeft plaatsgevonden, is het juiste mechanisme niet goed voorspelbaar. Daarom zijn berekeningen bij verschillende aannamen uitgevoerd. Vooralsnog dienen de resultaten van deze berekeningen dus als niet meer dan indicatief te worden beschouwd.

### 3.3.3 Uitgevoerde berekeningen

Er is een berekening uitgevoerd voor een gebouw van 70 m hoogte, uitgaande van belemmering van de buisdoorlaat over de volle hoogte en een berekening waarbij het vrij vallende deel, door migratie van deeltjes naar de wand, over een beperkte hoogte van 7 m aanwezig is. Voor beide situaties is uitgegaan van een lozingsdebiet van 1 l/s en een gemiddelde dichtheid van het vrij vallende lozingsdeel van 7%, zoals bepaald in [10].

Om gevoeligheden vast te stellen zijn met het rekenmodel tevens oriënterende berekeningen uitgevoerd aan gebouwen van 30 en 70 m hoogte, bij variatie van de belangrijke parameters. De resultaten hiervan zijn weergegeven in bijlage D.

### 3.3.4 Resultaten

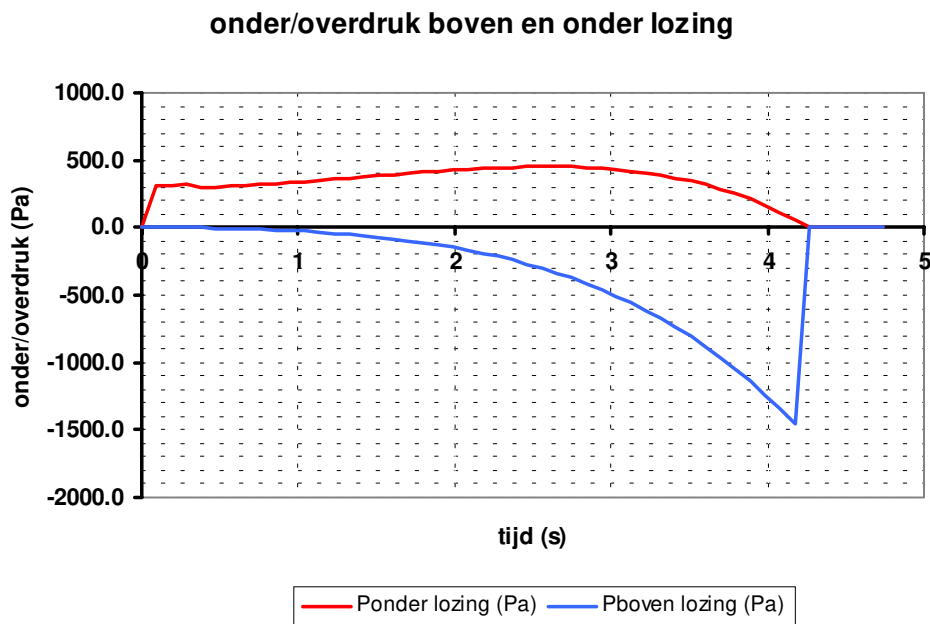
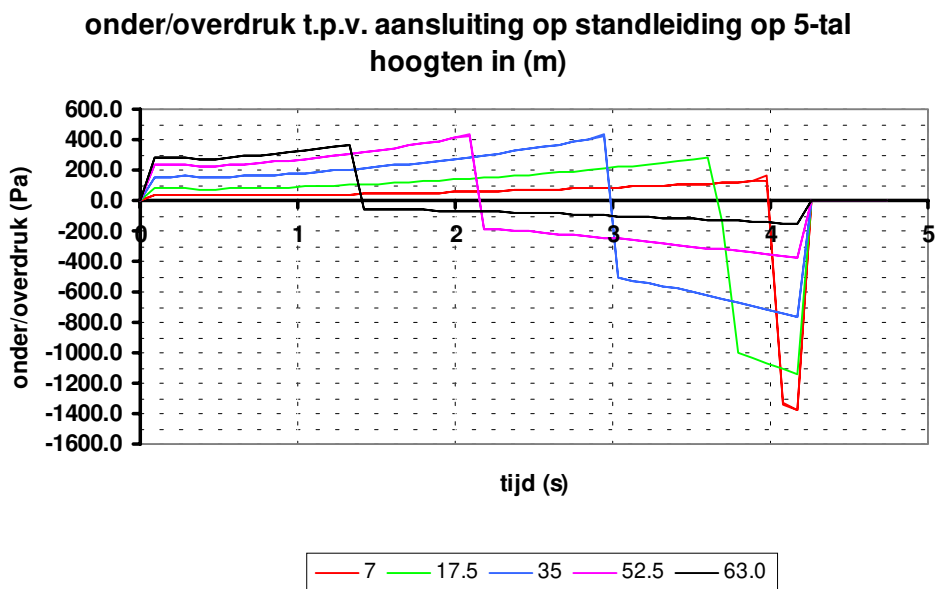
De resultaten van de berekeningen voor de 70 m hoge standleiding met gehele en gedeeltelijke vulling met vrij vallende fractie zijn weergegeven in figuren 10 en 11. In beide figuren is, als functie van de tijd waarin de lozing van boven naar beneden valt, grafisch uitgezet:

- 1) het drukverloop op een vijftal posities verdeeld over de hoogte van de standleiding, namelijk op:
  - 90% van de hoogte;
  - 75% van de hoogte;
  - 50% van de hoogte;
  - 25% van de hoogte;
  - 10% van de hoogte.
- 2) het drukverloop voor en achter de lozing.

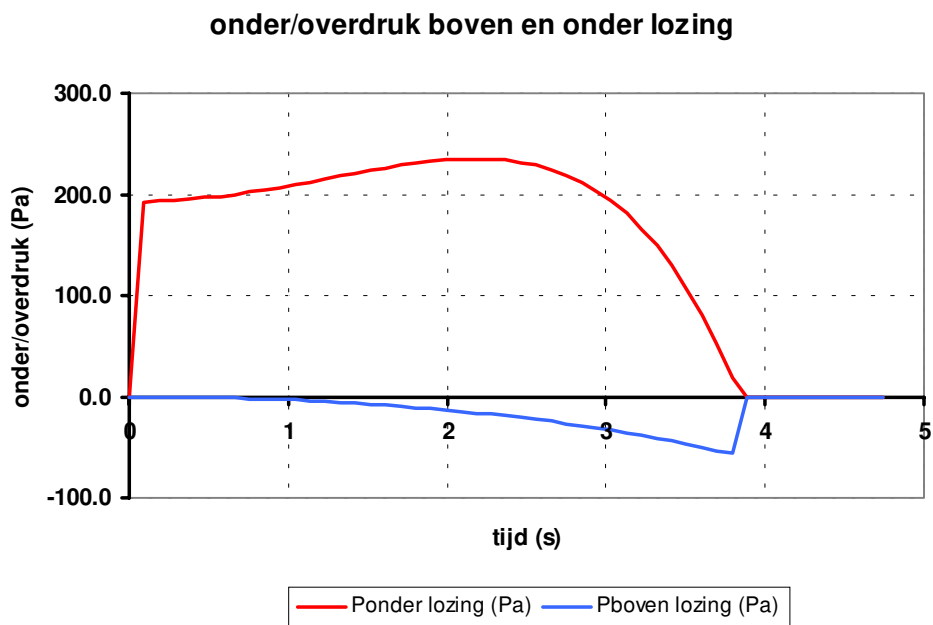
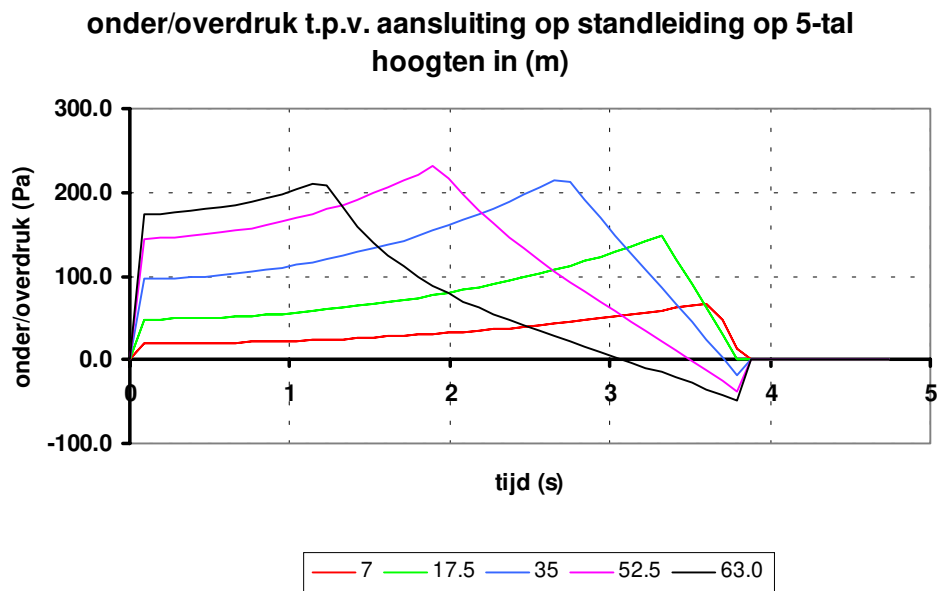
Op deze wijze wordt een goed beeld verkregen van de drukken en drukvariaties, zoals zij op kunnen treden, daar waar leidingen kunnen zijn aangesloten.

De varianten die zijn berekend voor bepaling van de gevoeligheid zijn weergegeven in bijlage D. In deze bijlage wordt ook op de uitgangspunten van het model nader ingegaan.

Snelle drukvariaties op een bepaalde positie in de standleiding treden op bij het passeren van de lozing. De druk slaat dan zeer snel om van de overdruk voor de lozing naar de onderdruk achter de lozing. In de figuren is deze plotselinge variatie goed waarneembaar voor de beschouwde 5 posities in de standleiding. Lager in de standleiding is deze drukvariatie groter, omdat dan de snelheid van de lozing hoger is.



figuur 10: Drukverloop bij lozing in een 70 m hoge standleiding met vulling met vrij vallende fractie over de hele hoogte.



figuur 11: Drukverloop bij lozing in een 70 m hoge standleiding met vulling met vrij vallende fractie over een deel van de hoogte.

### 3.3.5 Bespreking van de resultaten

Uit de figuren 10 en 11 en de figuren in bijlage D blijkt dat aanzienlijke drukvariaties tijdens een lozing mogelijk zijn.

De uitkomsten zijn sterk afhankelijk van de vullingsgraad en vullingshoogte met een vrij vallende fractie. Afhankelijk van de aannamen hieromtrent kan de onderdruk in een 70 m hoge standleiding variëren van  $-50$  tot  $-1400$  Pa en de overdruk van 230 tot 470 Pa. Bij een aftakking onderin blijkt de grootste drukvariatie op te treden (van 150 naar  $-1400$  Pa bij volledige vulling).

Uit de berekeningen ter bepaling van de gevoeligheid kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Bij een geringere hoogte van de standleiding zijn de optredende drukschommelingen beduidend lager;
- Naarmate de doorlaat van de standpijp meer door de lozing wordt afgesloten, blijken de drukken en drukvariaties toe te nemen;
- De massa van de lozing doet er bij een lozing met geringere beperking van de doorlaat nauwelijks toe. Dit komt omdat de tegenwerkende krachten door de luchtdrukverschillen over een dergelijke lozing klein blijven in verhouding tot de zwaartekracht. Oftewel de lozing valt met de zwaartekracht versnelling (ongeacht de massa);
- Bij een grotere beperking van de doorlaat door de lozing, nemen de luchtdrukverschillen toe plus de omhoog gerichte kracht op de lozing. Hierdoor wordt op een gegeven moment de massa van de lozing mede bepalend voor de valversnelling en dus voor de drukvariaties;
- Indien het buitenriool deels vol staat met water en hierdoor een belemmering vormt voor de luchtstroming, zal de overdruk voor de lozing sterk toenemen. Ook de uiteindelijk drukvariatie op een lager punt in de standleiding neemt hierdoor toe.

Uit ontvangen informatie, betreffende één van de voorbeeldprojecten waarbij problemen zijn geconstateerd, blijkt de orde van grootte van de drukniveaus bepaald met het rekenmodel het best overeen te komen met de variant met vulling over de volledige hoogte. In dit voorbeeldproject zijn namelijk drukmetingen uitgevoerd in de 70 m hoge standleiding. De gemeten drukken variëren van  $+1000$  tot  $-700$  Pa. De resultaten van deze drukmetingen zijn opgenomen in bijlage E. Over deze metingen kon geen achtergrondinformatie (waar en hoe gemeten) uit de ontvangen bescheiden worden herleid. Wel is bekend dat de problemen uiteindelijk zijn opgelost door het aanbrengen van een extra verticale ontluichtingsleiding van circa 4 m hoog direct buiten het gebouw.

De verhouding tussen over- en onderdruk duidt er op dat wellicht ook sprake is geweest van een hoge vullingsgraad van het buitenriool.

## 3.4 Dichtslaan van deuren

### 3.4.1 Aanpak

Een rekenmodel is opgezet om inzicht te verkrijgen in de optredende over- dan wel onderdrukken ten gevolge van het dichtslaan van deuren.

In dit rekenmodel wordt het drukverloop in de tijd berekend als gevolg van de “pomp”-werking van een dichtslaan de deur in combinatie met de mogelijkheden waarmee lucht toe- dan wel afgevoerd kan worden uit het betreffende vertrek door aanwezige luchtlekken.

Het dynamische drukverloop kan berekend worden afhankelijk van:

- de afmetingen van de deur;
- de snelheid waarmee de deur dichtslaat;
- het lekoppervlak van de deur in gesloten toestand;
- de vertrekafmetingen;
- de luchtlekken in het vertrek naar de omgeving.

Omdat de luchtverplaatsingen door de deurbeweging groot zijn ten opzichte van de luchtverplaatsing door het ventilatiesysteem kan het toegepaste ventilatiesysteem in het model buiten beschouwing blijven.

### 3.4.2 Uitgevoerde berekeningen

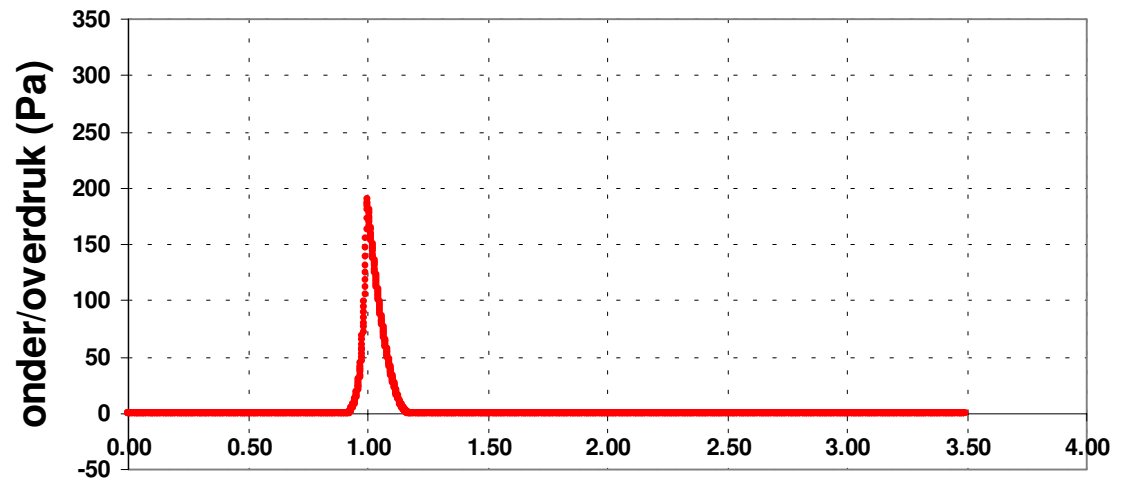
Berekeningen zijn uitgevoerd voor:

- een deur van 2 bij 0,8 m;
- een vertrek van 2 x 2 x 2,5 m oftewel 10 m<sup>3</sup> inhoud. Dit zijn reële afmetingen voor een gemiddelde badkamer;
- 2 snelheden waarmee de deur dichtslaat, namelijk:
  - in 1 seconde van haaks open naar volledig dicht;
  - in 0,5 seconde van haaks open naar volledig dicht;
- een netto lekoppervlak van de deur in gesloten toestand van 80 cm<sup>2</sup>;
- een netto lekoppervlak van de gevel van 1 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> geveloppervlak;
- een geveloppervlak van 5 m<sup>2</sup> (2 x 2,5 m);
- een netto lekoppervlak van een binnenwand van 2 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> wandoppervlak;
- een binnenwandoppervlak van 13,4 m<sup>2</sup> (excl. deuroppervlak).

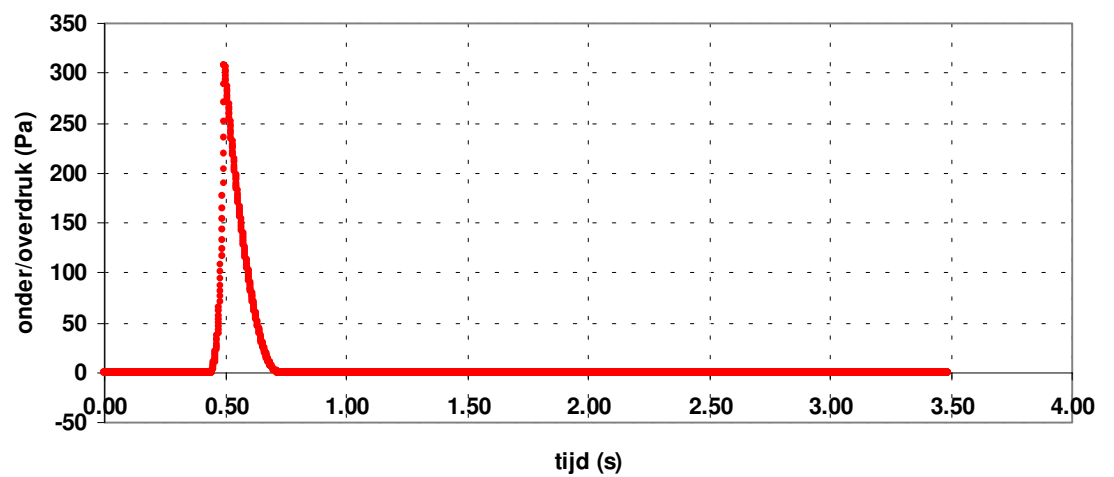
### 3.4.3 Resultaten

De resultaten van de berekeningen zijn, voor het dichtslaan van de deur vanuit haakse positie in 1 en 0,5 seconde, weergegeven in respectievelijk de figuren 12 en 13.





figuur 12: Drukstoot bij dichtslaan van een deur in 1 seconde.



figuur 13: Drukstoot bij dichtslaan van een deur in 0,5 seconde.

#### **3.4.4 Bespreking van de resultaten**

Uit de figuren 12 en 13 blijkt dat drukstoten tot respectievelijk bijna 200 en 300 Pa kunnen optreden.

Overigens blijkt de snelheid waarmee de deur dichtslaat én de inhoud van de ruimte het meest bepalend te zijn voor de optredende drukstoten. Het lek van de deur in gesloten toestand heeft nauwelijks invloed, omdat pas wanneer de deur bijna dicht is dit mee gaat spelen (dan is de druk al ongeveer tot de eindwaarde opgelopen). Verder heeft het lek van de binnen- en buitenwanden weinig invloed, omdat dit klein is in vergelijking met de opening van de deur en/of het eigen lek van de deur in gesloten toestand.

## 3.5 Afremmen van luchtstromingen in een gebouw

### 3.5.1 Aanpak

De “drukstoten” door het afremmen van luchtstromingen kunnen theoretisch berekend worden op grond van een aangenomen luchtstroming (hoeveelheid en snelheid) en een aangenomen vertraging van deze luchtstroming.

In deze voorstudie is hiervoor uitgegaan van een luchtstroming in een lange gang, die afgeremd wordt door het dichtslaan van een gangdeur.

### 3.5.2 Berekeningen en resultaten

Uitgangspunten:

- lengte van de gang: 60 m;
- doorsnede van de gang:  $2 \times 2,5 \text{ m}^2$ ;
- luchtsnelheid: 0,5 m/s;
- afremmen luchtstroom in: 0,5 à 1 s.

De totale massa lucht, die in beweging is, is:

$$60 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 360 \text{ kg}$$

De afremvertraging is:

$$0,5 \text{ m/s} : (0,5 \text{ à } 1 \text{ s}) = 0,5 \text{ à } 1 \text{ m/s}^2$$

De kracht, die hiervoor geleverd moet worden, bedraagt:

$$F = m \times a = 360 \text{ kg} \times (0,5 \text{ à } 1 \text{ m/s}^2) = 180 \text{ à } 360 \text{ N}$$

Deze kracht hiervoor wordt geleverd over de doorsnede van de gang, zodat de luchtdruk bedraagt:

$$\text{druk} = (180 \text{ à } 360 \text{ N}) : (2 \times 2,5 \text{ m}^2) = 36 \text{ à } 72 \text{ Pa.}$$

### 3.5.3 Bespreking van de resultaten

De drukfluctuaties door het afremmen van luchtstromingen zijn, voor een gebruikelijke praktijksituatie wat betreft een luchtstroming in een “lange” gang, beperkt. De drukverhogingen liggen in de orde van grootte van 40 tot 80 Pa.

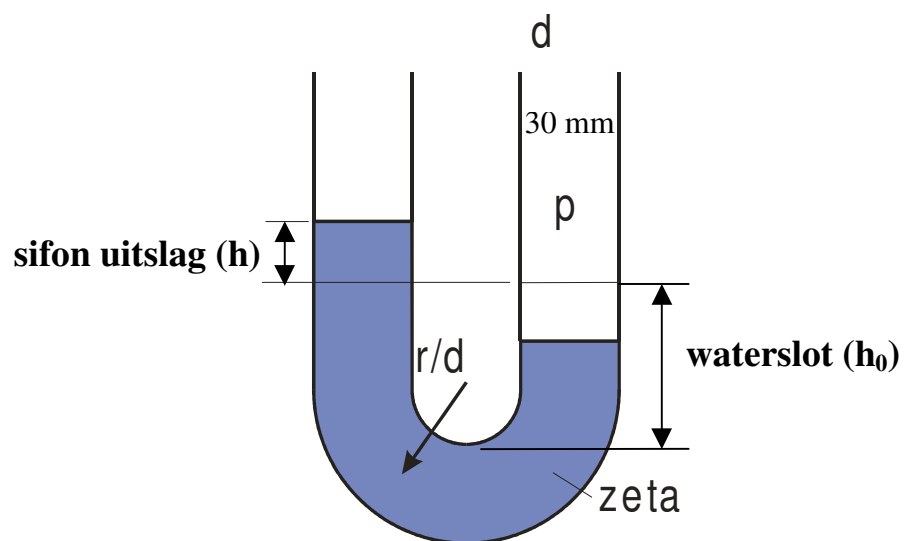
## 4 Dynamisch krachtenspel op een sifon

### 4.1 Aanpak

Een dynamisch model van een buissifon is opgezet (zie figuur 14). Als invoer kan een druksignaal in de tijd op 1 van de buizen gezet worden ( $p$ , zie figuur 14), waarna het model de uitslag van de vloeistof ( $h$ , zie figuur 14) in de sifon berekend. Hierbij worden in beschouwing genomen de versnellings-, wrijvings- en zwaartekrachten op de vloeistof in de sifon.

Van de buissifon kan ingevoerd worden (zie figuur 14):

- de diameter ( $d$ );
- de hoogte van het waterslot ( $h_0$ );
- de  $r/d$  verhouding van de bocht ( $r/d$ );
- de stromingsweerstand van de bocht (zeta).



figuur 14: Model van buissifons (invoerparameters).

### 4.2 Uitgevoerde berekeningen

Berekeningen zijn uitgevoerd aan een 30 mm en 40 mm sifon.

Bij beide sifons is uitgegaan van:

- een restwaterslot van 15 mm (d.w.z. waterkolomhoogte boven de bovenzijde van de bocht). Dit is ook het minimale waterslot dat gegarandeerd moet zijn volgens [5]. Uitgangspunt is de waterslotheogte van 50 mm, vermindert met 15 mm waterverlies ten gevolge van onderdruk in het rioleringsstelsel en 20 mm verdampingsverlies;

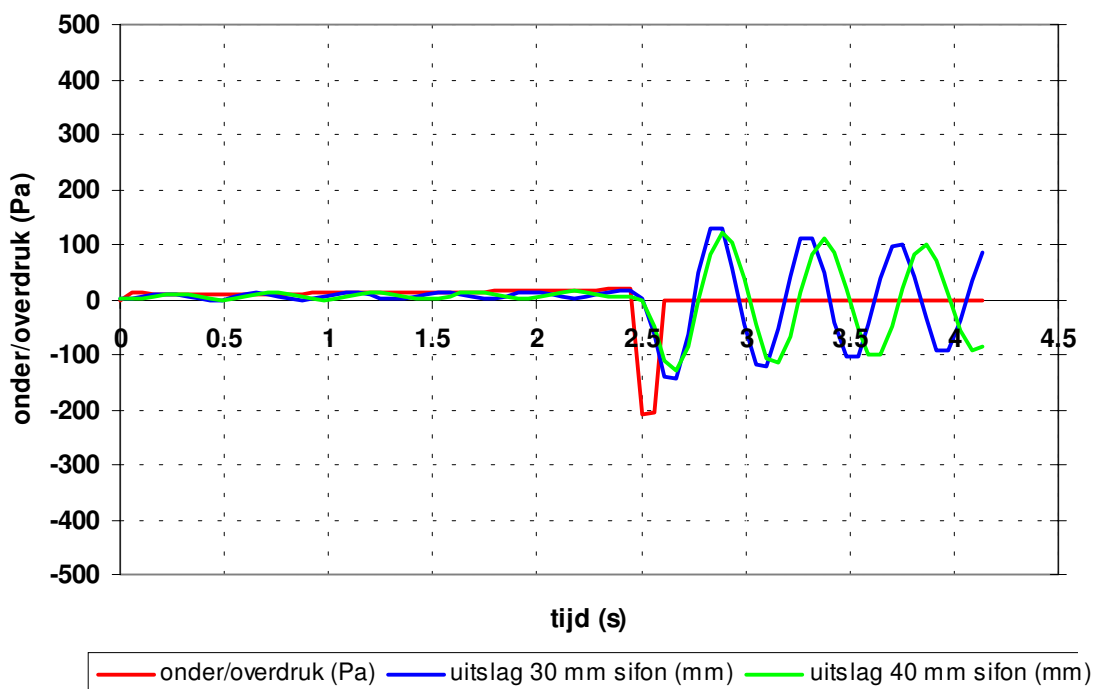
- r/d verhouding van 1;
- zeta is 0,7 (ontleend aan Recknagel bij  $r/d = 1$ ).

De uitslag van de waterkolom in deze sifons is met het model berekend uitgaande van een drukvariatie van:

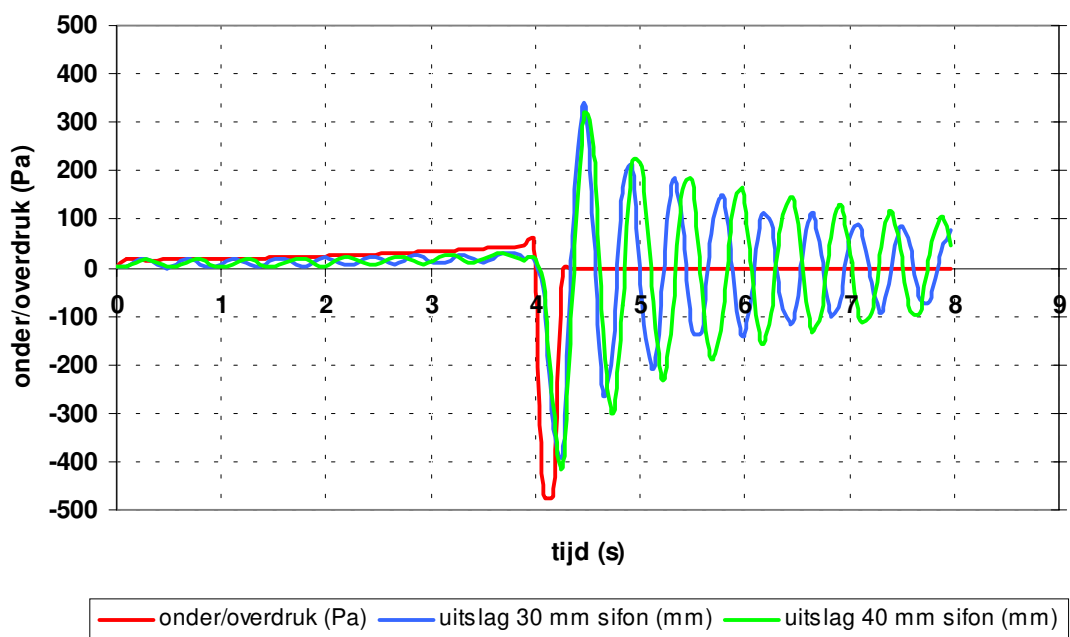
- 1) 20 naar -200 Pa, vergelijkbaar met de geraamde drukschommeling op 3 m hoogte in een standleiding ten gevolge van een lozing vanaf 30 m hoogte;
- 2) 50 naar -475 Pa, vergelijkbaar met de geraamde drukschommeling op 7 m hoogte in een standleiding ten gevolge van een lozing vanaf 70 m hoogte;
- 3) 190 Pa door het dichtslaan van een deur in 1 seconde;
- 4) 300 Pa door het dichtslaan van een deur in 0,5 seconde.

De resultaten zijn weergegeven in respectievelijk de figuren 15 t/m 18.

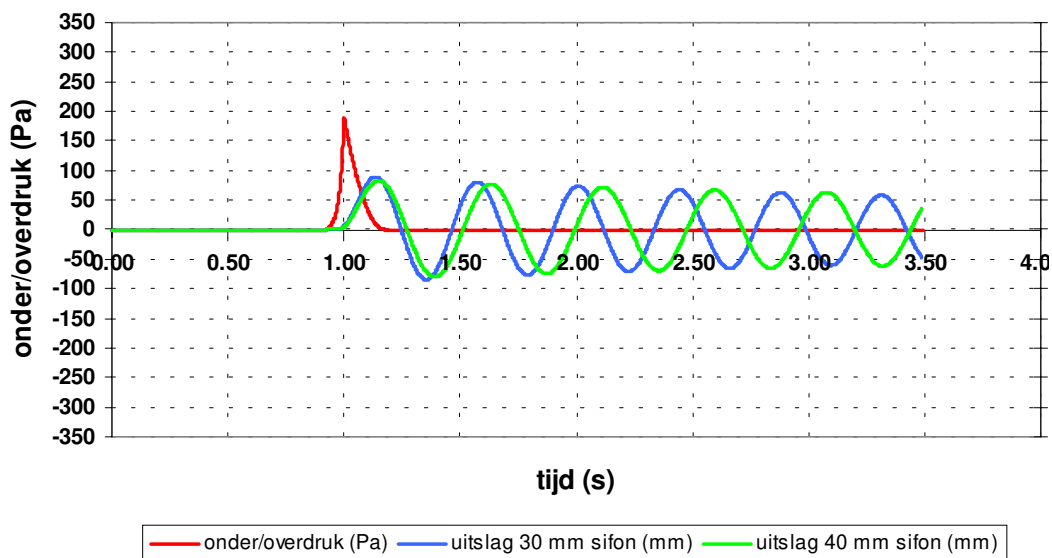
### 4.3 Resultaten



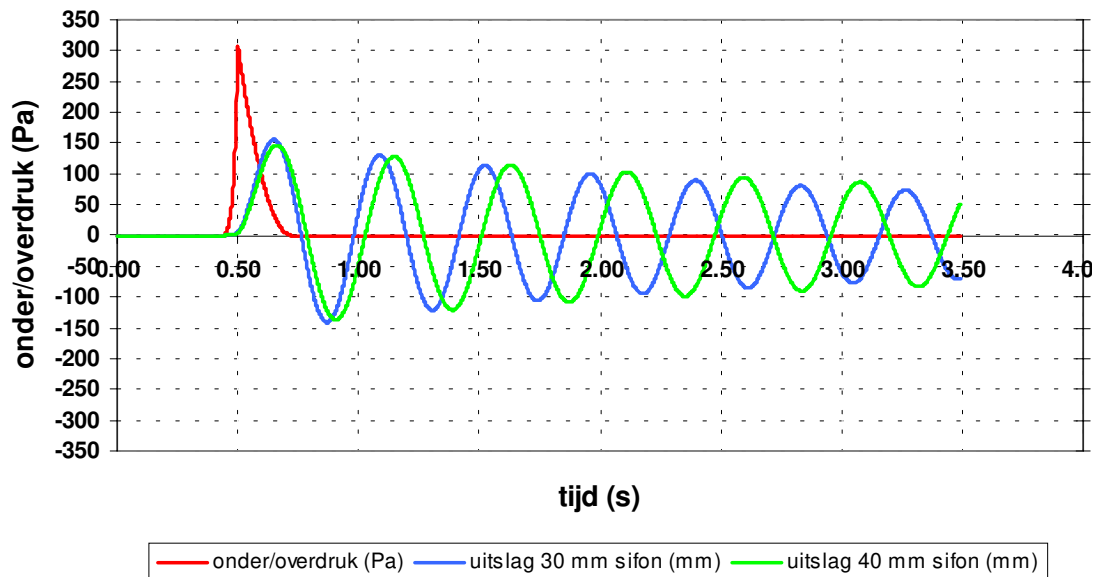
figuur 15: Uitslag van de waterkolom in een sifon door een geraamde drukvariatie op 3 m hoogte in een standleiding als gevolg van een lozing vanaf 30 m hoogte.



figuur 16: Uitslag van de waterkolom in een sifon door een geraamde drukvariatie op 7 m hoogte in een standleiding als gevolg van een lozing vanaf 70 m hoogte.



figuur 17: Uitslag van de waterkolom in een sifon door het dichtslaan van een deur in 1 seconde.



figuur 18: Uitslag van de waterkolom in een sifon door het dichtslaan van een deur in 0,5 seconde.

#### 4.4 Bespreking van de resultaten

Uit de figuren 15 t/m 18 blijkt, zoals ook verwacht mocht worden, dat de maximale uitslag van de waterkolom in de sifon door traagheid lager blijft dan het maximale drukniveau gedurende de drukvariatie.

Voor de geraamde drukschommeling bij een lozing vanaf 70 m hoogte (zie figuur 16), blijkt ondanks de traagheid van de watermassa de uitslag van de waterkolom in de sifon groter te zijn dan door het minimaal te garanderen waterslot van 15 mm kan worden opgevangen (300 Pa). Hierbij is dus luchtuitwisseling tussen ruimte en riool alsmede mogelijk waterverlies aannemelijk.

Uit de figuren 15 t/m 18 blijkt dat de waterschommeling in de sifon maar langzaam uitdempt. Dit maakt dat de watermassa na de “drukstoot” ongeveer tot dezelfde hoogte “doorschommelt” in de andere richting. De veronderstelling dat een overdruk in het riool ten opzichte van de ruimte minder ongunstig zou zijn omdat dan eventueel water het lozingstoestel ingedrukt wordt dat vervolgens weer terugstroomt zonder waterverlies, zal hierdoor niet opgaan. De watermassa slingert namelijk vervolgens weer tot ongeveer dezelfde hoogte door de andere kant op (zoals bij een onderdruk in het riool) waarbij vervolgens alsnog waterverlies kan optreden.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

#### Windaanval (winddrukken bij ontspanningsleidingen):

- 1) Voor het voorbeeldproject zijn onderdrukken ter plaatse van de uitmondingen van de ontspanningsleidingen berekend in de orde van grootte van  $-750$  Pa (bij meteorologische windsnelheid  $15$  m/s). Dergelijke drukniveaus kunnen zondermeer een negatief effect hebben op een rioleringsysteem (voorgeschreven te garanderen rest waterslotheogte is  $15$  mm, oftewel  $300$  Pa).
- 2) Bij stedelijke ligging in het binnenland zijn, zeker naarmate de hoogte van het gebouw of de omringende gebouwen toeneemt, ook hoge onderdrukken (groter of in dezelfde orde van grootte als hiervoor genoemd) in het dakvlak te verwachten.
- 3) Door een juiste keuze van de uitmondingspositie in het dakvlak kunnen de drukniveaus bij een ontspanningsleiding beperkt worden. Onderdrukken tot  $-350$  Pa zijn bij gebouwen met een hoogte tot circa  $60$  m desondanks niet uit te sluiten. Voor de extreme situatie met een gebouw van  $200$  m hoogte (praktische bouwlímiet), gelegen in een stadskern en omgeven door beduidend lagere gebouwen, zijn onderdrukken tot  $-2000$  Pa desondanks mogelijk.
- 4) Gebruikelijke variaties in de windrichting kunnen snelle drukvariaties (tot enkele honderden Pa's) in het dakvlak tot gevolg hebben.
- 5) Door turbulentie zijn ook kortstondige variaties in de winddrukken mogelijk. Op grond van beschikbare informatie is een eerste inschatting dat de winddrukken nog een factor  $1,4$  tot  $2,5$  hoger kunnen worden door turbulentie.

#### Drukniveaus in een gebouw:

- 6) Op grond van berekende winddrukken en aannamen is afgeleid dat in een gebouw aan loefzijde maximaal een drukniveau in de orde van grootte van  $+40$  Pa is te verwachten en aan de lij- of langszijde van  $-135$  Pa.



**Lozingen in het rioelstelsel:**

- 7) De berekende maximale onderdruk door het passeren van een lozing in een 70 m hoge standleiding ligt tussen  $-50$  en  $-1400$  Pa en de overdruk tussen  $230$  en  $470$  Pa, afhankelijk van de aangehouden vullingsgraad en vullingshoogte met een vrij vallende fractie. Referentiemetingen kunnen uitsluitel geven welke aannamen reëel zijn. Bij een aftakking onderin blijkt de grootste drukvariatie op te treden.
- 8) Indien de mate waarin de vallende fractie van de lozing de leiding afsluit toeneemt, nemen de drukniveaus en drukvariatiës ook toe.
- 9) Indien het buitenriool deels vol staat met water kan de, met de lozing meegesleurde, lucht moeilijker ontsnappen. In plaats van een onderdruk zal dan vooral een overdruk in de standleiding heersen. De drukniveaus en drukvariatiës kunnen hierdoor met enkele honderden Pa's toenemen. In een van de voorbeeldprojecten bleek de oplossing te zijn een extra ontspanningsleiding (buiten het gebouw) aan te brengen in de horizontale leiding tussen standleiding en buitenriool.

**Dichtslaan van deuren:**

- 10) Drukstoten van  $200$  tot  $300$  Pa zijn te verwachten door het snel dichtslaan van deuren.

**Afremmen van luchtstromen:**

- 11) Drukstoten van  $40$  tot  $80$  Pa zijn te verwachten door het afremmen van luchtstromingen in lange gangen.

**Dynamisch krachtenspel op een sifon:**

- 12) Rekening houdend met het krachtenspel op de watermassa in de sifon (resultierend in een zekere traagheid), lijkt aannemelijk dat de optredende drukvariatiës bij lozingen in  $70$  m hoge standleidingen een uitslag van de waterkolom van de sifon geven groter dan de minimaal te garanderen rest-waterslotheogte van  $15$  mm.
- 13) De waterschommeling in een sifon dempt maar langzaam uit. Een onderdruk in het rioelstelsel ten opzichte van het gebouw is hierdoor niet, zoals vaak wordt verondersteld, een stuk ongunstiger dan een overdruk. Bij het

wegvallen van de overdruk schommelt de watermassa namelijk nagenoeg even ver door in de andere richting.

## 5.2 Aanbevelingen

Als maatregelen om de effecten van wind te beperken worden gezien:

- drukontspanleidingen van hoge gebouwen zo ver mogelijk van de dakranden af in het dakvlak laten uitmonden;
- de uitmondingsplaats van drukontspanleidingen van gebouwen die grenzen aan hoge gebouwen zo ver mogelijk van de hoge gebouwen situeren;
- ontlichten in een ringleiding om het gebouw.

Zowel bij eigen als aangrenzende nieuwbouw dient te worden overwogen of vooraf een windstudie naar de invloed op de ontspanleidingen wenselijk is.

Als maatregelen om de effecten van de grotere drukstoten in hoge gebouwen te beperken, worden gezien:

- zoneren van standleidingen in hoge gebouwen, in combinatie met nieuw te ontwikkelen valonderbrekingen (slechte ervaringen met valonderbrekers in het verleden maken een herontwerp noodzakelijk);
- parallelle standleidingen in hoge gebouwen onderling op verscheidene plaatsen horizontaal op elkaar te ontspannen;
- een luchtbuffer aan de bovenzijde aan de standleiding te koppelen (effect nog nader vast te stellen);
- constructieve aanpassingen aan sifons uit te voeren ten aanzien van de watersloothoogte, dubbele uitvoering (verzamelruimte naar twee zijden), de vorm van de verzamelruimte (trechter- of buikvormig) of toevoeging van een expansievat.

Uit het onderzoek blijkt dat nog onzekerheden bestaan ten aanzien van:

- de invloed van turbulentie;
- de vallende fractie van de lozing bij hogere standleidingen.

Een verdere uitdieping op deze terreinen wordt aanbevolen.

## 6 Literatuurlijst

- [1] Knoll, B. en J.C. Phaff  
De Cp-generator. Een eenvoudige methode voor bepaling van winddrukken.  
Delft, TNO Bouw, publicatie in Bouwfysica vol. 7 no. 4, 1996.
- [2] Diverse onderzoeken naar winddrukken uitgevoerd door TNO Bouw
- [3] DRAFT prEN 1991-1-4  
Actions on Structures – Wind Loads.  
Brussel (B), CEN , 1994.
- [4] Feustel, H.E., J.C. Phaff et al  
Fundamentals of the multizone air flow model COMIS.  
Coventry (GB), AIVC Technote 29, mei 1990.
- [5] DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV  
Algemene Vereniging van Ondernemers in het Loodgieters-, sanitair- en gasverwarmingsinstallatiebedrijf (AVOL).  
Dimensioneringsprincipe standleidingen.  
Achtergrondrapport activiteit 2.7. Normcommissie 351.65 – binnenriolering.  
Delft, Nederlands Normalisatie Instituut, oktober 1985.
- [6] Bouwman, H.B.  
Schiphol tunnel programma “Nastroom”.  
Delft, IMG-TNO, diverse interne memo’s (vertrouwelijk), 1974.
- [7] Recknagel, Sprenger und Schramek  
Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik  
München, Oldenbourg Verlag, 69-er Auflage, 1999.
- [8] NEN-EN 997  
WC-potten met ingebouwde stankafsluiter.  
Delft, Nederlands Normalisatie Instituut, 1999.
- [9] NEN 3215  
Binnenriolering in woningen en woongebouwen  
Eisen en bepalingmethoden  
Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1997
- [10] Campbell, D.  
Detergent action in building drainage systems.  
CIB, W62, 2000.

## **Bijlage A: Winddrukberekeningen met de Cp-generator.**

*Deze bijlage bevat een standaard uitdraai van Cp-Generator voor het onderzochte voorbeeldproject in Vlissingen.*

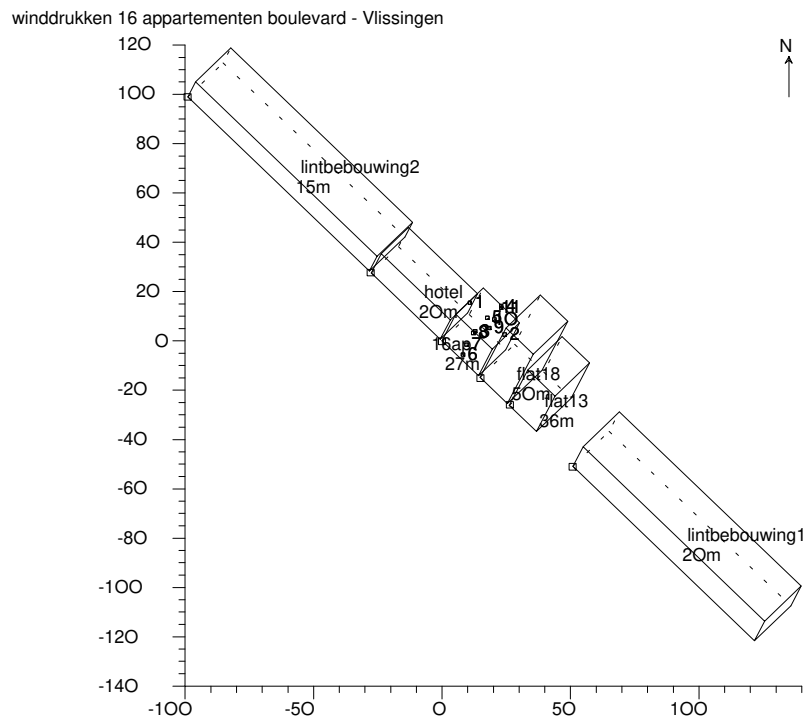
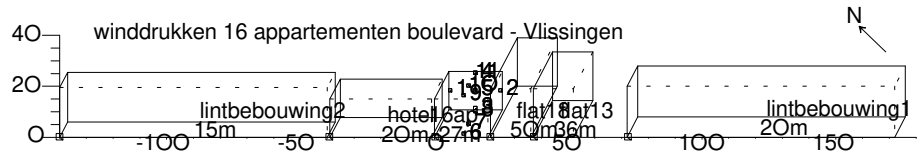
*De eerste pagina's tonen plattegronden van de gebouwen met hoofdmaten in m. Vervolgens wordt per gevel en voor het dakvlak de plaats van de drukpunten weergegeven (schalen eveneens in m). De in het rapport aangehaalde drukpunten op het dak zijn in de betreffende grafiek omcirkeld.*

*Na een grafiek met de bodemruwheid  $z_0$  als functie van de windrichting (maat voor de afremming van de wind aan de grond) worden de figuren met winddrukcoëfficiënten ( $C_p$ ) weergegeven, zowel in lineaire als polaire grafieken per drukpunt. In deze grafieken moet voor "rooster" "drukpunt" worden gelezen.*

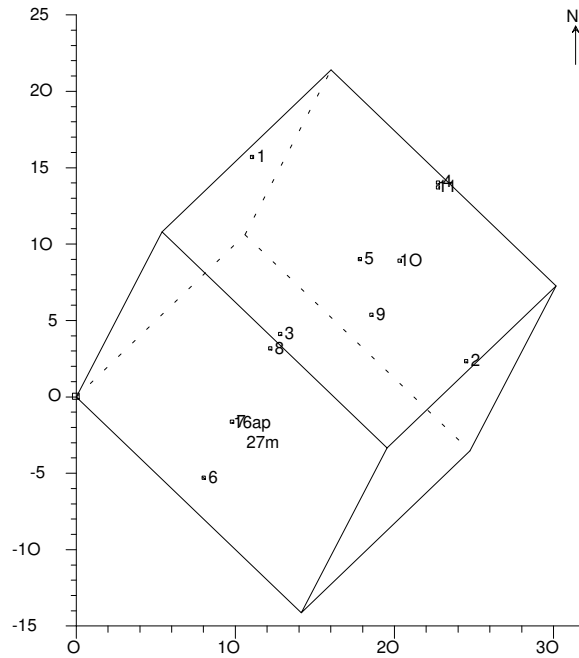
*In de lineaire grafieken is weergegeven:*

- 1) het verloop van de winddrukcoëfficiënt inclusief beïnvloeding door omringende bebouwing door middel van de lijn met "rondjes";*
- 2) het verloop van de winddrukcoëfficiënt zonder beïnvloeding door omringende bebouwing door middel van de lijn met "plusjes";*
- 3) de beïnvloeding door omringende bebouwing door middel van de gearceerde oppervlakken.*

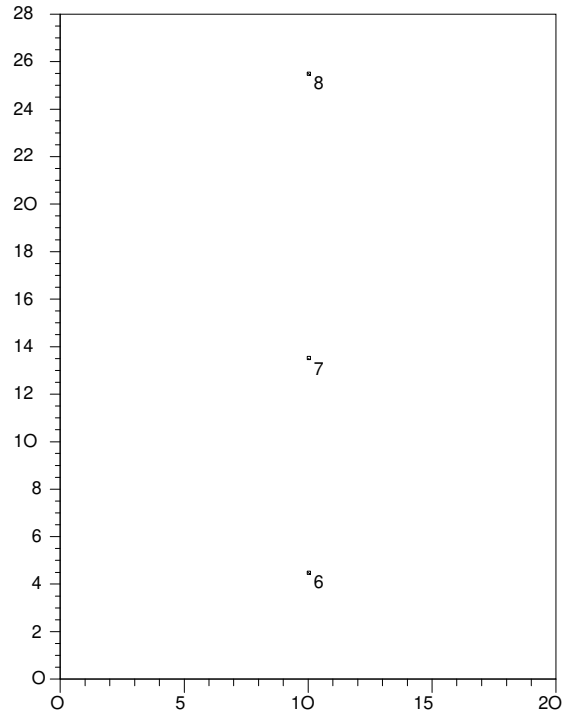
*De lijn ad 1 en de arcering ad 3 zijn tevens in de polaire grafieken te zien. Een ligging binnen de cirkel rond het betreffende drukpunt duidt op onderdruk en een ligging buiten de cirkel betekent overdruk. De afwijking ten opzichte van de cirkel bij een bepaalde hoek is een maat voor de grootte van de over- of onderdruk bij die windrichting.*



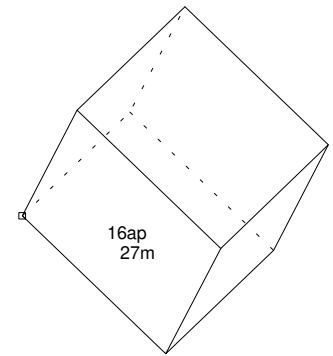
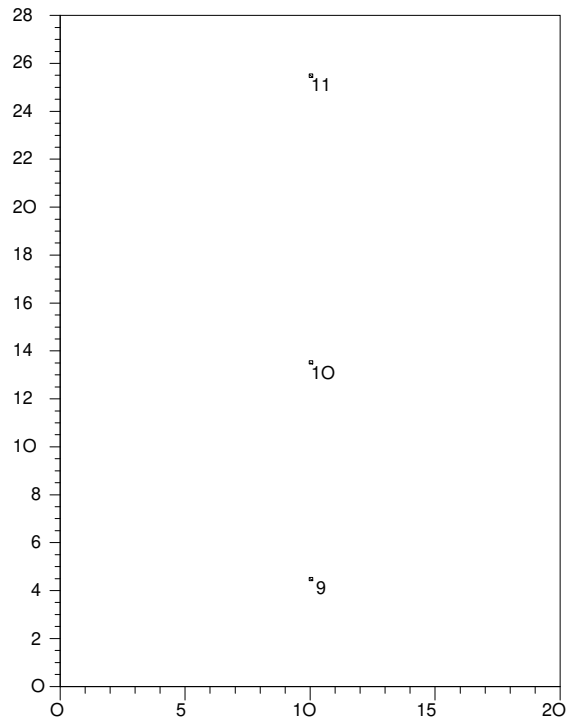
winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen



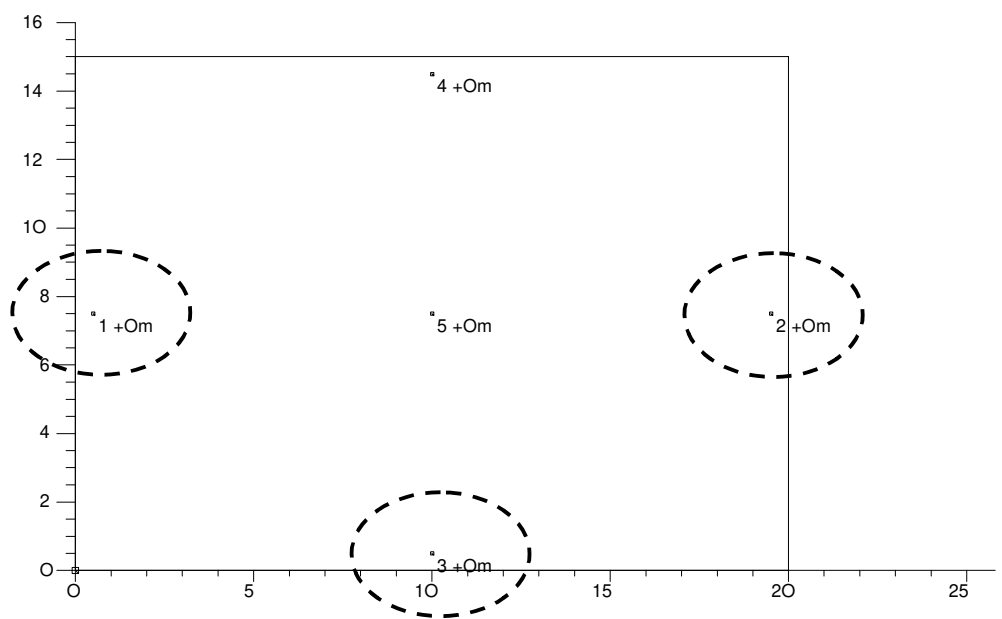
Aanzicht Gevel 1 Oriëntatie: Azimut=225

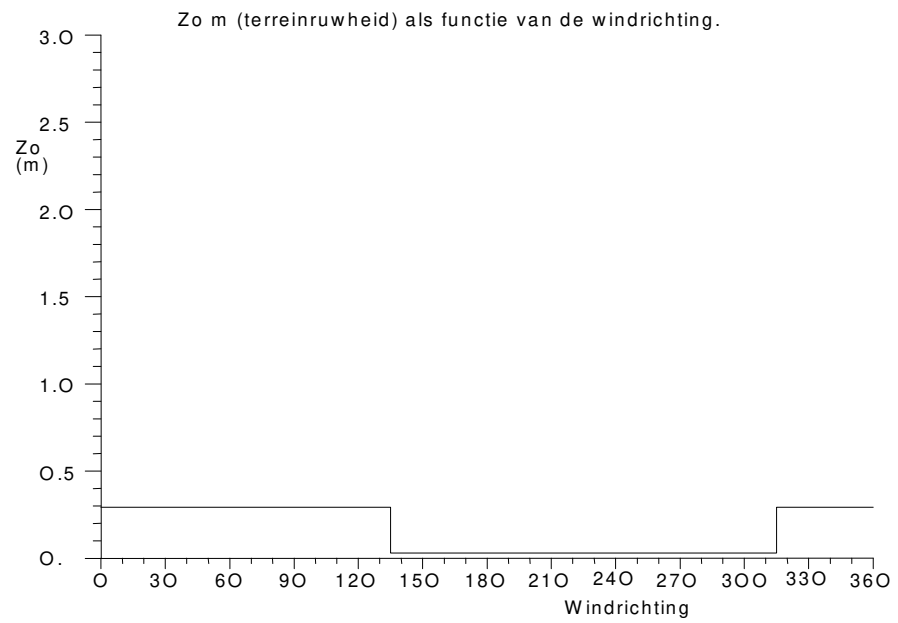


Aanzicht Gevel 3 Orientatie: Azimut=45

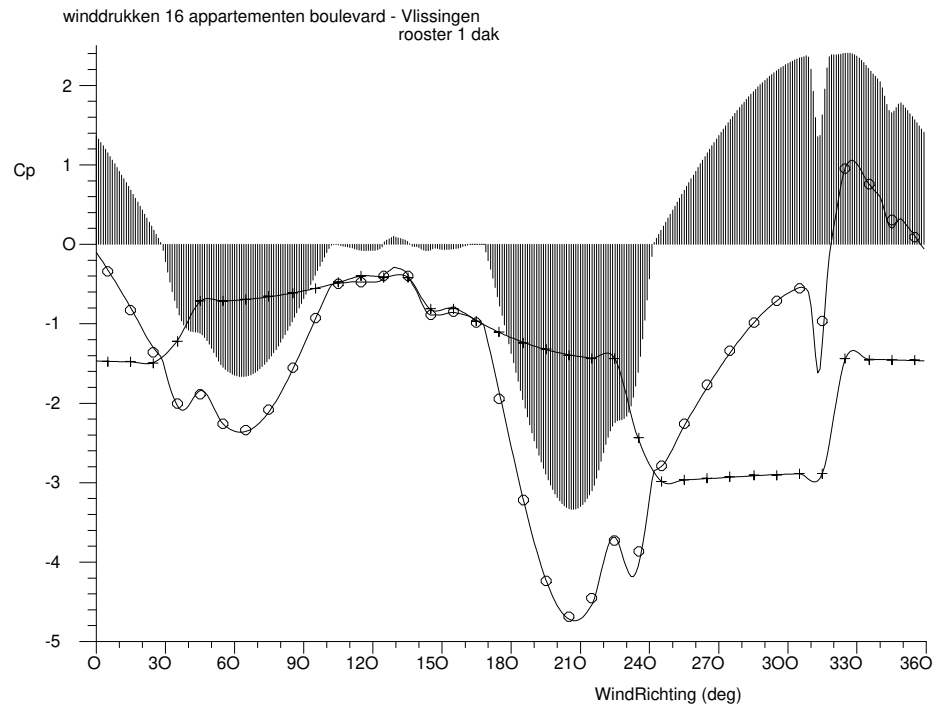


Bovenaanzicht Dak. Orientatie (gevel 1): Azimut=225

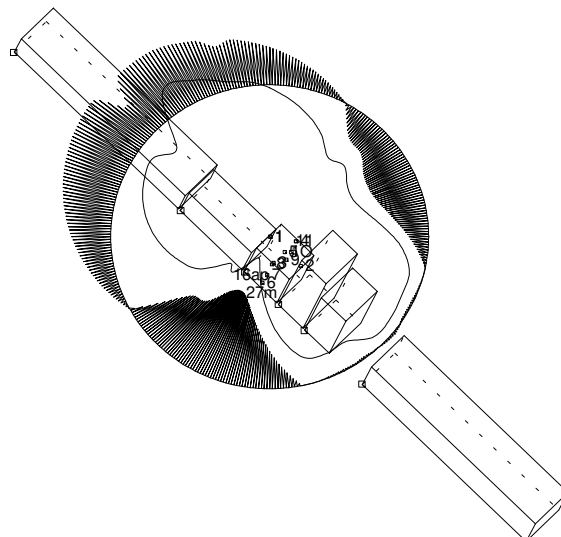


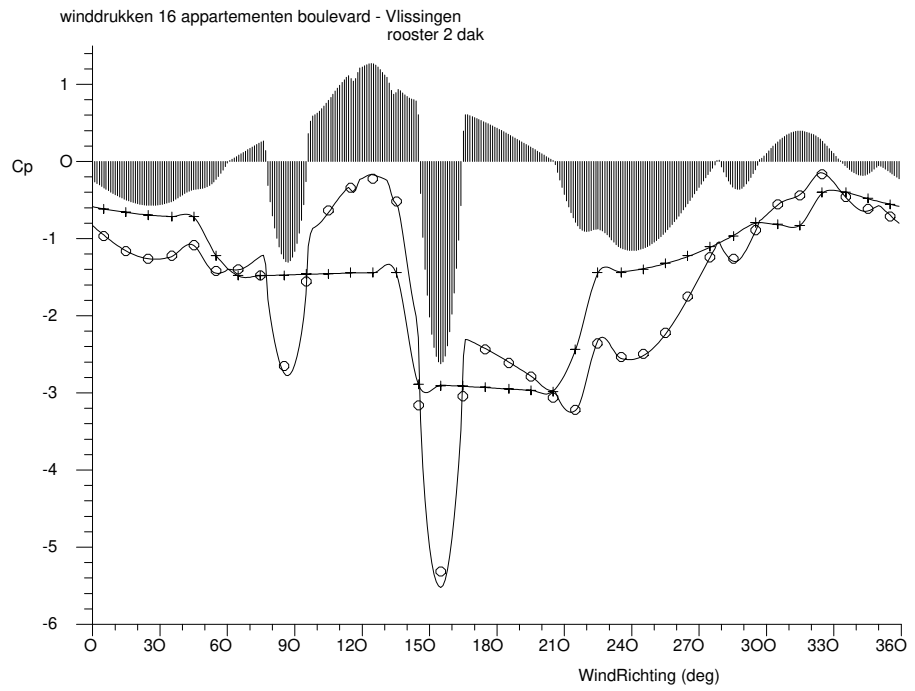




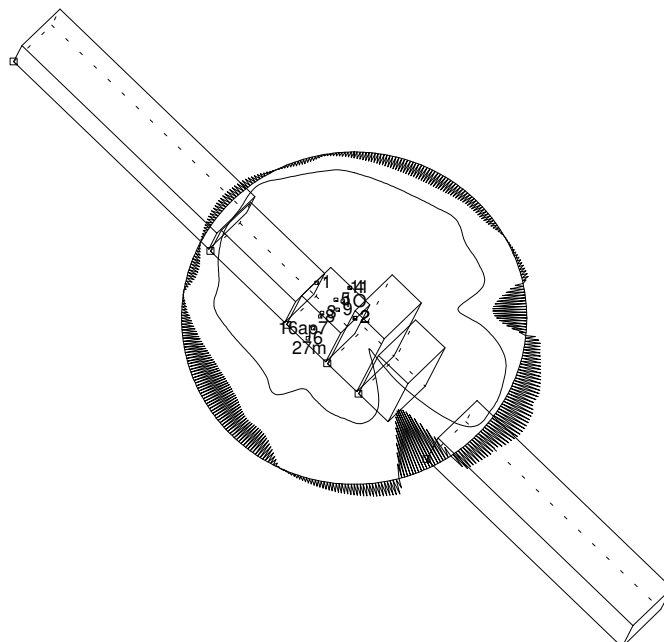


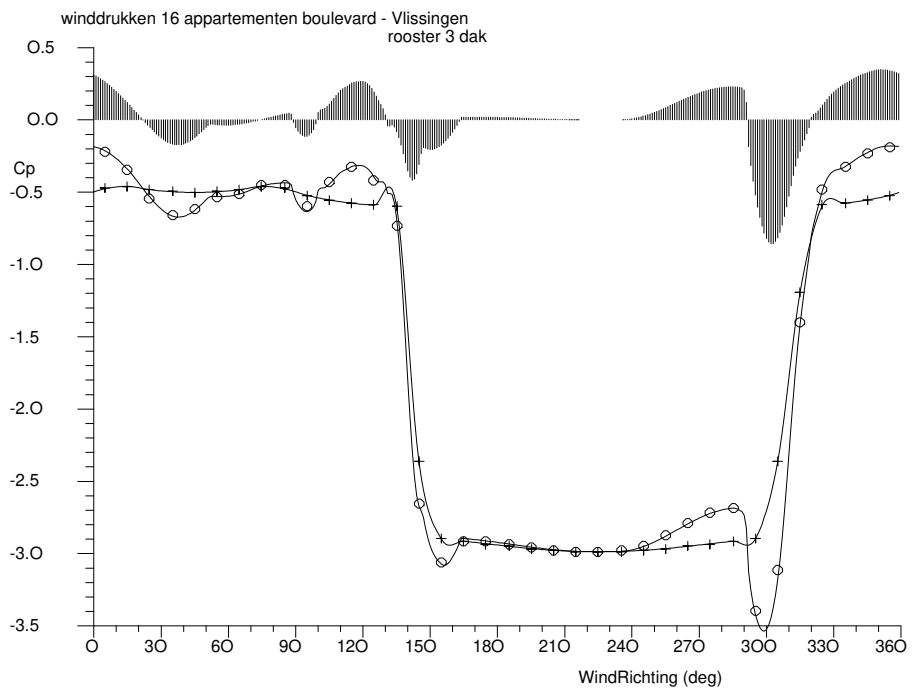
winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen  
rooster 1 dak



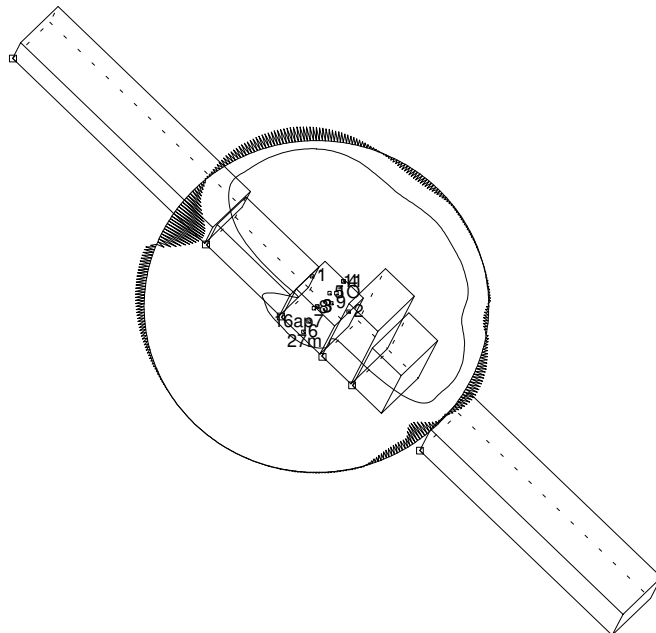


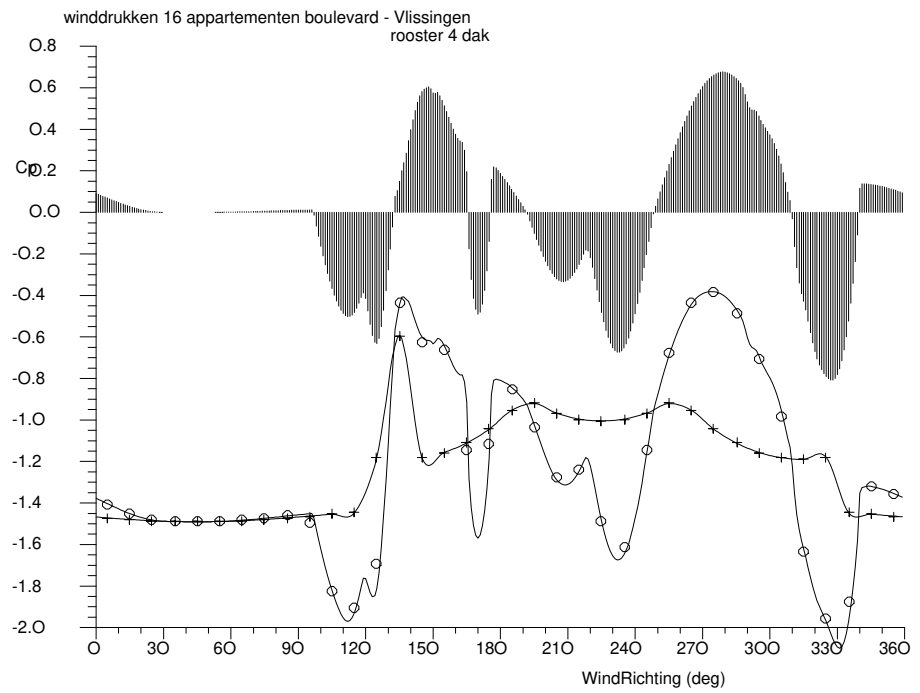
winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen  
rooster 2 dak



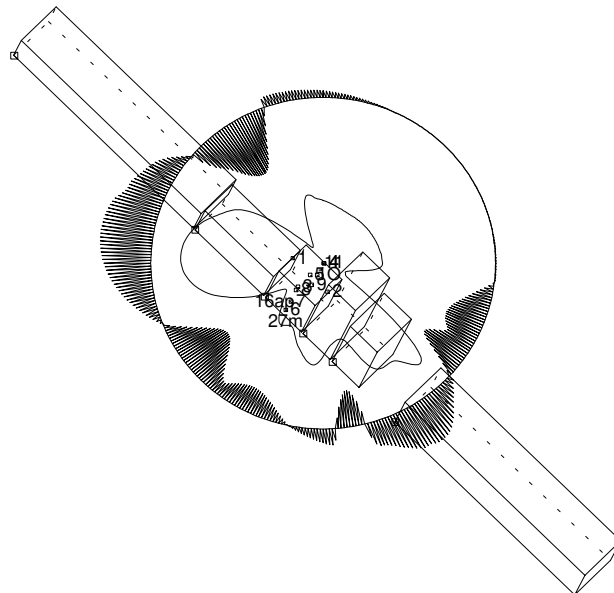


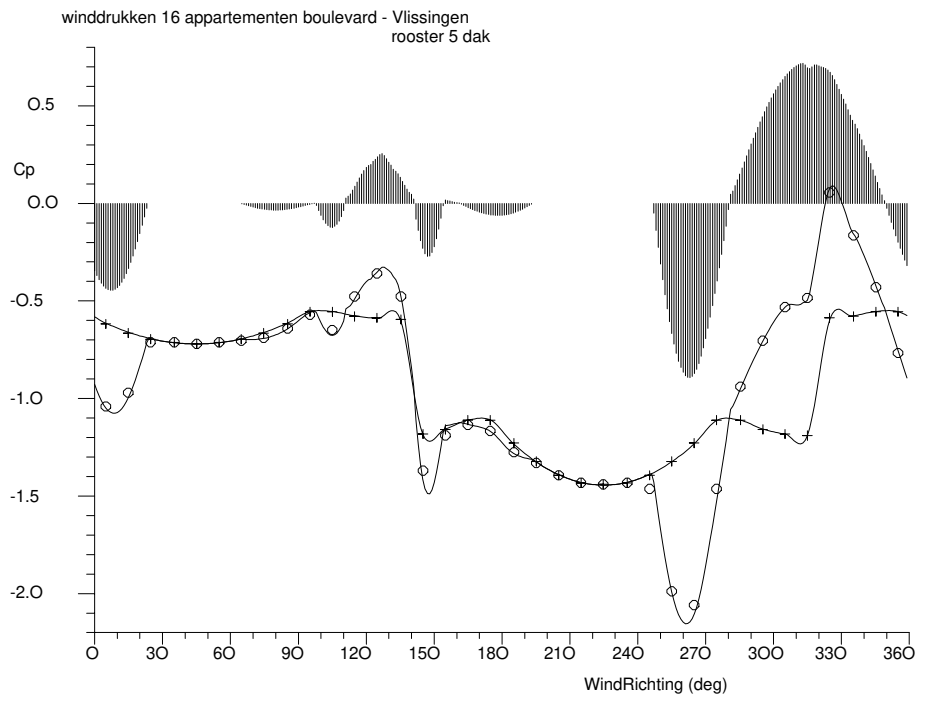
winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen  
rooster 3 dak



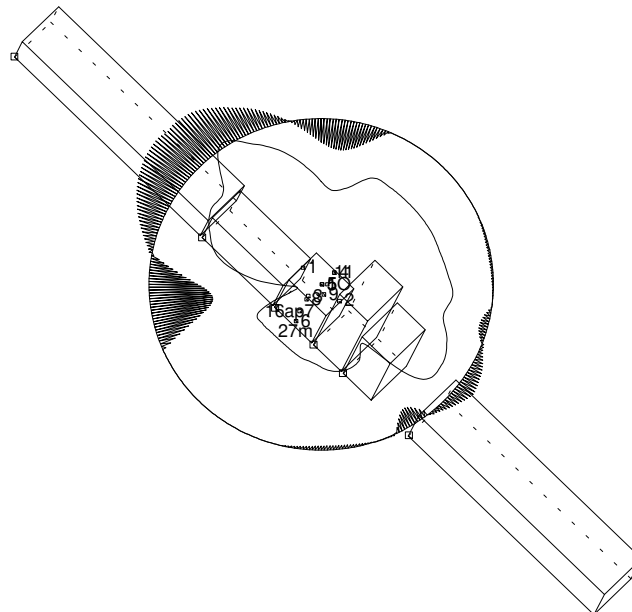


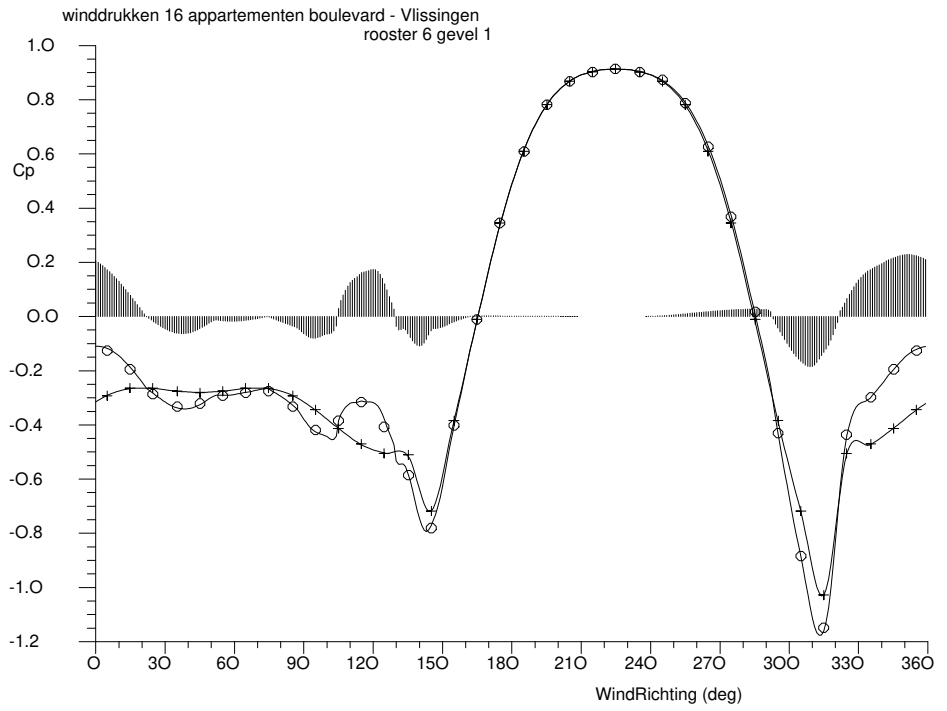
winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen  
rooster 4 dak



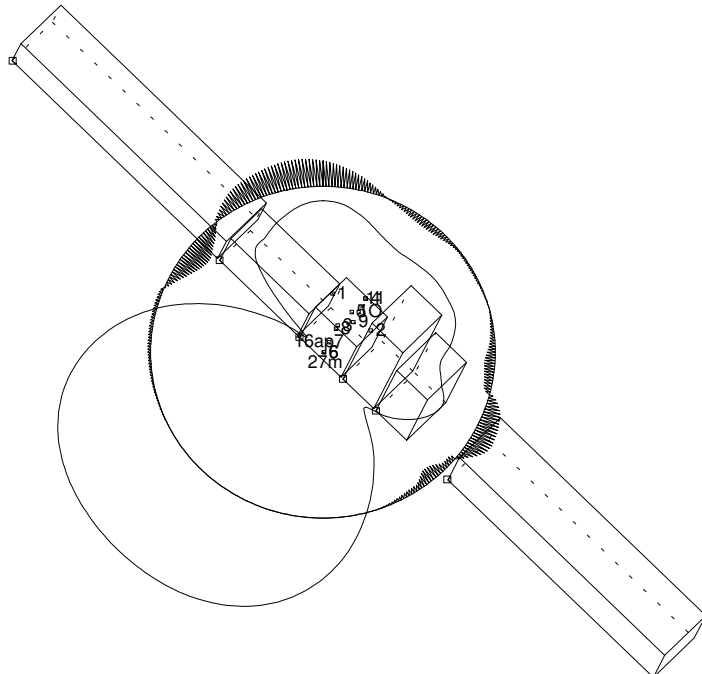


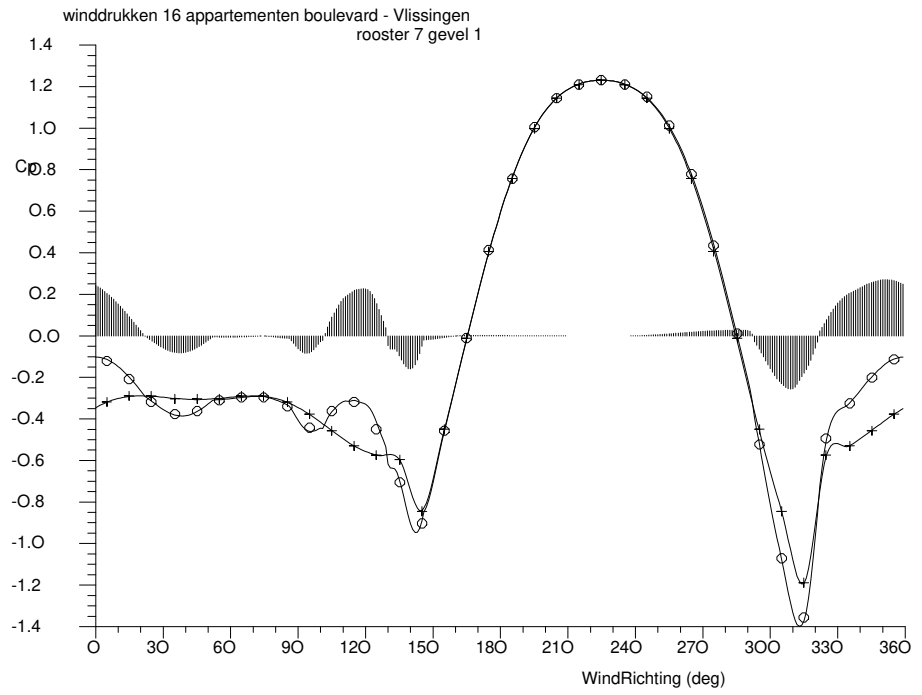
winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen  
rooster 5 dak



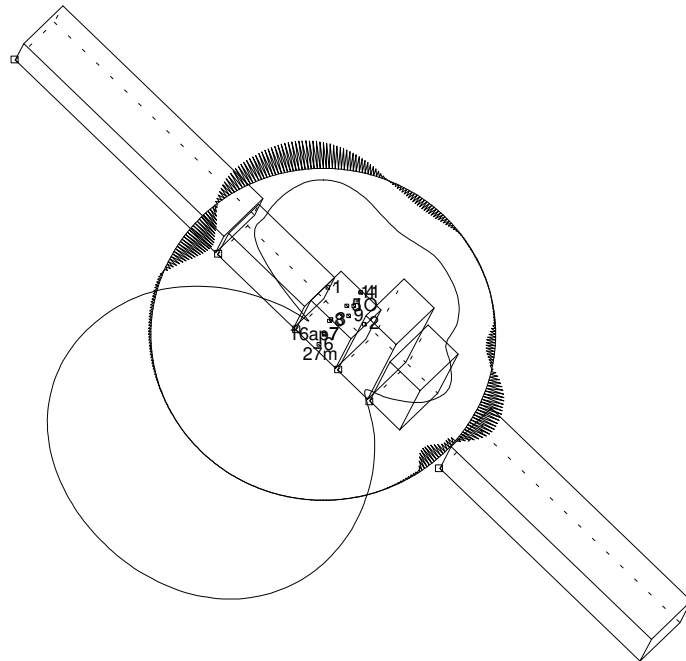


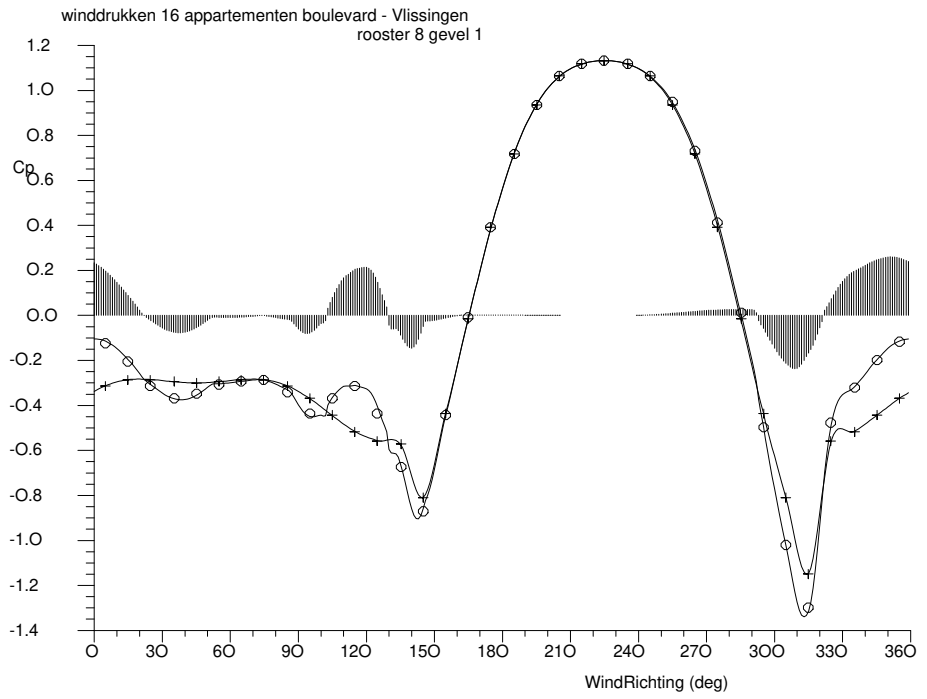
winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen  
rooster 6 gevel 1



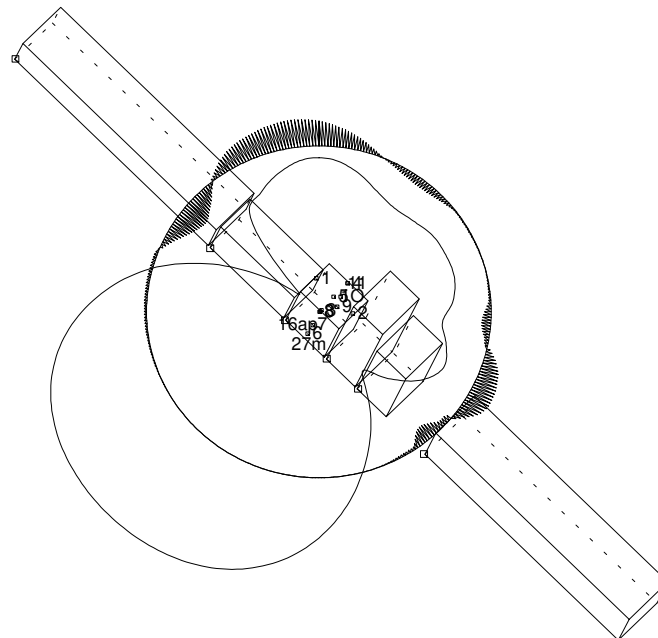


winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen  
rooster 7 gevel 1

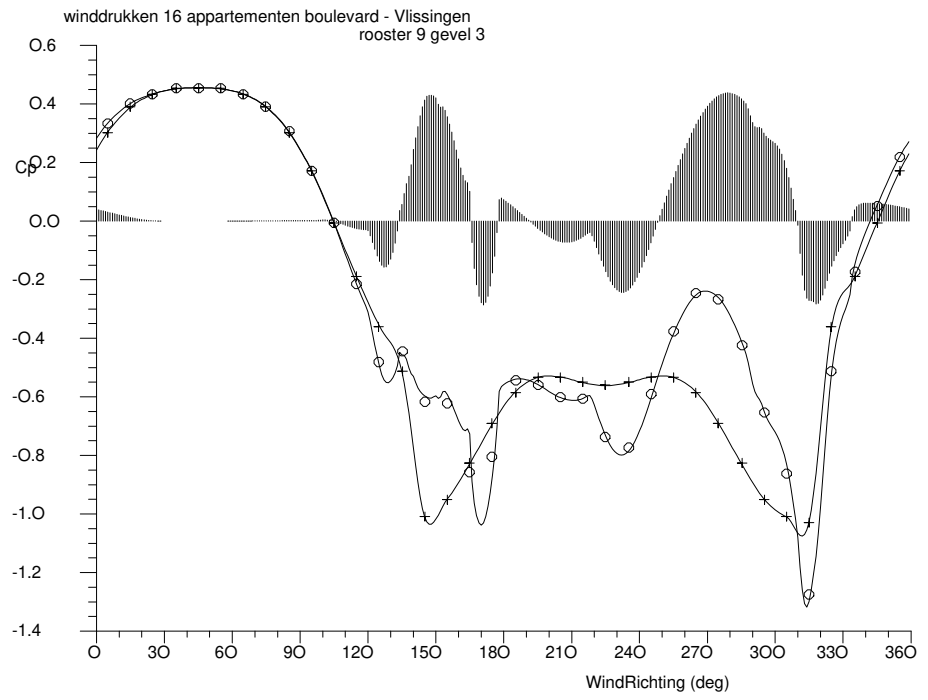




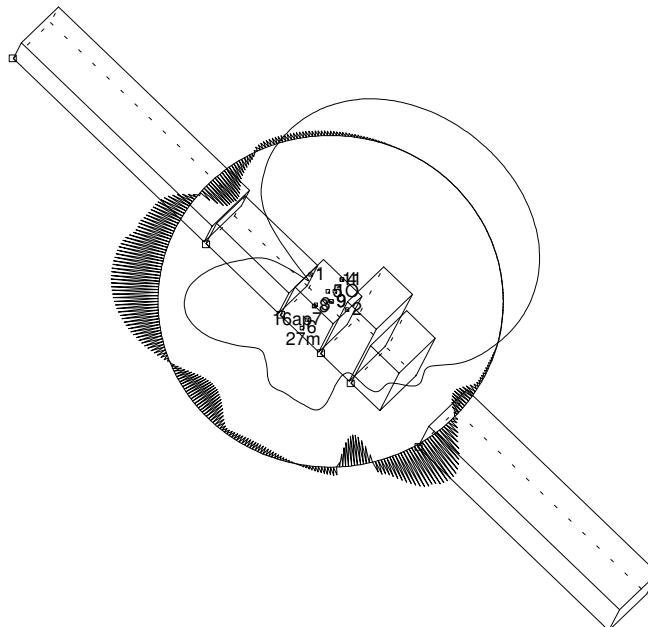
winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen  
rooster 8 gevel 1

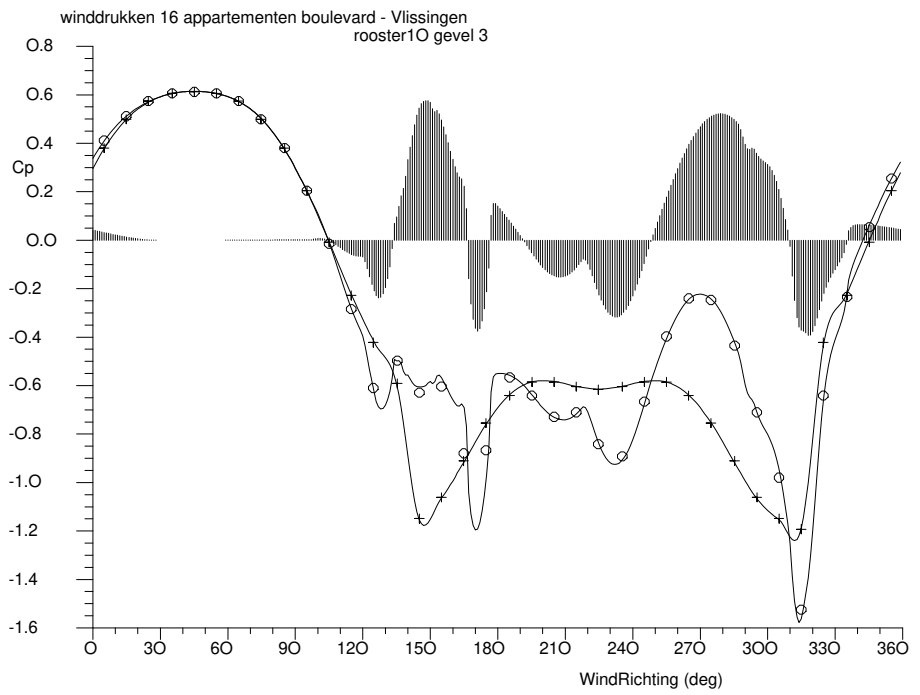




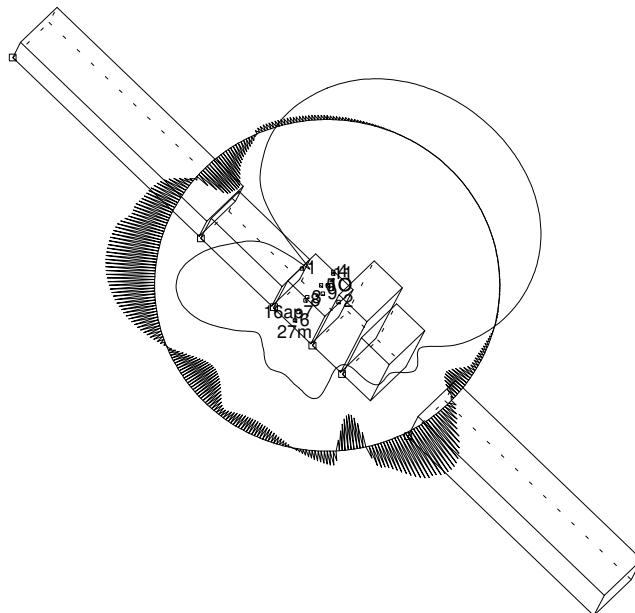


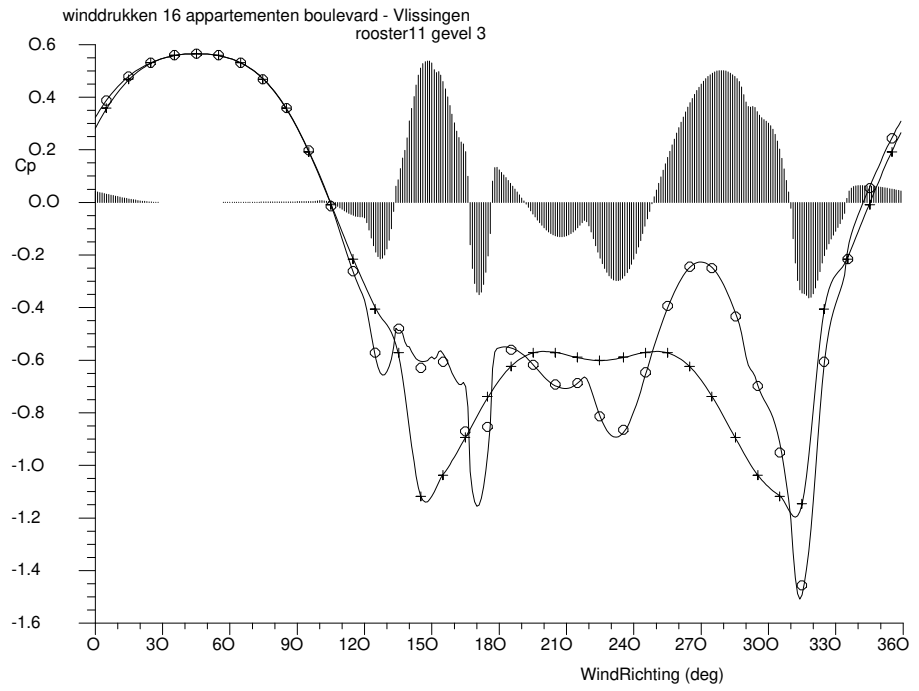
winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen  
rooster 9 gevel 3



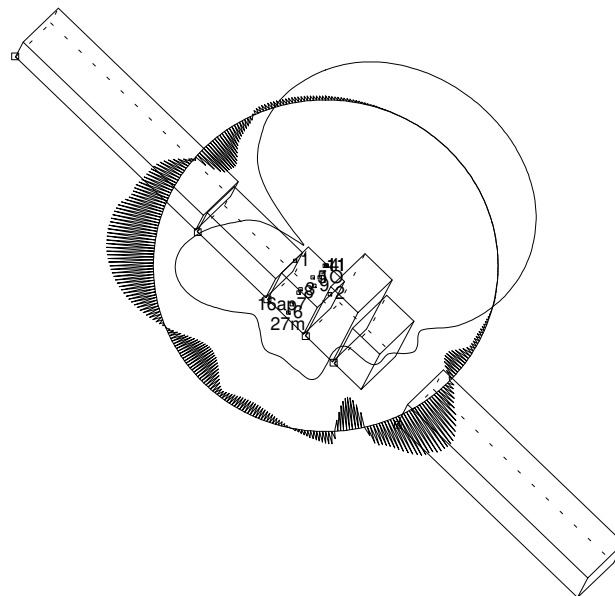


winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen  
rooster10 gevel 3



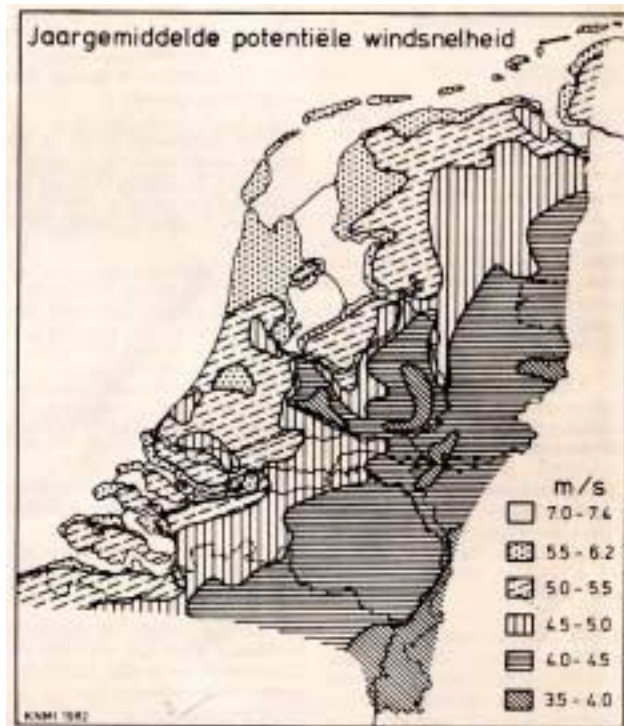


winddrukken 16 appartementen boulevard - Vlissingen  
rooster11 gevel 3

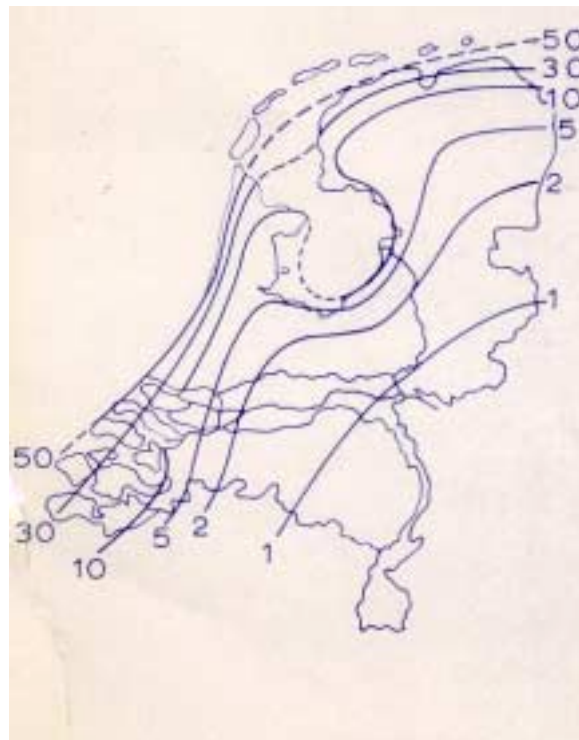


## **Bijlage B**

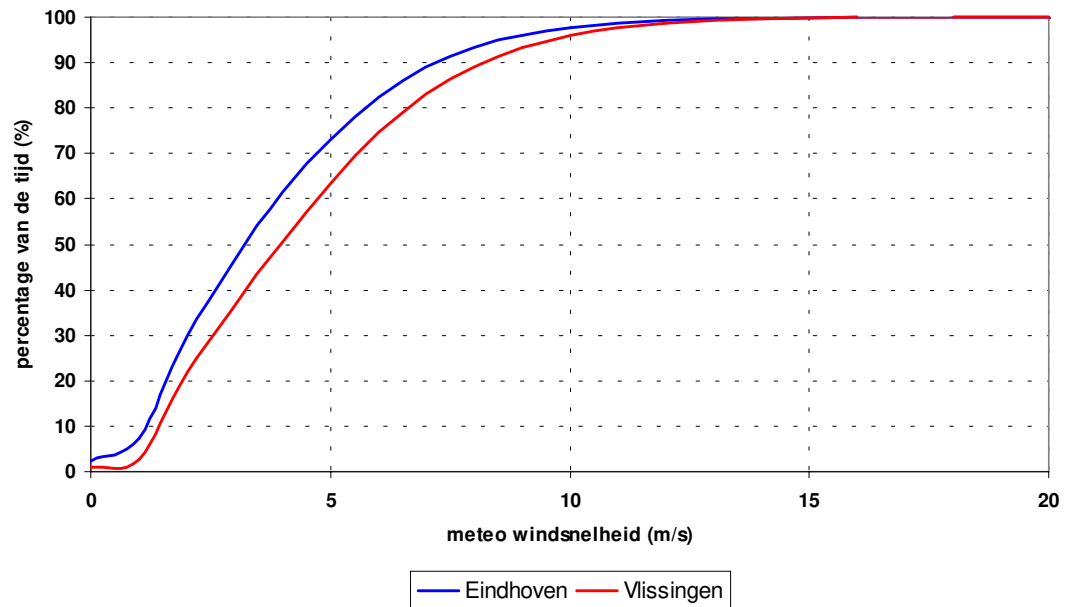
### **Informatie inzake windklimaat van Nederland**



figuur B1: Verdeling van de jaargemiddelde windsnelheid over Nederland.



figuur B2: Aantal dagen per jaar met windsnelheid > 15 m/s verdeeld over Nederland.



*opm.:* weergegeven is het percentage van de tijd dat de aangegeven windsnelheid onderschreden wordt

*figuur B3:* Cumulatieve verdeling van de optredende meteorologische windsnelheid langs de kust (meteostation Vlissingen) en in het binnenland (meteostation Eindhoven).

tabel B1: *Beaufortschaal.*

Klassenummer en benaming	Omschrijving zichtbare uitwerking te land (verkort)	Windsnelheid (m/s)
0 Stil	Rook stijgt bijna recht omhoog	0-0,2
1 Zwakke wind	Windrichting herkenbaar aan rookpluimen	0,3-1,5
2 Zwakke wind	Wind merkbaar in het gezicht, bladeren ritselen	1,6-3,3
3 Matige wind	Bladeren en takken bewegen, lichte vlag wappert	3,4-5,4
4 Matige wind	Stof en papier dwarrelen op (boven open terrein?)	5,5-7,9
5 Vrij krachtige wind	Bebladerde takken zwaaien	8,0-10,7
6 Krachtige wind	Wind fluit in draden papaplu's moeilijk hanteerbaar	10,8-13,8
7 Harde wind	Gehele bomen bewegen, wind is hinderlijk om tegen in te lopen	13,9-17,1
8 Stormachtig	Takjes breken af, lopen is lastig ook bij wind opzij	17,2-20,7
9 Storm	Schoorsteenkappen en dakpannen worden afgerukt, lichte schade in bossen	20,8-24,4
10 Zware storm	Flinke schade aan gebouwen, bomen worden ontworteld	24,5-28,4
11 Zeer zware storm	Zware schade in steden en bossen	28,5-32,6
12 Orkaan	(komt te land vrijwel nooit voor)	≥ 32,7

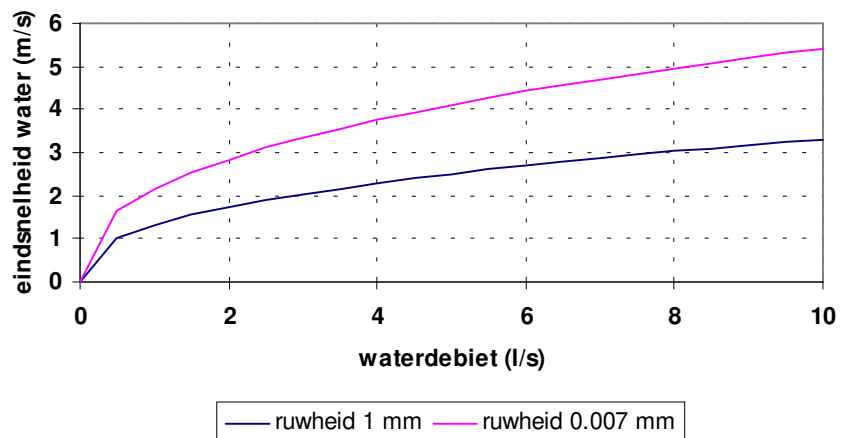
**Bijlage C**  
**Vergelijking van lozingsdrukken volgens NEN 3215 en volgens  
het toegepaste rekenmodel**



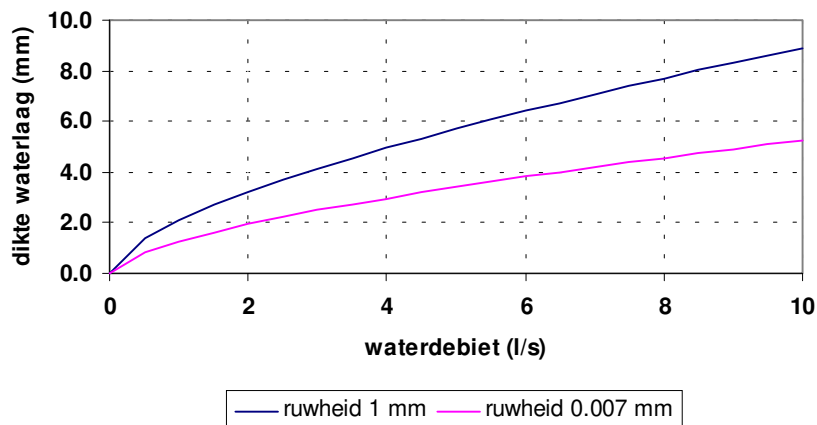
De dimensionering van standleidingen volgens NEN 3215 is gebaseerd op het zogenaamde ontspanningssysteem. Dit houdt in een systeem waarbij zowel transport van water als lucht plaatsvindt. De achtergrondbeschouwingen hierbij zijn vastgelegd in [5].

In [5] worden theoretische formules gegeven voor het berekenen van de eindsnelheid van het water in een standleiding en de dikte van de waterlaag, zoals deze zich rondom in de buis vormt. Verder wordt in [5] een empirische formule gegeven voor het berekenen van de onderdruk in een binnenriolering. Voor een standleiding, met een ontwerpmiddellijn van rond 117 mm inwendig, zijn de, volgens deze formules berekende, eindsnelheid, dikte van de waterlaag en onderdruk weergegeven in respectievelijk de figuren C1, C2 en C3 voor een waterdebiet tot 10 l/s.

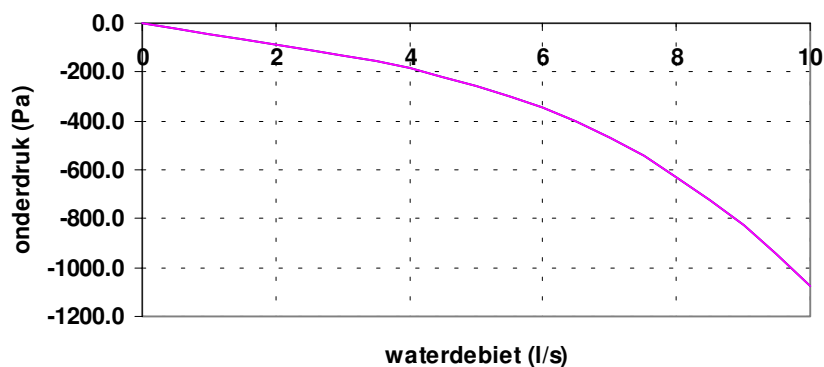
Uitgegaan is hierbij van een wandruwheid van 1 mm, zoals steeds aangehouden in [5], en een wandruwheid van 0,007 mm zoals geldt voor PVC-buizen volgens Recknagel. Dit is gedaan om de mogelijke spreiding aan te geven.



figuur C1: Eindsnelheid van de waterring in een verticale leiding van rond 117 mm inwendig volgens de formule uit [5] als functie van het waterdebiet en met als parameter de wandruwheid.

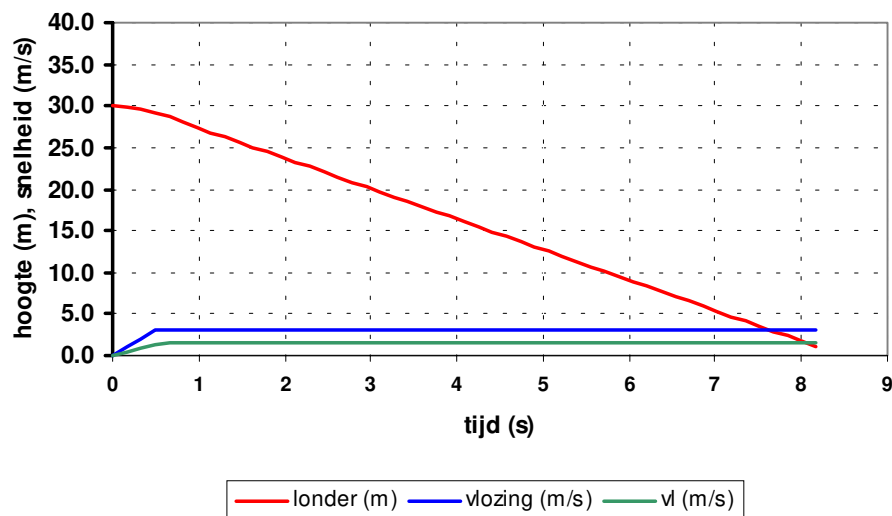


figuur C2: Dikte van de waterring in een verticale leiding van rond 117 mm inwendig volgens de formule uit [5] als functie van het waterdebiet en met als parameter de wandruwheid.

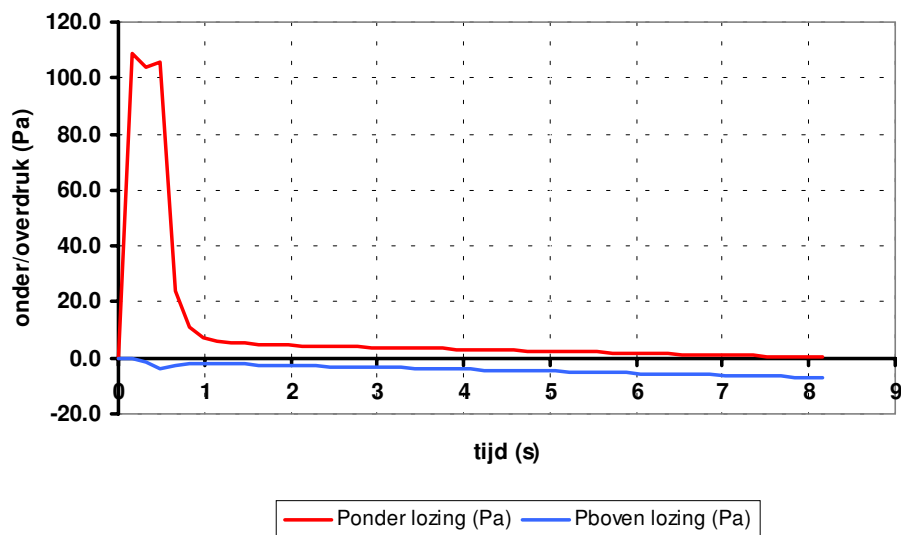


figuur C3: Onderdruk in een verticale leiding van rond 117 mm inwendig volgens de empirische formule uit [5] als functie van het waterdebiet.

Aan een standleiding van  $\varnothing$  117 mm met wandruwheid 0,007 mm bij een waterdebiet van 5 l/s (in de praktijk is een dergelijke leiding hierop ongeveer uitgelegd) en een dikte van de waterlaag van 4,5 mm, zijn berekeningen uitgevoerd met het rekenmodel. Bij deze berekeningen is uitgegaan van een lozing op 30 m hoogte in de standleiding. Er is vanuit gegaan dat de volledige lozing als waterring langs de buiswand beweegt, dus zonder een restfractie in vrije val. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in de figuren C4 en C5.



figuur C4: Hoogte van de onderkant van de waterring in de standleiding (londer), valsnelheid van de waterring (vlozing) en luchtsnelheid in de standleiding (vl) als functie van de tijd volgens het rekenmodel, bij een lozing van 5 l/s zonder vrij vallende fractie in een standleiding van  $\phi$  117 mm inwendig.



figuur C5: Drukken (over en onder) voor en achter de waterring in een standleiding van  $\phi$  117 mm als functie van de tijd volgens het rekenmodel bij een lozing van 5 l/s zonder vrij vallende fractie.

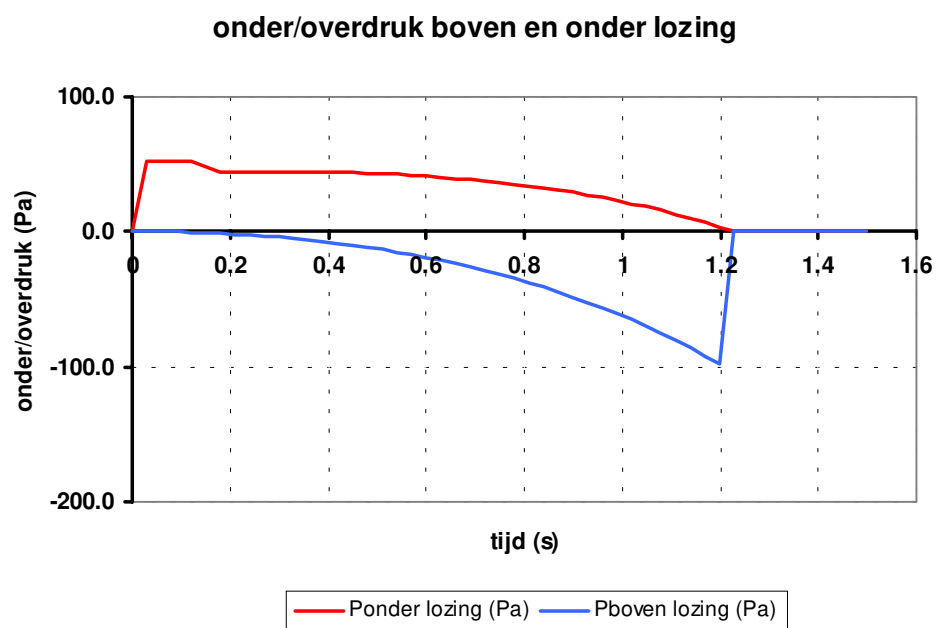
Zoals blijkt uit figuur C4 bereikt de waterring na vrij korte tijd zijn eindsnelheid. In dit geval 3,1 m/s. Deze eindsnelheid volgens het rekenmodel stemt dus goed overeen met de eindsnelheid van 3,5 m/s volgens [5].

De reden dat zich al snel een eindsnelheid instelt, is dat de waterring langs de leidingwand een vrij grote weerstand ondervindt. Bij de valstroming van een

restfractie in het hart van de standleiding ontbreekt deze grote weerstand (er is alleen wrijving van de langsstromende lucht), waardoor de snelheid van deze fractie bij gebruikelijke gebouwhoogte niet of zelden een maximale eindwaarde zal bereiken.

In figuur C5 is als functie van de tijd de druk boven en onder de waterring weergegeven volgens het rekenmodel. De overdruk voor de waterring blijkt maximaal op te lopen tot circa +100 Pa, terwijl de onderdruk achter de waterring minimaal is. Dit wijkt af van de onderdruk van -250 Pa volgens [5]. Dit maakt duidelijk dat niet zonder een vrij vallende restfractie mag worden gerekend.

In [10] worden meetgegevens verstrekt van een lozingssituatie waarbij de fractie in vrije val bekend is. Deze situatie is ter controle eveneens met het model nagebootst. In figuur C6 is als functie van de tijd de druk boven en onder de vallende fractie van de lozing weergegeven volgens het rekenmodel.



figuur C6: Drukken (over en onder) voor en achter de vrij vallende lozingsfractie in een 7 m hoge standleiding van  $\varnothing$  100 mm als functie van de tijd volgens het rekenmodel bij een lozing van 1,5 l/s.

De onderdruk van -100 Pa in figuur C6 correspondeert goed met de in [10] gegeven onderdrukken van -80 tot -120 Pa, afhankelijk van de samenstelling van de lozing, voor een open systeem.

Uit de oriënterende berekeningen blijkt tevens dat de belemmering van de doorlaat van de standleiding door de vrij vallende fractie in hoge mate bepalend is voor de drukval ten gevolge van de lozing. De uitkomsten van het rekenmodel staan of vallen derhalve met een correcte invoer van deze parameter.

## **Bijlage D**

### **Drukverlopen door lozingen berekend met het rekenmodel**

Er zijn oriënterende berekeningen uitgevoerd aan het drukverloop bij een lozing vanaf de bovenste verdieping. Er is uitgegaan van een standleiding met een inwendige diameter van 117 mm en een wandruwheid van 0,007 mm.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor verschillende dichtheden (oftewel de mate waarin de standleiding door de lozing wordt afgesloten) en voor verschillende, in de standleiding aanwezige, vrij vallende massa's van de lozing.

Voor een overzicht van de berekende varianten wordt verwezen naar tabel 4.

Per variant kan sprake zijn van uiteenlopende lozingsdebieten. Uitgaande van de duur van de val (2,8 s bij 30 m hoogte en 4,2 s bij 70 m hoogte) kan slechts worden aangegeven welk minimum lozingsdebiet globaal bij een variant hoort (zie eveneens tabel 4). Daarbij is aangenomen dat ongeveer de helft van de lozing langs de buiswand afstroopt en de andere helft vrij valt. Het theoretisch maximum lozingsdebiet ligt ver boven de waarden die in de praktijk worden bepaald door de capaciteit en uitvoering van het rioleringsysteem.

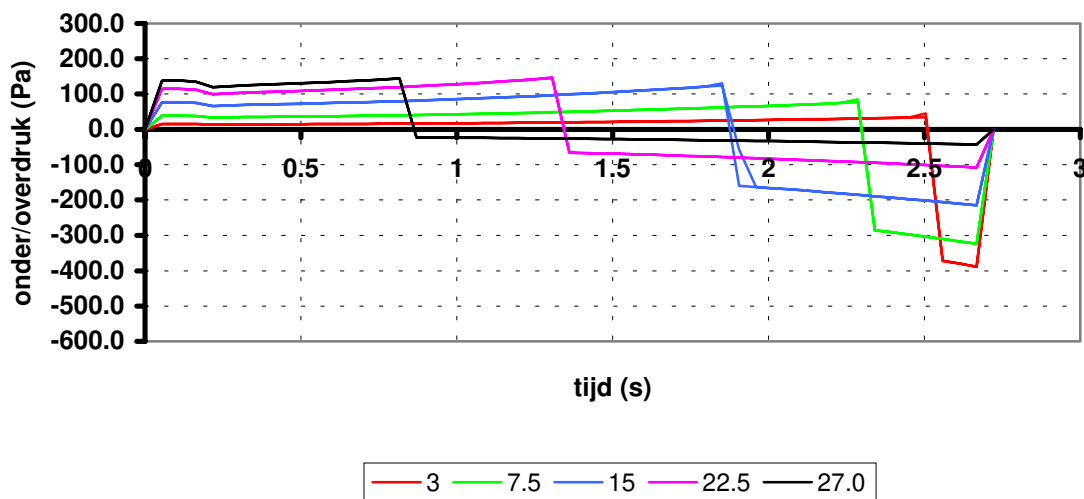
Voor het gebouw van 70 m hoogte is tevens een berekening uitgevoerd waarbij is aangenomen dat het buitenriool voor een belangrijk deel vol staat met water. Hierdoor neemt de druk onder de lozing toe door de extra weerstand die wordt ondervonden in het buitenriool.

*tabel 4: Overzicht van de uitgevoerde berekeningen.*

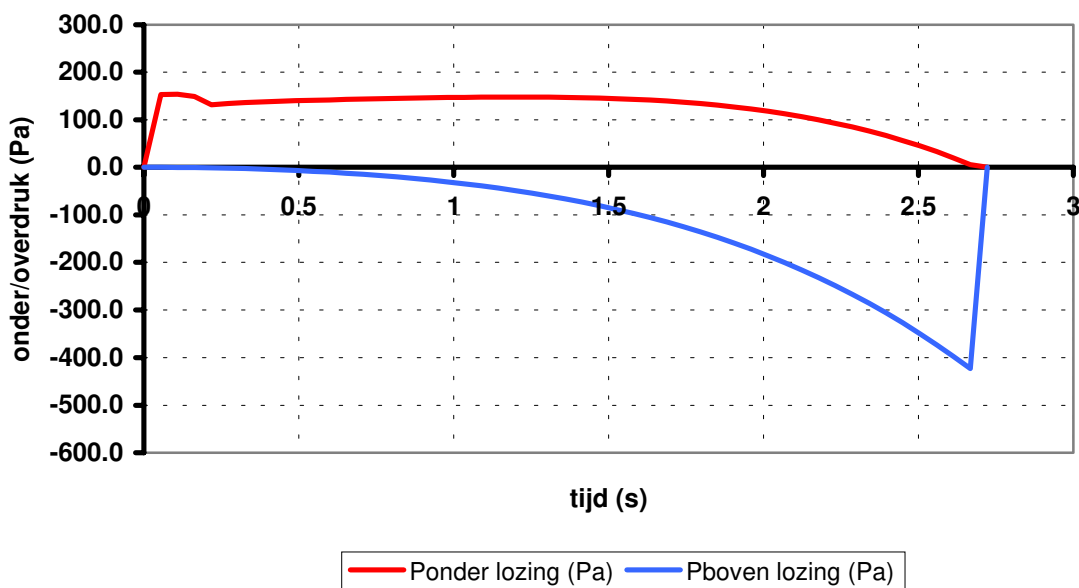
Variant	Gebouw- hoogte (m)	Dichtheid lozing (%)	Vrij vallende massa lozing in standpijp (kg)	minimum debiet lozing (l/s)	Opmerking
30a	30	53	1	0,7	
30b	30	88	1	0,7	
30c	30	18	1	0,7	
30d	30	18	0,5	0,35	
30e	30	18	0,25	0,18	
30f	30	88	0,5	0,35	
70a	70	53	1	0,48	
70c	70	53	1	0,48	buitenriool deels afgesloten door water <sup>(1)</sup>
70d	70	18	0,25	0,12	

opm.: (1) een zodanige mate van afsluiting is verondersteld dat de snelheid waarmee de lucht ontwijkt ongeveer gehalveerd is.

**onder/overdruk t.p.v. aansluiting op standleiding op 5-tal hoogten in (m)**

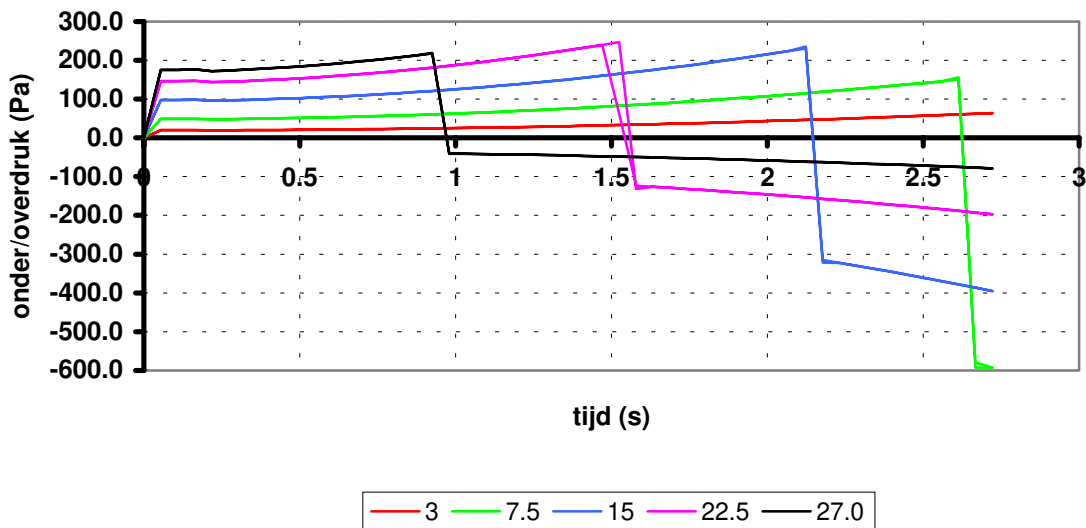


**onder/overdruk boven en onder lozing**

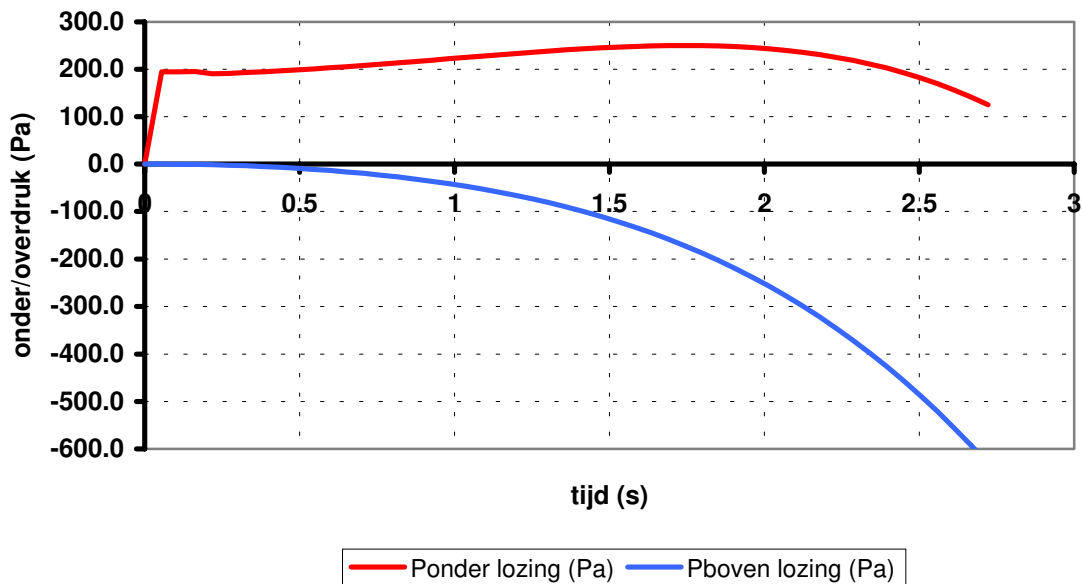


figuur D1: Drukverloop bij variant 30a (gebouw 30 m hoog, dichtheid 53%, massa lozing 1 kg).

**onder/overdruk t.p.v. aansluiting op standleiding op 5-tal hoogten in (m)**



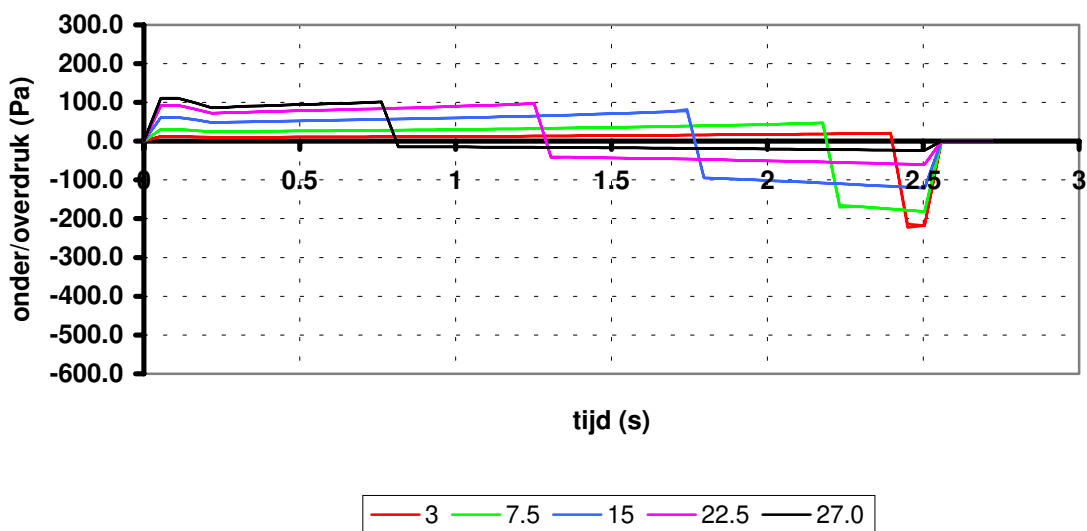
**onder/overdruk boven en onder lozing**



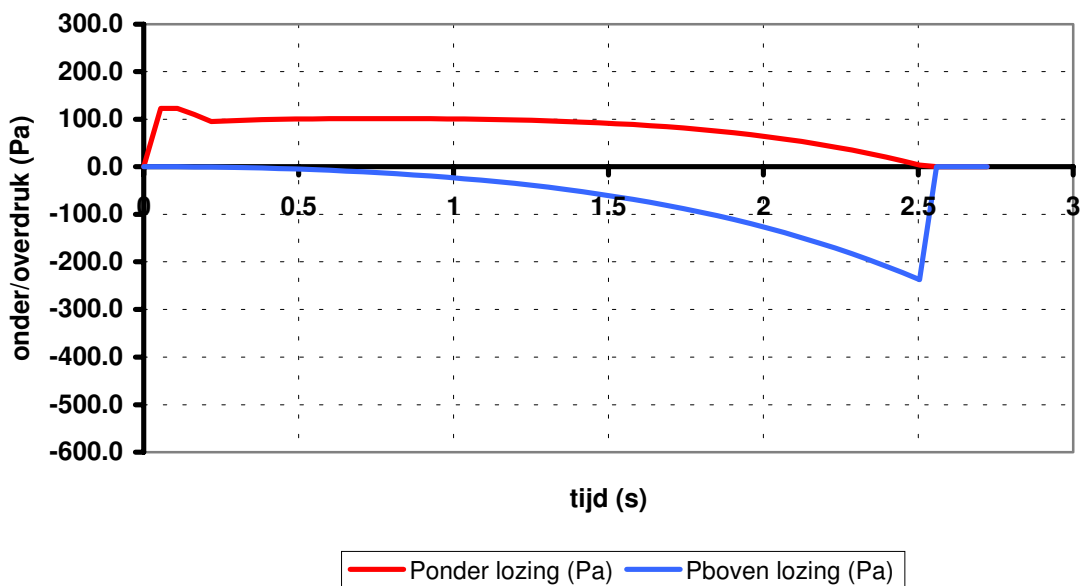
figuur D2: Drukverloop bij variant 30b (gebouw 30 m hoog, dichtheid 88%, massa lozing 1 kg).



**onder/overdruk t.p.v. aansluiting op standleiding op 5-tal hoogten in (m)**

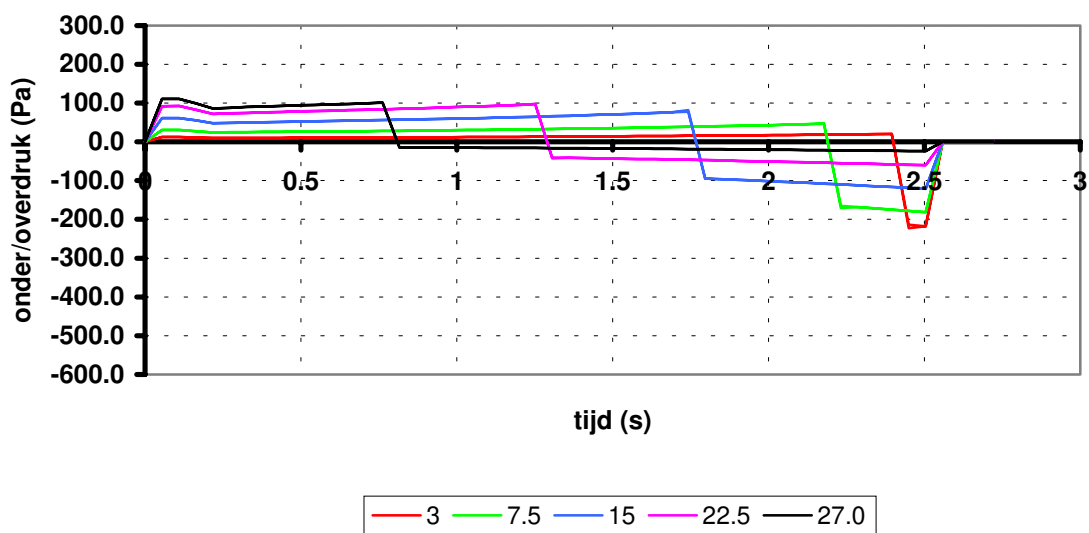


**onder/overdruk boven en onder lozing**

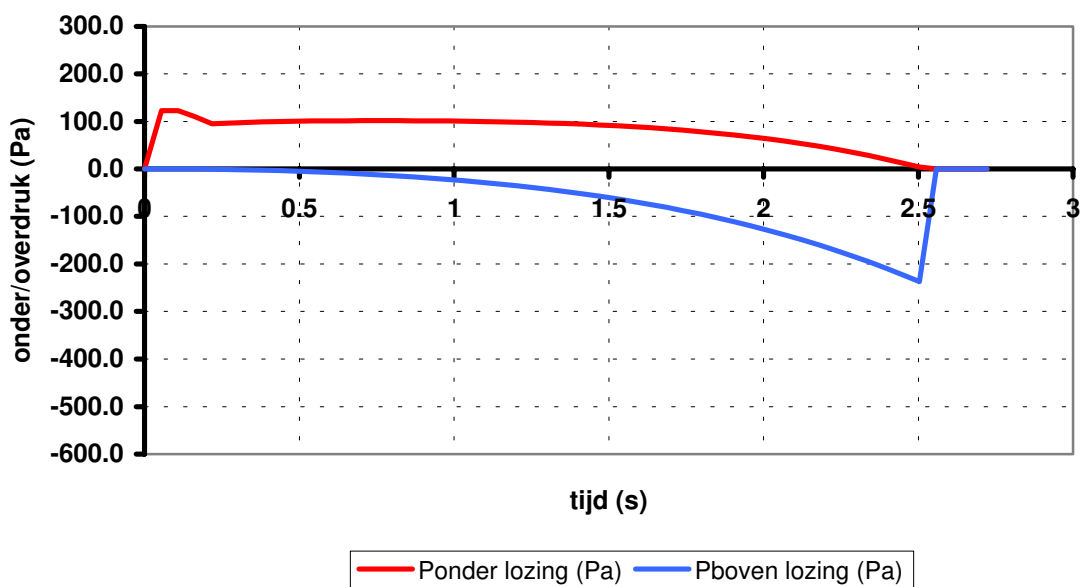


figuur D3: Drukverloop bij variant 30c (gebouw 30 m hoog, dichtheid 18%, massa lozing 1 kg).

### onder/overdruk t.p.v. aansluiting op standleiding op 5-tal hoogten in (m)

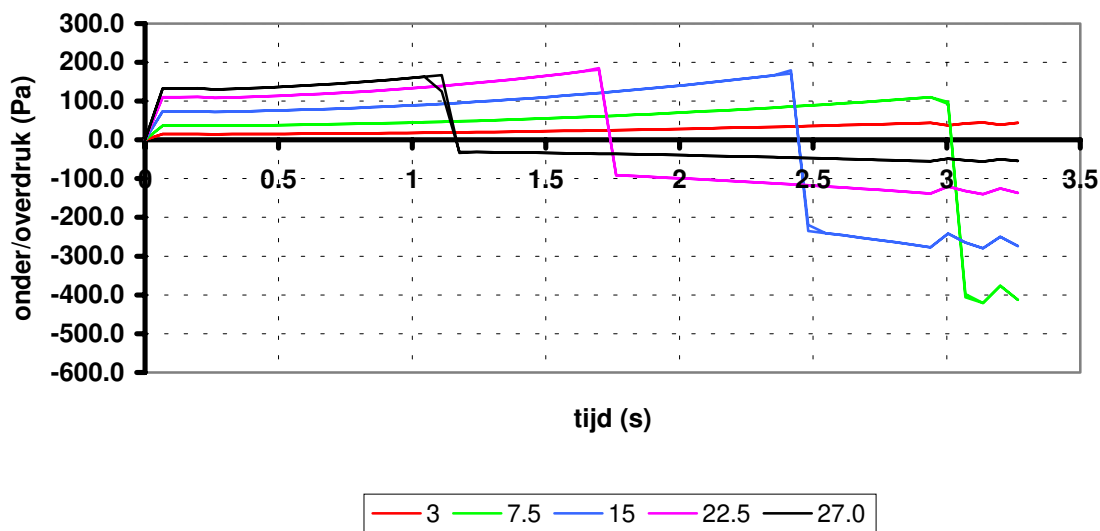


### onder/overdruk boven en onder lozing

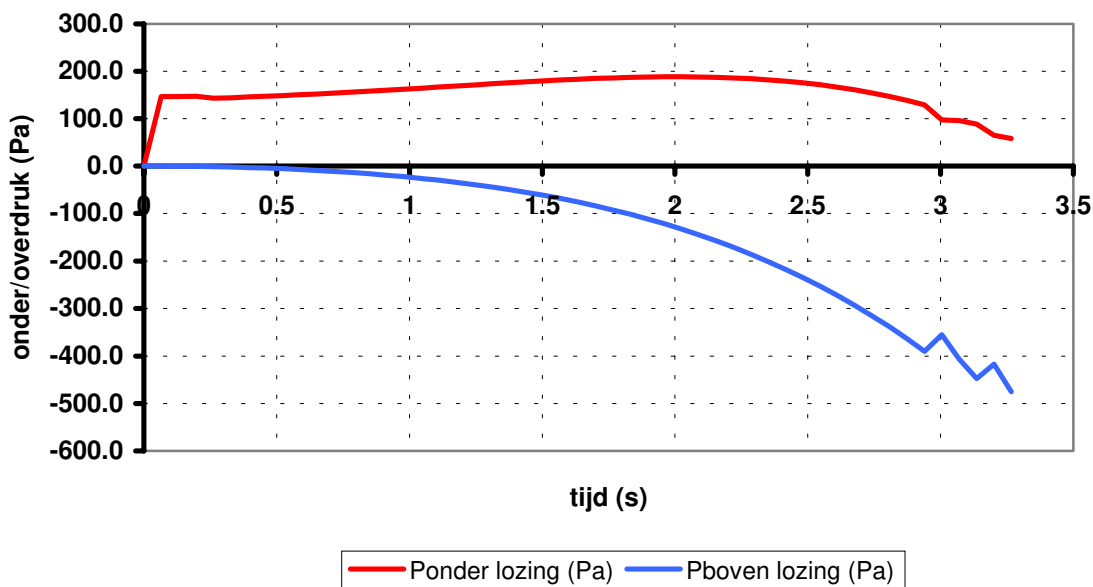


figuur D4: Drukverloop bij variant 30d (gebouw 30 m hoog, dichtheid 18%, massa lozing 0,5 kg).

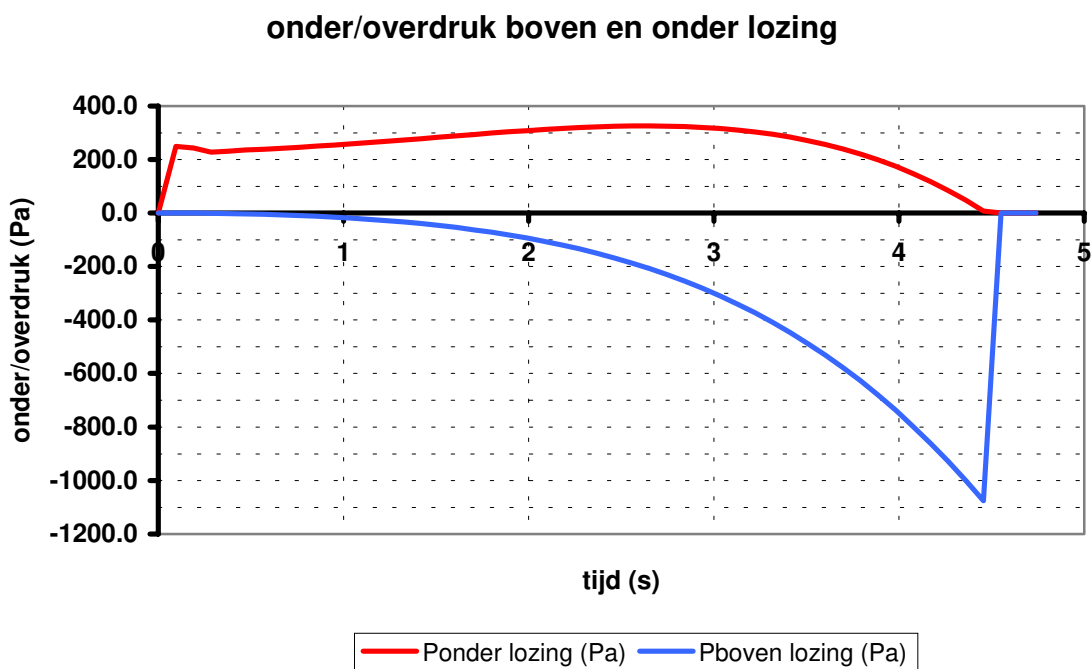
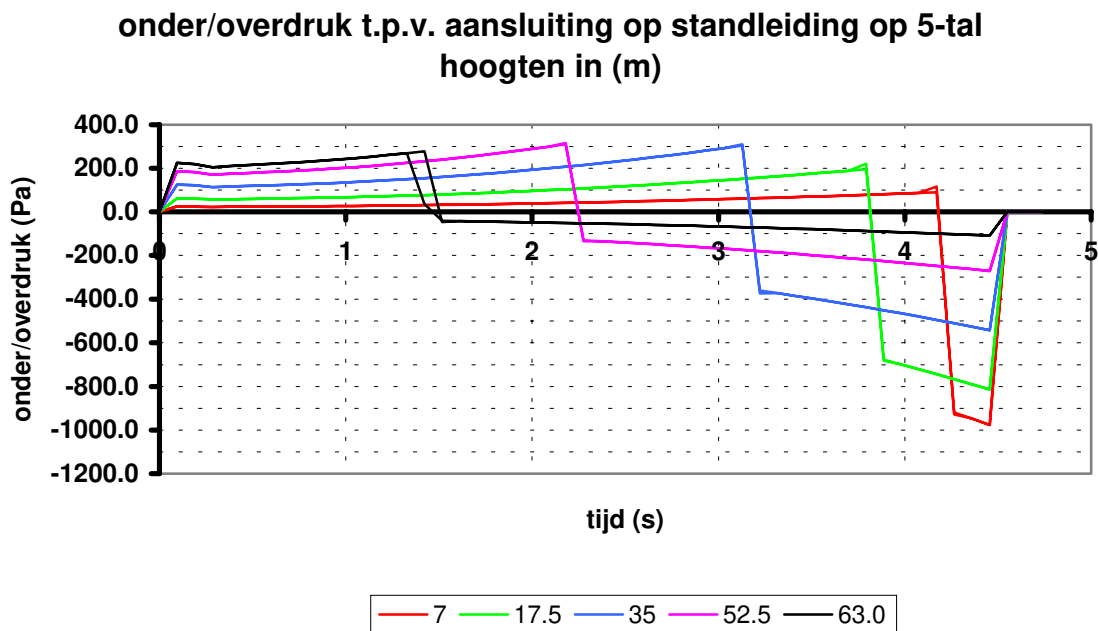
**onder/overdruk t.p.v. aansluiting op standleiding op 5-tal hoogten in (m)**



**onder/overdruk boven en onder lozing**

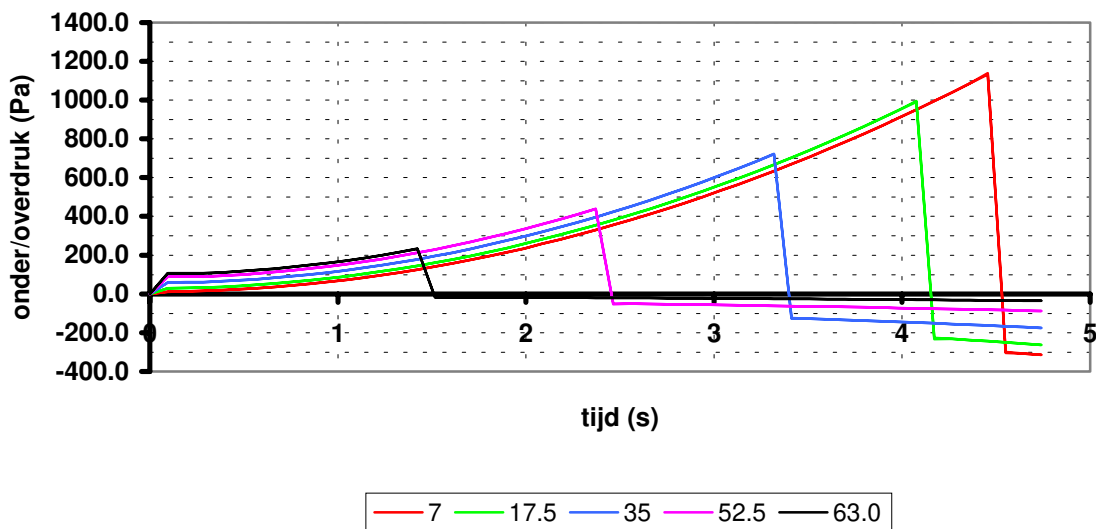


figuur D5: Drukverloop bij variant 30f (gebouw 30 m hoog, dichtheid 88%, massa lozing 0,5 kg).

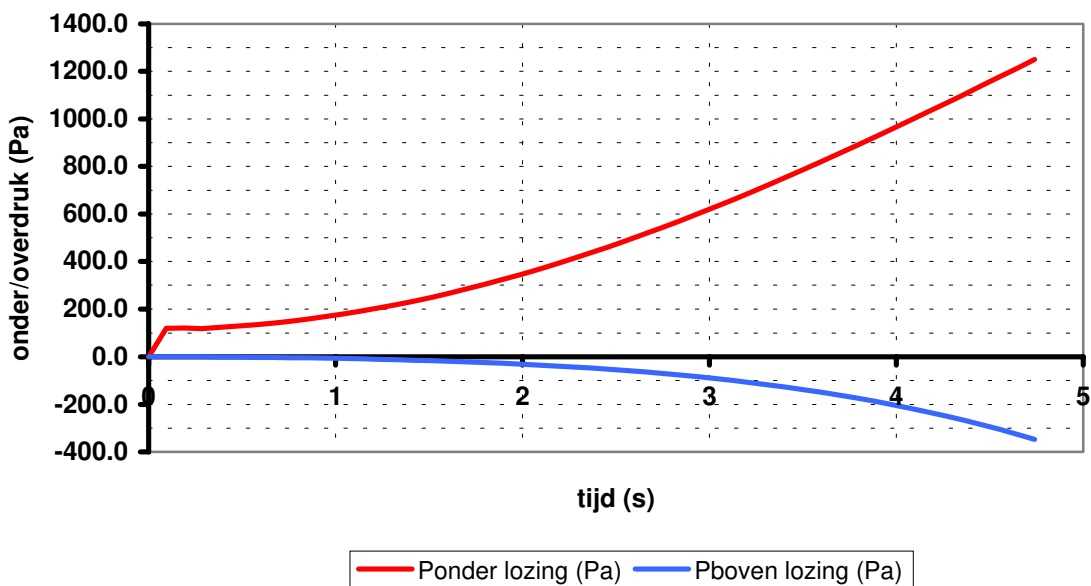


*figuur D6: Drukverloop bij variant 70a (gebouw 70 m hoog, dichtheid 53%, massa lozing 1 kg).*

**onder/overdruk t.p.v. aansluiting op standleiding op 5-tal hoogten in (m)**

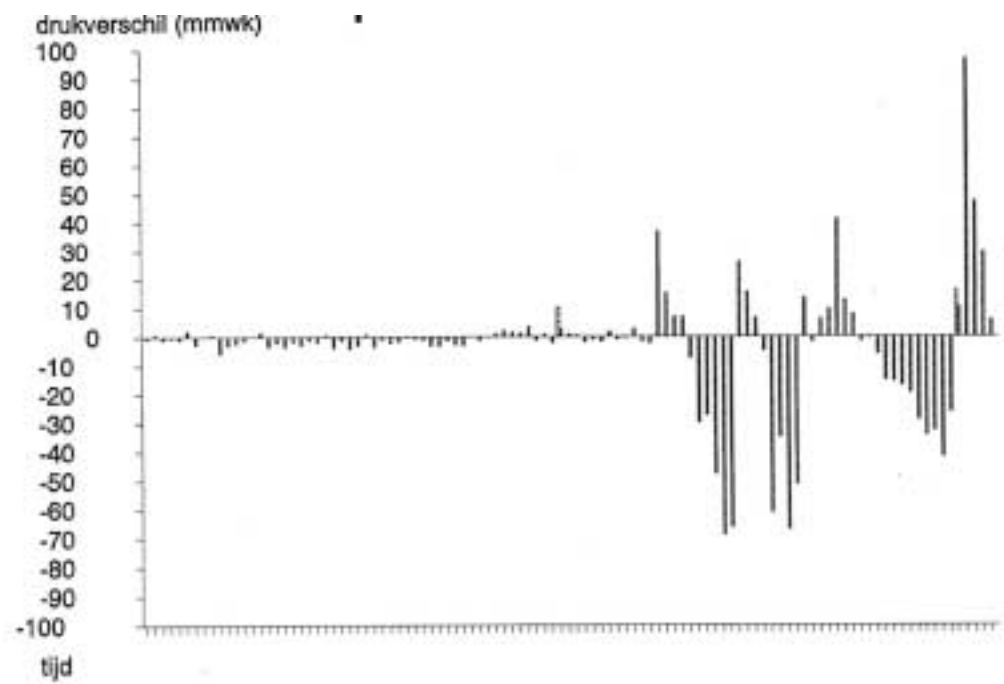


**onder/overdruk boven en onder lozing**



*figuur D7: Drukverloop bij variant 70c (gebouw 70 m hoog, dichtheid 53%, massa lozing 1 kg, buitenriool deels afgesloten door water).*

**Bijlage E**  
**Resultaten van drukmetingen uitgevoerd in de standleiding**  
**van een gebouw van 70 m hoog**



*figuur E1: Gemeten luchtdrukken in een standleiding van een gebouw van 70 m hoog in de situatie waarbij problemen met de riolering optraden.*



Korenmolenlaan 4  
3447 GG Woerden  
Telefoon: 088 401 06 20

[info@tvvl.nl](mailto:info@tvvl.nl) | [www.tvvl.nl](http://www.tvvl.nl)

