

## Ontwerpen secundair leidingnet

**BTO 2011.025**  
**April 2011**



Watercycle Research Institute

# Ontwerpen secundair leidingnet

**BTO 2011.025**  
**April 2011**

© 2009 KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.



# Colofon

**Titel**

Ontwerpen secundair leidingnet

**Projectnummer**

B111694

**Projectmanager**

P.G.G. Slaats

**Opdrachtgever**

CvO

**Kwaliteitsborger(s)**

G.A.M. Mesman, J.H.G. Vreeburg

**Auteur(s)**

E.J.M. Blokker en A.J. Vogelaar

**Verzonden aan**

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar



# Voorwoord

Dit project is uitgevoerd binnen het BTO-project *Modelleren Nieuwe Stijl*. In het project is de vraag beantwoord hoe een secundair leidingnet te ontwerpen. Daarbij is gebruik gemaakt van verschillende conceptuele en kwantitatieve modellen die in de afgelopen jaren beschikbaar zijn gekomen, en deels in het BTO zijn ontwikkeld.

De auteurs willen de leden van de werkgroep bedanken voor hun bijdrage aan de uitvoer van het project. De werkgroep bestond uit Gert Perfors en Paul van Arkenstein (Dunea), Eelco Trietsch en Erik Amting (Vitens), Tjakko Haaijer en Veerle Sperber (Brabant Water), Dick van de Weerd en Wout Kompagnie (Waterbedrijf Groningen), Peter Schaap en Martin Klein Arfman (PWN).



# Samenvatting

Het secundaire leidingnet is de verbinding tussen het primaire leidingnet (het transportnet) en het tertiaire net (het zelfreinigende vertakte net). Vanwege leveringscontinuïteit wordt het secundaire net vermaasd uitgevoerd en worden hierin afsluiters geplaatst om eventuele overlast tijdens onderhoud en storingen te beperken. Leveringscontinuïteit en beheersbaarheid zijn dan ook de bepalende factoren voor een functioneel secundaire leidingnet. Er is een stappenplan opgesteld voor het ontwerp van secundaire leidingnetten. Dit stappenplan biedt bij nieuwbouw en vervanging structuur en borging en dwingt de ontwerper beslissingen te nemen over de randvoorwaarden aan het ontwerp. Pilotstudies met het stappenplan kunnen bijdragen aan de ontwikkeling van duidelijke vuistregels bij het (her)ontwerp van secundaire leidingnetten.

Het ontwerp van het primaire leidingnet wordt vooral ingegeven door de (wettelijke) eis aan de leveringszekerheid. Het ontwerp van het tertiaire leidingnet wordt vooral ingegeven door de eis aan de waterkwaliteit, meer specifiek aan de minimale snelheid die kan voorkomen dat deeltjes accumuleren in het net. Het ontwerp van het secundaire leidingnet moet intuïtief vooral worden bepaald door de eis aan de leveringscontinuïteit (OLM, zowel op leveringsonderbreking als ondermaatse druk). Daarnaast kan het secundaire net ook bijdragen aan de leveringszekerheid en de waterkwaliteit. In dit project is bepaald welke eisen aan het secundaire net gesteld kunnen worden.

## **Belang: van reactief naar proactief ontwerpen**

De waterbedrijven zijn in de beheerfase van hun leidingnet beland, er worden nog relatief weinig complete nieuwe leidingnetten aangelegd. In de komende jaren zullen delen van het (secundaire) leidingnet worden vervangen, bijvoorbeeld bij wijkrenovatie of als ze een te hoge storingskans vertonen. Tegelijkertijd laten de veranderingen in de nieuwe Waterleidingwet zien dat er behoefte is aan heldere eisen voor de levering van drinkwater, bijvoorbeeld wat betreft de geleverde druk.

Voor het tertiaire net is de aanpak sinds het einde van de 20<sup>ste</sup> eeuw veranderd: er wordt niet langer zo ruim mogelijk ontworpen, maar zodanig dat de waterkwaliteit in het leidingnet zo min mogelijk achteruit gaat. Dit zogenaamde zelfreinigende net wordt bereikt door vertakte netten met kleine diameters aan te leggen.

Het huidige secundaire leidingnet is veelal organisch gegroeid volgens een pragmatische aanpak. Met een streefstructuur voor een optimaal net kunnen waterbedrijven richting geven aan het herontwerpen van delen van het secundaire net. Daarom is onderzocht hoe een optimaal secundair net er uit zou kunnen zien. De recente ontwikkeling naar vertakte, zelfreinigende tertiaire netten pleit voor een meer wetenschappelijke aanpak van herontwerp en renovatie van het secundaire net.

## **Aanpak: eisen, ontwerpparameters en voorbeeldwijk**

Er zijn drie wegen bewandeld. Ten eerste is gekeken naar de eisen die aan het leidingnet worden gesteld, bijvoorbeeld op het gebied van druk, waterkwaliteit, en bluswatervoorziening. Ten tweede is kwalitatief gekeken welke invloed deze verschillende eisen hebben op de ontwerpparameters leidingmateriaal, diameter en locatie. Ten derde is aan de hand van een voorbeeldwijk gekwantificeerd hoe de eisen de ontwerpparameters beïnvloeden. Meegenomen zijn daarbij de ervaringen bij de waterleidingbedrijven en uitkomsten van leidingnetberekeningsprogramma's, spreadsheets voor vertakte ontwerpen, geavanceerde methoden voor het genereren van realistische verbruikspatronen (SIMDEUM) en simulaties met de programma's CAVLAR en InfoWorks om de invloed van het ontwerp op de leveringscontinuïteit te bepalen.

## **Resultaten: stappenplan biedt structuur en borging**

Uit deze gegevens is een nieuw stappenplan afgeleid voor het ontwerp van een secundair leidingnet. De structuur van het stappenplan zorgt dat de relevante vragen aan de orde komen, zoals:

1. Welke randvoorwaarden gelden voor het secundaire leidingnet? Wat is de druk die door het primaire leidingnet wordt geleverd, en welke druk is nodig in het tertiaire net? Draagt het secundaire net substantieel bij aan de leveringszekerheid? Hoeveel aansluitingen bevat een afsluitersectie? Welke randvoorwaarden stelt de bluswatervraag? Onder welke condities gelden eisen aan de leveringscontinuïteit?



2. Wat is het tracé? Hoe worden afsluitersecties ingericht?
3. Waar moeten afsluiters worden geplaatst?
4. Welke diameters moeten worden toegepast?
5. Voldoet het ontwerp aan de bluswatervraag?
6. Voldoet het ontwerp aan de eisen voor leveringscontinuïteit?

**Implementatie: testen en aanscherpen voor handzame ontwerprichtlijnen**

Via pilotstudies bij waterbedrijven kan dit stappenplan in de praktijk worden getest. Door telkens een aantal alternatieve ontwerpen door te rekenen en tegen elkaar af te wegen kunnen vuistregels worden opgesteld, zodat bij de verdere implementatie sneller ontwerp mogelijk is en minder alternatieven hoeven te worden doorgerekend. Dit levert handzame ontwerprichtlijnen voor het secundaire net. Pilotstudies helpen ook antwoord te geven op de vraag hoe herontwerp van een secundair net kan worden ingepast in een pragmatische, geleidelijke vervanging.

# Inhoud

<b>Voorwoord</b>	<b>1</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>Inhoud</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Doel	9
1.2 Aanpak / Leeswijzer	10
<b>2 Inventarisatie bedrijfsspecifieke vragen</b>	<b>11</b>
2.1 Inleiding	11
2.2 Dunea: Bollenstreek	11
2.3 Vitens: Friesland-Zuid	12
2.4 Brabant Water: Tilburg	13
2.5 Waterbedrijf Groningen: renovatiewijken in stad Groningen	16
2.6 Samenvatting concrete vragen	17
<b>3 Kwalitatieve ontwerpaspecten</b>	<b>19</b>
3.1 Inleiding	19
3.2 Diameter	20
3.3 Leidingmateriaal	20
3.4 Lay-out / tracé	20
<b>4 Ontwerpopdracht secundair leidingnet</b>	<b>23</b>
4.1 Inleiding	23
4.2 Uitgangspunten	23
4.3 Aangeleverde gegevens	23
<b>5 Kwantitatieve vergelijking van de ontwerpen</b>	<b>25</b>
5.1 Beschrijving van de ontwerpen per waterbedrijf	25
5.1.1 Brabant Water	26
5.1.2 Dunea	26
5.1.3 PWN	27
5.1.4 Vitens	27
5.1.5 Nieuw Ontwerp (KWR)	28
5.1.6 WBG	28
5.2 Vergelijking van twee ontwerpen in detail	28
5.2.1 Drukval en leveringscontinuïteit	30
5.2.2 Maximale snelheid	31
5.2.3 Kosten	32
5.2.4 Leidinginhoud	33

5.2.5	Samenvatting	34
<b>6</b>	<b>Stappenplan ontwerp secundair leidingnet</b>	<b>35</b>
6.1	Stap 1 Randvoorwaarden vaststellen	35
6.1.1	Algemene ontwerpbenadering en randvoorwaarden	35
6.1.2	Tools en hulpmiddelen	36
6.1.3	Stappenplan randvoorwaarden	36
6.1.4	Voorbeeld casestudie	37
6.2	Stap 2 Bepaling van de ontwerpstructuur	39
6.2.1	Algemeen/overwegingen	39
6.2.2	Tools en hulpmiddelen	42
6.2.3	Stappenplan bepalen ontwerpstructuur	42
6.2.4	Voorbeeld casestudie	43
6.3	Stap 3 Sectionering van het secundaire en tertiaire net	44
6.3.1	Algemeen/overwegingen	44
6.3.2	Tools en hulpmiddelen	44
6.3.3	Stappenplan sectionering	45
6.3.4	Voorbeeld casestudie	45
6.4	Stap 4 Bepaling diameter van de leidingen	45
6.4.1	Algemeen/overwegingen	45
6.4.2	Tools en hulpmiddelen	46
6.4.3	Stappenplan bepaling diameters	46
6.4.4	Voorbeeld casestudie	47
6.5	Stap 5 Toetsing op bluswatervoorzieningen	48
6.5.1	Algemeen/overwegingen	48
6.5.2	Tools en hulpmiddelen	48
6.5.3	Stappenplan toetsing bluscapaciteit	48
6.5.4	Voorbeeld casestudie	48
6.6	Stap 6 Toetsing op leveringszekerheid en analyse van leveringscontinuïteit	49
6.6.1	Algemeen/overwegingen	49
6.6.2	Tools en hulpmiddelen	50
6.6.3	Stappenplan toetsing leveringscontinuïteit	50
6.6.4	Voorbeeld casestudie	50
<b>7</b>	<b>Verbruikstoekenning in een secundair net</b>	<b>51</b>
7.1	Inleiding	51
7.2	Relatie tussen $Q_{\max}$ en $n$	52
7.3	Gevoeligheidsanalyse	52
7.4	Discussie	55
<b>8</b>	<b>Drukverliezen in een tertiair net</b>	<b>57</b>
8.1	Inleiding	57
8.2	Vertakt net - leidingnetmodellen	57
8.3	Verbruikspatronen SIMDEUM	59
8.4	Verbruikstoewijzing	59
8.5	Resultaten	60
8.5.1	Volumestroom	60
8.5.2	Verbruik	61
8.5.3	Drukval	63

8.5.4	Snelheden	65
8.6	Conclusies en aanbevelingen	66
<b>9</b>	<b>Discussie en aanbevelingen</b>	<b>69</b>
9.1	Implementatie	69
9.2	Beslisboom en het gebruik van kentallen en vuistregels	69
9.3	Verder onderzoek	70
<b>10</b>	<b>Referenties</b>	<b>71</b>
I	Definities	73
II	Ontwerpfilosofie	77
III	OLM en druk	79



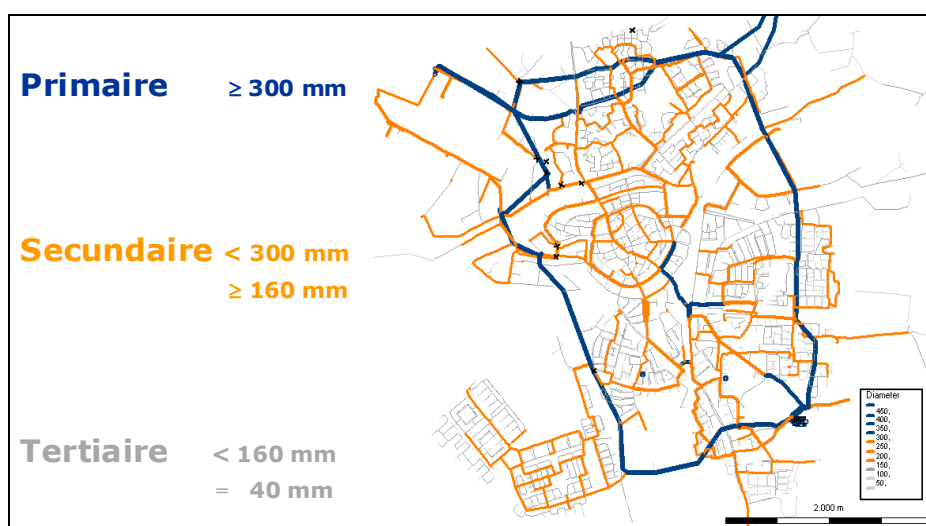
# 1 Inleiding

## 1.1 Doel

Binnen het project *Modelleren Nieuwe Stijl* is een deelproject gedefinieerd dat specifiek gaat over het ontwerpen op basis van de laatste inzichten. Voor de leden van de werkgroep geldt dat zij allemaal bezig zijn om de handboeken 'ontwerpen' te herzien en vinden het belangrijk om de laatste inzichten daarbij mee te nemen. Dit is de belangrijkste reden dat zij ook deelnemen aan de werkgroep.

Het leidingnet wordt als volgt onderverdeeld:

- Primair leidingnet: leidingen met een transportfunctie, grote diameters en in principe geen aansluitingen direct op de leidingen. Leveringszekerheid is hier de belangrijkste pijler voor het ontwerp.
- Tertiair leidingnet: het vertakte leidingnet met daarop aansluitleidingen, geen functie in verder distributie/transport naar andere netten. Dit netontwerp is een balans tussen (blus)watervraag en waterkwaliteit (zelfreinigende snelheid).
- Secundair leidingnet: leidingnet dat beide netten verbindt, dit net distribueert water van het primaire net naar tertiaire netten (en hier is ook sprake van individuele aansluitingen op de leidingen).



Hoewel het tertiaire net in de praktijk nog niet bij alle bedrijven conform de richtlijnen wordt ontworpen, wordt geconcludeerd dat dit een kwestie van organisatie is. De ontwerpregels zijn duidelijk: vertakt ontwerpen met kleine diameters zodanig dat sediment niet accumuleert. De  $q_v n$ -methode (15 tapeenheden) en 0,4 m/s zijn ontwerpparameters die goed werken. Een aanscherping op basis van een betere verbruiksschatting met SIMDEUM en de werkelijke snelheid waarbij sediment opwervelt (0,2 – 0,3 m/s) lijkt op dit moment niet opportuun (Mesman en Meerkerk 2010).

Voor het secundaire net geldt dat de meeste bedrijven hiervoor geen eenduidige aanpak in het ontwerp kennen. Omdat nieuwe aanleg plaats heeft gemaakt voor reconstructie wordt een visie op een ideale netstructuur van het secundaire net steeds belangrijker. Waterbedrijven zouden zich proactief willen voorbereiden op een eindplaatje van de netstructuur, in plaats van meegaan met derden en dan alleen naar de lokale (suboptimale) oplossing voor ontwerp te kijken.

Het primaire net is een gegeven en wordt periodiek getoetst op leveringszekerheid. Eventuele aanpassingen zijn maatwerk; er wordt nog zelden een nieuw primair net ontworpen. Het gevoel is dat dit net overgedimensioneerd is. De leveringszekerheidsanalyse wordt vaak gedaan met een hoge kans op gelijktijdigheid; bijvoorbeeld het maximum verbruik van een bepaalde industrie valt eigenlijk nooit

samen met het maximum van het huishoudelijk verbruik terwijl dit in de LZA wel zo wordt meegenomen.

Grofweg lijkt het primaire net bepaald te worden door de leveringszekerheidseis en het tertiaire net door de waterkwaliteit. De leveringscontinuïteit speelt vooral op het vlak van het secundaire net. De vraag is in hoeverre leveringszekerheid en waterkwaliteit belangrijke aspecten zijn bij het ontwerp van het secundaire net. Dit rapport richt zich op het ontwerp van het secundaire leidingnet.

	Leveringszekerheid	Leveringscontinuïteit	Waterkwaliteit
Primair	!	Afsluitersecties	-
Secundair	?	!	?
Tertiair	-	Afweging blus- en drinkwater	!

Figuur 1-1 Ontwerpaspecten secundair net

## 1.2 Aanpak / Leeswijzer

Aan de bedrijven in de werkgroep is gevraagd om een specifieke vraag te definiëren in het kader van het ontwerpen van het secundaire leidingnet. In hoofdstuk 2 zijn de beschrijvingen opgenomen en worden concrete vragen gesteld. In hoofdstuk 3 wordt een kwalitatieve beschrijving gegeven van de aspecten bij het ontwerpen van het secundaire net. Om de ontwerpaspecten meer te kwantificeren is een ontwerpopdracht gedefinieerd (hoofdstuk 4) die alle deelnemers van de werkgroep hebben opgepakt. In hoofdstuk 5 zijn deze ontwerpen met elkaar vergeleken en zijn de verschillen gekwantificeerd. Op basis van de ervaringen die daarmee zijn opgedaan is in hoofdstuk 6 een stappenplan opgesteld, waarbij de stappen telkens worden toegelicht aan de hand van het leidingnet uit de ontwerpopdracht.

In hoofdstuk 7 wordt de invloed van de modelkeuze van verbruik uitgediept; wat is de invloed van het toepassen van realistische verbruikspatronen op de druk in het secundaire net? In hoofdstuk 8 is een uitstapje gemaakt naar een van de randvoorwaarden bij het ontwerp van het secundaire net, namelijk het bepalen van het maximale drukverlies in het tertiaire net.

In hoofdstuk 9 ten slotte worden aanbevelingen gedaan met betrekking tot de implementatie van het stappenplan voor het ontwerpen van een secundair net.

Bijlage I geeft definities van enkele termen die in dit rapport worden gebruikt. Bijlagen II en III geven achtergrondinformatie bij hoofdstuk 5 en 6.

Er is voor de analyse en het uitwerken van de ontwerpen in dit rapport gewerkt met een aantal softwaretools. Voor de leesbaarheid en als mogelijke tip zijn de namen van deze software ook vermeld in dit rapport. Echter, we willen hiermee geen advies geven of voorkeur uitspreken voor gebruik van deze of vergelijkbare software.

## 2 Inventarisatie bedrijfsspecifieke vragen

### 2.1 Inleiding

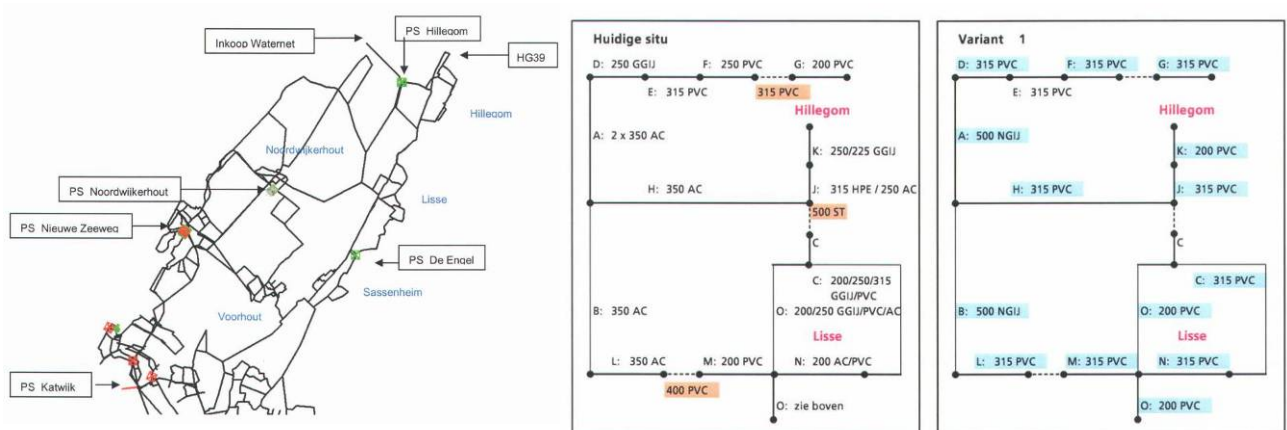
Aan de bedrijven in de werkgroep is gevraagd om een specifieke vraag te definiëren in het kader van het ontwerpen van het secundaire leidingnet. We hebben deze vragen binnen dit project vooral gebruikt om de behoefte aan kennis en tools te bepalen. De vragen hebben zodoende richting gegeven aan dit rapport. In dit hoofdstuk zijn de beschrijvingen opgenomen; de concrete vragen zijn onderstreept en worden in §2.6 samengevat en deels beantwoord met een verwijzing naar elders in dit rapport.

### 2.2 Dunea: Bollenstreek

Rond Hillegom/Lisse (Figuur 2-1) liggen een aantal AC-leidingen met natuurrubberingen, waarvan de kwaliteit niet meer goed is. Deze moeten allemaal worden vervangen; sommige al op korte termijn. Daarnaast zal pompstation de Engel buiten bedrijf worden gesteld en zal pompstation Hillegom worden aangepast. De drukken in het net kunnen na vervanging van de AC-leidingen waarschijnlijk hoger worden. Dunea vraagt zich af hoe de diameters van de nieuwe leidingen moeten worden bepaald.

Een aantal randvoorwaarden geldt hier:

- Het tracé wordt niet veranderd.
- Er is een doorleverfunctie vanuit inkooppunt Waternet, maximaal 700 m<sup>3</sup>/h bij calamiteit in gebied ten zuiden van Bollenstreek. Wanneer geen sprake is van een calamiteit (N.B. een max dag is geen calamiteit) wordt er minder ingekocht; op jaarbasis 137 m<sup>3</sup>/h gemiddeld. Onduidelijk is nog of dit een vlakke inkoop moet worden of dat er ook variabel gestuurd kan worden.
- Er moet een leveringszekerheidsanalyse uitgevoerd worden.
- Diameters < Ø400 mm vallen onder verantwoording afdeling distributie, grotere leidingen onder afdeling transport. Er is bij Dunea daarom een logistiek voordeel om diameters voor het secundaire net kleiner dan 400 mm te houden.
- Er is een druk-eis van 150 kPa na watermeter bij 1 m<sup>3</sup>/h onttrekking. Dat betekent, rekening houdend met drukval over watermeter, dienstkraan, hoofdkraan, Ø25 mm PE leiding van 15 meter, ca. 40 kPa extra op hoofdleiding (= 190 kPa). In de tertiaire structuur wordt op een max-dag ook een bepaalde hoeveelheid drukverlies gerealiseerd. Dit geeft de drukeis in het secundaire net aan. Dunea heeft geen één-op-één-model en heeft daarom behoefte aan kentallen voor drukval in vertakte (en vermaasde) tertiaire netten, om de randvoorwaarde aan druk in het secundaire net te kunnen vaststellen.
- In SynerGEE is een model beschikbaar van de leidingen > Ø100 mm.
- De toekomstige groei is ongeveer '0'.

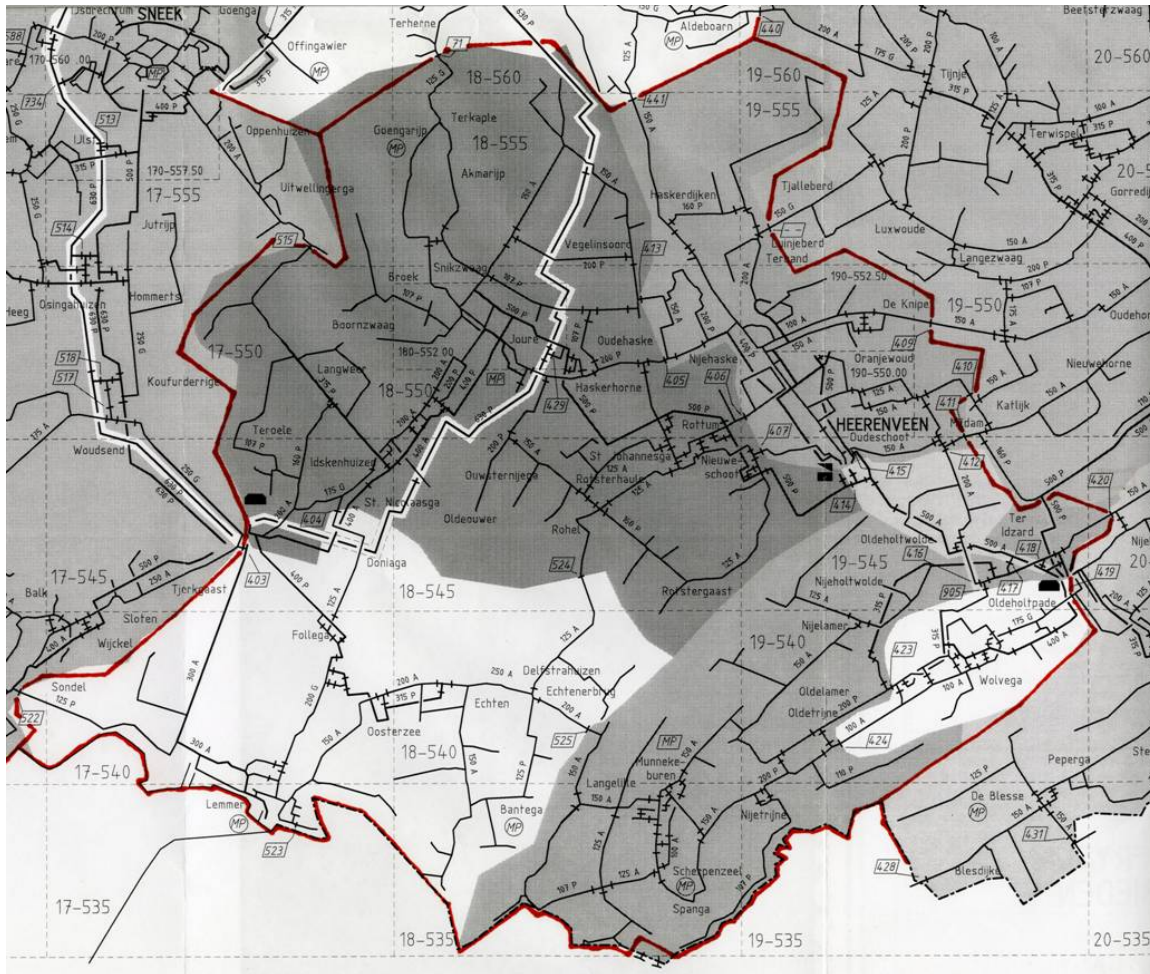


Figuur 2-1 Situatie Dunea bollenstreek



### 2.3 Vitens: Friesland-Zuid

Productiebedrijven Oldeholtgade en Spannenburg hebben een vergunning van 6.5 Mm<sup>3</sup>/jaar respectievelijk 25 Mm<sup>3</sup>/jaar; deze werden tot 2005 niet volledig uitgenut. In het pakket maatregelen om de onttrekkingshoeveelheden volledig uit te nutten, behoren aanpassing van de bedrijfsvoering en/of wijziging van de begrenzing van voorzieningsgebieden. Friesland is in een 25-tal deelgebieden ingedeeld. De wens is om naar minder deelgebieden (ca. 15) te gaan. Samenvoeging van de vijf zuidelijke deelgebieden Zuid (Heerenveen, Joure, Lemmer, Wolvega) tot één voorzieningsgebied met zowel voeding van Pb Spannenburg als Pb Oldeholtgade en in Heerenveen een berging van 6000 m<sup>3</sup>, is een van de maatregelen (Figuur 2-2). Verkennende Basisberekeningen hebben de haalbaarheid aangetoond. Het gaat nu om de invulling en uitwerking. Pb Spannenburg zal van 25 Mm<sup>3</sup>/jaar naar 30 Mm<sup>3</sup>/jaar gaan.



Figuur 2-2 Situatie Vitens Friesland-Zuid

In het gebied ligt een bestaande secundaire structuur. Nu besloten is om de vijf voorzieningsgebieden samen te voegen tot één voorzieningsgebied, dient onderzocht te worden of er nog volledig wordt voldaan aan de leverings-eisen onder verstoorde en niet-verstoorde omstandigheden bij toepassing van de huidige bedrijfsvoering. Met name richt de vraag zich op het al of niet sluiten van de Zuidelijke Ring (Ø200 mm) tussen Echtenerbrug en Munnekeburen. Van indeling in hoge/lage drukzones in de huidige situatie is in de nabije toekomst geen sprake meer.

De volgende randvoorwaarden zijn gedefinieerd:

- Er wordt uitgegaan van de huidige situatie qua tracés, afgezien van de mogelijke investering als gevolg van de ringsluiting. Eventuele leidingverzwaringen als gevolg van alternatieve oplossingen vinden plaats in hetzelfde tracé als de te vervangen leidingen. In geval van Dreiging (landelijke alarmfases) dient namelijk het voorzieningsgebied weer gesectioneerd te kunnen

worden tot de huidige vijf deelgebieden. Dit is de reden om niet te kiezen voor extra doorverbindingen tussen de (huidige) deelgebieden.

- toekomstige groei: extra bedrijvigheid in Joure en Heerenveen verwacht en extra woningen in Heerenveen. Prognoses zijn per gemeente, maar de sectie-indeling volgt niet de gemeentegrenzen. De prognoses sluiten niet allemaal op elkaar aan (bijv. som van gemeente- en provincieprognoses).
- DE en Johnson Polymers in Joure zijn grootverbruikers met dubbele aansluiting, zich manifesterend als puntbelastingen, waar rekening mee gehouden moet worden qua volume en druk (grote afnamehoeveelheden t.ov. omgeving; minimale drukhandhaving t.b.v. het proces).
- In InfoWorks is een model beschikbaar van alle leidingen
- Productiebedrijven worden zo vlak mogelijk gedraaid in verband met energie. Momenteel bevindt zich alleen in het deelgebied Heerenveen een (ruime) berging; bij de overige vier deelgebieden volgen de productiebedrijven Spannenburg en Oldeholtgade de uurvraaglijn met zijn pieken en dalen. Om vlakke bedrijfsvoering te kunnen realiseren, dient de berging van Heerenveen tevens ingezet te worden voor de overige vier deelgebieden; er is overcapaciteit aanwezig. Dit vormt de tweede reden (naast uitnutting vergunningshoeveelheden) om van de huidige vijf deelgebieden één voorzieningsgebied te maken.
- Uitgangspunt is dat Vitens zelf veel van de modellering doet, zodat dit BTO-project een goede aansluiting op implementatie geeft. Max 20 mandagen, doorlooptijd van 3 maanden, startdatum nog niet bekend (afhankelijk ook van andere cases).
- Afwegen van de alternatieven op de volgende aspecten:
  - LZA
  - Druk-eis: 150 kPa na watermeter bij 1 m<sup>3</sup>/h onttrekking
  - OLM
  - Waterkwaliteit (max snelheid op gemiddelde dag)
  - Voldoende bergingscapaciteit?
  - Benutting van vergunning Oldeholtgade.
  - Kosten
  - Alle bovenstaande onder verschillende toekomstscenario's.

## 2.4 Brabant Water: Tilburg

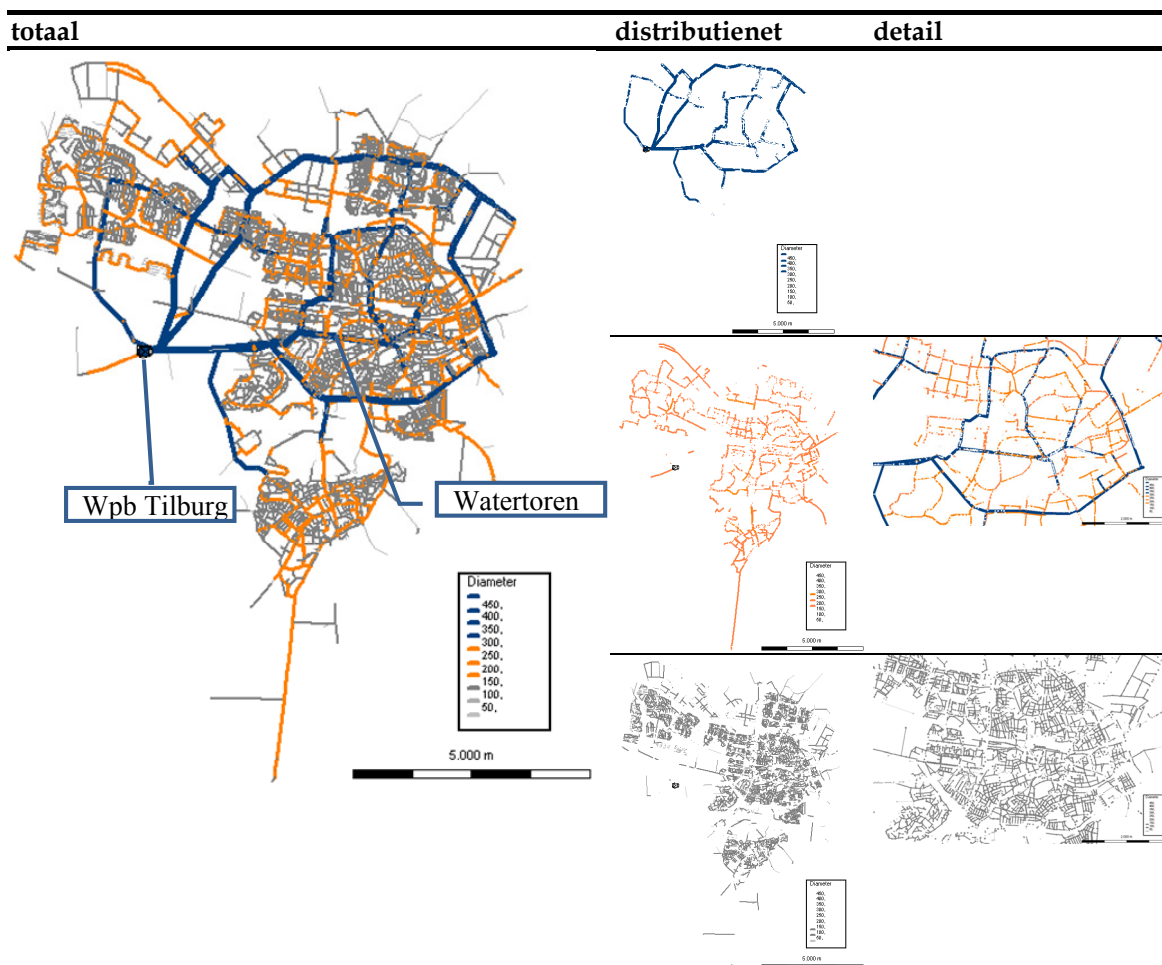
De volgende combinatie van distributienet gerelateerde problemen geven Brabant Water aanleiding om Tilburg (Figuur 2-3) aan een nader onderzoek te onderwerpen:

- Een lopend onderzoek naar de noodzaak van de reconstructie van grijs gietijzer leidingen (34%).
- De aanwezigheid van een sterk vermaasd en overgedimensioneerd distributienet (met name secundair en tertiair)
- De aanwezigheid van een vervuild distributienet (idem); er zijn bruinwaterklachten. Pas sinds 2008-2009 is een gecontroleerd spuiprogramma in uitvoering. Voorheen (TWM periode) alleen ad-hoc reinigungsacties n.a.v. bruinwaterklachten.
- De aanwezigheid van overbodige leidingen (idem).
- Het gebrek aan toekomstvisie met betrekking tot het gewenste optimale secundaire (en tertiaire) distributienet bij door derden geïnitieerde leidingbouwprojecten (zoals stadsvernieuwing).

Bovenstaande problemen vragen om netverbetering. Om dit te realiseren is een 'streefstructuur' gewenst. Met een streefstructuur wordt bedoeld "een optimaal vormgegeven stedelijk distributienet welke de richting aangeeft hoe op de lange termijn water gedistribueerd zal worden". Dit is een distributienetwerk waarin volgens de modernste inzichten waterkwantiteit en -kwaliteit wordt geborgd. Het doel is om het secundaire netwerk te optimaliseren (met het stedelijke verbruiksgebied van waterproductiebedrijf Tilburg als voorbeeld door een ontwerpmethodiek op te stellen en ontwerprichtlijnen (randvoorwaarden volgens de ontwerpmatrix) te definiëren. Hoe kan het ontwerp worden gecontroleerd?

Een beperkt aantal van de hiervoor genoemde distributieproblemen heeft betrekking op het primaire netwerk. Het primaire netwerk van Tilburg wordt als goed gekwalificeerd voor de specifieke hoofdtransportfuncties die het nu heeft en in de toekomst moet gaan vervullen. Dit geldt voor zowel de

reguliere waterlevering als voor de leveringszekerheid. In geval van noodzakelijke reconstructie worden leidingen 1:1 vervangen. Het primaire netwerk roept geen specifieke vragen op bij de het opstellen van een streefstructuur en mag als randvoorwaarde worden aangenomen.



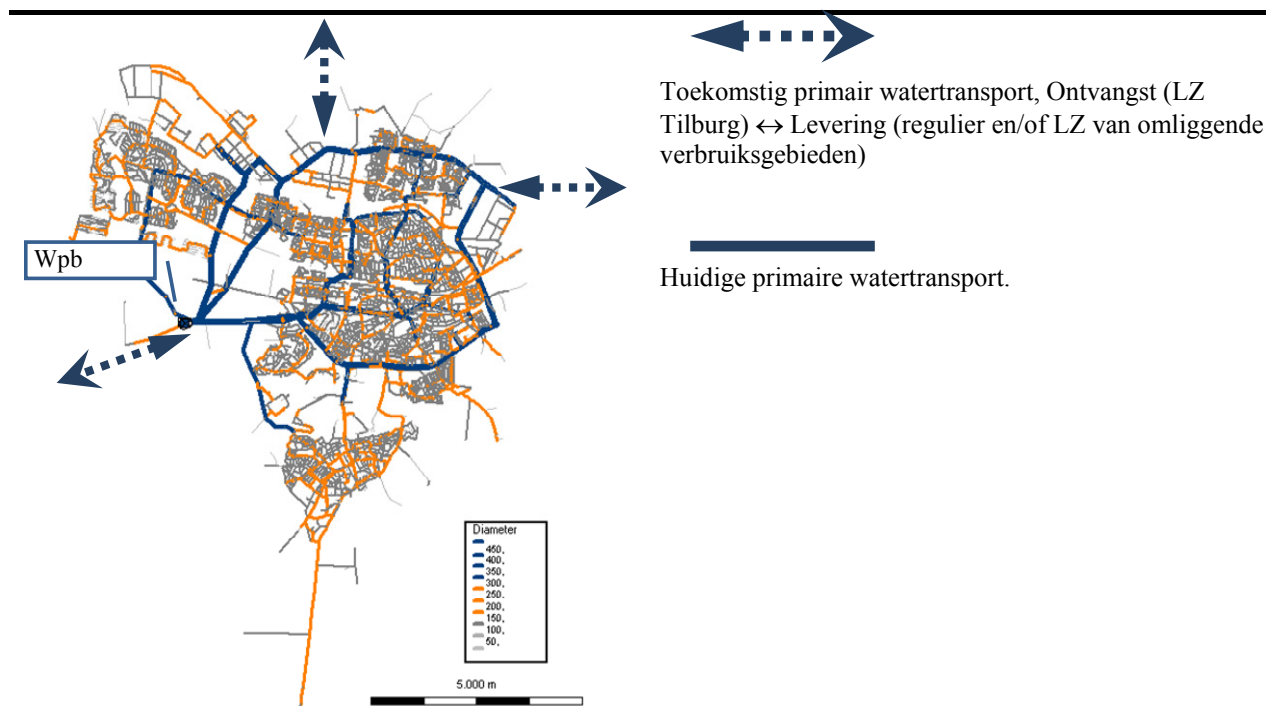
Figuur 2-3 Situatie Brabant Water Tilburg

Alle bovengenoemde distributieproblemen hebben grotendeels betrekking op het secundaire en tertiaire netwerk.

- Netverbeteringen voor het tertiaire net zijn zonder probleem te realiseren met behulp van de ontwerpfilosofie van zelfreinigende, vertakte netten. Hiervoor zijn voldoende ontwerprichtlijnen en parameters ter beschikking. Voor het tertiaire net zijn geen specifieke vragen bij het opstellen van een streefstructuur.
- Het secundaire netwerk, als belangrijke schakel tussen het primaire en tertiaire netwerk, levert de grootste hoofdbrekers op bij het opstellen van een streefstructuur. Het ontbreken van voldoende gefundeerde ontwerprichtlijnen en parameters, de dubbel- of (meerdere)functies die het heeft, maakt het lastig om tot een goede streefstructuur te komen.

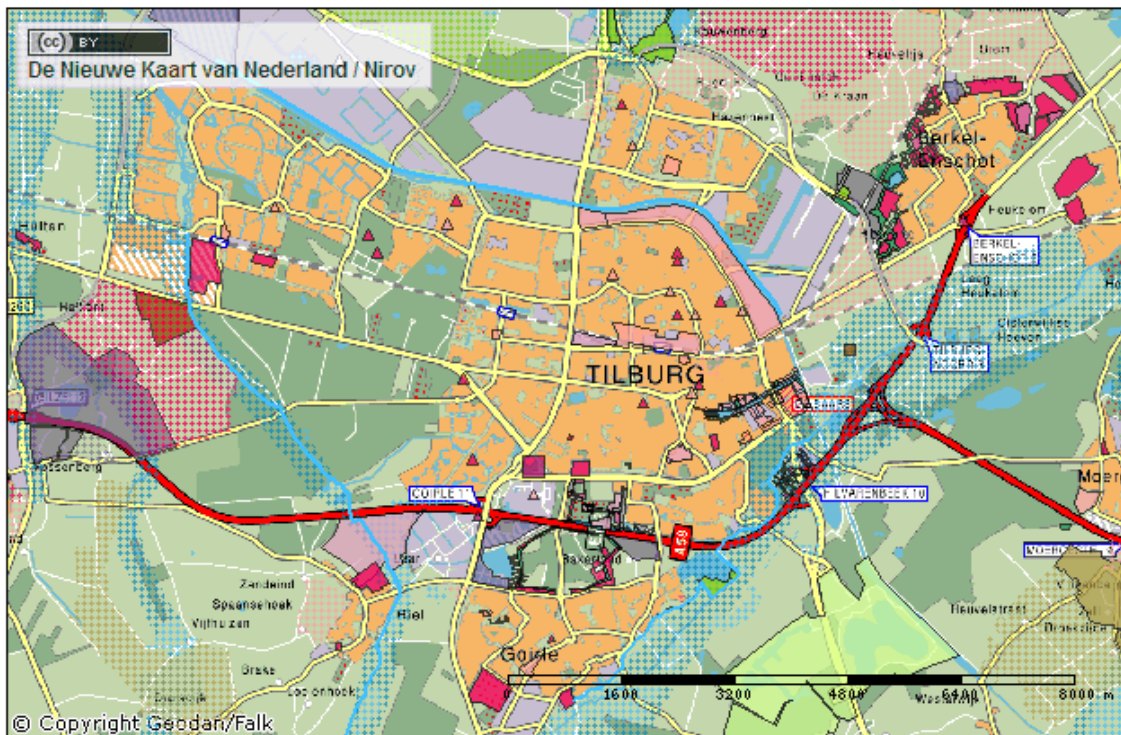
De randvoorwaarden zijn

- Het primaire net voldoet aan zijn hoofdtransportfunctie (regulier en leveringszekerheid). Ter verbetering van de leveringszekerheid en vergroting van het huidige verbruiksgebied van Tilburg zijn een 3-tal koppelleidingen met de omliggende verbruiksgebieden gepland (zie Figuur 2-4 gestippeld).



Figuur 2-4 Primaire net in Tilburg

- Huidig drukregime voor de hele stad is een vlakke, door de watertoren gelimiteerde druk van ca 37 -42 mwk. Op lange termijn wordt (in combinatie met aanpassingen WPB Tilburg ) gestreefd naar de opheffing van de watertoren aan de Bredaseweg met een overgang op frequentie geregelde HD eenheden op WPB Tilburg.
- Gaat energie belangrijk worden?
  - In het buitenland (met grotere natuurlijke drukverschillen en grote voorraden in reinwaterkelders) is energie nu al een belangrijk punt. Daarbij is het vaak eigenlijk een kostenverhaal (goedkopere energie in de daluren benutten).
  - Berekend kan worden wat er überhaupt te winnen valt.
- In ALEID is een model beschikbaar:
  - 1:1 model; ca. 83.000 knopen, 85.000 leidingen.
  - Geen afsluiters en brandkranen gemodelleerd.
  - Verbruikgegevens huishoudelijk verbruik afgeleid uit het jaartotaal en gemiddelde volgens Accent.
  - Grootverbruikers > 10.000 m<sup>3</sup>/j en A-accounts volgens Zakelijke Markt apart gedefinieerd.
  - Verbruikspatronen huishoudelijk verbruik dag en uur volgens afgifte patroon WPB Tilburg.
- Ongunstigste leveringspunt mbt minimaal te leveren druk van 250 kPa is het meest zuidelijk gelegen Turnhoutsebaan nr. 32. tpv Belgische grens.
- Brandkranen in oudere centrumdeel eigendom van de gemeente Tilburg.
- Bluswatervraag dient nog verder afgestemd te worden.
- het tertiaire net wordt zelfreinigende en (grotendeels) vertakt wordt uitgevoerd, dat wil zeggen heeft geen doorleverfunctie.
- Stedelijke ontwikkelingsplannen (Figuur 2-5) volgens de nieuwe kaart van Nederland <http://www.kaart.nieuwekaart.nl>



Figuur 2-5 Ontwikkelingsplannen Tilburg

## 2.5 Waterbedrijf Groningen: renovatiewijken in stad Groningen

Waterbedrijf Groningen heeft tussen 2004 en 2008 een blauwdruk gemaakt voor het primaire en secundaire net van de stad Groningen en de provincie. Daarbij waren de belangrijkste uitgangspunten de leveringszekerheid, de beheersbaarheid bij calamiteiten door breuken, schade derden en besmettingen (o.a. door de inzet van op afstand bedienbare afsluiters), en de geplande vervanging van veel gietijzeren leidingen.

Ontwerpcriteria voor het secundaire net waren (grotweg) de volgende:

- leveringscontinuïteit door tweezijdige voeding van secundaire leidingen; reeds bestaande geschikte secundaire leidingen zijn zoveel mogelijk ingepast in het renovatieontwerp en waar nodig aangevuld met nieuwe leidingen van circa dezelfde diameter
- in de stad Groningen geldt veelal een bluswaterreis van 60 m<sup>3</sup>/h
- sectiegrootte van 200 aansluitingen; afsluiters op het secundaire net

De secundaire leidingen zijn afhankelijk het aantal aansluitingen getoetst via de  $q/\sqrt{n}$ -methode of de piekfactoren methode. Hierbij een voorbeeld voor een 2300 m PVC160-leiding met totaal 3000 aansluitingen:

- leveringscontinuïteit (bedrijfszekerheid) door in het midden te knippen en in een spreadsheet de zo gevormde halve secundaire tak met 1500 aansluitingen door te rekenen met de  $q/\sqrt{n}$ -methode met 15 tapeenheden. Aan het eind van de laatste tertiaire tak dient een druk van 250 kPa gehaald te worden.
- leveringszekerheid door de leiding aan een eindzijde te sluiten en het verbruik van 3000 aansluitingen fictief in het midden van de secundaire leiding te plaatsen. Met een piekfactor van 0,03 m<sup>3</sup>/h wordt de maximale drukval berekend en bepaald of ten minste 75% van de maxdagvraag geleverd kan worden.

Waterbedrijf Groningen wil graag zijn ervaringen delen met de andere waterbedrijven en toetsen of ze de juiste uitgangspunten en aanpak hanteren.

## **2.6 Samenvatting concrete vragen**

De waterbedrijven geven aan behoefte te hebben aan een handreiking hoe een secundair leidingnet te ontwerpen op een coherente en omvattende wijze, daarbij is een blauwdruk voor het toekomstige leidingnet (streefstructuur) gewenst, zodat geen locale oplossingen worden gezocht, maar een toekomstplan klaarligt. Het gaat dan om diameters (zoals bij Dunea) en ook het tracé (wel of niet sluiten van de Zuidelijke Ring bij Vitens). PWN heeft geen specifieke vraag gebaseerd op een case studie aangeleverd. Zij sluiten zich aan bij de vragen van de overige waterbedrijven.

Onduidelijk is wat eigenlijk een goed ontwerp is, hoe kan dat worden gekwantificeerd of gecontroleerd? Gaat het alleen om de druk en de leveringscontinuïteit, of zijn er meer randvoorwaarden? Is het mogelijk om eenvoudige regels op te stellen, zonder dat ieder ontwerp in een één-op-één-model hoeft te worden doorgerekend? Als we het over het secundaire net hebben, is het dan mogelijk om de randvoorwaarden die het primaire net en het tertiaire net stellen in eenvoudige kentallen te vatten?

In dit project is een begin gemaakt om op een structurele manier een secundair net te ontwerpen en te toetsen. De vragen en inbreng van de deelnemende waterleidingbedrijven hebben daarmee richting gegeven aan dit rapport. De bedrijfsspecifieke vragen die in dit rapport worden beantwoord zijn:

### **Dunea: Bollenstreek**

De vraag over kentallen voor drukval in vertakte tertiaire netten, wordt beantwoord in hoofdstuk 8. Hiermee is het mogelijk om de randvoorwaarde aan druk in het secundaire net te kunnen vaststellen, waardoor de dimensionering van het secundaire net bepaald kan worden.

### **Vitens: Zuid-Friesland**

De vraag van Vitens met betrekking tot leveringscontinuïteit en tracékeuze wordt in algemene zin beantwoord in hoofdstuk 5 en 6. In §5.2.1 worden werkwijzen voor toetsing van de leveringscontinuïteit en in §6.2 worden algemene overwegingen rondom de tracékeuze beschreven.

### **Brabant Water: Tilburg**

Er is in hoofdstuk 5 en 6 ervaring opgedaan met het maken van een ontwerp van een secundair net als opzet voor een streefstructuur. Door het toetsen aan de uitgangspunten en randvoorwaarden is getracht het resultaat kwalitatief te beoordelen en te controleren.

### **Waterbedrijf Groningen: renovatiewijken in stad Groningen**

Via een ontwerpopdracht van een secundair net in een bestaande wijk van Groningen, zijn ervaringen gedeeld met de andere waterbedrijven. Er is ervaring opgedaan met het maken van een blauwdruk voor een secundair net. Via het beschrijven van de aanpak en vergelijking van de resultaten is inzicht verkregen in de overeenkomsten en verschillen in aanpak. Door het toetsen aan de uitgangspunten en randvoorwaarden is het resultaat beoordeeld.

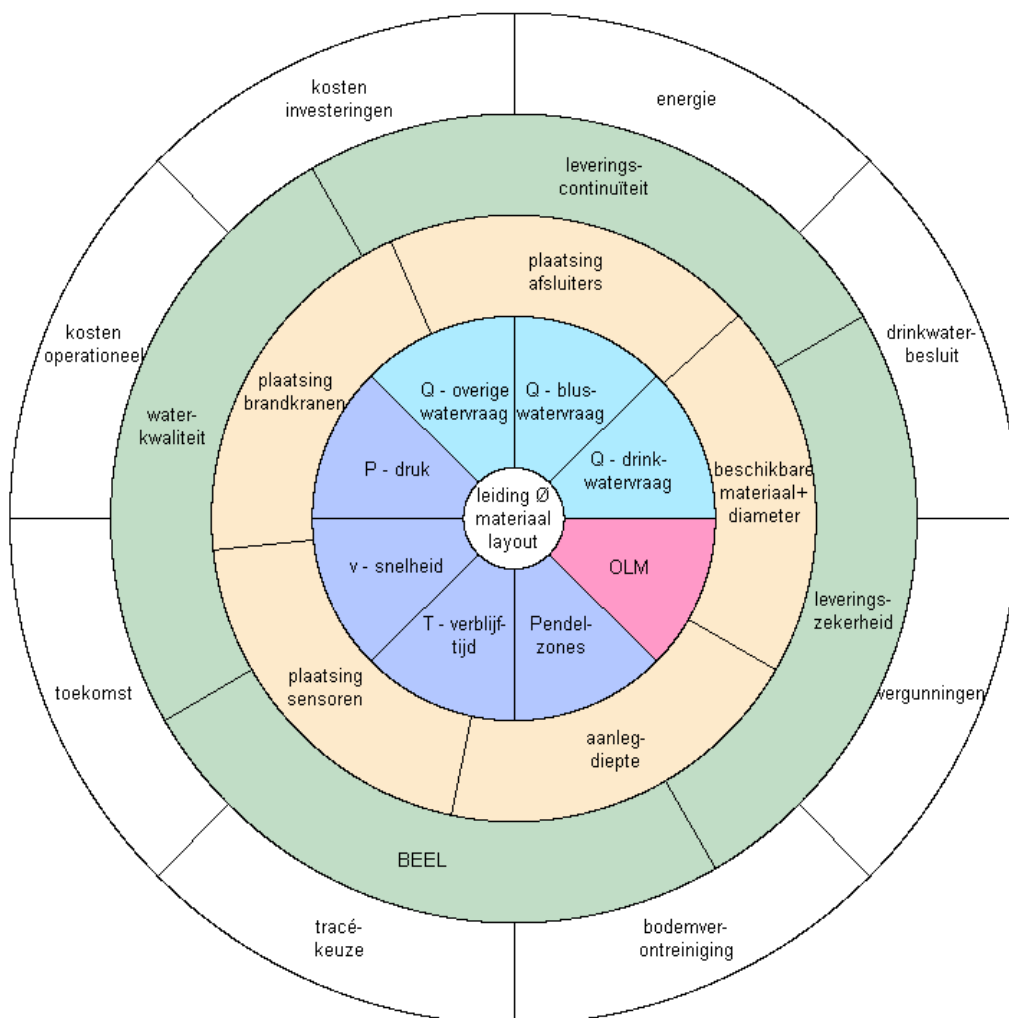


# 3 Kwalitatieve ontwerpaspecten

## 3.1 Inleiding

Alle aspecten die met het ontwerp van het leidingnet samenhangen zijn in relatie tot elkaar in cirkels en cirkelsegmenten geplaatst, zie Figuur 3-1. De aspecten genoemd in de cirkels beïnvloeden elkaar, voornamelijk van buiten naar binnen; er kan mogelijk een ring worden overgeslagen. Via de weergave van deze ontwerpcirkels wordt geprobeerd samenhangende aspecten te structureren. Het dient als aanloop naar het stappenplan voor het ontwerp van een secundair net in hoofdstuk 6.

- De binnenste cirkel bevat de zaken die ontworpen moeten worden: leidingdiameter, leidingmateriaal en lay-out/locatie (x, y, z).
- De 1<sup>e</sup> ring bevat de (hydraulische) controleparameters volumestroom (Q), druk (P), snelheid (v), verblijftijd (T) en eventueel pendelzones, OLM.
- De 2<sup>e</sup> ring bevat de randvoorwaarden van het waterbedrijf, zoals beschikbare materiaal+diameters, plaatsing afsluiters, brandkranen, sensoren, aanlegdiepte.
- De 3<sup>e</sup> ring bevat het bedrijfsbeleid, vertaling van de wettelijke eisen in leveringszekerheid, -continuïteit, waterkwaliteit en externe leidingeffecten. De term BEEL in Figuur 3-1 staat voor "Beoordeling Externe Effecten Leidinglekage" (Beuken et al. 2004).
- De 4<sup>e</sup> ring bevat externe randvoorwaarden, zoals het drinkwaterbesluit, energie, kosten, toekomst, tracékeuze, bodemverontreiniging, vergunningen.



Figuur 3-1 Ontwerpcirkel; aspecten die met het ontwerp van het leidingnet samenhangen



### 3.2 Diameter

De minimale diameter van het secundaire net wordt bepaald door de watervraag en de drukval:

- Het primaire net levert een druk aan het secundaire net. Deze druk varieert afhankelijk van de afstand tot het pompstation en de instelling van de pompen (vaste of variabele druk). Voor het ontwerp van het secundaire net is het aan te bevelen om een minimale druk te garanderen voor de voedingspunten van het secundaire net.
- Het tertiaire net vraagt een minimale einddruk. In de nieuwe drinkwaterwet wordt een eis gesteld van minimaal 150 kPa na de watermeter bij een verbruik van 1 m<sup>3</sup>/h. Dit kan worden geïnterpreteerd als een minimale druk die ook tijdens momenten van hoog verbruik in het leveringsgebied geleverd kan worden, waarbij een individuele verbruiker slechts 1 m<sup>3</sup>/h kan 'claimen'. Een waterbedrijf moet ook nadenken over welke druk geleverd wordt tijdens een normale dag, waarbij een individuele verbruiker mogelijk 1,3 of 1,5 m<sup>3</sup>/h mag verwachten.
- Om de drukval in het secundaire net te bepalen, is het cruciaal om een goede inschatting van het (maximale) drinkwaterverbruik te hebben.
- De bluswatervraag (30 of 60 m<sup>3</sup>/h) en de drukeis tijdens blussen en de vraag hoe hoog de drinkwatervraag is tijdens het blussen, hebben mogelijk ook invloed op de minimale diameter.
- In het secundaire net kan tevens een randvoorwaarde worden opgesteld voor het maximale verhang. Minder verhang kost minder energie.

De maximale diameter wordt bepaald door de minimale snelheid of maximale verblijftijd die gewenst is, dit in verband met de waterkwaliteit. Daarbij is een aantal kanttekeningen te plaatsen:

- Onduidelijk is wat de maximale verblijftijd mag zijn; een duidelijke relatie met de waterkwaliteit is nog niet aangetoond. In het buitenland richt het onderzoek naar verblijftijd zich meestal op de rest-chloorconcentratie. In Nederland is geen eis aan de verblijftijd bepaald.
- Onduidelijk is wat in het secundaire net de minimale snelheid moet zijn. In het tertiaire net is aangetoond dat deze zelfreinigend zijn wanneer eens per dag of per 2 dagen een snelheid van 0,2 tot 0,25 m/s wordt overschreden (Blokker et al. 2009; Blokker et al. 2010). In transportleidingen vindt vervuiling plaats, ook als de 0,4 m/s dagelijks wordt overschreden (Vogelaar en Blokker 2010). Hoe zit dat in het secundaire net?
- Temperatuur is een ander waterkwaliteitsaspect. Water warmt in een leiding met een kleinere diameter sneller op dan in een leiding met een grotere diameter. Echter de verblijftijd in een leiding met een grotere diameter is ook langer. De eindtemperatuur is in beide gevallen gelijk (Blokker en Pieterse-Quirijns in prep.).

Mogelijk hangt de diameterkeuze ook samen met leveringscontinuïteitseisen en externe leidingeffecten. Op dit moment is nog niet duidelijk of dat kleine diameters vaker storen dan grote diameters. Leidingen met grote diameters hebben ook niet automatisch een grotere ontgrondingskuil; bij gelijke volumestroom kan deze zelfs kleiner zijn dan bij een leiding met een kleinere diameter.

### 3.3 Leidingmateriaal

De meeste bedrijven hebben vanuit kosten oogpunt slechts een beperkte set van leidingmaterialen en diameters op voorraad. De keuze van de standaardmaterialen wordt mede bepaald door duurzaamheid. Uitzonderingen worden gemaakt voor onder andere locaties met bodemverontreiniging en BEEL-locaties.

### 3.4 Lay-out / tracé

Het tracé van het secundaire net wordt grotendeels bepaald door het stratenpatroon.

Vergunningsgebieden of bodemverontreiniging vergen soms een omlegging. Bij de tracékeuze moet ook worden nagedacht over de aanlegdiepte.

De lay-out behelst ook de indeling in secties: hoeveel afsluiters worden geplaatst en waar. Het zoveel mogelijk beperken van het aantal afsluiters tot twee à drie per sectie vergroot de leveringscontinuïteit en beperkt dus de OLM. Voorkom dus secties met meer dan drie afsluiters. Hoe groter het aantal afsluiters per sectie, des te kleiner de kans op een succesvolle afsluiting van een sectie (Meerkerk et al. 2009).

Een sectie met meer aansluitingen verhoogt de OLM. Afsluiters worden daarnaast ook geplaatst ten behoeve van spuien of toekomstige uitbreidingen.

Het zelfreinigende tertiaire net heeft een lay-out die zorgt voor een unidirectionele stroming; het is een vertakt net (Boomen en Vreeburg 1999). Voor het secundaire net is daarentegen een vermazing vereist om de leveringscontinuïteit te waarborgen. Voor het vermaasde secundaire net is gesuggereerd om te werken met verjonging van diameters om zoveel mogelijk een unidirectionele stroming tijdens normaal verbruik te creëren (Trietsch en Blokker 2004). In de praktijk blijkt vermazing bijna altijd tot pendelzones te leiden (Blokker 2010). Uitgezocht moet worden of dat kan worden voorkomen door een andere lay-out te kiezen.

Een ander aspect van de lay-out is de plaatsing van brandkranen. Door tijdens het ontwerp rekening te houden met de bluswatereisen (capaciteit, afstand tussen brandkranen) kan zoveel mogelijk tegemoet worden gekomen aan de gecombineerde functie van een drinkwaternet en een bluswaternet.



# 4 Ontwerpopdracht secundair leidingnet

## 4.1 Inleiding

Om tot een concrete invulling van de ontwerpcirkels (hoofdstuk 3) te komen, is de case Groningen opgepakt als een ontwerpopdracht. Alle deelnemende bedrijven in de werkgroep zijn uitgenodigd om op basis van dezelfde uitgangspunten een ontwerp van een secundair net te maken. Het resultaat hiervan is beschreven in hoofdstuk 5. Door vergelijking van de ontwerpen, moet duidelijk worden wat de consequenties zijn van verschillende keuzes tijdens het ontwerp. Op basis van deze casestudie en de 'best practices' van de deelnemende waterleidingbedrijven wordt in hoofdstuk 6 een stappenplan gegeven hoe een secundair net te ontwerpen.

## 4.2 Uitgangspunten

De ontwerpopdracht omvatte een deel van de stad Groningen met naar eerste schatting 9000 woningen en circa 16.500 inwoners. Het stadsdeel betreft de oude stadswijken Korrewegwijk, Indischebuurt en De Hoogte. Waterbedrijf Groningen saneert er het gietijzeren leidingnet in wijken uit het begin van de 20<sup>e</sup> eeuw met veel beneden- en bovenwoningen.

De ontwerpuitgangspunten in de ontwerpopdracht zijn:

- bluswater: 60 m<sup>3</sup>/h (bestaande bouw), 80 meter tussen brandkranen, einddruk bij blussen 50 kPa
- afsluitersectie is 150-200 woningen
- druk in primaire net is 290 kPa; vereiste druk richting tertiaire net is 250 kPa.
- bij < 800 woningen:  $q\sqrt{n}$ -methode met 15 tapeenheden
- bij > 800 woningen: piekfactorenmethode:  $Q_{max}$  (m<sup>3</sup>/h) ; max-verbruik van 0,04 m<sup>3</sup>/h per woning
- beschikbare materiaal + diameters volgens Tabel 4-1

Tabel 4-1 Beschikbare materialen en diameters voor ontwerpopdracht Groningen

PVC buitendiameter	PVC Buis KIWA KR	Binnendiameter (mm)	drukklasse
Ø63	63x2,0	59	PN 7,5
Ø110	110x2,7	104,6	PN 6,3
Ø160	160x4,0	152	PN 6,3
Ø200	200x4,9	190,2	PN 6,3
Ø250	250x6,2	237,6	PN 6,3
Ø315	315x7,7	299,6	PN 6,3

## 4.3 Aangeleverde gegevens

De volgende gegevens en data zijn aangeleverd door Waterbedrijf Groningen:

- een GBKN-bestand van de wijken Korrewegwijk, Indischebuurt en De Hoogte in de stad Groningen
- een detailschets met de precieze begrenzing van het plangebied
- jaarverbruiksgegevens per aansluiting van het plangebied over de laatste meteropname-periode (circa 2009)



# 5 Kwantitatieve vergelijking van de ontwerpen

## 5.1 Beschrijving van de ontwerpen per waterbedrijf

In Tabel 5-1 wordt een samenvatting van de uitwerking van de deelnemende waterbedrijven weergegeven. KWR heeft een keus gemaakt uit de 'best practices' van de waterbedrijven en deze aanpak en uitwerking beschreven in hoofdstuk 6. Dit ontwerp is verder aangeduid als 'Nieuw Ontwerp'.

Een aantal begrippen en de relevantie daarvan worden ook in hoofdstuk 6 en bijlage I toegelicht:

- Het uitgangspunt voor het totaal aantal aansluitingen is tijdens de uitwerking gewijzigd omdat we het 'Nieuw Ontwerp' wilden toetsen aan dat van WBG wat daarop gebaseerd was; zie ook §6.1.4.
- Het aantal aftakken vanaf het primaire net is sterk bepalend voor de vorm van het tracé van de secundaire hoofdstructuur.
- Het aantal te verwachten pendelzones per ontwerp is geschat. Niet elke secundaire maas leidt automatisch tot een pendelzone. Bij voldoende verjonging van de hoofdstructuur en juiste plaatsing van secundaire lussen, blijft de stromingsrichting in de hoofdstructuur constant en het aantal pendelzones beperkt.
- De lengte van een secundaire lus is gedefinieerd als de leidinglengte tussen twee T-stukken van het secundaire net. Vanaf een lus worden de tertiaire leidingen dus tweezijdig gevoed. De langste (secundaire) lus is als kenmerkend aspect weergegeven omdat in combinatie met het aantal aansluitingen de diameter van de lus wordt bepaald.
- Bij doorkoppeling van secundaire lussen is transport van of naar een andere secundaire lus mogelijk. Bij geen doorkoppeling zijn de secundaire lussen allemaal apart op de secundaire hoofdstructuur aangesloten.

Tabel 5-1 Enkele aspecten van de uitwerking van de ontwerpoperadracht

ontwerp secundair net	Brabant Water	Dunea	PWN	WBG	Nieuw Ontwerp
uitgangspunt: aantal aansluitingen <sup>1</sup>	9000	9000	9000	7470	7470
aantal aftakken op het primaire net	2	3	3	6	3
aantal mazen	10	13	9	5	7
aantal pendelzones	10	11	7	4	5
langste secundaire lus (m)	710	1080	830	2155	768
doorkoppeling van secundaire lussen	ja	nee	ja	ja	ja
verjonging diameter binnen secundaire lus	ja	nee	nee	nee	ja

De in dit rapport gepresenteerde uitwerkingen zijn in feite praktijkvoorbeelden om een indruk te krijgen van de mogelijke overeenkomsten en verschillen van een ontwerp van hetzelfde gebied met nagenoeg dezelfde uitgangspunten en randvoorwaarden. In bijlage II zijn een aantal meer algemene aspecten weergegeven rondom de ontwerpfilosofie van een secundair net.

<sup>1</sup> Een gemiddeld hoofdelijk verbruik van 127,5 liter per dag en een gemiddelde grootte van een huishouden van 2,3 personen geeft met een piekfactor van 3 een maximaal verbruik van 0,04 m<sup>3</sup>/h.

### 5.1.1 Brabant Water

Er is uitgegaan van een secundaire hoofdstructuur met enkel de functie van watervoorziening van het eigen stadsdeel. Er is geen onderlinge koppeling met betrekking tot de leveringszekerheid van het primaire net. Het tracé volgt zoveel mogelijk de hoofdwegen, kortste route. De dimensionering van de secundaire hoofdstructuur (diam 315 en 250 mm) is globaal bepaald op basis van leveringscontinuïteit. Dit is getoetst door één voedingspunt los te knippen en alle verbruik op een eindknoop te zetten, doorrekenen met Hydraulica. De negen secundaire lussen (diam 160 en 110mm) leveren in de wijk en zijn ontworpen op reguliere watervraag en bluswater en dienen gebiedsdekkend te zijn om de maximale lengte van de tertiaire eindtakken te overbruggen. De maximale lengte van de tertiaire takken is bepaald met Excel applicatie DiVerDi (Blokker 2009).



### 5.1.2 Dunea

Uitgangspunt is dat de wijk vanuit drie punten gevoed wordt, zodat bij uitval van één voeding de levering minimaal verstoord wordt. Voor de tertiaire leidingen is de bluscapaciteit van 60 m<sup>3</sup>/h maatgevend; de minimale diameter tot de brandkraan is PVC110 mm. Er is geen doorkoppeling van secundaire lussen en er is binnen een lus één diameter toegepast. (geen 'verjonging').

Bij de uitwerking met SynerGEE is getoetst op drukval bij regulier piekverbruik van 0,04 m<sup>3</sup>/h per aansluiting, leveringscontinuïteit bij uitval van aanvoerleidingen en bluscapaciteit bij piekverbruik.



### 5.1.3 PWN

Onderscheid tussen hoofd- en lusstructuur. Hoofdstructuur om de wijk te ontsluiten; lusstructuur om tweezijdige voeding van de tertiaire secties te verzorgen. Geen verjonging binnen lussen toegepast vanwege extra werk (inzet van extra brandkranen) bij het spuien. Diameters globaal bepaald met ALEID-spuiplanner.



### 5.1.4 Vitens

Vitens heeft een semi-geautomatiseerd ontwerpplan bedacht dat er als volgt uit ziet. Dit heeft niet tot een concreet resultaat geleid; het ontwerpresultaat is een mogelijke uitkomst.

1. Teken leidingen in alle straten, kies voedingspunten en verbruiksknoppen bij voordeur van alle huizenblokken.
2. Diameter van leidingen initialiseren op 5000 mm.
3. Bereken Q op max uur.
4. Bepaal diameter op basis van  $v = 0,3$  m/s (minimaal 10 mm, maximaal 5000 mm)
  - a. als snelheid  $> 0,6$  m/s vergroot dan diameter, terug naar stap 3
  - b. als snelheid  $< 0,3$  m/s verklein dan diameter, terug naar stap 3
5. Leidingen met diameter  $< 63$  mm: maak vertakt. Check dat takken zoveel mogelijk aansluiten op voedingszijden van het net; controleer op eilanden.
6. Pas vertakt ontwerpen toe volgens Vitens filosofie, dit kan secundair net ook iets veranderen.
7. Toets leveringszekerheid, pas eventueel diameters aan.
8. Toets bluswatervraag, pas eventueel diameters aan.

De kracht van deze methode is dat de meest logische aanvoer vanaf het primaire net naar centra van verbruik binnen het plangebied snel en objectief zichtbaar wordt. De methode kan dus een bijdrage leveren aan het ontwerpen van de secundaire hoofdstructuur. Met de methode kan echter niet automatisch een lusstructuur gegeneerd worden; deze zal alsnog op een andere wijze ontworpen moeten worden.



### 5.1.5 Nieuw Ontwerp (KWR)

De uitgangspunten en aanpak zijn uitgebreid beschreven in hoofdstuk 6. Er is keus gemaakt uit de 'best practices' van de deelnemende waterbedrijven. Ontwerp met 3 voedingspunten voor leveringscontinuïteit. Onderscheid gemaakt tussen secundaire hoofd- en lusstructuur met daarbij het aantal lussen en de maximale luslengte beperkt. Dus zo min mogelijk pendelzones en minimalisering van de drukval bij uitval van een kritische sectie.

Diameters aangepast zodat maximale snelheid in de hoofdstructuur  $> 0,4$  m/s óf diameter  $\geq 152$  mm (PVC160), voor secundaire lussen drukgradiënt  $< 50$  of  $40$  Pa/m zodat einddruk  $> 270$  kPa. Toetsen van leveringszekerheid en -continuïteit uitgevoerd met InfoWorks en CAVLAR



### 5.1.6 WBG

WBG heeft als 'vergelijkingsmateriaal' het reeds gerealiseerde ontwerp ingebracht. Uitgangspunten zijn de voedingen aan de noord- en westzijde en 'hergebruik' van een deel van het oude secundaire net.

De tertiaire takken zijn eerst doorgerekend met Excel applicatie WBGveta. De bluswaterreis bleek bepalend.

De 'bedrijfszekerheid' is getoetst door de langste tak halverwege door te knippen, vervolgens met WBGveta doorgerekend, druk moet minimaal 250 kPa zijn.

De 'leveringszekerheid' is getoetst door de langste tak aan het eind door te knippen, het piekverbruik in het midden te concentreren + extra drukval voor tertiaire net te reserveren van 5 kPa en met Hydraulica te berekenen; druk moet minimaal 150 kPa zijn.

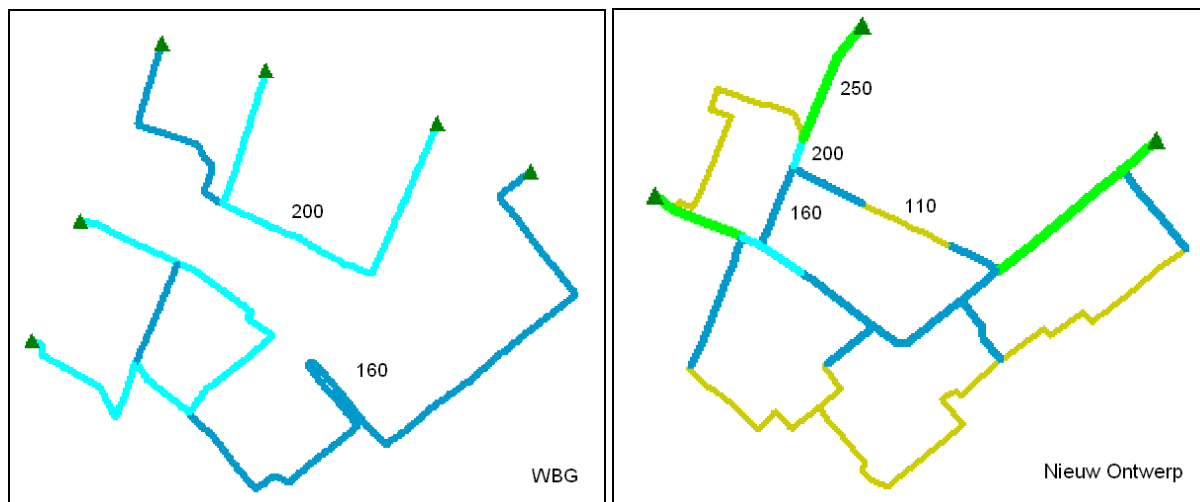


## 5.2 Vergelijking van twee ontwerpen in detail

Omdat in het ontwerp van een secundair net tegengestelde belangen verwerkt zijn, kan het voor een goede keuze nodig zijn om meerdere ontwerpvarianten te maken en deze te vergelijken op drukval, leveringscontinuïteit, maximale snelheid en kosten. Hier wordt het bestaande ontwerp van WBG vergeleken met het eerder beschreven 'Nieuw Ontwerp'. Het doel van de vergelijking in dit rapport is om de verschillen tussen de ontwerpen zo objectief mogelijk te kwantificeren. Het gaat er hier dus niet om het 'beste' ontwerp aan te wijzen.

Zoals blijkt uit Figuur 5-1 en Tabel 5-2 zijn er verschillen tussen de twee ontwerpen. Dit komt door andere uitgangspunten en aanpak:

- WBG heeft bij het renovatieontwerp een deel van bestaande secundaire net hergebruikt. Hierdoor zijn mogelijk de locaties van voedingspunten op het primaire net en de tracés en diameter van het secundaire net op basis van andere argumenten gekozen. Het kostenvoordeel door hergebruik van bestaande tracés is berekend in §5.2.3.
- Bij het WBG-ontwerp is bij toetsingen van de diameter van secundaire leidingen de piekfactoren-methode met  $0,03 \text{ m}^3/\text{h}$  per aansluiting of de  $q\sqrt{n}$ -methode aangehouden; zie §2.5 en 5.1.6.
- Bij het 'Nieuw Ontwerp' van secundaire leidingen is uitgegaan van  $0,04 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- Van beide ontwerpen zijn modellen gebouwd in InfoWorks en op drukval, leveringscontinuïteit en maximale snelheid getoetst bij  $0,04 \text{ m}^3/\text{h}$  en voor de bluscapaciteit bij  $0,01 \text{ m}^3/\text{h}$  per aansluiting.
- Uit analyse achteraf leek het of bij het ontwerp van WBG soms is afgeweken van de uitgangspunten met betrekking tot de maximale sectiegrootte van 200 aansluitingen. Doordat de leidingnetsanering in dit gebied nog niet was afgerond, waren nog niet alle afsluiters op tekening aangegeven. De bedoeling is echter dat het gebied uiteindelijk zal zijn opgedeeld in secties van ca. 200 aansluitingen. Voor de resultaten van de vergelijking van beide ontwerpen heeft dit echter nauwelijks gevolgen.



Figuur 5-1 Lay-out secundair net WBG en 'Nieuw Ontwerp' (groen driehoekje= aftak op het primaire net, nominale diameter in mm).

Tabel 5-2 Kenmerken van WBG-ontwerp en 'Nieuw ontwerp'.

ontwerp secundair net	WBG	Nieuw Ontwerp
aantal aftakken op primaire net	6	3
lengte secundair net (m)	5754	5669
aantal afsluiters	55	57
aantal secties	50	50
totaal aantal aansluitingen	7470	7470
gemiddeld aantal aansluitingen per sectie	149	149
aantal mazen	5	7
aantal pendelzones	4	5
maximale luslengte (m)	2155	768
gemiddelde luslengte (m)	1039	658

### 5.2.1 Drukval en leveringscontinuïteit

In Tabel 5-3 worden van de twee ontwerpen de druk en leveringscontinuïteit vergeleken op verschillende aspecten.

- a) Minimum druk op maxuur-maxdag (verbruik 0,04 m<sup>3</sup>/h per aansluiting). Het betreft hier de drukhoogte op het meest ongunstige knooppunt op het secundaire net onder reguliere omstandigheden op maxuur maxdag. De berekeningen zijn eerder uitgevoerd als onderdeel van §6.4.3.
- b) Drie maten voor de leveringscontinuïteit berekend via een LNBP:
  1. De minimum drukhoogte in een naburige sectie bij uitval van de meest kritische sectie.
  2. Het aantal gevallen waarbij bij uitval van een sectie de minimale drukhoogte in naburige secties beneden 200 kPa daalt. Met aanvullend het gemiddelde aantal aansluitingen bij uitval van een sectie waarvan de minimale drukhoogte in naburige secties beneden de 200 kPa daalt.
  3. idem voor 250 kPa.

De methode om deze kentallen te berekenen, wordt globaal beschreven in paragrafen 6.6.1 en 6.6.4:

  - Met InfoWorks zijn eerst de sectiegrenzen binnen het plangebied bepaald.
  - Vervolgens wordt de uitval van elke sectie afzonderlijk doorgerekend en de resultaten bewaard. Via een geautomatiseerde analyse zijn de hierboven vermelde drie maten voor leveringscontinuïteit per ontwerp vergeleken.
  - Het resultaat is de berekende restdruk en aantal getroffen aansluitingen in naburige secties. Via analyse wordt dus een uitspraak gedaan over de eventuele hinder in naburige getroffen secties.
- c) De OLM is berekend met behulp van CAVLAR (Meerkerk et al. 2009). De wijze waarop afsluiters in de ontworpen netten zijn opgenomen en de secties vormen, worden afsluiter-configuraties genoemd. Twee afsluiterconfiguraties (WBG en 'Nieuw Ontwerp') zijn geanalyseerd met CAVLAR. Dit programma berekent per afsluiterconfiguratie onder andere de OLM, ofwel het aantal minuten dat klanten geen water krijgen geleverd. Aansluitingen in naburige secties met een (te) lage druk worden niet door CAVLAR beschouwd. De gemiddelde leveringsonderbreking voor het gehele net is berekend uit het aantal getroffen aansluitingen per sectie, hoe vaak de sectie per jaar wordt getroffen door een incident en hoe lang de sectie wordt geïsoleerd. Voor de vergelijking zijn we voor beide ontwerpen uitgegaan van een (fictieve) onderbrekingstijd van 1 uur en een storingsfrequentie van de leidingen van 0,05 (1 maal per 20 jaar).

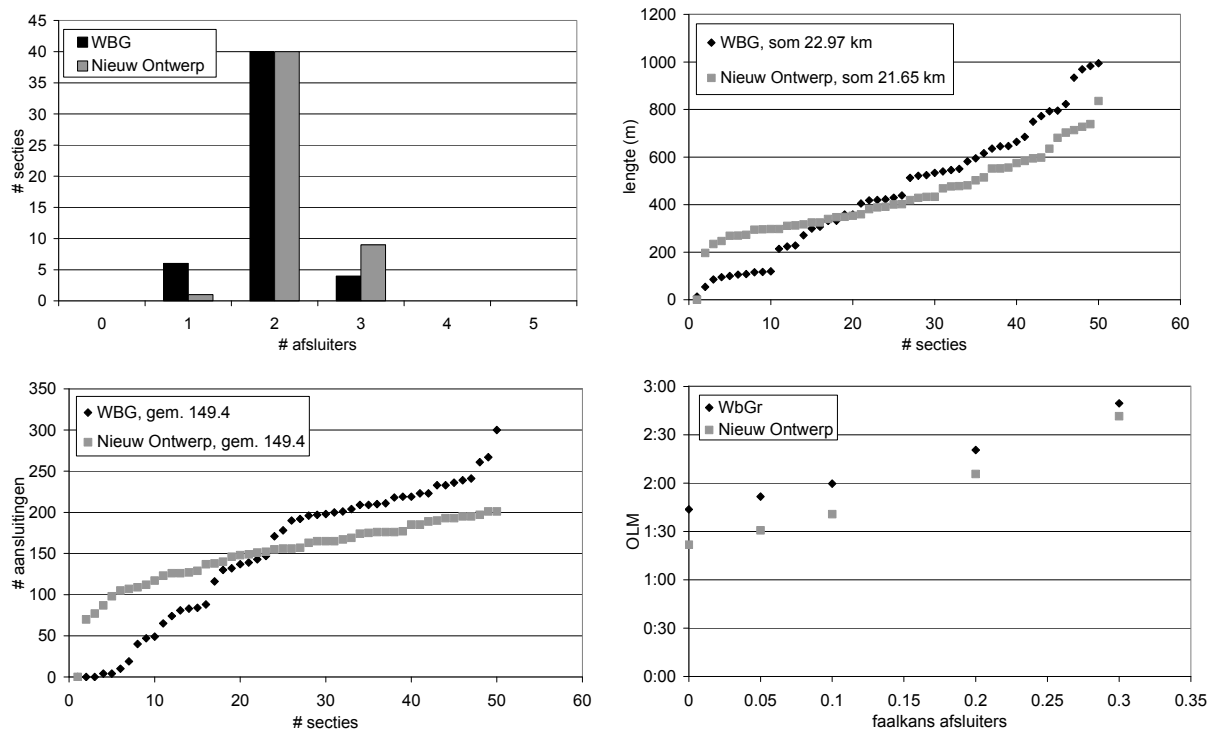
Tabel 5-3 Analyse van gewenste drukhoogte en leveringscontinuïteit.

Toets/analyse	Parameter	WBG	'Nieuw Ontwerp'	verschil
a. Druk maxuur maxdag (0,04 m <sup>3</sup> /h per aansl)	Minimum druk (kPa) in secundair net	268	274	-6
b1. Leveringscontinuïteit	Minimum druk (kPa) buiten geïsoleerde sectie	187	177	10
b2. Leveringscontinuïteit druk < 200 kPa	aantal secties * gemiddeld aantal extra getroffen aansluitingen	3 1005	1 944	2
b3. Leveringscontinuïteit druk < 250 kPa	aantal secties * gemiddeld aantal extra getroffen aansluitingen	11 1401	7 1419	4
c. OLM (bij faalkans afsluiter = 0,1)	mm:ss	02:00	01:41	16%

\* aantal secties = aantal gevallen waarbij bij isolatie van een sectie, ook andere naburige sectie(s) getroffen wordt/worden met een drukhoogte lager dan 200 of 250 kPa.

In Figuur 5-2 zijn naast OLM en de sectiegrootte een aantal andere aspecten weergegeven die geen echte toetswaarden zijn maar wel de verschillen tussen de ontwerpen aangeven. Het 'Nieuw Ontwerp' heeft iets meer afsluiters maar minder variatie in sectielengte en in aantal aansluitingen per sectie. Bij een faalkans van de afsluiters van minder dan 20% zal de OLM van het 'Nieuw Ontwerp' tussen de 10 en 20% lager zijn dan dat van WBG.

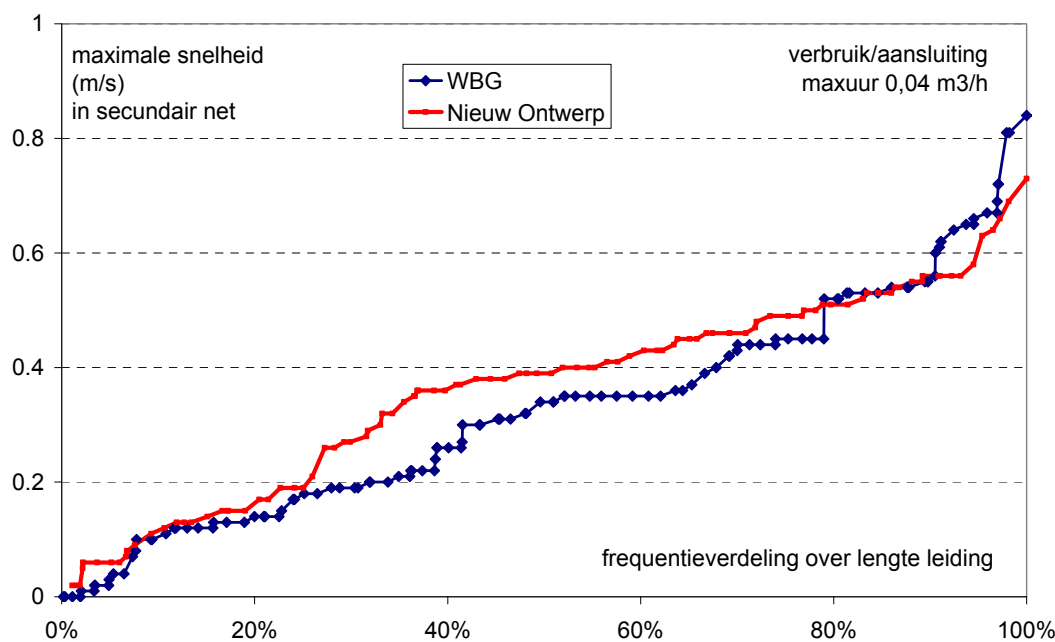
Zoals blijkt uit Tabel 5-3 scoort het 'Nieuw Ontwerp' op vier van de vijf aspecten beter dan het WBG-ontwerp. Alleen bij de toetsing van de leveringscontinuïteit scoort het 'Nieuw Ontwerp' minder door een circa 10 kPa grotere drukval op het meest ongunstige knooppunt. Op basis van de totale analyse concluderen we dat het ontwerp van KWR robuuster is ten aanzien van leveringscontinuïteit.



Figuur 5-2 Kenmerken van de afsluiterconfiguratie van het 'Nieuw Ontwerp' en het WBG-ontwerp.

### 5.2.2 Maximale snelheid

Omdat tertiaire secties als geheel altijd minimaal tweezijdig gevoed dienen te worden, is er in het secundaire net niet overal een eenduidige stromingsrichting. Door de vermazing in de secundaire netstructuur ontstaan een aantal pendelzones. Hoewel het 'Nieuw Ontwerp' meer vermaasd is, blijkt de berekende maximale snelheid voor een maxuursituatie niet lager dan van het WBG-ontwerp (Figuur 5-3).



Figuur 5-3 Maximale snelheid in het secundaire net van het 'Nieuw Ontwerp' en het WBG-ontwerp.

### 5.2.3 Kosten

Tabel 5-4 geeft een overzicht van de leidinglengtes per diameter en aantallen afsluiters in het secundaire net in het 'Nieuw Ontwerp' en WBG-ontwerp. Omdat de secundaire netten nagenoeg even lang zijn, is als benadering aangenomen dat lengte van de tertiaire netten ook gelijk is. In dit rapport hebben we ons bewust beperkt tot alleen vergelijking van het secundaire net.

In het WBG-ontwerp is in het secundaire net relatief veel (reeds bestaand) PVC160 en PVC200 toegepast; in het 'Nieuw Ontwerp' meer PVC110 en PVC160. Het aantal afsluiters is bijna gelijk, maar in het WBG-ontwerp zitten relatief veel grotere afsluiters. Omdat Waterbedrijf Groningen een deel van het bestaande net heeft hergebruikt is ter vergelijking een kolom 'WBG-renovatie' opgenomen met een schatting van alleen de nieuw aangelegde leidingen en materialen.

Er zijn twee soorten ramingen van kosten gemaakt: op basis van materiaalkosten en op basis van de vuistregel '€ \* mm \* m'. De totale kosten inclusief voorbereiding en uitvoering bedragen bij het toepassen van de vuistregel 1 euro per meter leiding vermenigvuldigd met de nominale diameter in mm:

- De materiaalkosten van leidingen en afsluiters in alleen het secundaire net zijn voor het 'Nieuw Ontwerp' circa 23% lager dan het WBG-ontwerp indien alles nieuw gelegd zou worden. Met name op de kosten van afsluiters kan bespaard worden door een slanker secundair net te kiezen. De kosten van overige materialen zoals brandkranen en aansluitadels zijn voor de twee ontwerpen nagenoeg gelijk. Door hergebruik van een deel van het net (kolom WBG-renovatie) is een nog veel grotere kostenbesparing mogelijk.
- Via de vuistregel '€ \* mm \* m' is het verschil in kosten 15% ten gunste van het 'Nieuw Ontwerp' ten opzichte van het WBG-ontwerp. Ook hier zijn door hergebruik van het net grote besparingen mogelijk.

Tabel 5-4 Kostenraming secundair net op basis van lengtes leiding en aantallen materialen.

diameters mm	catalogusprijs excl BTW per m	lengte in m WBG- ontwerp	lengte in m 'Nieuw Ontwerp'	nieuw in m bij WBG- renovatie
110	8.66		2562	
160	17.95	3016	1880	1658
200	27.75	2737	226	0
250	42.15		1000	
netto investering leidingmateriaal (K€)	-	130	104	30

afsluiters mm	catalogusprijs inclusief toebehoren excl BTW per stuk	aantal in WBG- ontwerp	aantal in 'Nieuw Ontwerp'	aantal nieuw bij WBG- renovatie
110	473		30	
160	696	22	17	12
200	1055	27	2	0
250	1526		5	
315 in primair net	2360	2	1	2
500 in primair net	4171	4	2	4
totaal aantal	-	55	57	18
netto investering afsluiters (K€)	-	65	46	30

netto investering k€	WBG	'Nieuw Ontwerp'	WBG- renovatie
leidingen	130	104	30
afsluiters	65	46	30
totaal netto materiaal k€	195	151	60
<b>totaal bruto materiaal k€</b>	<b>232</b>	<b>179</b>	<b>71</b>
<b>raming totale kosten op basis van vuistregel €*mm*m</b>	<b>1030</b>	<b>878</b>	<b>265</b>

#### 5.2.4 Leidinginhoud

Tabel 5-5 geeft de verschillen in leidinginhoud van het secundaire net weer; het 'Nieuw Ontwerp' heeft een 19% kleinere leidinginhoud. Het verschil in leidinginhoud geeft globaal het verschil in de gemiddelde verblijftijd aan.

Tabel 5-5 Vergelijking van de inhoud van het secundaire net.

inw. diameter (mm)	WBG-ontwerp en renovatie		'Nieuw Ontwerp'	
	lengte (m)	inhoud (m <sup>3</sup> )	lengte (m)	inhoud (m <sup>3</sup> )
104.6	0	0	2562	22
152	3016	55	1880	34
190.2	2737	78	226	6
237.6	0	0	1000	44
<b>totaal</b>	<b>5754</b>	<b>133</b>	<b>5669</b>	<b>107</b>

### 5.2.5 Samenvatting

In Tabel 5-6 zijn de vergelijkingsaspecten uit de vorige paragrafen kwalitatief samengevat.

Tabel 5-6 *Vergelijking van ontwerp/renovatie secundair net*

<b>ontwerpscore secundair net</b>	<b>WBG</b>	<b>'Nieuw Ontwerp'</b>	<b>WBG- renovatie</b>
drukhoogte en leveringscontinuïteit	+	++	+
maximale snelheid en pendelzones	+/-	+/-	+/-
leidinginhoud	+	++	+
kosten	nvt	-	++

# 6 Stappenplan ontwerp secundair leidingnet

KWR heeft op basis van de 'best practices' van de deelnemende waterbedrijven het ontwerpproces beschreven. Het ontwerpproces van het secundair net omvat zes hoofdstappen:

- 1) vaststellen van randvoorwaarden
- 2) bepaling van de ontwerpstructuur
- 3) indeling in secties
- 4) bepaling van de diameter van leidingen
- 5) toetsing op brandkraancapaciteit
- 6) toetsing op leveringszekerheid en analyse van leveringscontinuïteit

Via een aantal stappen wordt een ontwerp gemaakt waarbij deels tegengestelde belangen worden afgewogen. Het resultaat (configuratie, sectionering en diameters) wordt uiteindelijk gecontroleerd met hydraulische berekeningen en diverse toetsen van leveringsonderbreking. Het kan nodig zijn om na een bepaalde stap terug te keren naar een eerdere stap.

In zes paragrafen worden deze stappen toegelicht aan de hand van het voorbeeld van de renovatiewijk in de stad Groningen (hoofdstuk 4). Per paragraaf wordt eerst een algemene ontwerpbenadering beschreven, vervolgens de beschikbare hulpmiddelen en gereedschap en het stappenplan en tot slot een toelichting op het voorbeeld van de stad Groningen.

Het ontwerpen van het secundair net gaat niet zonder daarin het tertiaire net mee te nemen. De randvoorwaarden en aanpak voor het ontwerp van het tertiaire net hebben namelijk invloed op het secundaire net en omgekeerd.

De inzichten voor ontwerpen zijn aan veranderingen onderhevig. Deze veranderingen worden veroorzaakt door wijziging van materiaalkeuze, leidingnetberekeningen, nieuwe inzichten in de wijze van onderhoud van leidingen, een andere vereiste bluscapaciteit en veranderende eisen van vergunningverlenende instanties. Een ontwerp is daarom niet zondermeer goed of fout. Vanwege de conflicterende belangen, kan het nodig zijn om meerdere ontwerpvarianten te vergelijken op diverse aspecten. In hoofdstuk 5 wordt een dergelijke vergelijking beschreven.

## 6.1 Stap 1 Randvoorwaarden vaststellen

### 6.1.1 Algemene ontwerpbenadering en randvoorwaarden

De configuratie van het secundaire net wordt bepaald door de ligging van de voedingspunten vanuit het transportnet en de geografische verdeling van de vraag binnen het voorzieningsgebied. Bij het ontwerpen van een secundair net spelen zowel leveringscontinuïteit, brandpreventie, spuikbaarheid en waterkwaliteit een belangrijke rol.

#### Transportinfrastructuur

Op basis van huidige ligging van de transportleidingen en de watervraag, wordt berekend wat de te verwachten leveringsdruk is voor het plangebied. De vastgestelde leveringsdruk vanaf het transportnet is een randvoorwaarde voor het ontwerp van zowel het secundaire als tertiaire net in het plangebied. We gaan er hier vanuit dat mogelijke toekomstige wijzigingen in de infrastructuur reeds zijn nagegaan en berekend.

Bij het ontwerp van een secundair net dient vooraf de functie van dit net duidelijk te zijn. Voorziet het secundaire net alleen het eigen plangebied of dient rekening gehouden te worden met een doorleverfunctie naar en borging van leveringszekerheid van naburige plangebieden of wijken? Bij een aanvullende functie voor leveringszekerheid wordt via leidingnetberekeningen bepaald welke transportfunctie het secundaire net moet hebben voor buiten het plangebied. Dit is dan medebepalend voor het aantal voedingspunten en de minimale leidingdiameter van het secundaire net.



### **Randvoorwaarden rond het aantal voedingspunten en de mate van sectionering**

De aansluitingen van de hoofdleidingen op de transportleidingen heten voedingspunten. De hoofdleiding wordt uit oogpunt voor leveringscontinuïteit, op twee of meer punten aangesloten op de transportstructuur. Bij enkele waterbedrijven gelden hiervoor normen, bijvoorbeeld:

- gebieden tussen 200 en 5000 aansluitingen worden minimaal tweezijdig gevoed;
- gebieden met meer dan 5000 aansluitingen worden minimaal driezijdig gevoed.

De grenzen voor deze normen zijn echter niet theoretisch onderbouwd.

Door het plaatsen van afsluiters en het gebruik van aftakleidingen worden tertiaire secties in het distributienet gecreëerd. In de meeste secties bevindt zich een aantal aansluitleidingen naar huishoudens of bedrijven. Per waterbedrijf worden hier verschillende uitgangspunten gehanteerd; de maximale sectiegrootte varieert van 60 tot 250 woningen (Mesman en Meerkerk 2010). Als er een storing of lek optreedt in een segment geeft dit overlast voor de aangesloten verbruikers in deze sectie. De grootte van de sectie bepaalt dus mede de optredende overlast. Door secties klein te houden, door gebruik van veel afsluiters en nauwelijks aftakleidingen, is een beperking van de overlast mogelijk. Bij grote secties, met minder afsluiters en meer aftakleidingen, is de overlast bij een storing naar verhouding groter. Wel is dit goedkoper en de waterkwaliteit kan beter gewaarborgd worden vanwege het leegstromen van aftakleidingen.

Trietsch en Blokker (2004) geven kentallen waarmee een economisch optimale sectiegrootte kan worden bepaald; zie ook §6.1.3. Aanbevolen wordt om daarnaast een afweging te maken tussen enerzijds de kans op overlast voor de klant door onderbreking van de levering of lagere druk en anderzijds investerings- en onderhoudskosten voor afsluiters. Bij de keuze tussen grote of kleinere secties spelen de volgende voor- en nadelen:

- + bij kleinere secties is er minder directe overlast bij storingen; resulteert in een lagere OLM (ondermaatse leveringsminuten); zie ook § 6.6.
- + kortere takken geven minder drukval in het tertiaire net waardoor meer speelruimte in het secundaire net overblijft
- kleine secties zijn duurder in aanleg en onderhoud door meer afsluiters.

#### **6.1.2 Tools en hulpmiddelen**

Een checklist met aandachtspunten, uitgangspunten, randvoorwaarden en wensen op basis van

- ontwerprijke
- VIS/ spreadsheet
- LIS

Handige tools bij het leidingnetontwerp zijn:

- Ontwerpspreadsheet voor het tertiaire net
- LNBP (leidingnetberekeningsprogramma InfoWorks of SynerGEE)
- Straatinfo.nl
- Google Maps (met de optie Streetview) en Bing Maps (met de optie Bird's eye). Daarmee kan snel informatie worden verzameld over mogelijke leidingtracés, type bebouwing, soort verbruikers, etc.

#### **6.1.3 Stappenplan randvoorwaarden**

<b>Stap 1.</b>	<b>Vaststellen van randvoorwaarden</b>
Stap 1.1	Stel de begrenzing van het plangebied vast, de beschikbare leidingtracés en de locatie van mogelijke voedingspunten vanaf de transportleidingen.
Stap 1.2	Bepaal de minimale begindruk in het primaire net, de vereiste druk aan het begin van de tertiaire takken en de vereiste einddruk bij de verbruiker. In dit voorbeeld is uitgegaan van een begindruk op het primaire net van 290 kPa, minimaal 270 kPa op het secundaire net en minimaal 250 kPa aan het

	<i>eind van het tertiaire net op een maxuur-maxdag. Stel vast of bereken of het secundaire net ook een ondersteunende transportfunctie heeft of moet hebben.</i>
Stap 1.3	<i>Bepaal de contouren van centra van verbruik; bepaal het aantal woningen, huishoudens, bedrijven en instellingen en ligging daarvan.</i>
Stap 1.4	<i>Bepaal per verbruikstype het normverbruik en de minimale capaciteit van de brandkranen voor het ontwerp en voor toetsing bij het gebruik van de piekfactoren methode in het leidingnetberekenningsprogramma.</i>
Stap 1.5	<i>Bepaal de berekeningswijze voor de bluscapaciteit en de maximale drukval in het tertiaire net; bijvoorbeeld gebruik van de <math>q\sqrt{n}</math>-methode met 15 tapeenheden per aansluiting via spreadsheetberekeningen.</i>
Stap 1.6	<i>Gebruik de bedrijfsnormen voor het minimaal aantal voedingspunten per cluster van aansluitingen in de hoofdstructuur. Stel de minimale en maximale sectiegrootte vast (aantal aansluitingen per sectie en de maximale leidinglengte binnen een (tertiaire) sectie).</i>
Stap 1.7	<i>Bepaal welke combinaties van leidingmateriaal en diameters beschikbaar zijn voor het ontwerp.</i>

#### **6.1.4 Voorbeeld casestudie**

Een aantal uitgangspunten voor de ontwerpopdracht van de wijk in Groningen is vastgesteld om te zorgen dat alle ontwerpers de zelfde randvoorwaarden gebruikten. Niet alle randvoorwaarden zijn van te voren uitgebreid onderbouwd. Aangenomen is dat het secundaire net geen ondersteunende transportfunctie heeft voor aangrenzende gebieden.

#### **Beschikbare leidingtracés**

Van belang is ook te bepalen waar leidingen tweezijdig gelegd moeten worden. Uitgangspunt is eenzijdige ligging in een straat, maar dat niet altijd mogelijk zoals bij pleinen, drukke wegen en vijvers.

#### **Aantal woningen en verbruik**

Via diverse bronnen is een schatting gemaakt van het aantal en ligging van de woningen en het verbruik. Bij de start van de ontwerpopdracht is uitgegaan van een schatting 9.000 aansluitingen; bij uitwerking van het stappenplan en vergelijking van de ontwerpen zijn 7470 aansluitingen aangehouden op basis van gegevens uit de verbruiksadministratie (Tabel 6-1).

Toelichting aantal aansluitingen en verbruik:

- Eerste schatting van waterbedrijf Groningen was circa 16.500 inwoners met circa 9.000 aansluitingen.
- Via [www.straatinfo.nl](http://www.straatinfo.nl): circa 12.870 inwoners met circa 9.000 aansluitingen. Het betreft hier het totaal van de buurten De Hoogte, Oost-Indische buurt en de Korrewegbuurt na aftrek van een aantal woningen die niet in het plangebied liggen.
- verbruiksinformatie-systeem (VIS) en leidingnetinformatie (LIS): 7470 aansluitingen met een gemiddeld basis-uurverbruik van 8,83 L/h.

Voor het ontwerp en toetsing zijn de volgende waarden aangehouden:

- voor het berekenen van de minimale druk, maximale stroomsnelheid op een maxuur-verbruik en leveringscontinuïteit: 0,04 m<sup>3</sup>/h per aansluiting (§4.2, §0 en §6.4 ;
- voor het berekenen van de brandkraancapaciteit: normverbruik van 0,01 m<sup>3</sup>/h per aansluiting (≈ gemiddeld verbruik); zie §6.5.

Voor het ontwerp van het secundaire net wordt gerekend met één getal voor het verbruik, en wordt er dus impliciet verondersteld dat de verbruiken lineair bij elkaar opgeteld kunnen worden. Het is bekend dat in het tertiaire net geen lineaire relatie tussen aantal woningen en maximaal verbruik verondersteld kan worden; daar wordt dan ook met bijvoorbeeld de  $q\sqrt{n}$ -methode gerekend. In hoofdstuk 7 wordt een gevoeligheidsanalyse gedaan met behulp van SIMDEUM-patronen om te kijken of in het ontworpen

secundaire net gerekend mag worden met een veronderstelling van een lineaire relatie tussen aantal verbruikers en maximaal verbruik.

Tabel 6-1 Aantal aansluitingen en verbruik.

<b>gegevens</b>	<b>kentallen</b>
<b>straatinfo.nl (2008)</b>	
aantal inwoners plangebied	12870
gem. aantal inwoners per woning	1.43
aantal woningen plangebied	9000
<b>VIS/LIS WBG (2009)</b>	
aantal aansluitingen uit LIS/VIS	<b>7470</b>
verbruik uit VIS m <sup>3</sup> /j	578066
<b>gemiddeld per aansluiting en pppd (VIS 2009)</b>	
verbruik m <sup>3</sup> /j	77.4
verbruik l pppd	148.3
basisverbruik m <sup>3</sup> /h	0.00883
basisverbruik l/s	0.00245
<b>verbruik per aansluiting tbv ontwerp en toetsen</b>	
maxuur-verbruik	<b>0.04</b>
verbruik bij toets leveringscontinuïteit	<b>0.04</b>
verbruik bij bepalen brandkraancapaciteit	<b>0.01</b>

### Sectiegrootte

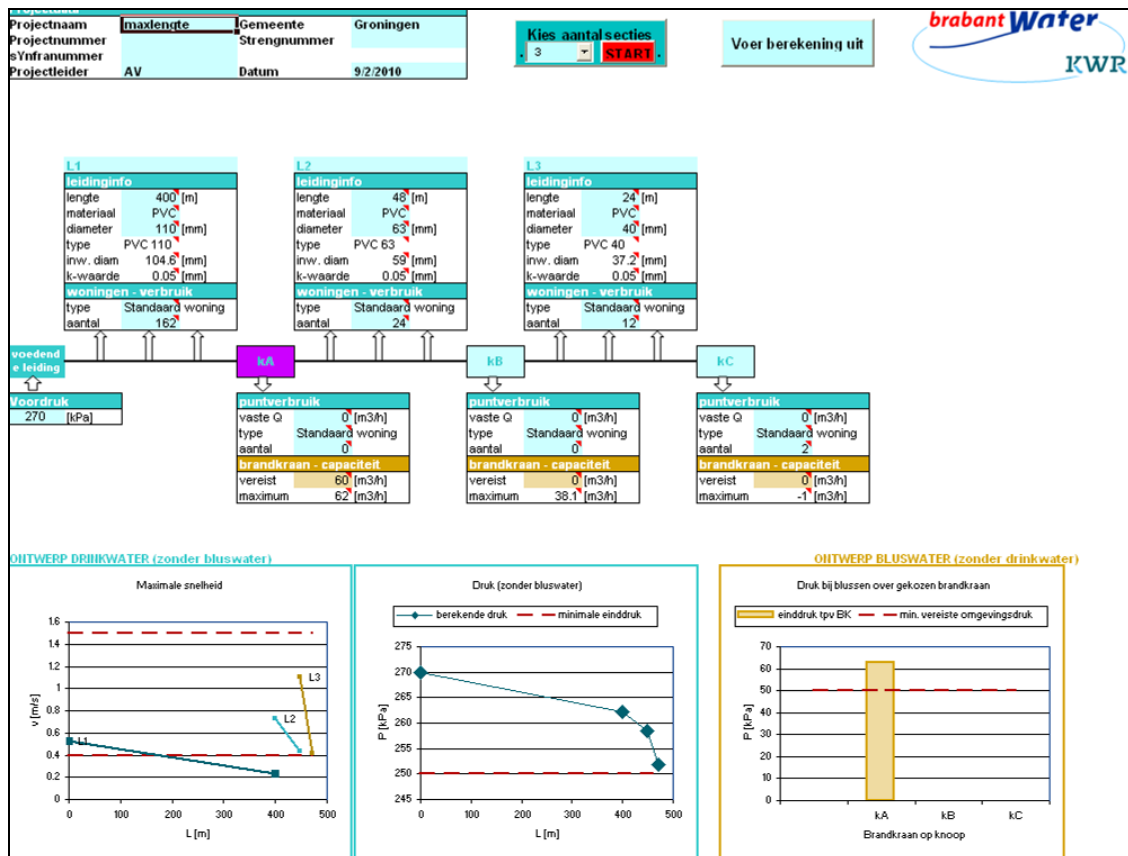
Via een spreadsheet (Trietsch en Blokker 2004) is op basis van de volgende kentallen een economisch optimale sectiegrootte voor het plangebied bepaald:

- Investeringsbedrag van € 1169 per afsluiter, looptijd van 50 jaar en een effectieve rente van 4% kost een afsluiter 54,- per jaar. Hierbij is uitgegaan van de helft diameters 110 en de helft diameter 160 mm en er is een schatting gemaakt van de totale investering per afsluiter, dus inclusief voorbereiding, aankoop inclusief bijbehorende appendages en aanleg.
- Het onderhoud en beheer kosten 23,- per afsluiter per jaar
- 1,14 afsluiters per sectie (57 afsluiters op 50 secties bij het 'Nieuw Ontwerp')
- De storingsfrequentie waarbij afsluiten van een sectie noodzakelijk is geschat op 0,05/km/jaar
- lengte leiding per aansluiting is 0,031 km/aansluiting (circa 23 km / 7470 aansluitingen)
- frequentie van afsluiten is 0,000155 per aansluiting/jaar
- aanzegging kost € 2,- per aansluiting

De economisch optimale sectiegrootte komt hiermee uit op meer dan 300 aansluitingen per sectie. In het ontwerp is echter gekozen voor 150-200 aansluitingen conform de uitgangspunten.

### Maximale leidinglengte binnen een tertiaire tak

Met ontwerpspreadsheet DiVerDi (Blokker 2009) zijn een aantal fictieve situaties doorgerekend op drukval door verbruik en bluswater. De detailberekeningen van het tertiaire net (Figuur 6-1) geven aan dat voor de ontwerpdracht Groningen de bluseis van 60 m<sup>3</sup>/h bepalend is voor de maximale lengte van een tertiaire tak. Bij een voordruk van 270 kPa aan het begin van het tertiaire net, voldoet een lengte van maximaal 400 m PVC110 bij eenzijdige voeding nog juist aan de gewenste bluscapaciteit. Uit de berekening blijkt ook dat met de bluseis van 60 m<sup>3</sup>/h de ontwerpregel voor zelfreinigend vermogen voor circa 50% van het tertiaire net niet gehaald wordt. Om de gewenste ontwerpsnelheid van 0,4 m/s in een groter deel het tertiaire net te halen, dient afgeweken te worden van de beschikbare diameters. Dit is verder niet onderzocht.



Figuur 6-1 Detailberekening van het tertiaire net ten behoeve van het ontwerp van de secundaire lusstructuur.

## 6.2 Stap 2 Bepaling van de ontwerpstructuur

In de ontwerpstructuur wordt de globale ligging van het secundaire net bepaald.

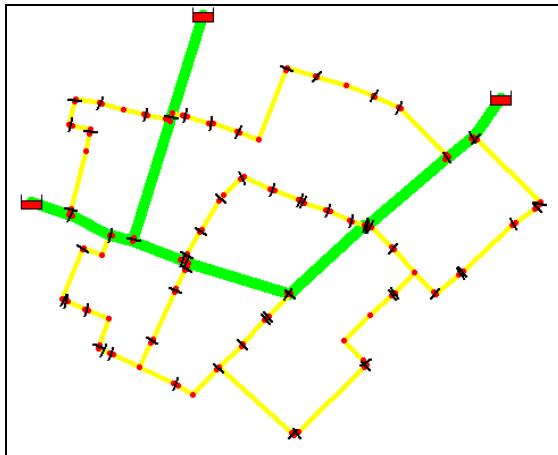
### 6.2.1 Algemeen/overwegingen

Vanwege leveringscontinuïteit dient een sectie altijd minimaal tweezijdig gevoed te worden. Dit betekent dat het secundaire leidingnet vermaasd wordt aangelegd. In deze paragraaf komen de volgende overwegingen aan bod:

- wijze van sectionering en tracékeuze;
- keuze voor grote of kleine mazen in het secundaire net;
- het verband tussen maasgrootte, leidingdiameter en maximum drukval in een secundaire lus.

#### Wijze van sectionering en tracékeuze

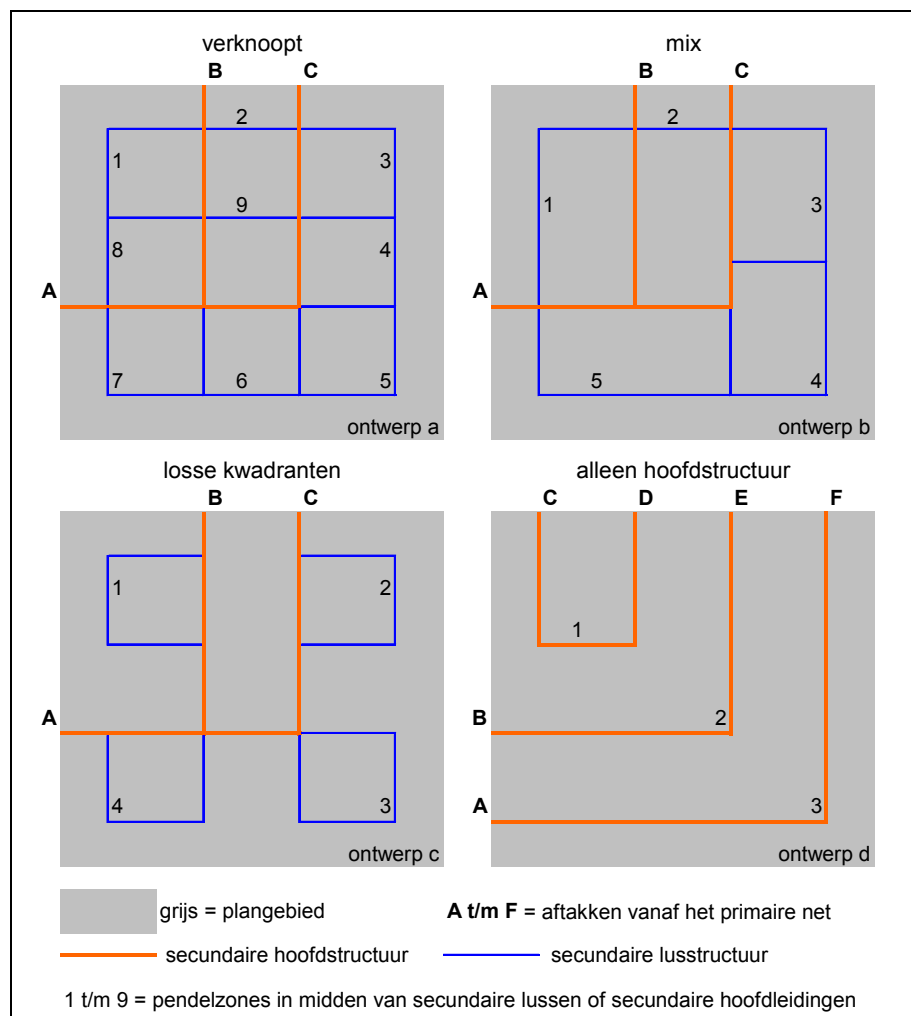
Wanneer het plangebied te groot is om de tertiaire secties direct op één secundaire leiding aan te sluiten, wordt aanbevolen onderscheid te maken in secundaire hoofd- en lusstructuur; zie Figuur 6-2. Het secundaire hoofdnet ontsluit de wijken vanaf de voedingspunten (de rode symbolen in Figuur 6-2) op het primaire net. De secundaire lusstructuur voedt de gesectioneerde tertiaire netwerken. Het tracé van de hoofdleidingen is afhankelijk van het plangebied en de beschikbare voedingspunten vanaf het primaire net. Getracht wordt de hoofdstructuur zoveel mogelijk door het zwaartepunt van de wijk te leggen, rekening houdend met eventuele extra bluscapaciteit bij bijzondere gebouwen of installaties.



Figuur 6-2 Voorbeeld van secundaire hoofd- en lusstructuur.

### Grote of kleine mazen in het secundaire net

Vermazing is nodig vanwege leveringszekerheid en leveringscontinuïteit. Afhankelijk van de lokale situatie zijn verschillende ontwerpconcepten mogelijk. Om het verschil in ontwerpaanpak te verduidelijken zijn in Figuur 6-3 en Tabel 6-2 vier denkbeeldige varianten van een secundair netontwerp weergegeven met bijbehorende kenmerken. De grootte van het plangebied, het grijze vierkant, is in dit voorbeeld steeds 800 x 800 m. De afstand tussen twee secundaire leidingen bedraagt bij alle varianten maximaal 200 m.



Figuur 6-3 Voorbeeld met vier ontwerpvarianten van een secundair net.

Tabel 6-2 Kentallen van vier ontwerpvarianten met verschillende maasgroottes van het secundaire net.

ontwerpgebied 800 x 800 m	ontwerpvariant			
	a	b	c	d
kenmerken	verknoopt	mix	losse kwadranten	alleen hoofdstructuur
maasgrootte	klein	middel	middel	groot
hoofd- en lusstructuur	ja	ja	ja	nee
aantal mazen	11	7	6	3
aantal aftakken op het primaire net	3	3	3	6
aantal pendelzones	9	5	4	3
lengte secundaire net (m)	5100	4300	4100	3200
lengte langste lus (m)*	400	600	800	1400
doorkoppeling van secundaire lussen	ja	ja	nee	nvt

\* De lengte van de langste lus is bepaald als de maximale leidinglengte tussen twee T-stukken in de secundaire netstructuur. T-stukken naar tertiaire aftakken op het secundaire net tellen dus niet mee.

Bij de ontwerpen a, b en c is een hoofd- en lusstructuur toegepast. Met een fijne vermazing, zoals in ontwerp a, zijn voor het bereiken van dezelfde drukval en leveringscontinuïteit kleinere diameters mogelijk. Hierdoor wordt gemiddeld een hogere snelheid in het secundaire net behaald. In het midden van de secundaire lussen is de stroomsnelheid laag en ontstaan pendelzones.

In variant a is het aantal pendelzones het grootst. In de tussenvarianten b en c is het aantal secundaire lussen beperkt, waardoor zowel de lengte van het secundaire net als ook het aantal pendelzones afneemt. In ontwerp c is geen doorlevering tussen de secundaire lussen mogelijk. Ontwerp d kenmerkt zich door grove mazen, relatief grote diameters, weinig pendelzones en een 'parallele structuur' zonder lussen en vertakkingen. Omdat variant d zes voedingspunten heeft, zijn echter meer afsluiters van grote diameters op het primaire net nodig.

Per situatie zijn vaak meerdere ontwerpen mogelijk. Pas na het uitwerken, doorrekenen en toetsen van varianten, blijkt welke aanpak het beste scoort voor een specifieke situatie en gestelde randvoorwaarden. Elke ontwerpvariant in figuur 5-3 heeft gevolgen voor de tertiaire structuur. In tabel 5-2 worden de kenmerken van de tertiaire structuur niet benoemd. Deze zijn echter wel van belang voor een goede afweging tussen de ontwerpvarianten. Voor een vergelijking van twee ontwerpen wordt verwezen naar hoofdstuk 5. Met een vermaasd en slank ontwerp is te besparen op de aanleg van leidingen en afsluiters met grotere diameters zonder dat dit ten koste gaat van de drukhoogte en leveringscontinuïteit.

### Maasgrootte, leidingdiameter en maximum drukval

Tabel 6-3 helpt bij de keuze voor een ontwerp door een overzicht van de berekende maximale drukval voor combinaties van luslengte en het aantal aangesloten huishoudens op een lus voor drie relevante diameters (PVC110, 160 en 200). Bij de berekening is uitgegaan van een maximumverbruik van 0,04 m<sup>3</sup>/h per aansluiting, één diameter over de gehele lus en een evenredige verdeling van de tertiaire secties en verbruik over de lus.

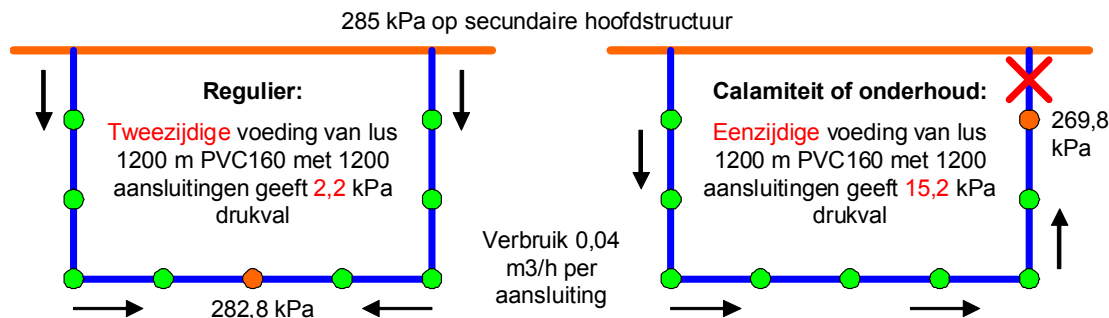
Uit berekeningen volgt dat bij een 1-zijdige voeding, bij calamiteit of onderhoud, de maximale drukval op het meest ongunstige punt in de lus met circa een factor 7 wordt verhoogd; zie Figuur 6-4. Dus bijvoorbeeld bij het voorbeeld voor PVC160, diameter 152 mm, luslengte 1200 m en 1200 huishoudens bedraagt bij 2-zijdig voeding de maximale drukval (in het midden van de lus) 2,2 kPa. Bij 1-zijdige voeding bedraagt de drukval aan het eind van de lus dan circa (7 x 2,2=) 15,2 kPa. Deze vuistregel gaat alleen op bij één diameter over de gehele lus en een evenredige verdeling van het verbruik. Bij verjonging van de lus, dus een kleinere diameter in het midden, zal de drukval met meer dan een factor 7 verhoogd worden.

De groene band in Tabel 6-3 geeft de bruikbare combinaties weer. Blauw gemarkeerd betekent een onnodig grote diameter en maximale stroomsnelheden overwegend kleiner dan 0,2 m/s voor de betreffende combinatie. Bij oranje en rode markering loopt echter de drukval per combinatie van luslengte en aantal huishoudens zodanig op dat bij 1-zijdige voeding de druk beneden de gewenste

bedrijfsnorm kan dalen. Bij de oranje markering ligt bij een 1-zijdige voeding de maximale drukval over de secundaire lus tussen 35 en 70 kPa.

Tabel 6-3 Maximale drukval (kPa) bij tweezijdige voeding bij combinaties van leidingdiameter, luslengte en aantal huishoudens per lus; bij een verbruik van 0,04 m<sup>3</sup>/h per aansluiting.

diameter	luslengte (m)	aantal huishoudens per lus								
		400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
190.2 mm	800	0.1	0.2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.3
190.2 mm	1000	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6
190.2 mm	1200	0.1	0.2	0.4	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	1.9
190.2 mm	1400	0.1	0.3	0.4	0.6	0.9	1.2	1.4	1.8	2.2
190.2 mm	1600	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	2.0	2.5
190.2 mm	1800	0.2	0.4	0.5	0.8	1.1	1.5	1.9	2.3	2.8
190.2 mm	2000	0.2	0.4	0.6	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	3.1
152 mm	600	0.1	0.3	0.5	0.8	1.1	1.4	1.9	2.3	2.8
152 mm	800	0.2	0.4	0.7	1.1	1.5	1.9	2.5	3.1	3.7
152 mm	1000	0.2	0.5	0.9	1.3	1.8	2.4	3.1	3.8	4.6
152 mm	1200	0.3	0.6	1.1	1.6	2.2	2.9	3.7	4.6	5.5
152 mm	1400	0.3	0.8	1.2	1.9	2.5	3.4	4.3	5.4	6.5
152 mm	1600	0.4	0.9	1.4	2.1	2.9	3.8	4.9	6.1	7.4
152 mm	1800	0.4	1.0	1.6	2.4	3.3	4.3	5.6	6.9	8.3
152 mm	2000	0.5	1.1	1.8	2.6	3.6	4.8	6.2	7.7	9.2
104.6 mm	400	0.6	1.3	2.2	3.2	4.5	6.0	7.6	9.5	11.5
104.6 mm	600	0.9	1.9	3.2	4.9	6.7	8.9	11.4	14.2	17.2
104.6 mm	800	1.3	2.6	4.3	6.5	9.0	11.9	15.2	18.9	23.0
104.6 mm	1000	1.6	3.2	5.4	8.1	11.2	14.9	19.0	23.6	28.7
104.6 mm	1200	1.9	3.9	6.5	9.7	13.5	17.9	22.8	28.4	34.5
104.6 mm	1400	2.2	4.5	7.6	11.3	15.7	20.9	26.6	33.1	40.2
104.6 mm	1600	2.5	5.2	8.6	12.9	18.0	23.9	30.5	37.8	46.0
104.6 mm	1800	2.8	5.8	9.7	14.6	20.2	26.8	34.3	42.6	51.7
104.6 mm	2000	3.1	6.5	10.8	16.2	22.5	29.8	38.1	47.3	57.5



Figuur 6-4 Berekende drukval in voorbeeld van secundaire lus met twee- en eenzijdige voeding

### 6.2.2 Tools en hulpmiddelen

- woningbouwplan of VIS-bestand; voor het bepalen van de locatie van de verbruikers in nieuwe of bestaande wijken
- GBKN-kaart met achtergronden van het te ontwerpen gebied; locatie van mogelijke leidingtracés
- tabellen zoals Tabel 6-3 voor een inschatting van de te verwachten drukval voor combinaties van het aantal aansluitingen en luslengte
- LNBP (InfoWorks of SynerGEE) als ontwerpgereedschap: om kaartachtergronden in te lezen; de locatie van verbruikers zichtbaar te maken en te groeperen tot clusters van verbruik; het tekenen van het basispatroon van het gehele leidingnet en het ontwerp van het secundaire net

### 6.2.3 Stappenplan bepalen ontwerpstructuur

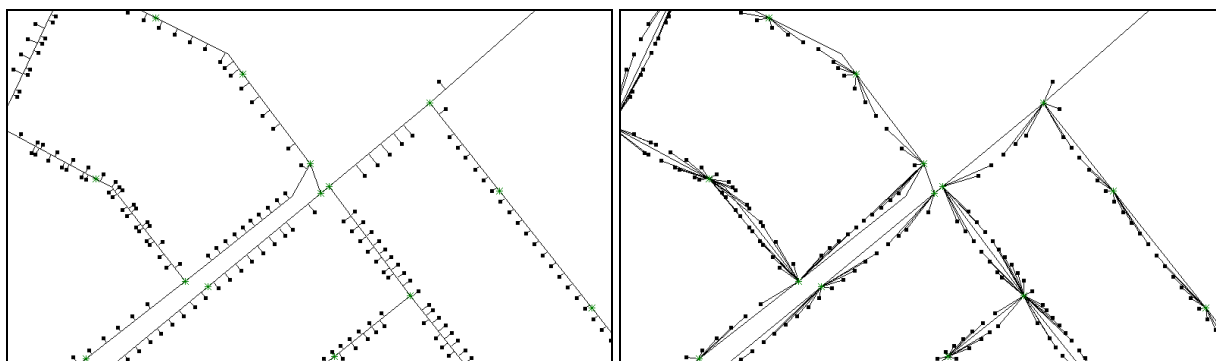
<b>Stap 2.</b>	<b>Maak een ontwerpstructuur (voorbeeld via InfoWorks)</b>
<b>Stap 2.1</b>	Aanmaak van een kaart met zogenaamde customerpoints. Vanuit VIS wordt een gedetailleerd bestand van huisaansluitingen met x-y-locatie en jaarverbruik aangemaakt. Vervolgens is het jaarverbruik per huisaansluiting omgezet naar een maxdag-maxuur-verbruik; bijvoorbeeld 0,04 m <sup>3</sup> /h

per aansluiting. De basisgegevens zijn ingelezen in InfoWorks. De hoogteligging (z-coördinaat) is in dit voorbeeld niet meegenomen maar op NAP-nulhoogte verondersteld.

- Stap 2.2 Teken het basispatroon van het te ontwerpen leidingnet (met een fictieve diameter) op basis van beschikbare leidingtracés, het stratenpatroon en de locatie van huisaansluitingen. Het basispatroon is nog volledig vermaasd en vormt een eerste aanzet voor de secundaire en tertiaire netstructuur. In een latere fase wordt het net in secties verdeeld.
- Stap 2.3 Leg bovenop dit basispatroon een brandkraan-knopenraster met onderlinge afstand van circa 80 m. Plaats de brandkranen daarbij waar mogelijk en effectief op kruisingen en T-splitsingen. Op deze wijze wordt per brandkraan het grootst mogelijke dekkingsgebied gecreëerd.
- Stap 2.4 Wijs via InfoWorks het verbruik toe aan het knoppennetwerk via de dichtstbijzijnde leiding (Figuur 6-5). Op deze wijze worden de verbruiken geclusterd. Het aantal toegewezen aansluitingen per knoop wordt met InfoWorks zichtbaar gemaakt (Figuur 6-6). Hierdoor ontstaat een overzicht van clusters van verbruik ten behoeve van het ontwerpen van de hoofd- en lusstructuur in de volgende stappen.
- Stap 2.5 Bepaal het aantal gewenste aftakkingen op het primaire net en ontwerp het tracé van de secundaire hoofdstructuur (Figuur 6-7). Er wordt dus een keuze gemaakt uit de beschikbare voedingspunten uit stap 1.1.
- Stap 2.6 Bepaal de locatie van secundaire lussen op basis van de maximale sectiegrootte en maximale leidinglengte binnen een sectie. De reikwijdte van de secundaire lussen dient gebiedsdekkend te zijn. Ontwerp hier vanaf de uiterste randen van het projectgebied en werk daarna richting hoofdstructuur.

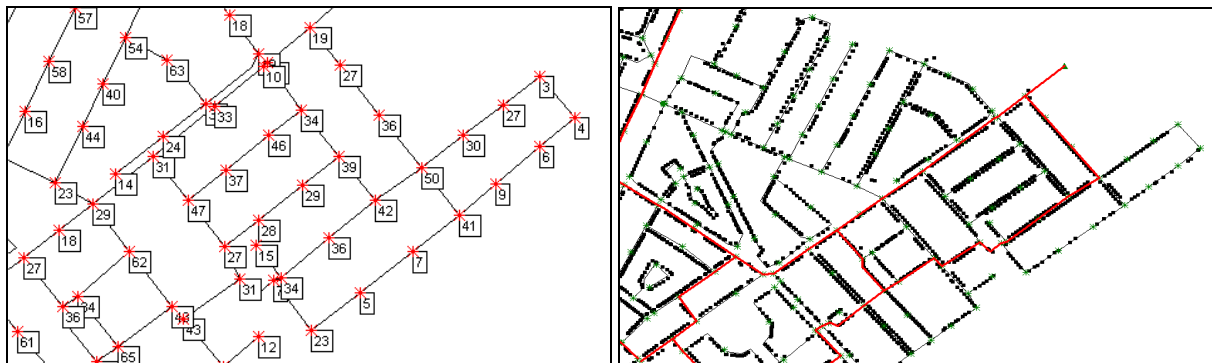
#### 6.2.4 Voorbeeld casestudie

In Figuur 6-5 en Figuur 6-6 wordt het ontwerpproces in visuele stappen beschreven. Via InfoWorks wordt het verbruik toegewezen aan het knoppennetwerk via de dichtstbijzijnde leiding (figuur 5 5). Door de verbruiken te clusteren kan het aantal toegewezen aansluitingen per knoop met InfoWorks zichtbaar worden gemaakt (figuur 5 6). Hierdoor ontstaat een overzicht van clusters van verbruik ten behoeve van het ontwerpen van de hoofd- en lusstructuur in de stappen 2.5 en 2.6. In Figuur 6-7 zijn een aantal randvoorwaarden weergegeven zoals gedefinieerd in Stap 1. In dit voorbeeld is gekozen voor drie hoofdaftakkingen voor circa 7500 woningen.

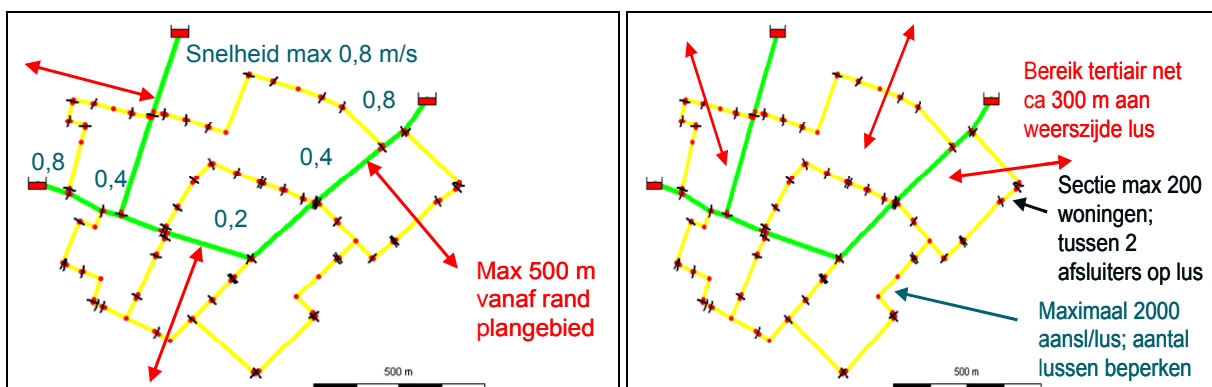


Figuur 6-5 Toewijzing van verbruik via dichtstbijzijnde leiding aan knopen.





Figuur 6-6 Van het aantal aansluitingen per knoop naar een ontwerp van een secundair net.



Figuur 6-7 Aspecten bij het ontwerp van een secundaire hoofd- en lusstructuur.

### 6.3 Stap 3 Sectionering van het secundaire en tertiaire net

#### 6.3.1 Algemeen/overwegingen

In deze stap wordt de ontwerpstructuur in detail uitgewerkt zonder dat er een hydraulische leidingnetberekening aan te pas komt. Deze stap is arbeidsintensief omdat het gehele netwerk in detail geanalyseerd wordt. Het gehele netwerk wordt vanaf de aansluiting op het primaire net tot in de uithoeken van het plangebied ingedeeld in secties. Door het creëren van tertiaire takken wordt het secundair net ingezet voor transport vanaf het primaire net tot aan de tertiaire secties. Bij het indelen van de secties gelden de volgende richtlijnen:

- beperk het maximaal aantal aansluitingen per sectie,
- houd de in Stap 1.6 berekende maximale lengte van tertiaire takken aan,
- houd het aantal afsluiters per sectie beperkt, bij voorkeur twee en met een maximum van drie
- creëer geen afhankelijke secties. Het ontstaan van afhankelijke secties waarbij een afsluiter binnen een andere sectie valt, is ongewenst.

Afhankelijke secties zijn vaak secties met één afsluiter (=afsluiten van takken). Een groot aantal secties met één afsluiter betekent dat er veel aftakkingen/afhankelijke secties in het net aanwezig zijn.

#### 6.3.2 Tools en hulpmiddelen

- een leidingnetberekeningsprogramma (LNBP) voor het overzicht van clusters van aantallen aansluitingen per straat
- GBKN-kaart met achtergronden van het te ontwerpen gebied
- TIF-bestand van de LIS-kaart (als digitale achtergrond)
- Eventueel een programma zoals MS Office Document Imaging om met digitale ondergrond en digitale markeerstiften het ontwerp te schetsen. Bij het ontwerpen zijn wijzigingen dan relatief gemakkelijk door te voeren.

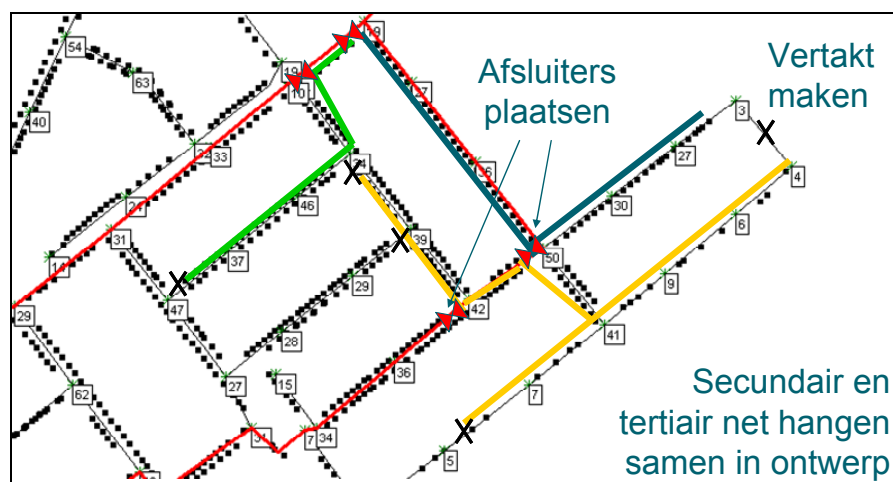
### 6.3.3 Stappenplan sectionering

Stap 3.	<i>Maak een indeling in secties</i>
Stap 3.1	<i>Groep de aantal aansluitingen in het net tot secties van circa 150 tot 200 aansluitingen.</i>
Stap 3.2	<i>Begrens de tertiaire vertakte sectie door het aanwijzen van eindleidingen.</i>
Stap 3.3	<i>Plaats afsluiters op de secundaire leidingen.</i>

### 6.3.4 Voorbeeld casestudie

Figuur 6-8 geeft de stappen voor de indeling in secties weer:

- Als basiskaart wordt de ondergrond met verbruikspunten en de ontwerpstructuur gebruikt. Hierop is in rood de ligging van de secundaire hoofd- en lusstructuur (uit Stap 2.5 en Stap 2.6) ingetekend en zijn de aantallen verbruikers per knoop weergegeven (Stap 2.4). Aanbevolen wordt om dit ontwerpproces op papier of digitaal voor te bereiden en pas daarna per deelgebied door te voeren in een LNBP.
- Met een kleurpotlood of (digitaal) markeerstift worden secties gemarkeerd. Een sectie is een aaneengesloten stuk leidingen met 150 tot 200 aansluitingen. Hierbij dient rekening gehouden te worden met een logische aangesloten ligging van naburige secties en de maximale leidinglengte van een tertiaire tak, zoals bepaald in Stap 1.6.
- De secties worden vervolgens begrensd door de einden van een tertiaire sectie aan te wijzen en door het plaatsen van afsluiters in het secundaire net.



Figuur 6-8 Van het ontwerp naar een indeling in secties. Zwart= ontwerpstructuur met verbruikspunten. Rood= secundaire hoofd- en lusstructuur. Blauw, geel en groen= tertiaire secties.

## 6.4 Stap 4 Bepaling diameter van de leidingen

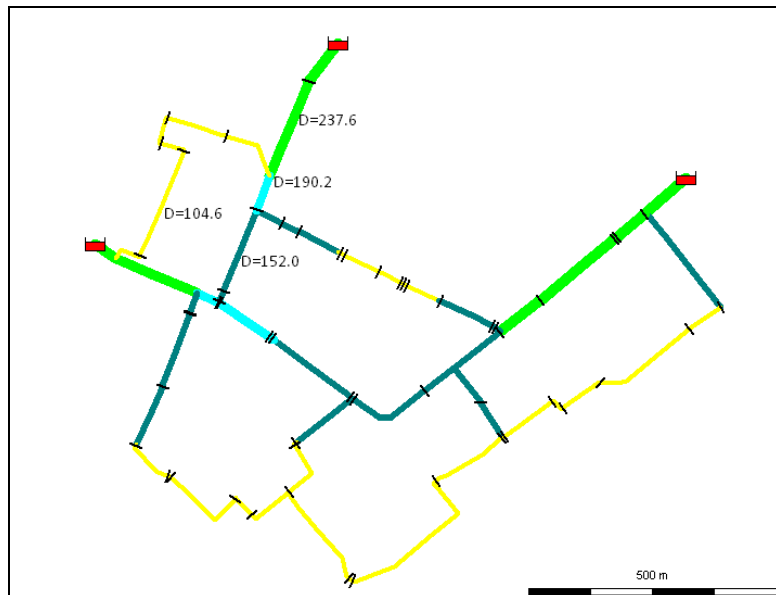
### 6.4.1 Algemeen/overwegingen

Deze nadere invulling van de secundaire hoofd- en lusstructuur is pas mogelijk na de indeling in secties. Door een ontwerpverbruik per huisaansluiting aan te houden, is de verdeling van het verbruik op het secundaire net bekend. Uitgangspunt bij de bepaling van de diameters is een zo slank mogelijk secundair net, zonder dat de druk in maxuur-maxdag situatie beneden de minimale drukhoogte daalt. Bovendien dient rekening gehouden te worden met de leveringscontinuïteit. In geval van een tijdelijke 1-zijdige voeding in het secundaire net, dient de drukval beperkt te blijven; zie Figuur 6-4.

De berekende diameter in het secundaire net is de uitkomst van de afweging van de gewenste minimale druk aan het begin van het tertiaire net en de kleinst mogelijke diameter van het secundaire net. In navolging van het ontwerp van het tertiaire net wordt een ontwerpsnelheid van circa 0,4 tot 0,8 m/s aangehouden.

### Constate diameter of verjonging in de secundaire lus

In Tabel 6-3 is als voorbeeld uitgegaan van een constante diameter over de gehele lengte van de secundaire lussen. Met kleinere diameters in het midden van de secundaire lussen en 'verjonging' in de secundaire hoofdstructuur, blijft de snelheid voldoende hoog en de drukval beperkt. Een voorbeeld van een secundair net met 'verjongde delen' is weergegeven in Figuur 6-9.



Figuur 6-9 Voorbeeld van een secundaire hoofd- en lusstructuur met kleinere diameters waar dat mogelijk is.

Het verjongen heeft voor de drukval bij reguliere watervoorziening nauwelijks gevolgen; de snelheid in het middeldeel van de lus is immers relatief laag. Voor de leveringscontinuïteit kan verjonging ongunstig uitpakken. Wanneer blijkt dat de leveringscontinuïteit niet aan de gewenste norm voldoet, dient verjonging beperkt of niet toegepast te worden.

#### 6.4.2 Tools en hulpmiddelen

- een leidingnet berekeningsprogramma (LNBP)

#### 6.4.3 Stappenplan bepaling diameters

Stap 4.	<i>Bepaal stapsgewijs de diameters van de secundaire hoofd- en lusstructuur met behulp van hydraulische berekeningen</i>
Stap 4.1	<i>Bepaal de startdiameter van de secundaire hoofdstructuur en startdiameter van de secundaire lussen. Houd voor de hoofdstructuur een diameter aan die overeenkomt met een snelheid van 0,8 m/s per hoofdaftak op het primaire net bij een normverbruik van 0,04 m<sup>3</sup>/h. Voor de secundaire lussen wordt een startwaarde van 104,6 mm (PVC110) voorgesteld. Voer een hydraulische berekening uit.</i>
Stap 4.2	<i>Verzwaar het gedeelte van de secundaire lussen bij drukgradiënt &gt; 50 Pa/m<sup>2</sup>) en reken opnieuw door.</i>
Stap 4.3	<i>Verklein de diameter van de hoofdstructuur indien de snelheid &lt; 0,4 m/s. Herhaal indien nodig. Houd een minimale diameter van 152 mm (PVC160) aan.</i>
Stap 4.4	<i>Verzwaar een gedeelte van de lussen indien én de drukgradiënt van het secundaire net &gt; 40 Pa/m én aanliggende knooppunten een druk &lt; 270 kPa op maxuur hebben.</i>

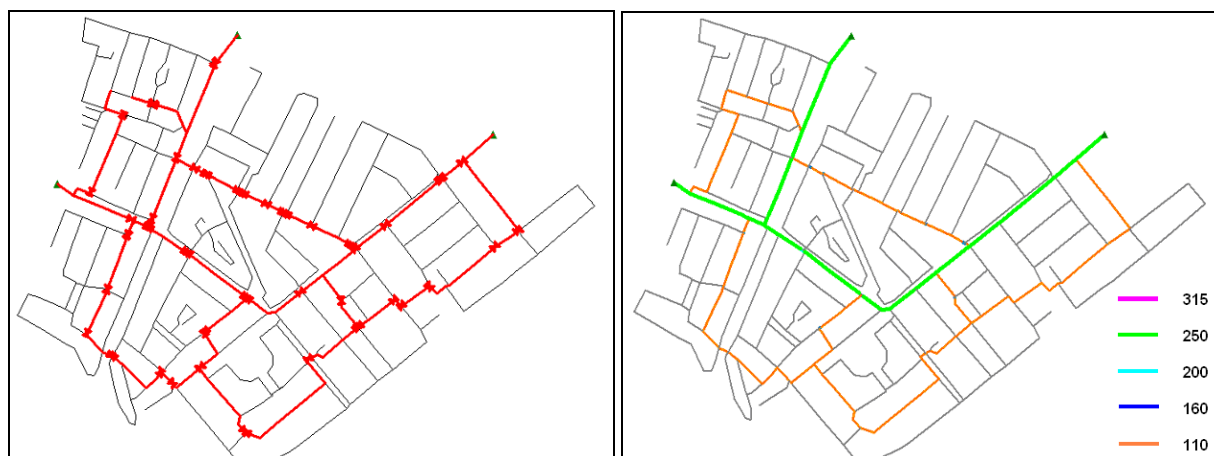
) De SI-eenheid is pascal per meter (Pa/m), maar in de praktijk en bij leidingnetberekeningen wordt meestal mwk/km gebruikt: 50 Pa/m  $\equiv$  50 kPa/km  $\approx$  5 mwk/km

#### 6.4.4 Voorbeeld casestudie

Voor de casestudie zijn de stappen als volgt ingevuld:

- Voor de hoofdstructuur is een startdiameter aangehouden die overeenkomt met een snelheid van 0,8 m/s per hoofdaftak op het primaire net bij een normverbruik van 0,04 m<sup>3</sup>/h (PVC250 inwendig 237,6 mm). Voor de secundaire lussen is een startwaarde van 104,6 mm (PVC110) gebruikt; zie Figuur 6-10. De hydraulische berekening is met InfoWorks uitgevoerd.
- Verzwaar het gedeelte van de lussen van 104,6 naar 152 mm (PVC110 naar PVC160) bij drukgradiënt > 50 Pa/m (Figuur 6-11a) en reken opnieuw door.
- Verklein de diameter van de hoofdstructuur in twee rekenslagen indien de snelheid < 0,4 m/s. Verklein eerst een gedeelte van de hoofdstructuur van 237,6 mm naar 190,2 mm (Figuur 6-11b) en vervolgens weer een gedeelte daarvan van 190,2 naar 152 mm indien de snelheid < 0,4 m/s en (Figuur 6-12a).
- Verzwaar een gedeelte van de lussen van 104,6 naar 152 mm indien drukgradiënt van het secundaire net > 40 Pa/m op maxuur bedraagt (Figuur 6-12b).

De keuze van grenswaarden zoals een maximale drukgradiënt van 40 of 50 Pa/m voor de lusstructuur en een minimale snelheid van 0,4 m/s voor de hoofdstructuur zijn voor deze situatie proefondervindelijk gekozen. Het uiteindelijke resultaat van deze stappen dient binnen de randvoorwaarden van Stap 1.2 te liggen. De berekende minimale druk aan het begin van de tertiaire takken bedraagt 274 kPa en voldoet dus aan de randvoorwaarde (270 kPa). Met deze aanpak bedraagt, bij een verbruik van 0,04 m<sup>3</sup>/h per aansluiting, de berekende maximale drukval in het secundaire net 16 kPa. Figuur 6-9 is het uiteindelijke resultaat van het ontwerp met de berekende diameters.



Figuur 6-10 a. Selectie secundair net; b. start met diameter hoofdstructuur 237,4 mm en secundaire lussen 104,6 mm.



Figuur 6-11 a. Na berekening, lussen met drukgradiënt > 50 Pa/m van 104,6 naar 152 mm; b. Hoofdstructuur met snelheid < 0,4 m/s van 237,4 naar 190,2 mm



Figuur 6-12 a. Hoofdstructuur met snelheid  $< 0,4$  m/s van 190,2 naar 152 mm; b. Lus met drukgradiënt  $> 40$  Pa/m van 104,6 naar 152 mm

## 6.5 Stap 5 Toetsing op bluswatervoorzieningen

### 6.5.1 Algemeen/overwegingen

Bij het maken van de ontwerpstructuur is in Stap 2.3 een raster van brandkranen om de 80 m op het leidingnet geplaatst. Daarnaast is op basis van spreadsheetberekening in Stap 1.6 rekening gehouden met een maximale lengte van de tertiaire takken. In de spreadsheetberekeningen is het huishoudelijk verbruik binnen de sectie, bij brand op nul gesteld. Bij de toetsing met een LNBP wordt met een drukafhankelijk verbruik voor het gehele gebied gerekend met een standaard uurverbruik per aansluiting.

### 6.5.2 Tools en hulpmiddelen

- een leidingnetberekeningsprogramma (LNBP)

### 6.5.3 Stappenplan toetsing bluscapaciteit

Stap 5.	<i>Bepaal de capaciteit van de brandkranen met behulp van hydraulische berekeningen</i>
Stap 5.1	<i>Wijzig het normverbruik per aansluiting voor deze toets.</i>
Stap 5.2	<i>Voer de eigenschappen van de brandkranen (verlieskromme) en variabelen voor brandkraanberekening (restdruk) in.</i>
Stap 5.3	<i>Bereken per brandkraan de capaciteit.</i>

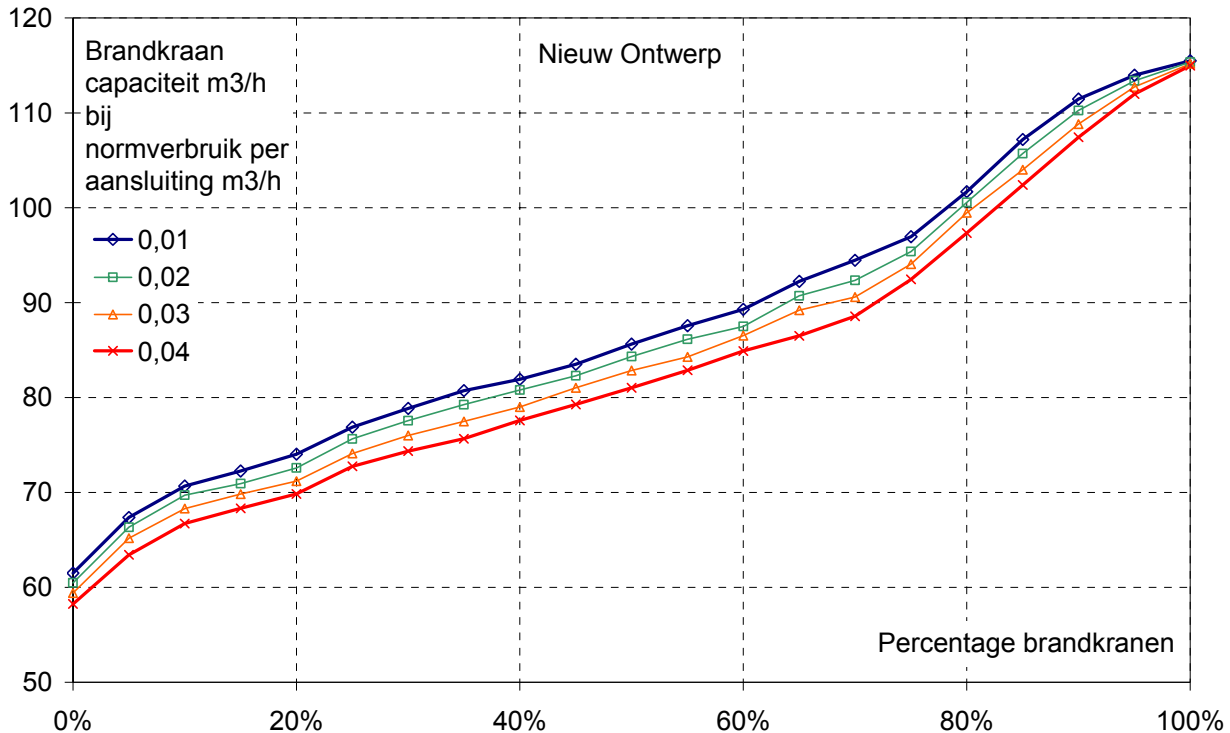
### 6.5.4 Voorbeeld casestudie

In de hydraulische berekening is uitgegaan van een drukverlies van circa 65 kPa over de brandkraan bij 60 m<sup>3</sup>/h. Als benodigde restdruk aan de uitstroomzijde van de brandkraan is 50 kPa aangehouden. De hydraulische berekening wordt per brandkraan uitgevoerd, waarbij een normverbruik van 0,01 m<sup>3</sup>/h per huisaansluiting voor het gehele modelgebied is aangehouden. Dit komt ongeveer overeen met het gemiddelde uurverbruik. Er is gerekend met drukafhankelijk verbruik met een drempel van 200 kPa. De brandkranen bevinden zich zowel in het secundaire als tertiaire net.

Na toetsing van het 'Nieuw Ontwerp' bleken alle brandkranen voldoende capaciteit te hebben; de laagst berekende capaciteit bedroeg 61,5 m<sup>3</sup>/h. Bij onvoldoende brandkraan capaciteit, wordt aanbevolen in stap 4 de criteria voor diameterkeus te wijzigen en opnieuw te toetsen.

Om de gevoeligheid van het gekozen normverbruik te bepalen voor de brandkraan capaciteit, zijn drie extra modelberekeningen gedaan met circa 200 brandkranen gedaan met telkens een verhoging van het

normverbruik per aansluiting met  $0,01 \text{ m}^3/\text{h}$ . In Figuur 6-13 is op de x-as is de rangorde van de brandkranen en op de y-as de berekende brandkraancapaciteit voor de vier berekening met oplopend normverbruik weergegeven. Bij een normverbruik voor een maxdag-maxuur-situatie van  $0,04 \text{ m}^3/\text{h}$  per aansluiting bleek bij het 'Nieuw Ontwerp' slechts één brandkraan niet aan de vereiste  $60 \text{ m}^3/\text{h}$  te voldoen.



Figuur 6-13 Berekende brandkraancapaciteit in het ontwerpgebied bij vier normverbruiken.

## 6.6 Stap 6 Toetsing op leveringszekerheid en analyse van leveringscontinuïteit

### 6.6.1 Algemeen/overwegingen

De definitie voor leveringszekerheid in het drinkwaterbesluit is: 'Bij uitval van een hoofdelement van het drinkwatersysteem van een waterleidingbedrijf dient in zwaartepunten van verbruik het resterende leveringsvermogen van het systeem op dagbasis groter te zijn dan 75% van de maximum dag'. Zwaartepunten van verbruik zijn daarbij dorpen of stadswijken met circa 2000 aansluitingen. De toetsing van de leveringszekerheid van een voorzieningsgebied richt zich op de uitval van onderdelen van productie- en distributie-installaties en op langdurige uitval van een beperkt aantal geselecteerde secties van (hoofd)leidingen.

De analyse van de leveringscontinuïteit in een voorzieningsgebied richt zich echter op alle secties en ook op onderbrekingen van relatief korte duur. Indien bij de analyse van leveringscontinuïteit de druk op een maxuur-maxdag overal boven  $150 \text{ kPa}$  blijft, wordt voldaan aan de norm voor leveringszekerheid. Op basis van beschikbare software, onderscheiden we twee soorten analyses voor leveringscontinuïteit; beide methoden vullen elkaar aan:

- CAVLAR berekent het gemiddelde aantal Ondermaatse LeveringsMinuten (OLM) op basis van de leidingconfiguratie en een aantal statistische kentallen. CAVLAR neemt de statistische faalkans van leidingen en afsluiters mee in een analyse. CAVLAR bepaalt echter alleen de kans dat een aansluiting wel of geen water heeft en dus niet de drukverlaging in naburige getroffen secties.
- Moderne LNBP's zoals InfoWorks hebben de mogelijkheid om geautomatiseerd stapsgewijs de uitval van alle secties te simuleren. Het resultaat is de berekende restdruk in naburige secties.

Via analyse kan een uitspraak gedaan worden over de eventuele hinder in naburige getroffen secties.

Voor de toetsing van de leveringscontinuïteit bestaan op dit moment geen eenduidige (bedrijfs)normen. In §5.2 zijn twee ontwerpen kwantitatief vergeleken via bovenstaande methoden.

### **6.6.2 Tools en hulpmiddelen**

- CAVLAR
- Leidingnetberekeningsprogramma

### **6.6.3 Stappenplan toetsing leveringscontinuïteit**

<i>Stap 6.</i>	<i>Analyse van leveringscontinuïteit (met behulp van InfoWorks)</i>
<i>Stap 6.1</i>	<i>Stel de sectiegrenzen vast ('Set isolation area code').</i>
<i>Stap 6.2</i>	<i>Maak een 'Critical Link Analysis'-berekening, waarbij elke sectie per testberekening wordt geïsoleerd.</i>
<i>Stap 6.3</i>	<i>Laat InfoWorks geautomatiseerd een samenvatting aanmaken van alle testberekeningen ('Service Level Summary Dialog').</i>

### **6.6.4 Voorbeeld casestudie**

De resultaten van deze analyse zijn §5.2 beschreven. Er was bij het doorgerekende voorbeeld geen reden om terug te gaan naar stap 4 (herberekening van diameters); stap 3 (herinrichting van secties) of eventueel stap 2 (herinrichting van ontwerpstructuur).

In bijlage III wordt voor een eenvoudig leidingnetmodel toegelicht hoe de Critical Link Analysis werkt.

# 7 Verbruikstoekenning in een secundair net

## 7.1 Inleiding

Het secundaire net heeft een vermaasde structuur. In de ontwerpfase is het belangrijk om te bepalen of de druk onder normale omstandigheden voldoende hoog is en of in het geval van een calamiteit er voldoende druk overblijft om de leveringscontinuïteit te kunnen waarborgen. Om in een vermaasde structuur de druk te berekenen is een leidingnetberekeningsprogramma (LNBP, zoals InfoWorks of ALEID) noodzakelijk. Een LNBP gaat uit van een model met daarin verbruiken die bij elkaar worden opgeteld (d.w.z. er wordt gebruik gemaakt van een lineaire relatie voor het verbruik). De verbruiken kunnen bestaan uit een patroon over de dag of slechts één maatgevende waarde, bijvoorbeeld het maximale verbruik eens per 10 jaar.

De verbruikstoekenning in het primaire net wordt gedaan met de piekfactorenmethode; dit houdt een lineaire relatie in tussen  $Q_{\max}$  en  $n$  ( $n$  is het aantal woningen). In het LNBP wordt deze maatgevende waarde ingevoerd in de verbruiksknoppen.

De verbruikstoekenning in het tertiaire net kan in een spreadsheet worden gedaan, omdat er sprake is van een vertakte structuur. Het is daarin mogelijk om een lineaire relatie tussen  $Q_{\max}$  en  $n$  te implementeren, maar ook een niet-lineaire zoals de  $q\sqrt{n}$ -methode of de alternatieve SIMDEUM ( $q_1 + q_2\sqrt{n} + q_3*n$ ) - methode (Blokker 2010).

De vraag is welke verbruikstoekenning in het secundaire net moet worden toegepast, meer specifiek in de ontwerpfase van het secundaire net. Er zijn enkele alternatieven denkbaar:

- A. Maak gebruik van een LNBP met de piekfactorenmethode:  
Iedere verbruiksknoop krijgt een specifieke waarde voor maximaal verbruik. Deze verbruiken worden bij elkaar opgeteld.
- B. Maak gebruik van een LNBP met SIMDEUM-patronen:  
Iedere verbruiksknoop krijgt dan een eigen uniek verbruikspatroon. Deze verbruiken kunnen bij elkaar worden opgeteld. Het maximale verbruik wordt dan bepaald door de hoogte van de verbruiken en de verdeling over de dag; niet in alle knopen vindt het maximaal verbruik op het zelfde moment plaats. Omdat SIMDEUM willekeurige patronen oplevert is de uitkomst van een LNBP-berekening niet voldoende. Er moet met een grote hoeveelheid sets van willekeurige patronen worden gerekend (oftewel willekeurige dagen in het jaar), waarbij de drukken in alle gevallen (of in 99 %) moeten voldoen. Onbekend is hoeveel berekeningen gedaan moeten worden. Een praktisch probleem is verder dat er nog geen automatische methode beschikbaar is om SIMDEUM-patronen aan een LNBP te koppelen en ook de uitkomsten van vele berekeningen met een LNBP zijn nog niet eenvoudig met elkaar te vergelijken; dit moet nu nog buiten het LNBP, bijvoorbeeld in een spreadsheetprogramma, worden gedaan.
- C. Maak gebruik van een "doorgeknijpt" vermaasd net en spreadsheet met daarin een niet-lineaire relatie tussen  $Q_{\max}$  en  $n$ :  
Neem het ontwerp van het secundaire vermaasde net en verdeel deze in twee (of meer) vertakte netten zodat de niet-lineaire relatie tussen  $Q_{\max}$  en  $n$  kan worden toegepast. De knip voor de normale situatie ligt bij de pendelzones; de knip voor de situatie met een leveringsonderbreking ligt aan het einde van een streng.

Alternatief A is het eenvoudigst en is in hoofdstuk 6 toegepast. Alternatief B wordt in §7.3 onderzocht en wordt vergeleken met alternatief A. Alternatief C is niet onderzocht, maar de relatie in §7.2 kan daarin worden toegepast.

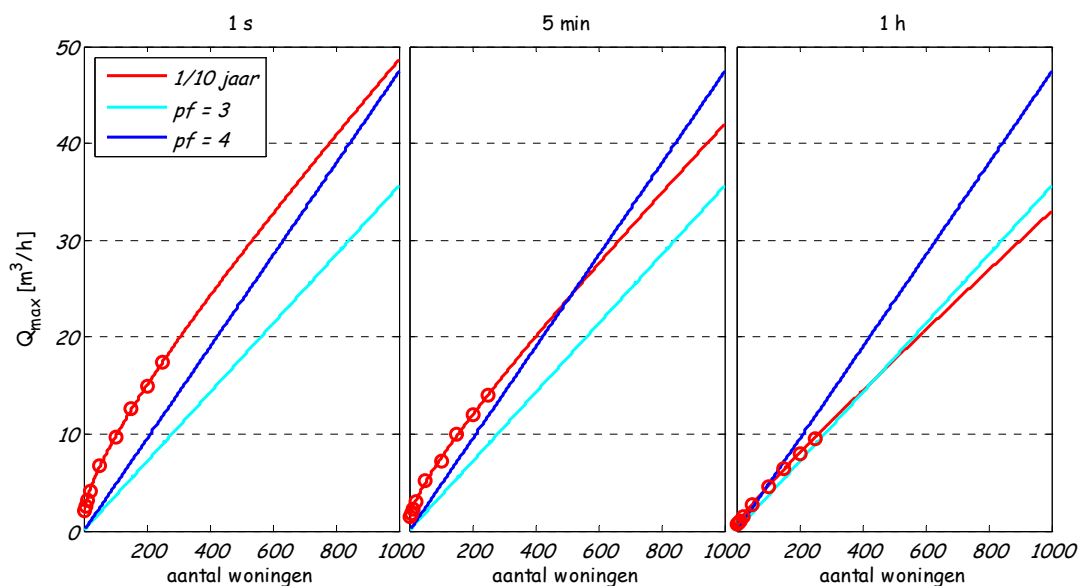


## 7.2 Relatie tussen $Q_{\max}$ en $n$

In het secundaire net is sprake van clusters van verbruik van maximaal 200-250 woningen (namelijk de aftakkingen naar het tertiaire net). Eerst wordt gekeken wat de relatie is tussen het aantal woningen ( $n$ ) en het maximale verbruik ( $Q_{\max}$ ).

Met SIMDEUM zijn verbruikspatronen gesimuleerd en zijn de maximaal te verwachten volumestromen bepaald, eens per 10 jaar, voor 1-250 achterliggende woningen op verschillende tijdschalen (het maximale verbruik in een seconde, in vijf minuten en in een uur). In Figuur 7-1 zijn dat de rode bolletjes. Op deze data kan de functie  $Q_{\max} = q_1 + q_2 \cdot \sqrt{n} + q_3 \cdot n$  worden gefit ( $n$  is het aantal woningen). Dit is de rode lijn. Omdat de gevonden relatie bijzonder goed past (op  $n = 1$  tot 250), wordt de lijn doorgetrokken tot 1000 woningen.

Met behulp van de piekfactorenmethode kan ook een maximaal verbruik worden geschat met behulp van  $Q_{\max} = 2,23$  (inw/woning) \* 127,5 (L/persoon.dag) / 24 (uur) /  $10^3$  (L/m<sup>3</sup>) \* piekfactor \*  $n$ . De blauwe lijnen geven  $Q_{\max}$  bij een piekfactor van 3 en 4 weer.



Figuur 7-1 Relatie tussen  $Q_{\max}$  (eens per 10 jaar) en het aantal woningen ( $n$ ) voor verschillende tijdschalen.

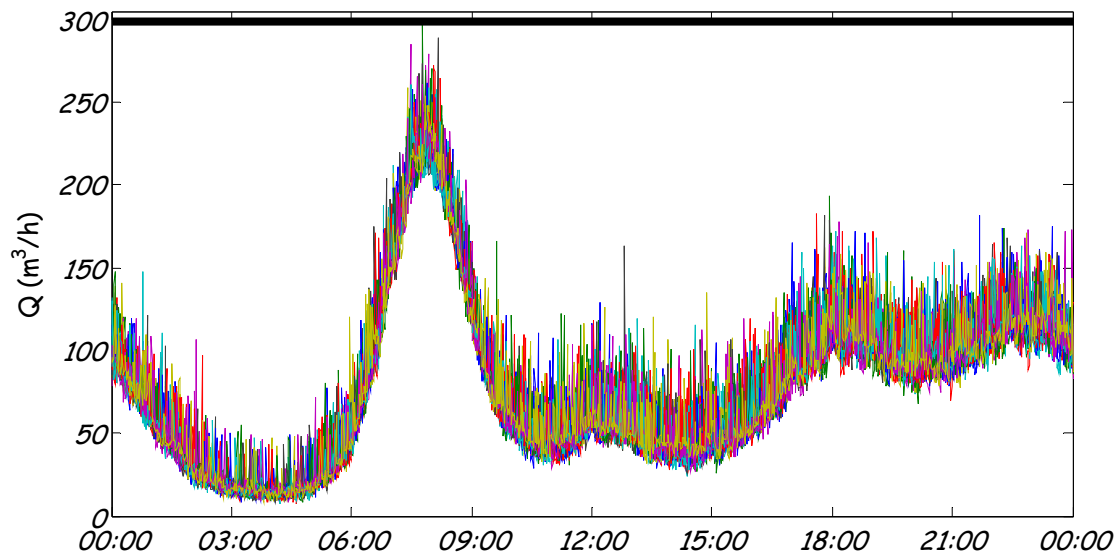
Uit Figuur 7-1 blijkt dat de relatie tussen  $n$  en  $Q_{\max}$  bij een kortere tijdschaal dan 1 uur niet lineair is, in ieder geval gaat de beste benadering van een rechte lijn niet door de oorsprong. Dat betekent dat het niet correct zou zijn om de piekfactorenmethode toe te passen in het secundaire net.

## 7.3 Gevoeligheidsanalyse

Het secundaire net van hoofdstuk 6 ('Nieuw Ontwerp' van een wijk in de stad Groningen) is doorgerekend volgens alternatief B uit §7.1.

- In InfoWorks is een bestand met circa 400 verbruiksknoppen (customerpoints) met elk gemiddeld circa 20 aansluitingen aangemaakt (Figuur 7-3).
- Met SIMDEUM zijn 20 sets van dagpatronen met een tijdstap van 1 minuut gegenereerd (InfoWorks accepteert geen kortere tijdstappen) en geïmporteerd in het leidingnetmodel. Hiervan zijn 20 submodellen gemaakt (genaamd SIMDEUMpat #1 - SIMDEUMpat #20), elk met hun eigen unieke set SIMDEUM-patronen.
- De 20 modellen zijn voor 24 uur doorgerekend en de uitkomsten zijn geanalyseerd in Excel en Matlab®:
  - De totale volumestroom die de wijk ingaat (Figuur 7-2).
  - De minimumdruk over de dag op circa 70 representatieve knopen op het secundaire net (het tertiaire net is buiten beschouwing gelaten).

Het totale verbruik per minuut volgt een grillig patroon en verschilt sterk tussen de 20 submodellen (Figuur 7-2). Het maximum van alle 20 modellen is iets lager ( $297,0 \text{ m}^3/\text{h}$  bij submodel SIMDEUMpat #1) dan wat met de piekfactorenmethode is aangehouden ( $0,04 * 7470 = 298,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ). De inschatting van de piekfactor lijkt dus wel realistisch op deze tijdschaal (1 minuut).



Figuur 7-2 Totaal verbruik in de 20 SIMDEUM-modellen; de dikke rechte lijn is de waarde volgens de piekfactorenmethode van  $0,04 \text{ m}^3/\text{h}$  per aansluiting.

De minimale druk die op een bepaalde knoop wordt gevonden in de 20 submodellen is aan een statistische analyse onderworpen. Voor de 71 knopen is met een Lilliefors-test getest of de uitkomsten uit een normale verdeling komen:

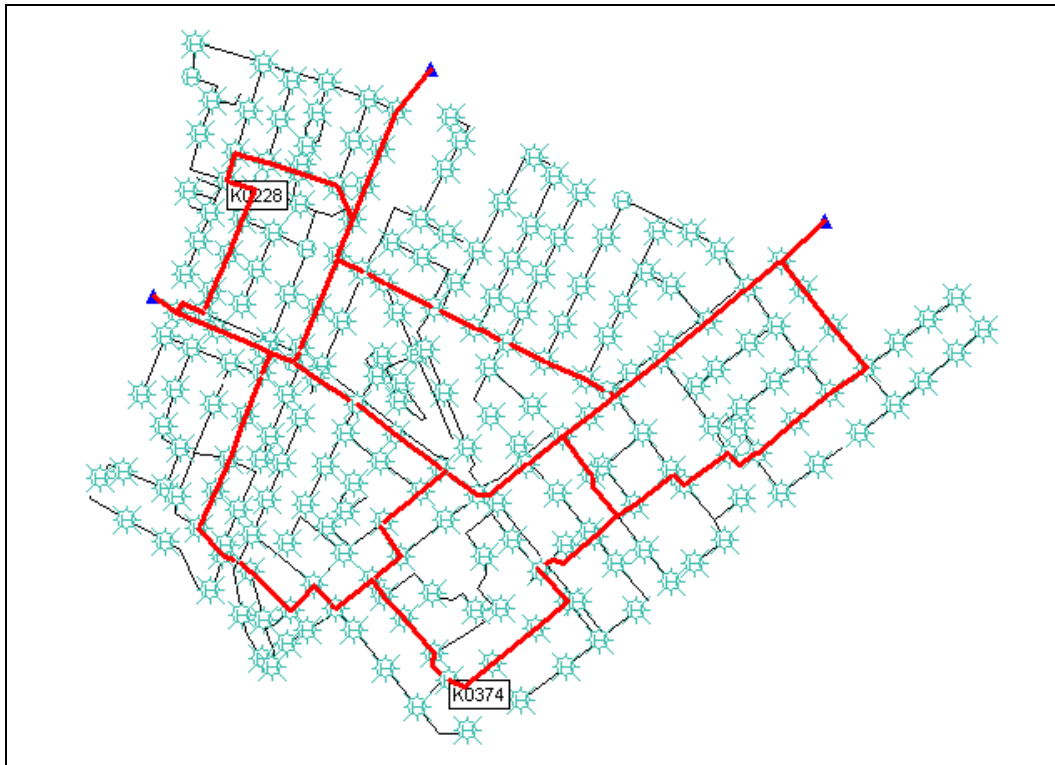
- voor 22 knopen werd de hypothese van een normale verdeling verworpen,
- voor de overige 49 knopen kon de hypothese niet worden verworpen (en wordt dus aangenomen dat een normale verdeling kan worden verondersteld).

Voor de 22 knopen waarvan de minimale druk niet normaal verdeeld was kon de Lilliefors-test niet goed worden toegepast, omdat de afronding op 1 cijfer achter de komma (bij druk in kPa) in dezelfde orde van grootte was als de standaard deviatie. Voor de knopen waarvan de minimale druk wel normaal verdeeld is, kan een minimale druk berekend worden als het gemiddelde min 2 maal de standaard deviatie (95-percentiel) of als het gemiddelde min 3 maal de standaard deviatie (99-percentiel). Het op deze manier berekende 95-percentiel komt sterk overeen met de minimale druk van de 20 submodellen (dat in wezen het 95-percentiel is).

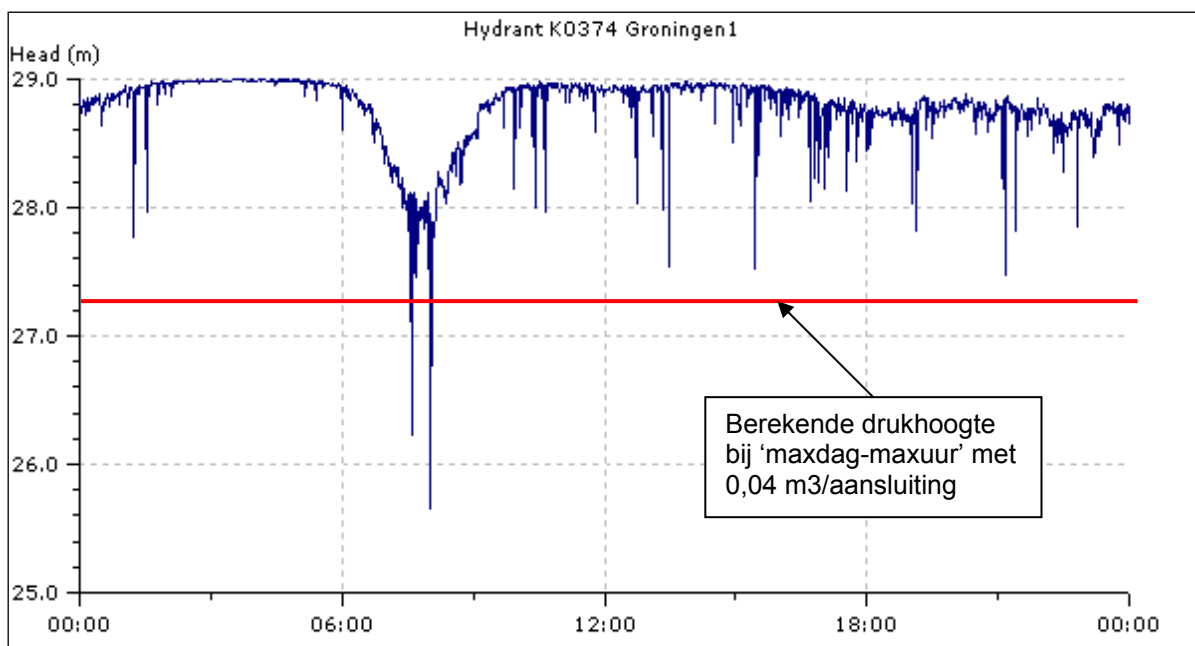
Er is verder gerekend met de uitkomsten van de 20 modellen (en niet met de statistisch bepaalde drukken). Dit heeft als voordeel dat beter gekeken kan worden naar specifieke gevallen die kunnen laten zien hoe lang de minimale druk optreedt of waarom de minimale druk op een bepaalde knoop optreedt. De laagste druk die optreedt, hoeft niet samen te vallen met de hoogste totale volumestroom, omdat lokale verbruikspatronen meer invloed kunnen hebben dan het totale verbruik.

Op knoop K0374 was de minimale druk over een dag bij 10 submodellen lager dan 270 kPa, bij 10 submodellen was de minimale druk 270 kPa of hoger. De onderschrijding treedt slechts gedurende 1 minuut op, en een enkele keer gedurende 2 minuten (SIMDEUMpat #1; Figuur 7-4). Dezelfde tijd was de druk ook lager dan de met de piekfactorenmethode berekende minimale druk van 273 kPa.

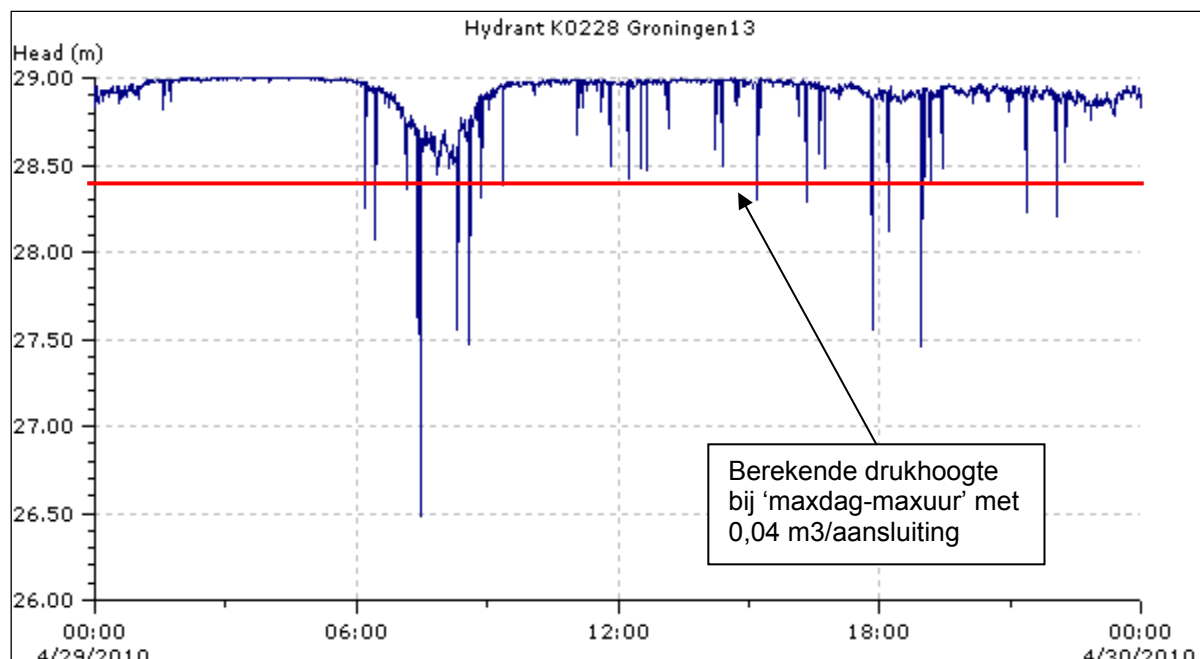
Op knoop K0228 werd het grootste drukverschil gevonden tussen de laagste minimumdruk van 20 SIMDEUM-patronen (SIMDEUMpat #13; 265 kPa) en de met de piekfactorenmethode berekende minimale druk (284 kPa). Dit verschil treedt gedurende ca. 15 minuten op.



Figuur 7-3 Locatie van knoop K0374 en K0228



Figuur 7-4 Drukoverloop op knoop K0374 (SIMDEUMpat #1).



Figuur 7-5 Drukverloop op knoop K0228 (SIMDEUMpat #13).

#### 7.4 Discussie

De relatie tussen het aantal woningen en het maximale verbruik in het secundaire net bij een tijdstap korter dan 1 uur is niet lineair. Er treedt dan ook een verschil op tussen de minimale drukken die met de piekfactoren zijn bepaald (alternatief A) en met SIMDEUM-patronen (alternatief B). De uitkomsten van met de SIMDEUM-patronen leiden altijd tot enkele momenten van lagere druk dan met de piekfactoren.

Alternatief B is doorerekend met 20 verschillende sets van SIMDEUM-patronen. Op basis van 20 simulaties was het met een grotere nauwkeurigheid mogelijk om te testen of de minimale drukken normaal verdeeld waren dan met 10 simulaties. Voor de meeste knopen bleek een normale verdeling verondersteld te mogen worden; met meer simulaties dan 20 zal blijken of dit voor meer knopen geldt. Wanneer een normale verdeling verondersteld kan worden, kan de minimale druk worden berekend op basis van het gemiddelde en de standaard deviatie voor verschillende overschrijdingskansen.

Het gebruik van de SIMDEUM-patronen dwingt om na te denken over de definitie van de eis aan de minimale druk. Hoe vaak en hoe lang mag deze minimale druk worden onderschreden? Is één minuut op 1 van de 20 dagen acceptabel? Of gaat het om één uur op 1 dag per 10 jaar? Omdat de definitie niet helder is, is het ook moeilijk om een uitspraak te doen over het verschil tussen de uitkomsten van de SIMDEUM-patronen en de piekfactoren; of om te bepalen welke piekfactor gebruikt moet worden om tot vergelijkbare resultaten te komen als met de SIMDEUM-patronen.

De methode volgens alternatief B is niet praktisch hanteerbaar tijdens de ontwerpfase. Het is aan te bevelen om op basis van een heldere definitie van de minimaal toegestane druk een aantal berekeningen te doen volgens alternatief B en te komen tot een goede schatting van de piekfactor voor alternatief A als een handzame ontwerp methode of tot een goede schatting van de niet-lineaire relatie tussen  $Q_{\max}$  en  $n$  voor de methode volgens alternatief C.



# 8 Drukverliezen in een tertiair net

## 8.1 Inleiding

Dunea heeft geen één-op-één-model, dus heeft behoefte aan kentallen voor drukval in vertakte (en vermaasde) tertiaire netten, om de randvoorwaarde aan druk in het secundaire net te kunnen vaststellen.

De meest extreme drukval in een tertiair net is gezocht:

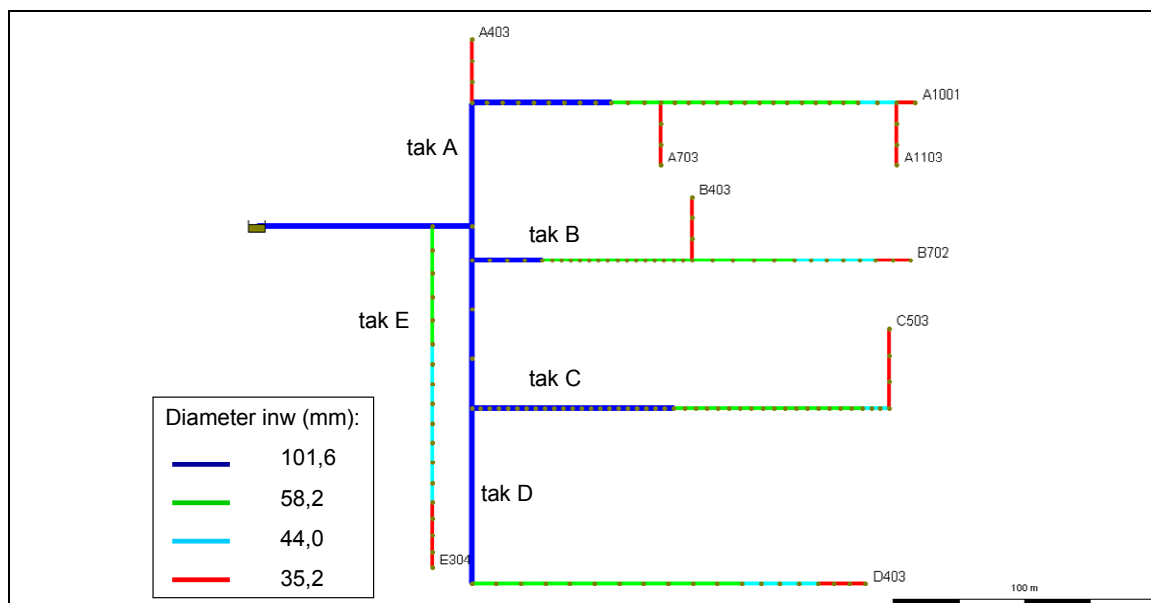
- Een vertakt net van de 2<sup>e</sup> generatie zoals PWN deze momenteel aanlegt; namelijk diameters op basis van 0.4 m/s en  $q\sqrt{n}$ -methode met 15 tapeenheden en geen concessies aan de brandweer voor  $Q > 15 \text{ m}^3/\text{h}$ . Bovendien richt PWN relatief grote afsluitersecties in met maximaal 250 aansluitingen. Dat levert een net op met relatief kleine diameters en lange lengtes. Een dergelijk net is in 2006 getest (Blokker en Schaap 2006) op zelfreinigende werking, waarbij de conclusie was dat dit net zelfreinigend is. Dat betekent dat dit soort netten waarschijnlijk steeds meer aangelegd zullen worden.
- Met SIMDEUM moeten maximale vraagpatronen worden gegenereerd. Uit de sterk verhoogde verbruikspatronen in de warme zomer van 2006 en analyse van relatie verbruik en temperatuur (Zwolsman et al. 2007) bleek dat verhoogd gebruik nauwelijks optrad in een stadse omgeving (Tilburg, weinig tuintjes) en wel duidelijk optrad in een landelijke omgeving (pompstation Budel, veel tuinen). Bovendien is het denkbaar dat de douchefrequentie en de frequentie van kleding wassen (men zweet meer) kan toenemen.
- De toekenning van SIMDEUM-patronen aan verbruiksknoppen kan op een willekeurige manier gebeuren, maar ook gericht. Bijvoorbeeld kan het hoogste verbruik achter in een tak kan worden geplaatst zodat de grootste drukval optreedt.

## 8.2 Vertakt net - leidingnetmodellen

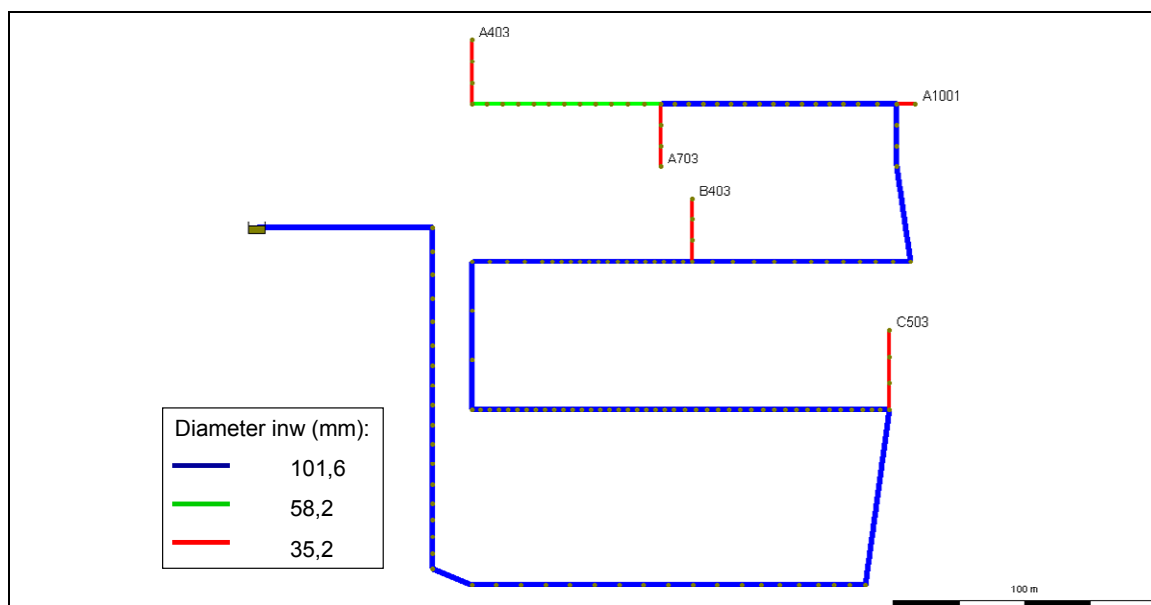
Simulatiemodel 1 is gelijk aan de werkelijke structuur van het vertakte net van aan een deel van de wijk Floriande-Oost te Hoofddorp uit het voorzieningsgebied van PWN. Bij nader inzien bleek dit niet exact dezelfde straten te zijn als waar in 2006 is gemeten, maar het direct naastliggende deel van de wijk. De ontwerpstructuur is echter nagenoeg identiek. Daarnaast is ter vergelijking een alternatief vertakt net ontworpen; simulatiemodel 2. In dit alternatief vormt het distributienet een zo lang mogelijke streng met relatief weinig vertakkingen. De twee leidingnetten bestaan uit materiaal, lengtes en diameter als weergegeven in Tabel 8-1, Figuur 8-1 en hebben 158 huisaansluitingen naar eengezinswoningen.

Tabel 8-1 Kenmerken leidingnet simulatiemodel

materiaal	Model 1 (werkelijk)		Model 2 (alternatief)			
	diameter nom. (mm)	diameter inw. (mm)	lengte (m)	aantal leidingdelen	lengte (m)	aantal leidingdelen
PVC	110	101.6	422	43	953	123
PVC	63	58.2	410	71	72	12
PE	50	44.0	145	22	0	0
PE	40	35.2	189	25	189	25
<b>Totaal</b>			1166	161	1214	160



Figuur 8-1 Lay-out netwerk simulatiemodel 1 met namen van eindknoten, nagenoeg elke knoop is een huisaansluiting (werkelijke situatie).



Figuur 8-2 Lay-out netwerk simulatiemodel 2 (alternatief ontwerp; lange streng met weinig vertakkingen).

### 8.3 Verbruikspatronen SIMDEUM

Bij het genereren van verbruikspatronen is op basis van buurtgegevens de in Tabel 8-2 weergegeven leeftijdsopbouw en samenstelling van huishoudens aangehouden.

Tabel 8-2 Buurtgegevens van wijk Floriande-Oost te Hoofddorp (straatinfo.nl).

Leeftijd (2007)	Samenstelling huishoudens (2007)
0 tot 15: 27%	Eenpersoonshuishoudens: 19%
15 tot 25: 10%	Huishoudens zonder kinderen: 30%
25 tot 45: 48%	Huishoudens met kinderen: 50%
45 tot 65: 13%	Aantal huishoudens: 1.690 (gehele wijk)
65 en ouder: 2%	Gemiddelde grootte: 2,6 pers.

Met SIMDEUM zijn tweemaal vijf sets met verbruikspatronen met een tijdstap van 1 minuut gegenereerd voor de 158 woningen:

- vijf sets voor een normale verbruiksituatie op een werkdag
- vijf sets voor een maximumdag

De belangrijkste verschillen tussen de hier in SIMDEUM gesimuleerde 'normale' woning ten opzichte van het Nederlandse gemiddelde is dat het gemiddeld aantal personen verhoogd is van 2,3 naar 2,6 (en de leeftijdsopbouw en gezinssamenstelling volgens Tabel 8-2 is gebruikt); er een zuinig toilet en douche is verondersteld (dit is ten slotte nieuwbouw) en dat elke woning een tuin heeft (iedere woning heeft een buitenkraan).

Bij het simuleren van de maximumdag is het verbruik van de buitenkraan, wasmachine en de douche verhoogd en is de kans op gebruik van de buitenkraan 's middags en 's avonds het hoogst. De maximumdag is dus een warme dag, waarop extra kleding wordt gewassen, extra lang en vaker gedoucht wordt en de buitenkraan langere tijd in de avonduren gebruikt wordt om bijvoorbeeld de tuin te sproeien. De maximumdag heeft een dagfactor van 1.36 ten opzichte van een normale dag, d.w.z. 36% meer waterverbruik.

### 8.4 Verbruikstoewijzing

De SIMDEUM-patronen zijn vervolgens toegewezen aan de verbruiksknoppen. Dat is gedaan volgens Tabel 8-3. In de simulaties X1-X5 (normale dag) en Y1-Y5 (maximumdag) zijn de verbruikspatronen random verdeeld over de verbruiksknoppen. In de simulaties Z1-Z5 zijn de willekeurig door SIMDEUM gegenereerde maxdagpatronen via Excel geherschikt, zodanig dat op de uitlopers van het net de grootste dagverbruiken voorkomen. In veel nieuwbouwwijken worden immers grotere woningen met grotere tuinen vaak aan de rand van de wijk, dus aan de uiteinden van het net gebouwd; bovendien is in deze situatie de drukval waarschijnlijk maximaal. In simulatie W2 is simulatie Z2 aangepast met een continu verbruik van 1 m<sup>3</sup>/h op een uitloper met één aansluiting. Deze simulatie hangt samen met de drukeis in de nieuwe waterleidingwet.

Tabel 8-3 Overzicht van verbruikstoewijzing.

Model	Simulatie -run	SIMDEUM-patronen	Verbruikstoewijzing aan knopen
1	X1-X5	Normale dag (5x)	random
1	Y1-Y5	Maximumdag (5x)	random
1	Z1-Z5	Maximumdag (5x)	grootste dagverbruik op uitlopers
1	W2	Maximumdag (1x)	grootste dagverbruik op uitlopers en aangepast continu verbruik (1m <sup>3</sup> /h) op één uitloper (knoop E304)
2	V1-V5	Maximumdag (5x)	random
2	U2	Maximumdag (1x)	grootste dagverbruik op uitlopers en aangepast continu verbruik (1m <sup>3</sup> /h) op één uitloper (knoop A403)



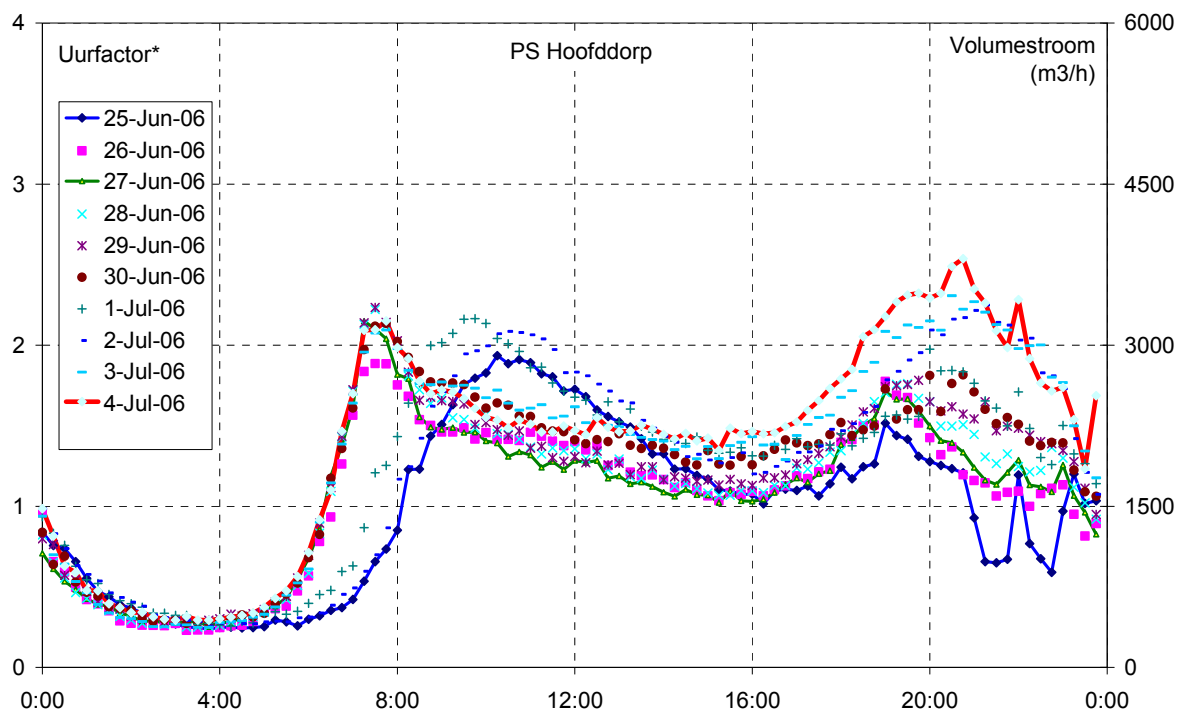
## 8.5 Resultaten

De berekeningen met ALEID zijn beoordeeld op de volgende onderdelen:

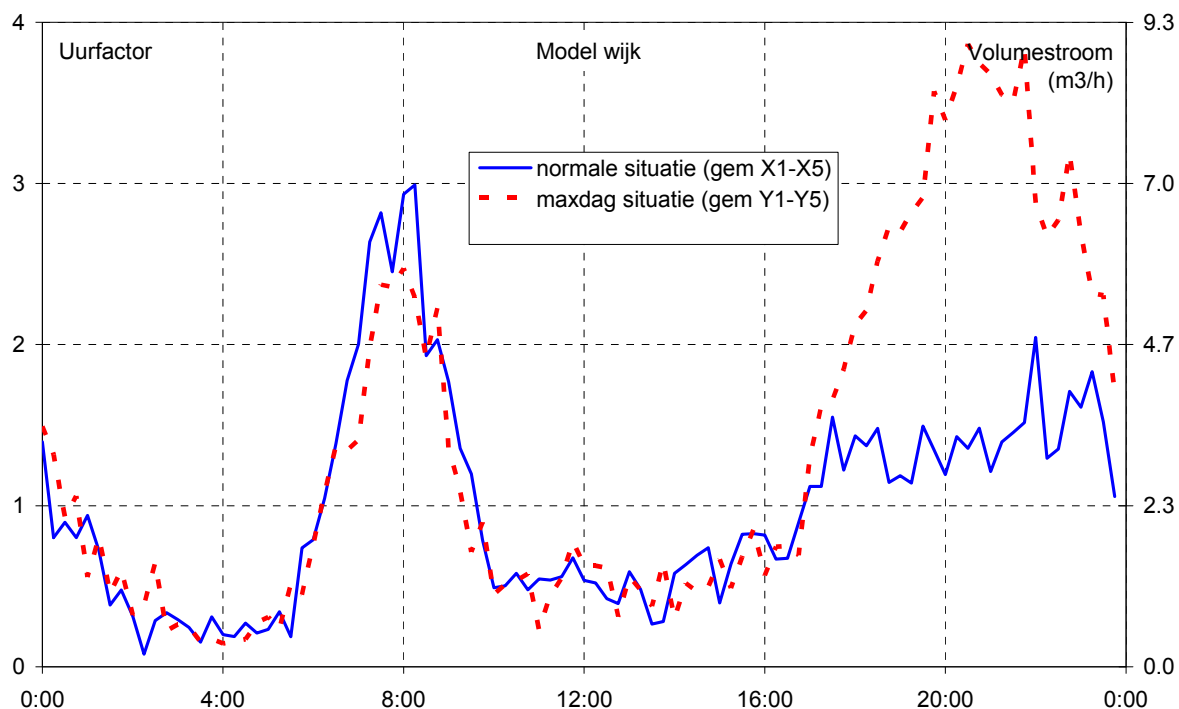
- De volumestroom op de ingaande leiding (§8.5.1). De patronen en dagfactoren zijn vergeleken met meetgegevens.
- Het maximale verbruik per aansluiting (§8.5.2). In relatie tot het in de wet gestelde verbruik van 1 m<sup>3</sup>/h is gekeken hoe vaak een dergelijk verbruik eigenlijk voorkomt. Daarmee kan iets worden gezegd over de kans van optreden van een druk onder het wettelijk minimum.
- De maximale drukval (§8.5.3) in de verschillende verbruikssituaties.
- De maximale snelheid in de leidingen (§8.5.4). Getest is of de zelfreinigende snelheid gehaald wordt in de leidingen.

### 8.5.1 Volumestroom

Figuur 8-3 geeft een beeld van de volumestroom van een aantal dagen rond de maxdag van 2006 van PS Hoofddorp. De dagpatronen van gesimuleerde volumestromen in Figuur 8-4 komen redelijk overeen met Figuur 8-3. De uurpatronen van PS Hoofddorp zijn echter vlakker doordat er naast huishoudelijk ook bedrijfsmatig verbruik is. Verder valt op dat de ochtendpiek voor PS Hoofddorp in de weekenden tussen 9 en 11 uur 's ochtends optreedt. In de berekende situaties is dit niet gemodelleerd. Het verbruik tijdens de avondpiek is zowel voor PS Hoofddorp als voor de gesimuleerde maxdag situatie circa twee maal zo hoog dan normaal. We concluderen dat de aannames voor een maxdag goed lijken te zijn en dat dus de volgende resultaten betrouwbaar zijn.



Figuur 8-3 Gemeten volumestroom van PS Hoofddorp weergegeven als uurfactor ten opzichte van het verbruik op een gemiddelde dag



Figuur 8-4 Berekende volumestroom en uurfactoren ten opzichte van het gemiddeld jaarverbruik van de ingaande leiding wijk voor normale (X1-X5) en maxdag situatie (Y1-Y5).

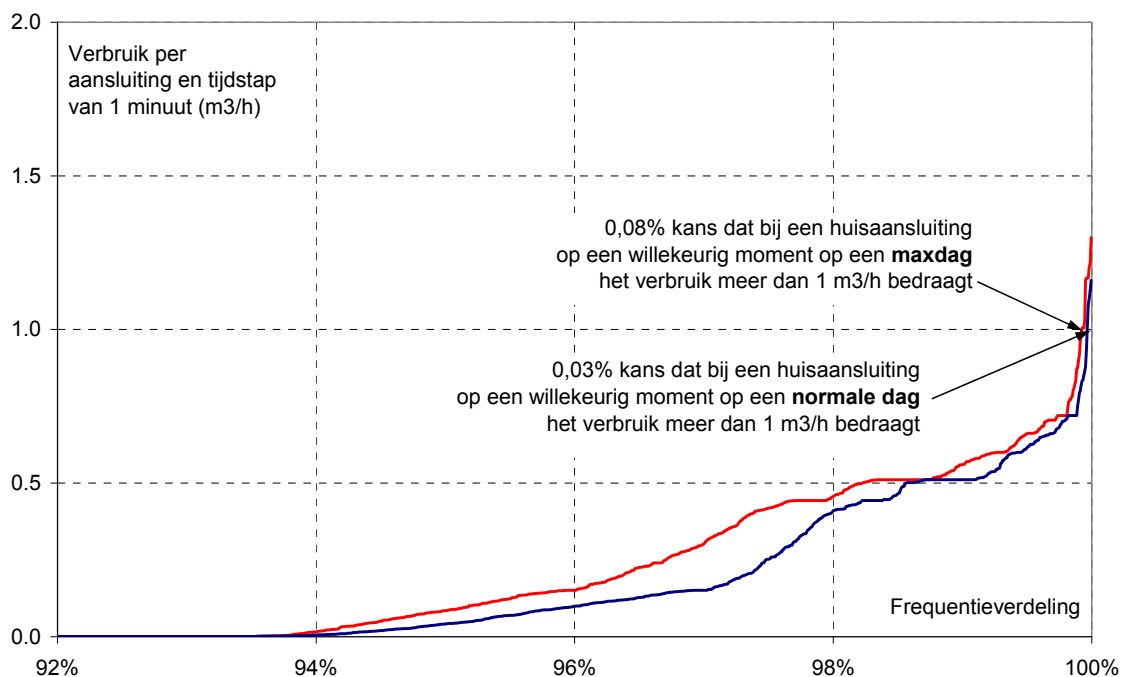
De gesimuleerde maximumdag ten opzichte van de gesimuleerde normale dag (Y1-Y5 / X1-X5) heeft een dagfactor van 1.36. Uit de afzetpatronen van Figuur 8-3 blijkt een dagfactor van 1.39 en komt dus redelijk overeen met de gesimuleerde verschillen tussen een normale en maxdag-situatie. Een gebruikelijke dagfactor voor huishoudelijk verbruik in nieuwbouwwijken met een beperkte tuingrootte schatten we op 1.3 tot 1.5.

### 8.5.2 Verbruik

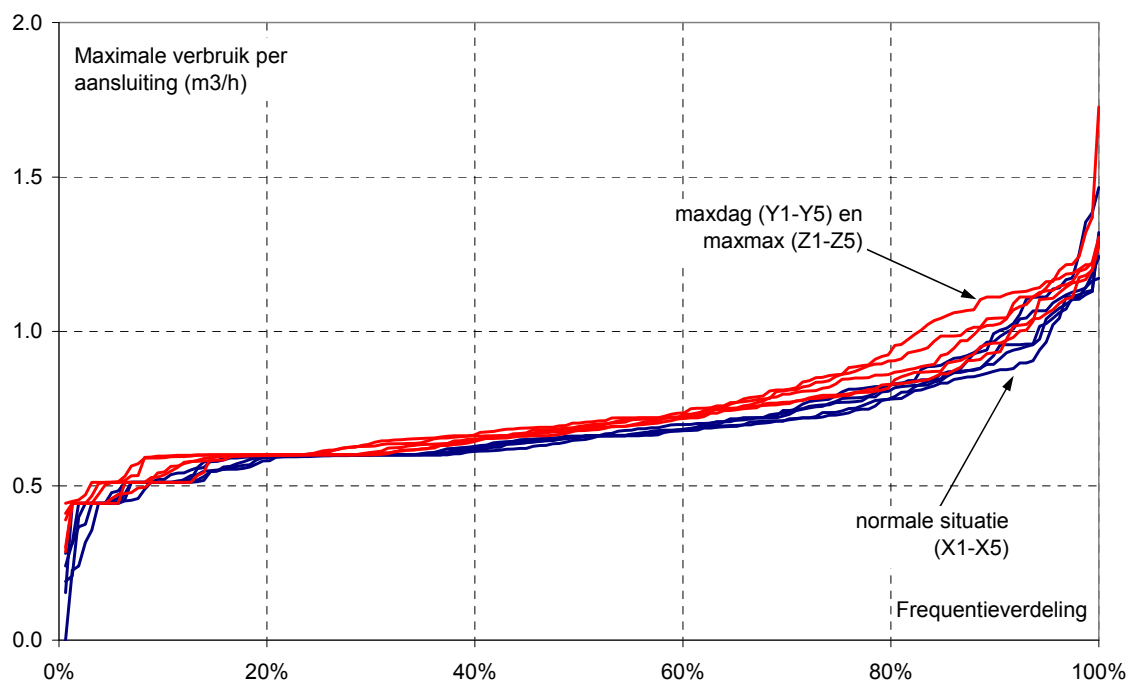
De gesimuleerde verbruiken zijn in een frequentiediagram weergegeven:

- Figuur 8-5: verbruik per aansluiting. Dat zijn alle verbruiken die op een dag voorkomen op een aansluiting; in totaal  $1440 \cdot 158$  waardes per simulatie. Om het frequentiediagram te construeren, is uit praktische overwegingen gewerkt met een steekproef van één waarde per zes minuten; dus  $240 \cdot 158$  waarden per simulatie.
- Figuur 8-6: de maximale verbruiken per aansluiting. Dat zijn dus de verbruiken die gedurende een minuut per dag voorkomen op een aansluiting; in totaal 158 waardes per simulatie.

In een (gesimuleerde) nieuwbouwwoning komt gemiddeld eens per circa 2-3 dagen een verbruik voor dat groter of gelijk is aan  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  (Figuur 8-5, te berekenen met  $1/(0,03\% \cdot 1440 \text{ min}/\text{dag}) = 2,3 \text{ dag}$ ). De kans dat het maximumverbruik op een dag boven de  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  komt blijkt ca. 10% te zijn (Figuur 8-6).



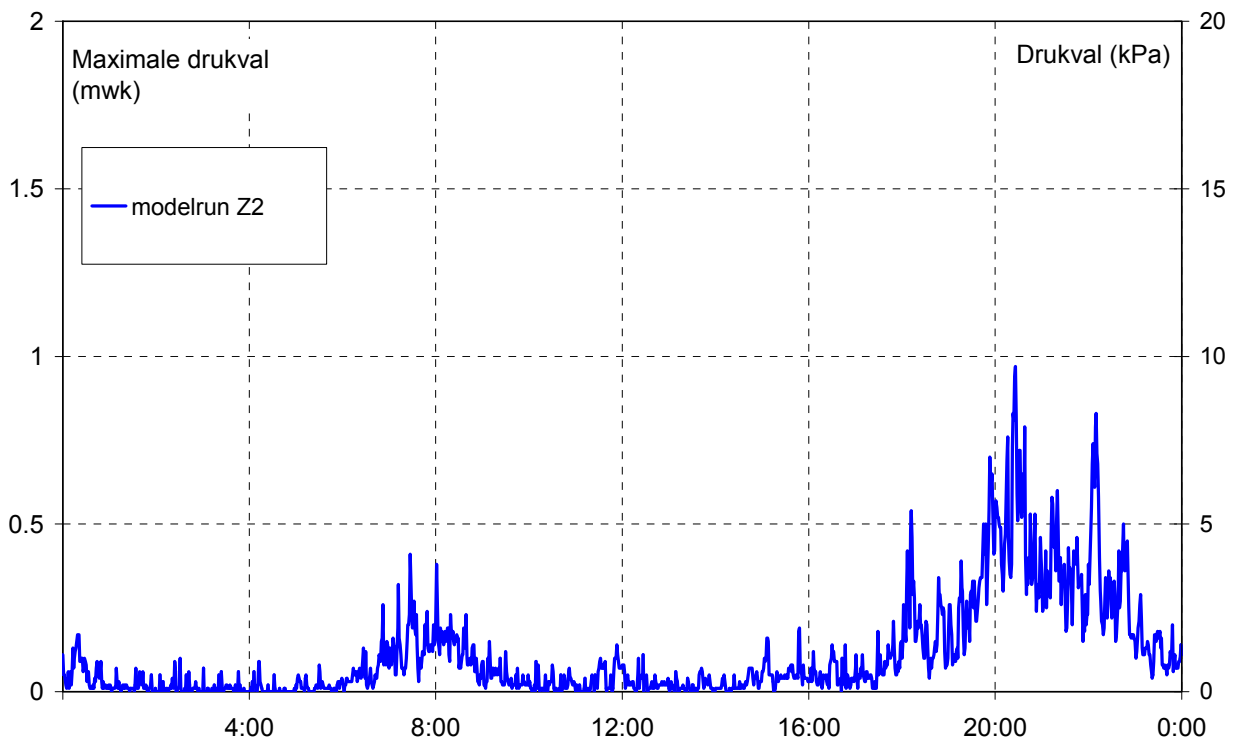
Figuur 8-5 Frequentieverdeling van verbruik per aansluiting en tijdstap van 1 minuut voor een normale dag (X1) en voor een maxdag (Y2).



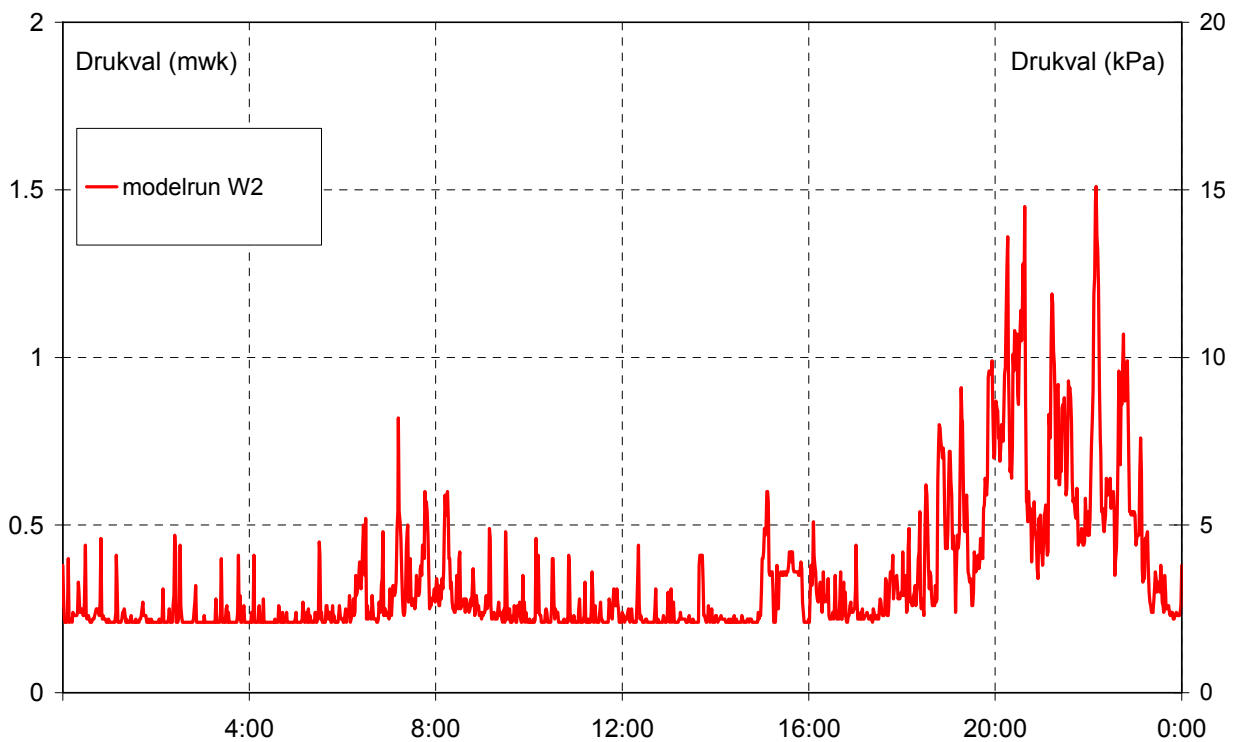
Figuur 8-6 Frequentieverdeling maximale verbruik per aansluiting (op 1 minuut-basis) in de wijk voor een normale (X1-X5) en maxdag (Y1-Y5) situatie.

### 8.5.3 Drukval

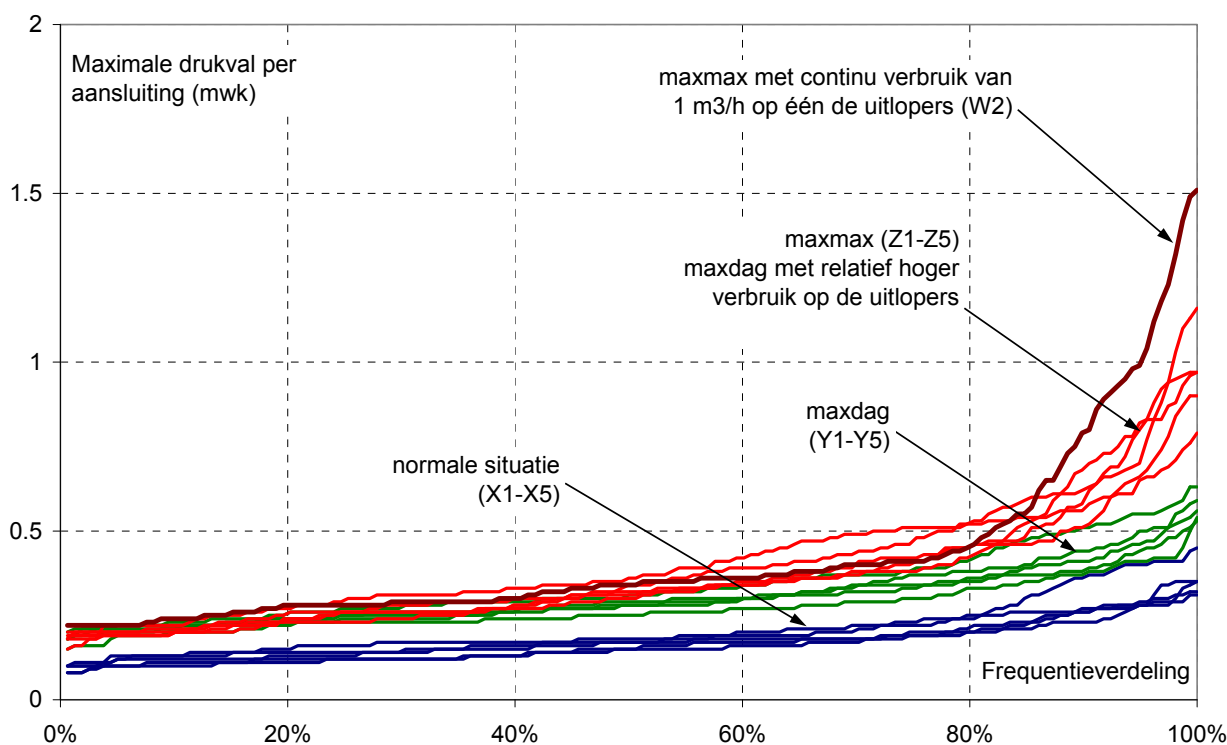
In Figuur 8-7 en Figuur 8-8 is als voorbeeld de berekende maximale drukval van twee simulaties weergegeven. De maximale drukval per aansluiting (158 resultaten per simulatierun) is in Figuur 8-9 weergegeven als frequentieverdeling en in *Tabel 8-4* samengevat.



Figuur 8-7 Berekende maximale drukval voor de maxmaxdag-situatie voor de uitlopers (Z2).



Figuur 8-8 Berekende drukval voor de maxmax-situatie voor uitloper E304 met daarop een continu verbruik van 1 m<sup>3</sup>/h (W2).



Figuur 8-9 Frequentieverdeling van maximale drukval in de wijk voor drie situaties met elk vijf simulatieruns en één run met continu verbruik van 1 m<sup>3</sup>/h op één van de uitlopers.

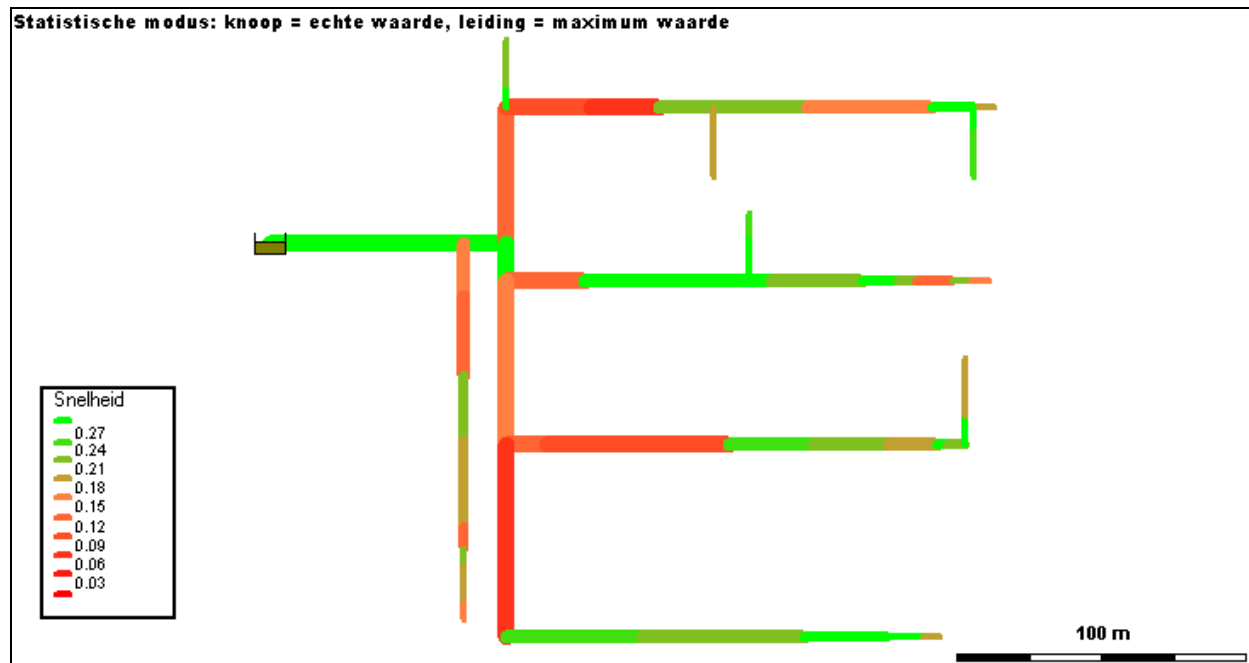
Tabel 8-4 Berekende maximale drukval bij simulatiemodel 1 X1-X5, Y1-Y5, Z1-Z5, W2 en simulatiemodel 2 V1-V5 en U2.

SIMDEUM patronen interval 60sec	maximale drukval in wijk (kPa)					
	X	Y	Z	W	V	U
pat1	3.2	5.5	9.9		11.6	
pat2	4.6	6.0	9.9	15.4	12.6	16.3
pat3	3.3	5.7	11.8		14.5	
pat4	3.6	5.4	9.2		11.0	
pat5	3.6	6.4	8.1		14.5	
gemiddelde van 5 runs	3.6	5.8	9.8		12.8	
stdev (n=5)	0.6	0.4	1.4		1.6	
geschat maximum (gem.+3.1*stdev)	5.4	7.1	14.0		17.8	
berekend via $q\sqrt{n}$ met ontwerptool DiVerDi			16.8		24.6	

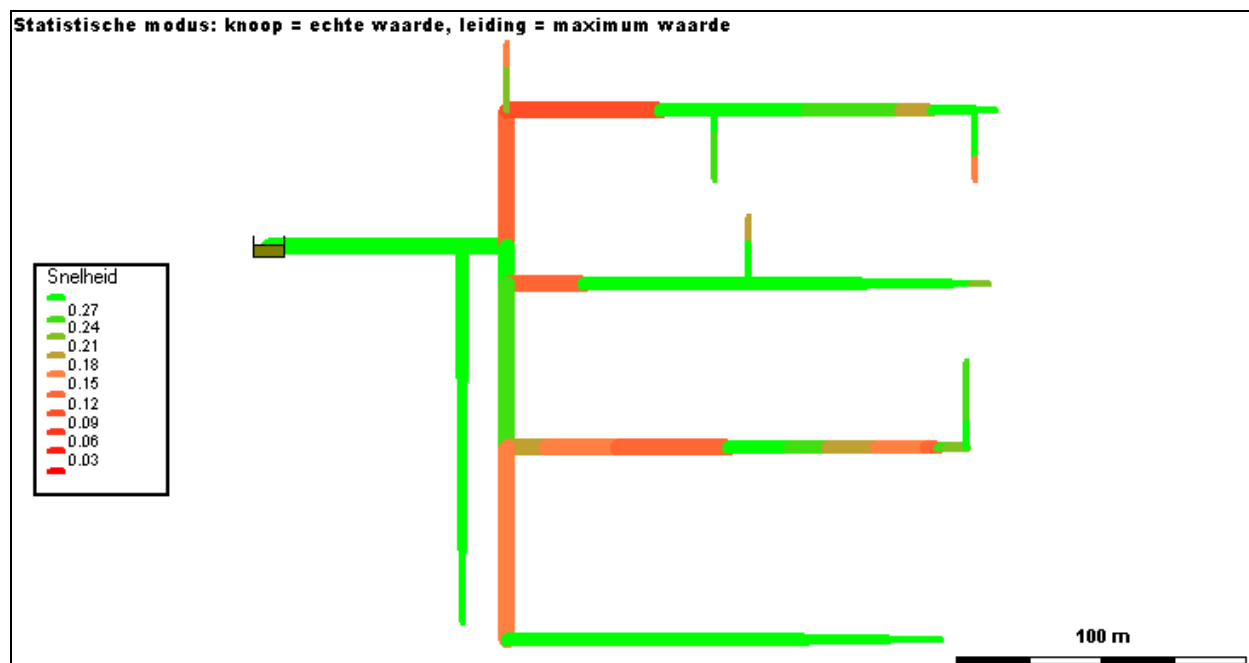
De kans dat het geschat maximum in *Tabel 8-4* overschreden wordt bedraagt 0,1%. Hierbij is verondersteld dat de berekende resultaten van de maximale drukval per simulatie een normale verdeling volgen.

### 8.5.4 Snelheden

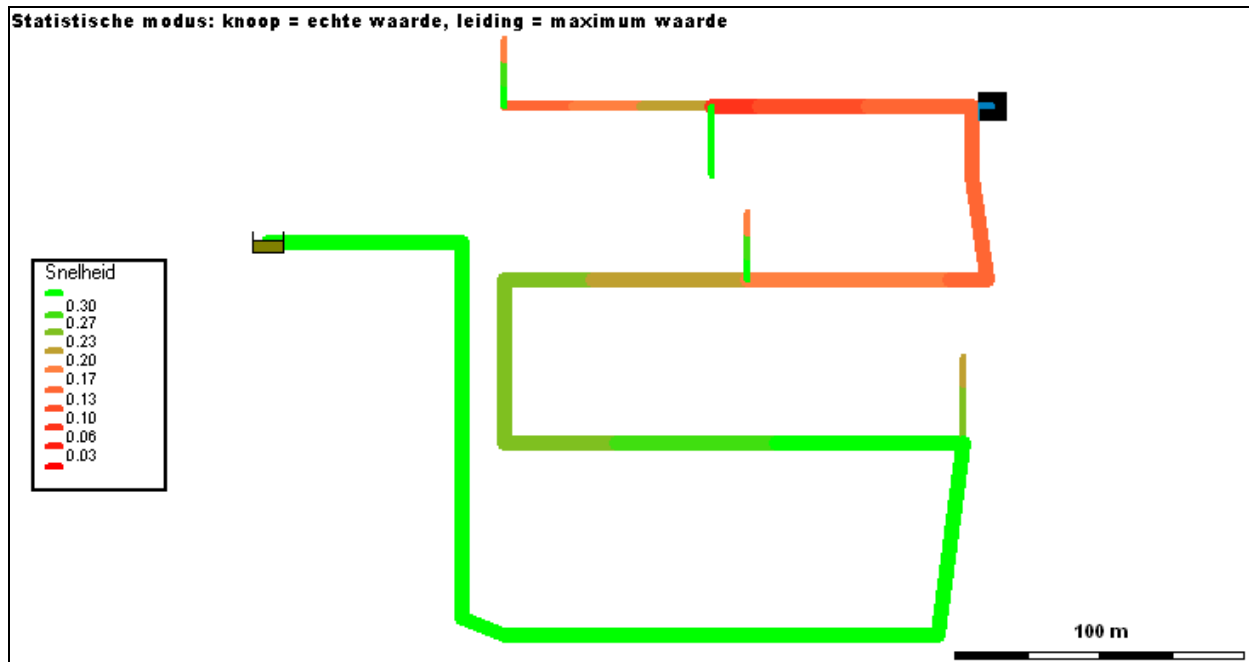
In Figuur 8-10, Figuur 8-11 en Figuur 8-12 zijn voorbeelden van de berekende maximale snelheden in het net van drie verschillende situaties weergegeven. Alle groentinten zijn snelheden boven de 0,2 m/s en zouden zelfreinigend moeten zijn. De maximale snelheid per leidingsegment (161 segmenten per simulatierun) is in Figuur 8-13 weergegeven als frequentieverdeling. De frequentiediagram van resultaten voor simulaties V1-V5 komt nagenoeg overeen met de simulaties Y1-Y5 is daarom niet apart weergegeven.



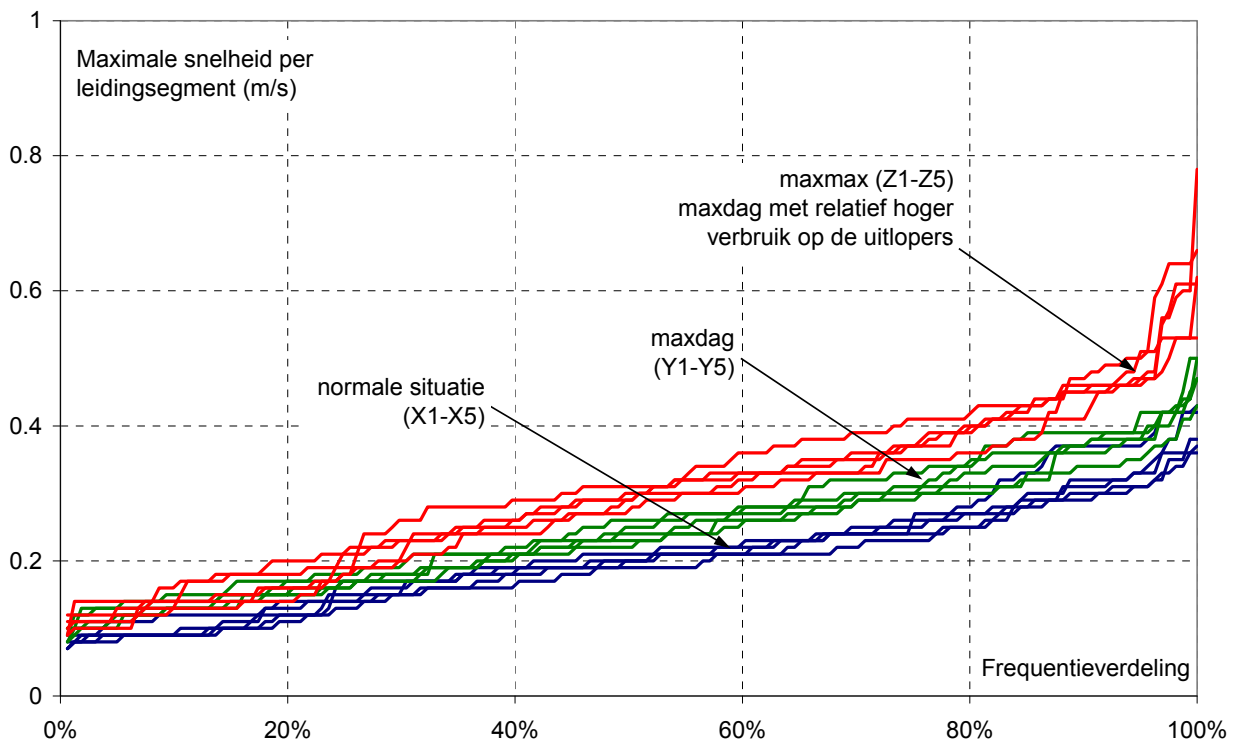
Figuur 8-10 Berekende maximale snelheid voor een normale dag (X1).



Figuur 8-11 Berekende maximale snelheid voor een maximumdag (Z2).



Figuur 8-12 Berekende maximale snelheid voor een maximumdag (V2).



Figuur 8-13 Frequentieverdeling van maximale snelheid per leidingsegment in de wijk voor drie situaties met elk vijf simulatieruns.

## 8.6 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van SIMDEUM-simulaties voor een normale en maxdagsituatie komt een verbruik van 1 m<sup>3</sup>/h regelmatig voor en is niet te verwaarlozen. Het rekenen met een extra continu verbruik van 1 m<sup>3</sup>/h over de gehele dag is waarschijnlijk dan ook niet nodig. Door bewust een situatie van maximale drukval (zomerse dag en het grootste verbruik op de uiteinden van het net) te simuleren en gebruik te maken van een statistische analyse, kan een goed beeld worden verkregen van de maximale drukval in een leidingnet.

In een vertakt leidingnet met kleine diameters (gedimensioneerd op basis van 15 tapeenheden) en relatief veel aansluitingen (158) is de maximale drukval afgerond tussen 15 en 18 kPa, afhankelijk van de gevolgde ontwerpstrategie. Om te voldoen aan de drukeis van 150 kPa na de watermeter bij 1 m<sup>3</sup>/h onttrekking dient de druk in het secundaire net dus minmaal 200 kPa te zijn:

- 150 kPa +
- 30 kPa (drukval bij 1 m<sup>3</sup>/h onttrekking over watermeter, dienstkraan, hoofdkraan en Ø25 mm PE-leiding van 15 meter)
- 15-18 kPa (drukval in het tertiaire net).

Het vertakte net is zelfreinigend (Blokker en Schaap 2006). Toch lijken de maximumsnelheden in met name de Ø110 PVC-leidingen te laag te zijn.





# 9 Discussie en aanbevelingen

## 9.1 Implementatie

Dit project heeft duidelijk gemaakt hoe een optimaal secundair net er uit zou kunnen zien. Het huidige secundaire leidingnet is echter veelal organisch gegroeid. Met een streefstructuur voor een optimaal net kunnen waterbedrijven richting geven aan het herontwerpen van delen van het secundaire net. In plaats van telkens een deel van het leidingnet te ontwerpen is er de wens een beeld te hebben waar naartoe gewerkt wordt over de jaren heen.

Er is echter een verschil tussen het ontwerpen van een secundair net en het maken van een blauwdruk of streefstructuur. Het ontwerpen van een secundair net is nodig bij nieuwbouw, of bij 'grootschalige' renovatie van een stadswijk binnen circa 5 jaar of om een 'ideaal plaatje' voor een plangebied te schetsen. Het maken van een streefstructuur volgt een meer pragmatische aanpak, geleidelijke vervanging en sectionering gedurende circa 20 tot 50 jaar, hergebruik van nog goede leidingen en rekening houden met veranderend verbruik in de toekomst. Een blauwdruk geeft richting en hoeft dus minder gedetailleerd te zijn; wellicht volstaat hier een grovere en minder arbeidsintensieve indeling in secties. Het maken van een blauwdruk zou de volgende stappen kunnen volgen: maak eerst een 'ideaal' ontwerp, vergelijk dit dan met de huidige situatie, analyseer de bruikbaarheid en geschatte restlevensduur van de huidige netstructuur en maak tot slot een globaal vervangingsplan in de tijd.

Het is aan te bevelen om het stappenplan in de praktijk te testen en vervolgens aan te scherpen. Een aantal pilotstudies bij verschillende waterbedrijven zou daarvoor opgezet moeten worden. Tijdens de pilotstudies is het belangrijk om telkens een aantal alternatieve ontwerpen door te rekenen en tegen elkaar af te wegen. Daaruit volgen mogelijk vuistregels zodat in de verdere implementatie meer rechttoe rechtaan kan worden ontworpen en minder alternatieven hoeven worden doorgerekend.

Voor het volgen van het stappenplan is het nodig dat bij een waterleidingbedrijf (rekenaars, ontwerpers en projectleiders) en externen (aannemers) duidelijk is wat de rol en verantwoordelijkheid is van iedereen die bij het ontwerpproces betrokken is. Meer dan in het verleden kan er gebruik worden gemaakt van geavanceerde leidingnetberekeningsprogramma's. Het is daarbij belangrijk om te bepalen hoe de samenwerking tussen rekenaars en planners het meest efficiënt en effectief is.

## 9.2 Beslisboom en het gebruik van kentallen en vuistregels

Het stappenplan zal ook als beslisboom beschikbaar moeten worden gemaakt om beter toepasbaar voor de ontwerpers te zijn. Dit zou samen met kentallen en vuistregels moeten resulteren in een handzaam boekje voor ontwerprichtlijnen voor het secundaire net.

Een samenvatting van het stappenplan ziet er als volgt uit:

1. Bepaling randvoorwaarden (Vooraf toetsmethoden en (bedrijfs)normen vastleggen)
  1. Plangebied, aansluitpunten en leidingtracés
  2. Einddruk primair, secundair en tertiair net
  3. Verbruiksgegevens (type verbruik + locatie)
  4. Bluscapaciteit en normverbruik
  5. Berekeningswijze van bluscapaciteit en maximale drukval
  6. Normen voor leveringscontinuïteit en sectiegrootte
  7. Beschikbaar leidingmateriaal en diameters
2. Bepaling ontwerpstructuur
  1. Efficiënt combineren van ruimtelijke data (planondergronden, tracés, verbruiksclusters, ligging van kwetsbare verbruikers)
  2. Hulpmiddelen en aanwijzingen voor layout:
    1. onderscheid in hoofd- en lusstructuur
    2. maximale lengte van tertiaire takken
    3. maximale luslengte secundair net
    4. beperking van het aantal mazen en daarmee pendelzones

3. Indeling in secties
  1. Afsluiters zijn wezenlijk onderdeel van een secundair leidingnet
  2. Maximaal aantal aansluitingen, leidinglengte en aantal afsluiters per sectie
  3. Ontwerp van tertiair net (verbruik en sectionering) als tussenstap
4. Berekening diameters
  1. Berekening optimale diameter met een leidingnet berekeningsprogramma, afweging leveringscontinuïteit, kosten, beheer en waterkwaliteit
  2. Kostenreductie door aanleg van leidingen met kleinere diameters, aansluitadels en afsluiters
5. Toetsing bluswatervoorzieningen
  1. Toetsing met rekenpakket tijdens het ontwerpproces
  2. Terugkoppeling naar eerdere ontwerpstappen
6. Toetsing leveringscontinuïteit
  1. Eenduidige bedrijfsnormen voor leveringscontinuïteit
  2. Geautomatiseerde controlemogelijkheden ('Critical Link Analysis') voor het nabootsen van uitval van afzonderlijke leiding of sectie
  3. Gebruik van CAVLAR voor berekenen van de OLM tijdens het ontwerp
  4. Terugkoppeling naar eerdere ontwerpstappen

In het rapport staan diverse aannames en uitgangspunten voor het ontwerp. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om gewenste sectiegrootte, snelheden en drukgradiënten. Er is naast een beslisboom behoefte om deze kentallen eenduidig en compact te omschrijven inclusief een onderbouwing. Het gaat daarbij om zowel praktische vuistregels als meer wetenschappelijk onderbouwde gegevens.

### 9.3 Verder onderzoek

Het is niet bekend of het mogelijk is om het secundaire net zelfreinigend te maken. Daarvoor is nog onvoldoende bekend wat de invloed is van volumestromen en de variatie daarin op de accumulatie van deeltjes in het leidingnet. Ook is niet bekend wat een maximaal acceptabele verblijftijd in het leidingnet is. Dat betekent dat het aspect waterkwaliteit bij het ontwerpen van een secundair net nu nog een ondergeschikte rol speelt. Het moet verder onderzocht worden of waterkwaliteit een belangrijker aspect moet zijn in het secundaire net.

Een ander aspect op het gebied van waterkwaliteit is de plaatsing van sensoren. In dit project is dit in de kwalitatieve analyse van ontwerpaspecten (hoofdstuk 3) wel genoemd, maar kwantitatief is er in dit project geen aandacht aan besteed. Het vermoeden bestaat dat de plaatsing van sensoren geen invloed heeft op de diameter, materiaal en lay-out van de leidingen. Het bepalen van optimale sensorlocaties in een gegeven netwerk is een eigen onderzoeksgebied.

De plaatsing van afsluiters is een creatief en arbeidsintensief proces. CAVLAR en een LNBP zijn hulpmiddelen om deze ontwerpstap te toetsen. Er is echter nog geen hulpmiddel waarmee automatisch afsluiterlocaties worden gegenereerd. Met InfoWorks of SynerGEE is het wellicht mogelijk secties semi-geautomatiseerd in te delen na het vaststellen van de ontwerpstructuur. Analoog aan ontwerpplan van Vitens in §5.1.4 wordt dan alleen voor het tertiaire net de meest logische aansluiting op het secundaire net bepaald en worden semi-automatisch eindige takken gecreëerd. Het arbeidsintensieve werk van Stap 3.1 en Stap 3.2 uit hoofdstuk 6 wordt daarmee omzeild. Omdat het sectioneren zo arbeidsintensief is, kan het interessant zijn om een dergelijke automatiseringsstap te onderzoeken. Het rendement daarvan hangt ook af van hoe vaak leidingnetten (opnieuw) worden ontworpen voor wat betreft de afsluitersecties. Daarbij is ook van belang dat sommige waterbedrijven in de huidige praktijk de afsluiterplaatsing pas bepalen tijdens de aanleg van het leidingnet.

# 10 Referenties

- Beuken, R. H. S., Blokker, E. J. M. en Trietsch, E. A. (2004). *Evaluatie beheersysteem leidingnet op externe effecten door leidinglekage; oriënterend onderzoek*, VEWIN, Rijswijk. VEWIN 2004/45/5266, KWR 04.047.
- Blokker, E. J. M. (2009). *Handleiding DiVerDi*, KWR, Nieuwegein. KWR 09.082.
- Blokker, E. J. M. (2010). "Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks," Delft University of Technology.
- Blokker, E. J. M. en Kivit, C. F. T. (2005). *Evaluatie pilot ondermaatse leveringsminuten; Verslag van de pilot en de workshop OLM*, Kiwa N.V., Nieuwegein. BTO 2005.039.
- Blokker, E. J. M. en Pieterse-Quirijns, E. J. (in prep.). "Modelling temperature in the Drinking Water Distribution System."
- Blokker, E. J. M. en Schaap, P. G. (2006). *Evaluatie zelfreinigende netten; metingen zomer 2006 in Hoofddorp (PWN)*, Kiwa Water Research B.V., Nieuwegein. KWR 06.096 (DPW).
- Blokker, E. J. M., Schaap, P. G. en Vreeburg, J. H. G. (2009). "Self-cleaning networks put to the test." Chapter, *Strategic Asset Management of Water Supply and Wastewater Infrastructures; Invited papers from the IWA Leading edge conference on strategic asset management (LESAM)*, Lisbon, October 2007, H. Alegre en M. d. C. Almeida, eds., 407-417.
- Blokker, E. J. M., Vreeburg, J. H. G., Schaap, P. G. en van Dijk, J. C. (2010). "The self-cleaning velocity in practice." *WDSA 2010*, Tuscon, AZ.
- Boomen, M. v. d. en Vreeburg, J. H. G. (1999). *Nieuwe ontwerprichtlijnen voor distributienetten*, Kiwa N.V., Nieuwegein. SWE 99.011.
- Meerkerk, M., Mesman, G. en Pieterse-Quirijns, I. (2009). *Handleiding 'CAVLAR'; Beschrijving en interpretatie*, KWR, Nieuwegein. BTO 2009.003 (s).
- Mesman, G. A. M. en Meerkerk, M. A. (2010). *Evaluatie ontwerprichtlijnen voor distributienetten*, KWR, Nieuwegein. KWR 09.073.
- Trietsch, E. A. en Blokker, E. J. M. (2004). *Ontwerpconcepten hoofdstructuur*, Kiwa N.V., Nieuwegein. BTO 2003.028.
- Vogelaar, A. J. en Blokker, E. J. M. (2010). *Particle Sediment Modelling. Test and analysis of programme WQDMTB v4.3*, KWR, Nieuwegein. BTO 2010.011.
- Zwolsman, G., Cirkel, G., Doomen, A., Jalink, M., Berg, G. v. d., Maas, C., Vreeburg, J., IJperlaar, G. en Mesman, G. (2007). *Risicoanalyse van de gevolgen van klimaatverandering voor de drinkwatersector*, Kiwa Water Research, Nieuwegein. BTO 2007.032.



# I Definities

## Hoofdindeling van het leidingnet

- **Primair leidingnet**

Leidingen met een transportfunctie vanaf de pompstations naar zwaartepunten van verbruik binnen het voorzieningsgebied; grote diameters en in principe geen (huis)aansluitingen direct op deze leidingen. Leveringszekerheid is hier een belangrijke peiler voor het ontwerp.

- **Secundair leidingnet**

Het leidingnet dat water distribueert vanaf het primaire net naar tertiaire netten en dus een verbinding tussen deze twee netten vormt. Vanwege leveringscontinuïteit wordt dit net vermaasd uitgevoerd en worden hierin afsluiters geplaatst om de tertiaire secties te scheiden. Het secundaire leidingnet kan ook direct (huis-)aansluitingen voorzien van drinkwater. Het secundaire leidingnet is dus het vermaasde deel van een leidingnet dat als aanvoer dient voor de (zelfreinigende) distributiesecties.

- **Tertiair leidingnet**

Het vertakte (zelfreinigende) leidingnet met aansluitleidingen. Het tertiaire net heeft geen functie in verder distributie/transport naar andere netten.

## Ontwerpen van een secundair net

- **Basispatroon**

Het nog volledig vermaasde netwerk op basis van beschikbare leidingtracés, het stratenpatroon en de locatie van huisaansluitingen. Het basispatroon is een hulpmiddel en eerste aanzet voor de secundaire en tertiaire netstructuur met een fictieve diameter.

- **Bluscapaciteit**

De eisen die gesteld worden aan het waterleidingnet ten aanzien van bluswatervoorzieningen. Bijvoorbeeld: brandkraancapaciteit van 60 m<sup>3</sup>/u, maximaal 80 m tussen de brandkranen en een einddruk bij blussen van 50kPa.

- **Leveringscontinuïteit**

De analyse van de leveringscontinuïteit in een voorzieningsgebied richt zich én op het gehele leidingnet én ook op onderbrekingen van relatief korte duur. Indien bij de analyse van leveringscontinuïteit de druk op een maxuur-maxdag overal boven 150 kPa blijft, wordt voldaan aan de norm voor leveringszekerheid. Voor de toetsing van de leveringscontinuïteit bestaan nog geen (bedrijfs)normen. De leveringscontinuïteit kan worden uitgedrukt in minimale leveringsdruk op een piekuur of bij onderbrekingen in OLM (Ondermaatse LeveringsMinuten).

- **Leveringszekerheid**

Volgens het drinkwaterbesluit dient bij uitval van een hoofdelement van het drinkwatersysteem van een waterleidingbedrijf, in zwaartepunten van verbruik, het resterende leveringsvermogen van het systeem op dagbasis groter te zijn dan 75% van de maximum dag. Zwaartepunten van verbruik zijn daarbij gebieden met circa 2000 aansluitingen. De toetsing van de leveringszekerheid van een voorzieningsgebied richt zich op de uitval langer dan één dag van onderdelen van productie- en distributie-installaties, van primaire leidingen en kritische delen van de secundaire hoofdstructuur.

- **Luslengte**

De lengte van een secundaire lus is gedefinieerd als de leidinglengte tussen twee T-stukken in de secundaire netstructuur. T-stukken naar tertiaire aftakken op het secundaire net tellen niet mee. Vanaf een lus worden de tertiaire leidingen dus tweezijdig gevoed. De gemiddelde en maximale luslengte van een secundair netwerk zijn onderscheidende kenmerken voor een ontwerpstructuur.

- **Meerzijdige voeding**

Een sectie wordt meerzijdig gevoed wanneer bij het sluiten van een enkele afsluiter water aangevoerd wordt vanuit een andere aanvoerleiding. Bij een driezijdige voeding kunnen twee afsluiters dicht worden gedraaid zonder dat de sectie wordt afgesloten.

- **Normverbruik**

Het genormeerde maxdag-maxuur-verbruik per aansluiting waarbij de optimale leidingdiameter van het secundaire net bepaald wordt en waarbij getoetst wordt op minimale druk en leveringscontinuïteit. De bluscapaciteit wordt bij een eventueel aangepast (lager) normverbruik getoetst.

- **Ontwerpstructuur**

In de ontwerpstructuur wordt de globale ligging van het secundaire net bepaald. Bij het ontwerp van dit net zijn (soms) twee typen leidingen te onderscheiden: secundaire hoofdleidingen en secundaire lussen.

- **Pendelzones**

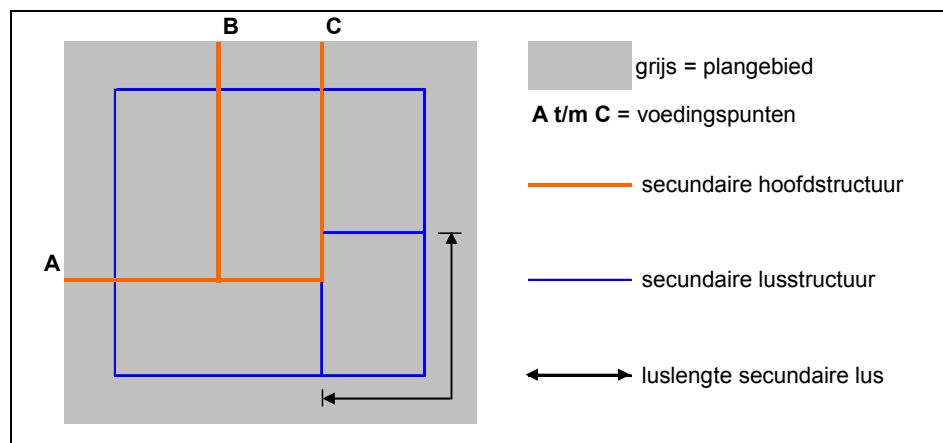
Het middendeel van een secundaire lus waar de dagelijkse maximale stroomsnelheid laag is en geen unidirectionele stroming heerst. In de praktijk leidt vermazing bijna altijd tot pendelzones (Blokker 2010).

- **Sectie/afsluitersectie**

Een sectie is een deel van het leidingnet dat afsluitbaar is van de rest van het leidingnet.

- **Secundaire hoofdleidingen**

De secundaire hoofdleidingen ontsluiten de zwaartepunten binnen een plangebied; ze verbinden het primaire net met de secundaire lussen. Tertiaire netwerken kunnen ook direct aangesloten zijn op het secundaire hoofdleidingnet. De **secundaire hoofdstructuur** wordt gevormd door het samenhangende net van secundaire hoofdleidingen.<sup>3</sup>



Voorbeeld van ontwerp met secundaire hoofd- en lusstructuur met weergave van een luslengte

- **Secundaire lussen**

De secundaire lussen zorgen voor een meerzijdige voeding vanaf de secundaire hoofdleidingen naar de gesectioneerde tertiaire netwerken. De **secundaire lusstructuur** is het totale netwerk van secundaire lussen.

<sup>3</sup> Het onderscheid tussen de secundaire hoofdleidingen en secundaire lussen dient om het ontwerpproces te verduidelijken en te stroomlijnen. In de voorgestelde aanpak wordt bij de bepaling van diameters bij de hoofdleidingen gewerkt met iteratieve stappen van een groot naar kleinere diameters. Bij de secundaire lussen wordt de diameter juist vergroot totdat de drukgradient voldoet.

- **Tak/Vertakte sectie**

Een vertakte sectie is een deel van het tertiaire net, ontworpen op de drinkwatervraag om een zelfreinigend vermogen te creëren. Alle takken zijn leeglopend, in tegenstelling tot een vermaasd net.

- **Voedingspunten**

De aansluitingen van het secundaire net op de transportleidingen (primaire leidingnet).





## II Ontwerphilosofie

De leden van de werkgroep hebben, voordat zijn aan de slag gingen met de ontwerpopdracht, ook hun ontwerphilosofie voor het secundaire net toegelicht. In onderstaande tabel is dit samengevat voor de aspecten uit de binnenste delen van de ontwerpcirkel.

Ontwerpaspect	Brabant Water	Dunea	PWN	Waterbedrijf Groningen
layout	aanpak verschil voor landelijke en stedelijke gebieden 2-, 3- of 4-zijdige voeding vanuit primaire net aantal woningen per leidinglengte getoetst aan de $q\sqrt{n}$ -methode	aanlegdiepte afh. van gemeente	< 250 aansluitingen: 1 voeding 250 - 750 aansluitingen: 2 voedingen > 750 aansluitingen: 3 voedingen	2-zijdige voeding
leidingdiameter	standaard set van toe te	< Ø 300 mm		Ø110/160/200 mm
leidingmateriaal	passen leidingen (PVC, PE, SLA, ST, Gij)	PVC, NGij, PE, Staal	PVC, PE alternatief: SLA, NGij	PVC alternatief SLA, NGij
drinkwatervraag	houd rekening met toekomstige watervraag	> 800 aansluitingen: piekfactorenmethoden < 800 aansluitingen: $q\sqrt{n}$ -methode	vuistregels op basis van eerdere ontwerpen; laatste 8 jaar stabiel	$q\sqrt{n}$ -methode met 15 tapeenheden
bluswatervraag	90 m <sup>3</sup> /h	30-60 m <sup>3</sup> /h		30 m <sup>3</sup> /h (nieuwbouw) 60 m <sup>3</sup> /h (oudbouw)
watervraag overig	denk na over sprinklers en inventariseer klant-/bedrijfs-specifieke vraag		30 - 60 m <sup>3</sup> /h, in overleg met brandweer	
druk	wettelijk eis leveringszekerheid minimale einddruk en maximale drukval (waarde niet gespecificeerd) gespecificeerde brandkraankromme	> 20 m t.o.v. maaiveld	max. 3 m drukval	min. druk van 200 kPa bij calamiteit / dichtzetten van één voeding
snelheid		> 0,4 m/s		eenduidige
verblijftijd			beperken reistijd en pendelzones	stromingsrichting
pendelzones				voorkomen van pendelzones
OLM		leveringszekerheid max. 5 afsluiters per sectie, max. sectielengte is 1000 m	2 afsluiters rond aftakking tertiaire net	max. sectiegrootte 200 aansluitingen Afsluiters in de hoofdleiding, aan weerszijden van een sectie

Vitens geeft aan (nog) geen uniforme ontwerpisen te hebben voor secundaire netten. Daarnaast zien zij dat de overgang tertiair en secundair voor Vitens ligt bij een diameter van 111 mm (kleiner = tertiair, groter = secundair). Daarnaast leveren secundaire netten altijd aan meer dan één sectie, zij hebben een transporterend vermogen van minder dan 80%. Primaire netten hebben een transporterend vermogen van meer dan 80%. Kortom meer dan 80% van wat er in gaat, komt er ook weer uit; en wordt dus niet verbruikt.



# III OLM en druk

Ondermaatse Leveringsminuten (OLM) is een maat voor het gemiddeld aantal minuten dat een klant een ondermaatse levering ervaart; dit kan zijn 1) geen levering, 2) te lage druk 3) water van ondermaatse kwaliteit.

**Ad 2** Indien de geleverde druk <20 mwk is, is sprake van ondermaatse druk in OLM. Ondermaatse druk kan worden vastgesteld door metingen in het net, registratie van drukklachten en door het uitvoeren van leidingnetberekeningen (Blokker en Kivit 2005).

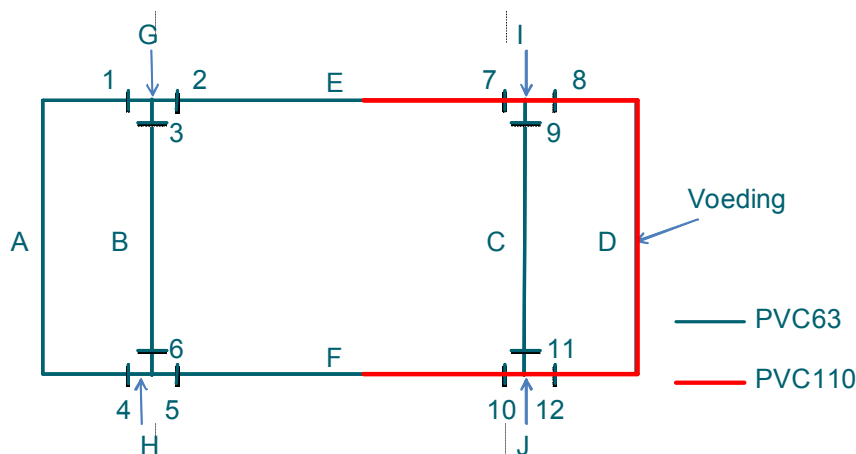
De OLM (in elk geval type 1 en 2) wordt beïnvloed door het aantal storingen per jaar, de onderbrekingsduur van de storing, het aantal aansluitingen per sectie en de betrouwbaarheid van afsluiters.

CAVLAR (Meerkerk et al. 2009) is een tool waarmee het effect van de betrouwbaarheid van afsluiters op de OLM bepaald kan worden voor OLM type 1 (onderbrekingen). Door de betrouwbaarheid van afsluiters op 100% te zetten kan ook de invloed van de onderbrekingsduur, de sectiegrootte en de storingskans worden bepaald. Met CAVLAR kan niet OLM type 2 of 3 worden bepaald. InfoWorks heeft de mogelijkheid om OLM type 1 en type 2 (bij 100% betrouwbare afsluiters) te bepalen.

Het standaardvoorbeeld bij de toelichting van CAVLAR is een eenvoudig netwerkmodel met 600 aansluitingen, 660 m leiding en 12 afsluiters (Tabel III-1, Figuur III-1).

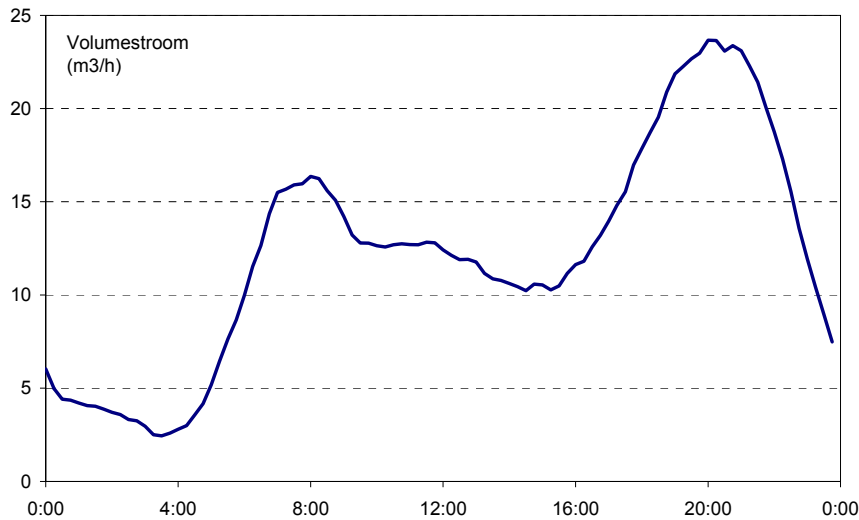
Tabel III-1 Kenmerken van eenvoudig model

Sectie ID	Lengte (m)	Aantal aansluitingen
A	120	100
B	80	100
C	120	100
D	120	100
E	80	100
F	120	100
G	5	0
H	5	0
I	5	0
J	5	0



Figuur III-1 Layout eenvoudig leidingnet met afsluiters en secties

Met InfoWorks is ter vergelijking het eenvoudige model doorgerekend op mogelijke drukonderschreiding na (volledige) isolatie van de secties. Hierbij is uitgegaan van 100% betrouwbaarheid van de afsluiters, leidingdiameters als weergegeven in Figuur III-1 en een constante drukhoogte op het voedingspunt van 27 mwk. Als verbruik is een maxdagpatroon (Figuur III-2) met een maximum van 0,04 m<sup>3</sup>/h per aansluiting aangehouden. Bij de toetsing is als voorbeeld een grenswaarde van 25 mwk drukhoogte aangehouden in plaats van 20 mwk.



Figuur III-2 Verbruikspatroon voor 600 aansluitingen op een maxdag

De volgende stappen zijn daarvoor met InfoWorks uitgevoerd:

- aanmaak van het hiervoor beschreven netwerk met maxdagverbruikpatroon
- indeling in secties op basis van de afsluiterconfiguratie (model > set area code> isolation area code > find areas > generate unique names> set area codes)
- uitvoeren van een hydraulische berekening type 'Critical Link Analysis' (Close isolation area for each test; analyse criteria: minimum pressure 25 m, tellen van customerpoints)
- aanmaak van een Service Level Summary met een minimum druk criterium van 25 mwk (Tabel III-2). In deze tabel worden alleen resultaten van simulaties weergegeven waarbij een onderschreiding van de opgegeven drukwaarde is berekend. In de kolommen beginnend met de koptekst 'additional' betreft het verschil ten opzicht van de basisberekening zonder isolatie.
- per isolatiesimulatie wordt vervolgens een Service Level tabel aangemaakt en geëxporteerd naar een Excel-bestand; zie Tabel III-3. In deze tabel is de OLM berekend met volledige isolatie door de afsluiters (100% betrouwbaarheid) en apart ook de OLM door drukonderschreiding in aangrenzende secties berekend voor een maxdag-situatie. De OLM-berekening vindt dus niet in InfoWorks plaats, maar wel op basis van de InfoWorks-resultaten.

Het voorbeeld is vooral bedoeld om te laten zien hoe met InfoWorks de OLM kan worden bepaald; het gaat niet zozeer om de uitkomsten (de hoogte van de OLM). Voor dit fictieve voorbeeld blijkt dat de berekende 'OLM op een maxdag door drukonderschreiding' slechts 0,32% bedraagt van de berekende 'OLM door isolatie bij 100% betrouwbaarheid van afsluiters' (1 seconde t.o.v. 3 minuten). De kleine bijdrage van drukonderschreiding aan de OLM komt door de korte sectielengtes (5 m) en daardoor lage storingskans waarbij drukonderschreiding in naburige secties optreedt. Voor grotere modellen, bij minder vermazing en een slanker net kan de bijdrage van drukonderschreiding door isolatie aan de OLM hoger zijn. N.B. de ondermaatse druk wordt bepaald over 24 uur. Bij een veronderstelde storingsduur / onderbrekingsduur van 3 uur wordt de tijdsduur van de ondermaatse druk verondersteld evenredig te worden verdeeld. Wanneer de storing tijdens maximaal verbruik plaatsvindt kan het zijn dat de tijdsduur van de ondermaatse druk de volledige 3 uur is (en de OLM type 2 dus 8 s ipv 1 s is – de bijdrage van OLM type 2 aan de totale OLM is dan 2,55%); wanneer de storing tijdens laag verbruik plaatsvindt kan het zijn dat de tijdsduur van de ondermaatse druk 0 is (en de OLM type 2 dus ook 0).

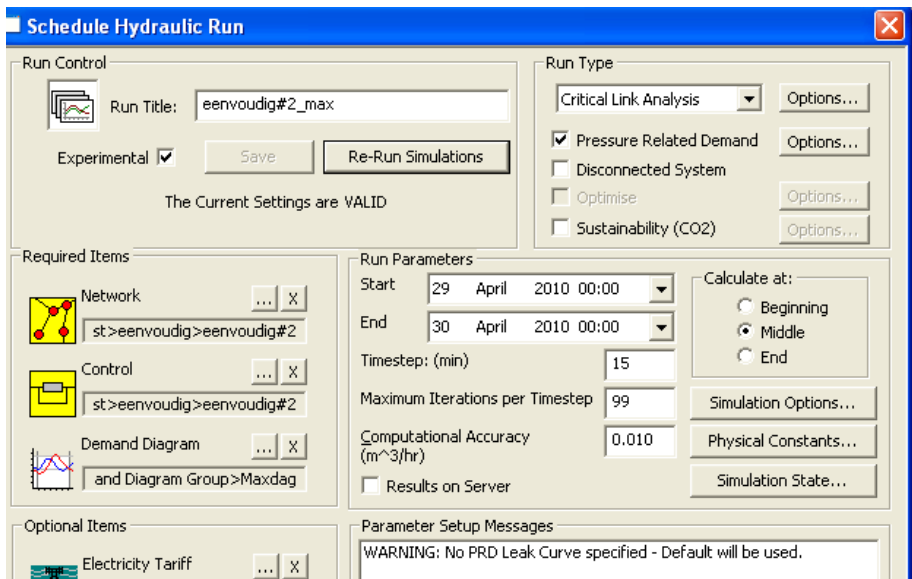
Tabel III-2 Service Level Summary grid-report

Simulation	Event Demand Change (%)	Additional Isolated Customer Points	Additional Customer Points Below Minimum Pressure
10	16.6	1	1
3	0.0	0	3
4	0.0	0	3
5	99.7	6	6
6	16.6	1	1
7	16.6	1	1
8	16.6	1	1
9	16.6	1	1

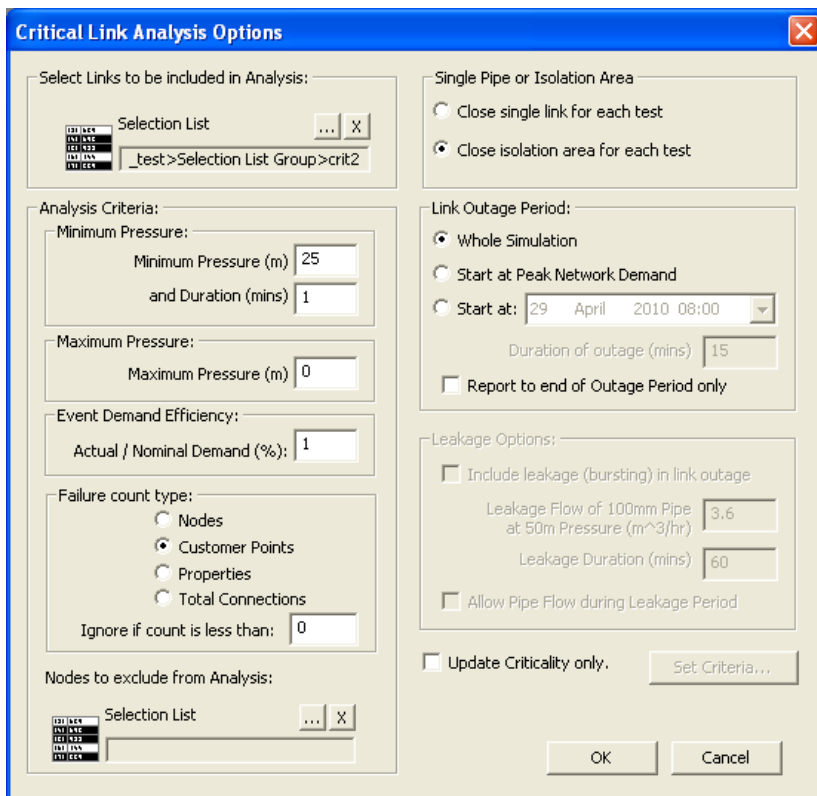
Tabel III-3 Samenvatting uitvoer vanuit Infoworks en berekening van OLM

Simulatie	uitvoer vanuit Infoworks						invoer kentallen		resultaat OLM-berekening		
	Uitval sectie	Getroffen sectie	Aantal aansluitingen	Min. Druk (mwk)	Cumulative <25m (uu:mm)	Lengte sectie	Storingskans leiding (#/km/j)	Storingsduur (uu:mm)	Storingskans sectie (#/sectie/j)	OLM door isolatie (uu:mm:ss)	OLM door ondermaatse druk op maxdag (uu:mm:ss)
6	A	A	100	0	24:00	120	0.08	03:00	0.960%	2:52:48	
7	B	B	100	0	24:00	80	0.08	03:00	0.640%	1:55:12	
9	C	C	100	0	24:00	120	0.08	03:00	0.960%	2:52:48	
5	D	A	100	0	24:00	120	0.08	03:00	0.960%	2:52:48	
5	D	B	100	0	24:00	120	0.08	03:00	0.960%	2:52:48	
5	D	C	100	0	24:00	120	0.08	03:00	0.960%	2:52:48	
5	D	D	100	0	24:00	120	0.08	03:00	0.960%	2:52:48	
5	D	E	100	0	24:00	120	0.08	03:00	0.960%	2:52:48	
5	D	F	100	0	24:00	120	0.08	03:00	0.960%	2:52:48	
8	E	E	100	0	24:00	120	0.08	03:00	0.960%	2:52:48	
10	F	F	100	0	24:00	80	0.08	03:00	0.640%	1:55:12	
1	G	-	0	>25	00:00	5	0.08	03:00	0.040%		0:00:00
2	H	-	0	>25	00:00	5	0.08	03:00	0.040%		0:00:00
3	I	A	100	24.03	03:30	5	0.08	03:00	0.040%		0:01:03
3	I	B	100	23.98	03:30	5	0.08	03:00	0.040%		0:01:03
3	I	E	100	23.75	04:00	5	0.08	03:00	0.040%		0:01:12
4	J	A	100	24.65	02:30	5	0.08	03:00	0.040%		0:00:45
4	J	B	100	24.6	02:30	5	0.08	03:00	0.040%		0:00:45
4	J	F	100	24.3	03:00	5	0.08	03:00	0.040%		0:00:54
gemiddelde OLM voor 600 aansluitingen										0:02:59	0:00:01

In- en uitvoerschermen van Infoworks




Infoworks-invoerscherm: uitvoeren van een hydraulische berekening type 'Critical Link Analysis'




Infoworks-invoerscherm met opties voor de 'Critical Link Analysis': Close isolation area for each test; analyse criteria: minimum pressure 25 m, tellen van customerpoints

**Service Level Summary**

Optional Base Simulation:

Sim    
 oudig#2\_max>eenvoudig#2

Simulations to Compare:


Sim    


```

/r>eenvoudig#2_max>10
/r>eenvoudig#2_max>3
/r>eenvoudig#2_max>4
/r>eenvoudig#2_max>5

```

Nodes to exclude from Analysis:

Selection List    


Minimum Pressure Criteria:  
 Minimum Pressure Limit (m)  Duration (mins)

Maximum Pressure Criteria:  
 Maximum Pressure Limit (m)  Duration (mins)

Pressure Threshold Criteria:  
 Maximum Decrease in Lower Threshold (%)   
 Duration   
 Maximum Increase in Upper Threshold (%)   
 Duration

Report on:  
 Nodes  
 Customer Points

Check Minimum Pressure and Lower Threshold at:  
 Node  
 Highest Property

Infoworks-invoerscherm voor aanmaak van een Service Level Summary: instellen minimum druk criterium van 25 mwk gedurende 1 minuut

**Grid Report : Service Level Summary eenvoudig#2\_max>eenvoudig#2**

Simulation	Event Demand Change (%)	Additional Isolated Customer Points	Additional Isolated Key Customers	Additional Customer Points Below Minimum Pressure	Additional Customer Points Above Maximum Pressure	Lower Threshold Pressure Changes
10	16.62	1	0	1	0	3
3	0.00	0	0	3	0	5
4	0.00	0	0	3	0	5
5	99.74	6	0	6	0	6
6	16.62	1	0	1	0	1
7	16.62	1	0	1	0	1
8	16.62	1	0	1	0	3
9	16.62	1	0	1	0	1

Infoworks-uitvoerscherm van Service Level Summary: per simulatie wordt het aantal getroffen aansluitingen vermeld



**Service Level**

Optional Base Simulation:

Sim    
oudig#2\_max>eenvoudig#2

Simulation to Compare:

Sim    
kwr >eenvoudig#2\_max>10

Nodes to exclude from Analysis:

Selection List

Report on:

Nodes  
 Customer Points

Include columns for Demand and Leakage  
 Show clusters of Service Level failures

Minimum Pressure Criteria:

Minimum Pressure Limit (m)  Duration (mins)   
 Include Nodes without Demand

Maximum Pressure Criteria:

Maximum Pressure Limit (m)  Duration (mins)

Demand Criteria:

Failure when Demand Reduction from Base Simulation > (%)   
Failure when Demand Efficiency < (%)

Pressure Threshold Criteria:

Maximum Decrease in Lower Threshold (%)   
Duration (mins)   
Maximum Increase in Upper Threshold (%)   
Duration (mins)

Check Minimum Pressure and Lower Threshold at:

Node  
 Highest Property

Infoworks-invoerscherm voor aanmaak van een Service Level rapport per simulatie: instellen minimum druk criterium van 25 mwk gedurende 1 minuut

**Grid Report : Service Level : 10**

Node	Area Code	Customer Point	Using Elevation At	Demand Efficiency (%)	Min. Pressure (m)	Cumulative Duration (hrs:mins:secs)	Base Lower Threshold (m)	Lower Threshold (m)	Lower Threshold Change (%)
K01		C01	Cust. Pt.	100.00	25.88	N/A	25.59	25.88	-2.68
K03		C03	Cust. Pt.	0.00	0.00	24:00:00	26.86	0.00	-100.00
K09		C09	Cust. Pt.	100.00	25.86	N/A	26.55	25.87	-2.57
TOTAL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Infoworks-uitvoerscherm per simulatie van Service Level: per simulatie worden berekende details van de getroffen aansluitingen vermeld.

