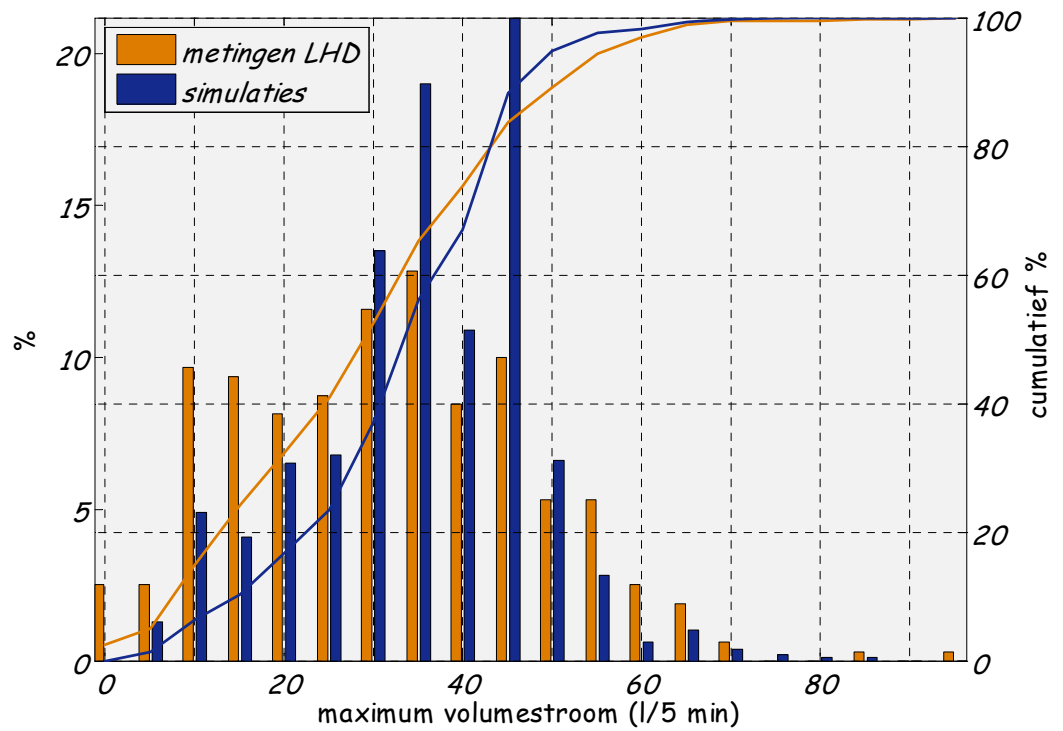


## Modelleren van afnamepatronen

Beschrijving en validatie van het simulatiemodel  
SIMDEUM



**BTO 2006.010**  
Maart 2006

# **Modelleren van afnamepatronen**

Beschrijving en validatie van het simulatiemodel

© 2006 Kiwa N.V.  
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.

**Kiwa N.V.**  
**Water Research**  
Groningenhaven 7  
Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511  
Fax 030 60 61 165  
Internet [www.kiwa.nl](http://www.kiwa.nl)

# Colofon

**Titel**

Modelleren van afnamepatronen; Beschrijving en validatie van het simulatiemodel SIMDEUM

**Projectnummer**

111523.100 / 305905.100

**Projectmanager**

W.J.M.K. Senden

**Kwaliteitsborger(s)**

J.H.G. Vreeburg, P.K. Baggelaar (Icastat)

**Auteur(s)**

E.J.M. Blokker

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

# Samenvatting

## **Simulatiemodel voor afnamepatronen ontwikkeld**

*Binnen het BTO is het computermodel SIMDEUM ontwikkeld voor het simuleren van afnamepatronen (patronen van waterverbruik over de dag) van individuele huishoudens en clusters van huishoudens. De statistische gegevens die als invoer dienen voor het model zijn ontleend aan het driejaarlijkse VEWIN-onderzoek naar waterverbruik thuis, het vijfjaarlijkse Tijdsbestedingsonderzoek van het Sociaal Cultureel Planbureau en het continue bevolkingsonderzoek van het Centraal Bureau voor de Statistiek. De uitvoer van het model laat het verloop van het waterverbruik over één dag zien, op secondebasis, evenals het verbruik van warm water. Uit een verzameling van gesimuleerde dagpatronen kan de kansverdeling van de maximum volumestroom worden geëxtraheerd. De volumestromen en de versnellingen in de volumestromen kunnen ook vertaald worden naar schuifspanningen in de leidingen.*

## **Belang**

De Nederlandse waterbedrijven ontwerpen sinds enige tijd zelfreinigende leidingnetten, waarin eventueel aanwezig sediment niet bezinkt, maar continu wordt afgevoerd door regelmatig voldoende schuifspanning op de leidingwand te veroorzaken. Voor de keuze van de juiste leidingdiameter moeten de snelheid en de schuifspanningen voorspeld kunnen worden. Het ontwikkelde simulatiemodel voorspelt het waterverbruik over de dag en daarbij optredende snelheden en versnellingen, en derhalve ook de schuifspanningen.

Met gebruik van een random patroongenerator voor de verbruiksofbouw in een leidingnetmodel behoort het ontwerp van een leidingnet volgens de probabiliteitsmethode tot de mogelijkheden. Inzicht ontstaat in de gevoeligheden van een ontwerp en gaat de statistiek van de berekeningen een onderdeel vormen van de uitkomst. Risico's binnen het ontwerp worden hiermee duidelijk.

Bij de binneninstallatiebranche is er belangstelling voor afnamepatronen van woongebouwen en utiliteitsbouw ten behoeve van te kiezen leidingdiameters en dimensionering van warmwatertoestellen. Het model voorspelt de afname binnen huishoudens per tappunt (de watertemperatuur is ook een parameter in de simulatie); uitbreiding naar utiliteitsbouw is mogelijk.

De huidige methode voor het voorspellen van de maximum volumestromen, de  $q\sqrt{n}$ -methode, kan met het model worden gevalideerd en zonodig worden aangepast.

## **Aanpak**

Het model simuleert het waterverbruik in een woning; een woning bevat een binneninstallatie met een aantal tappunten en een aantal gebruikers. In het model zijn standaard acht verschillende type tappunten beschikbaar, namelijk de wc, douche, wasmachine, afwasmachine, keukenkraan, badkamerkraan, bad en buitenkraan. Deze tappunten kunnen verder worden

onderverdeeld in subtypes. Een subtype is bijvoorbeeld een wc met kleine stortbak en spoelonderbreker of een ouderwetse wc met hoge stortbak met grote inhoud en geen spoelonderbreker. Voor de keukenkraan worden de subtypes bepaald door het gebruik, bijvoorbeeld de afwas, water voor consumptie en of overige doelen.

Voor alle tappunten wordt een kansverdeling ingevoerd voor de penetratiegraad van type en subtype, de frequentie van gebruik, de tijdsduur van gebruik, de volumestroom en de temperatuur (bron: het driejaarlijkse onderzoek naar 'waterverbruik thuis' en technische gegevens van waterverbruikende apparaten). De waarde van de parameters varieert al naar gelang het aantal bewoners of de leeftijd van een bewoner.

Per woning wordt een kansverdeling ingevoerd van het aantal bewoners en hun leeftijd en geslacht en bij volwassenen of ze buitenshuis werkzaam zijn of niet (bron: CBS). Voor alle bewoners wordt ook een kansverdeling ingevoerd voor het tijdstip van slapen gaan en opstaan en tijdstip van het huis verlaten en thuiskomen (bron: het vijfjaarlijkse Tijdsbestedingsonderzoek van het SCP).

De kansverdelingen voor de Nederlandse situatie zijn opgenomen in het simulatiemodel en beschreven in het rapport. Gebruikers van het model kunnen zelf nieuwe gegevens invoeren. In onderstaande tabel zijn de invoergegevens samengevat; de bron van de gegevens en de belangrijkste onderscheidende factoren zijn hierbij opgenomen.

	<i>invoerparameter</i>	<i>bron*</i>	<i>belangrijkste onderverdeling</i>
bewoners / gebruikers	leeftijd	CBS	wijkniveau
	geslacht	CBS	wijkniveau
	dagbesteding (aantal uren werken)	CBS	Nederland
	dagbesteding (tijdstip opstaan, vertrek, thuiskomst, gaan slapen)	SCP	leeftijd
wc, douche, wasmachine, afwasmachine, keukenkraan, badkamerkraan, bad, buitenkraan	penetratiegraad type†	TNS-Nipo	regio
	frequentie van gebruik	TNS-Nipo	leeftijd
	gebruik over de dag	SCP	leeftijd
	penetratiegraad subtype†	TNS-Nipo	?
	gebruiksduur en volumestroom	TNS-Nipo	?
		technische specificaties	
	temperatuur	technische specificaties	
	spoelonderbreking (wc)	TNS-Nipo	n.v.t.
technische specificaties			

\* Het CBS voert een jaarlijkse update uit, het SCP Tijdsbestedingsonderzoek wordt iedere 5 jaar herhaald, het TNS-Nipo onderzoek naar 'waterverbruik thuis' wordt iedere 3 jaar herhaald

† penetratiegraad van type tappunt en subtype zijn door TNS-Nipo bepaald voor de huidige situatie, voor nieuwbouw dient een andere bron te worden geraadpleegd, bijvoorbeeld installatiebranche Uneto-VNI

Een Monte-Carlo-simulatie trekt uit al deze kansverdelingen aselect waarden voor de invoerparameters die bepalen welke tappunten en bewoners in een huishouden aanwezig zijn en wanneer er water wordt verbruikt. De uitkomst is een reeks van mogelijke dagpatronen die met behulp van een histogram worden gepresenteerd, zodat een gemiddelde en spreiding zichtbaar worden. Een sommatie van waterverbruik van meerdere huishoudens geeft de mogelijke uitkomsten van het waterverbruik van een cluster van huishoudens.

De simulaties zijn geverifieerd met behulp van bestaande metingen van Waternet, Hydron Midden-Nederland en Kiwa. Voor het onderzoek zijn nieuwe metingen uitgevoerd met medewerking van Wolter&Dros, Brinck watermeters en Hydron Midden-Nederland. De metingen en simulaties zijn vergeleken op uurpatronen en op maximum volumestromen.

### **Resultaten**

De invoergegevens voor Nederland en voor een aantal typen nieuwbouwwoningen zijn beschreven. De overeenkomst tussen gemeten en gesimuleerde maximum volumestromen is redelijk; er is een gemiddelde afwijking van 20% ten opzichte van de metingen. Dit is beter dan bij de  $q\sqrt{n}$ -methode, die voor een straat of wijk vaak ca. 100% afwijkt van de metingen. De  $q\sqrt{n}$ -methode blijkt voor één woning een goede voorspelling te geven voor de maximum volumestroom.

De overeenkomst tussen metingen en simulatie verbetert duidelijk wanneer in de simulaties specifieke CBS-gegevens van de wijk worden meegenomen. De overeenkomst in patroon over de dag tussen metingen en simulaties is groot voor wat betreft de ochtendpiek, maar minder groot voor de vroege avond. Het simulatiemodel vertoont onvoldoende correlatie met de metingen rond het avondeten.

Een betaversie van het model is beschikbaar; voor gebruik is kennis van Matlab® noodzakelijk, alsmede enige statistische kennis. Verdere ontwikkeling naar een gebruiksvriendelijker model wordt, gezien het belang van het model, sterk aanbevolen.

### **Advies**

Het model kan gebruikt worden om de binneninstallatie (leidingdiameters en warmwatertoestel) van woningen en woongebouwen te ontwerpen. Het model kan worden uitgebreid voor utiliteitsbouw. Hiervoor dient onderzoek gedaan te worden naar de installatie en gebruikers van koud en warm water.

Het simulatiemodel kan worden gebruikt om de diameters van zelfreinigende netten te bepalen. Het model kan tevens worden ingezet bij de nieuwe methodiek voor het bepalen van miswijzingen van watermeters, en bij het aanscherpen van modellen voor leidingnetberekeningen.



# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
	<b>Inhoud</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1	Belang van het onderzoek	7
1.2	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>De aanpak</b>	<b>9</b>
2.1	Bronnen voor het simulatiemodel	9
2.1.1	WT'01	9
2.1.2	TBO'95	10
2.1.3	CBS	12
2.1.4	Eerder onderzoek van Kiwa	12
2.1.5	Overige bronnen	13
2.2	Andere modellen	13
2.3	De opbouw van het simulatiemodel	14
<b>3</b>	<b>De invoer van het simulatiemodel</b>	<b>17</b>
3.1	Tappunten en gebruikers	17
3.2	Externe factoren	18
<b>4</b>	<b>De uitvoer van het simulatiemodel</b>	<b>21</b>
4.1	De binneninstallatie	21
4.1.1	Volumestroom	22
4.1.2	Warmwatervolume	23
4.2	Het distributienet	24
4.2.1	Volumestroom	25
4.2.2	Maximum schuifspanning	25
4.3	Validatie van het simulatiemodel	26
4.3.1	Kentallen voor maximum afname	26
4.3.2	Verbruikspatroon	27
<b>5</b>	<b>Gevoeligheidsanalyse</b>	<b>31</b>
5.1	Tijdschaal	31
5.2	Effect van verschillende type woningen	32
5.3	Effect van de installatie en type bewoners	33
5.4	Conclusie gevoeligheidsanalyse	34
5.5	Schuifspanning	34



<b>6</b>	<b>Validatie van het simulatiemodel</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Conclusies</b>	<b>41</b>
7.1	Bruikbaarheid van het simulatiemodel	41
7.2	Validatie van het simulatiemodel	41
<b>8</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>43</b>
8.1	Het driejaarlijkse VEWIN-onderzoek “waterverbruik thuis”	43
8.2	Tijdsbestedingsonderzoek	44
8.3	Metingen	44
8.4	Verbeteringen van het simulatiemodel	44
8.5	Toepassingen van het simulatiemodel	45
<b>9</b>	<b>Referenties</b>	<b>49</b>
<b>I</b>	<b>Statistiek</b>	<b>51</b>
<b>II</b>	<b>Enquête-gegevens bij metingen Wolter&amp;Dros</b>	<b>53</b>
<b>III</b>	<b>Validatie van het simulatiemodel</b>	<b>55</b>
III.1	Enquêtes	55
III.2	Validatie op wijkniveauvoorzieningsgebiedniveau: meten bij pompstations	55
III.2.1	Overzicht metingen	56
III.2.2	De simulatie	58
III.2.3	Vergelijken van metingen en simulatie	60
III.2.4	Conclusie	61
III.3	Validatie op straatniveau: meten in de straat	61
III.3.1	Overzicht metingen	62
III.3.2	De simulatie	65
III.3.3	Vergelijken van metingen en simulatie	68
III.3.4	Conclusie	70
III.4	Validatie op huishoudniveau: meten op de watermeter	70
III.4.1	Overzicht metingen	70
III.4.2	Metingen Wolter&Dros	71
III.4.3	Simulaties Wolter&Dros	74
III.4.4	Vergelijken van metingen en simulatie	76
III.4.5	Conclusie Wolter&Dros-metingen	78
III.4.6	Metingen LHD	79
III.4.7	Simulaties LHD	80
III.4.8	Vergelijken van metingen en simulatie	83
III.4.9	Conclusie LHD-metingen	85
III.5	Meten per tappunt	86

# 1 Inleiding

## 1.1 Belang van het onderzoek

Zowel vanuit de watersector als de binneninstallatiebranche bestaat de behoefte om het waterverbruik van individuele huishoudens en kleine clusters van huishoudens te kennen. Kennis van afnamepatronen is een voorwaarde om goed leidingnetten op straatniveau te kunnen ontwerpen. In leidingnetten en installaties dient gedurende hun levenscyclus geen accumulatie van sediment op te treden. Dat betekent dat er ontworpen moet worden op regelmatig hoge snelheden, een eenduidige stromingsrichting en korte verblijftijden. Sedimentvorming en -ophoping wordt hiermee tegengegaan.

Het ontwerpen op zelfreinigend vermogen is een concept dat sinds 1999 in de bedrijfstak wordt toegepast [van den Boomen en Vreeburg, 1999]. In het nieuwe ontwerpconcept is het belangrijk te weten wélk verbruik wáár op de leiding zit. Er bestaan rekenmethodes die piekgebruiken van één of meer woningen kunnen berekenen, o.a. de  $q\sqrt{n}$  - methode [Mesman en Trietsch, 2000]. Metingen aan afnamepatronen laten echter zien dat deze methode niet voldoet voor de pieken die dagelijks op kunnen treden [Mul et al, 2002]. Deze metingen laten ook zien dat er wel sprake is van een zelfreinigende werking, ook in het geval dat de ontwerpsnelheid van 0,4 m/s niet wordt gemeten. Geconcludeerd werd dat wellicht ook de versnellingscomponent van de schuifspanning van belang is [van den Boomen en Mazijk, 2002].

Ook de binneninstallatie-branche wil de afnamepatronen graag kennen in verband met de legionellabestrijding [Kooij et al, 2003; Scheffer, 2002]. Men is geïnteresseerd in de afnamepatronen van koud en warm tapwater van één enkele woning. Voorraadtoestellen voor warm tapwater kunnen dan beter worden gedimensioneerd [Scheffer, 2005]. Van der Schee en Scheffer [2004] constateren dat ook in het buitenland hier behoefte aan is.

Tevens is er interesse in afnamepatronen in verband met de miswijzing van watermeters [Baggelaar en van Lieverloo, 2004]. Aangezien de miswijzing verschilt over het volumestroomgebied van de watermeter is de totale miswijzing afhankelijk van het verbruik over de volumestromen.

Het doel van voorliggend onderzoek is een beter model te maken dan de  $q\sqrt{n}$  - methode. Dit nieuwe simulatiemodel moet realistisch zijn en rekening houden met toekomstige ontwikkelingen. Het doel is een hogere nauwkeurigheid in momentane verbruiken, aangezien de  $q\sqrt{n}$  - methode het maximum verbruik soms een factor 3 te hoog schat, zoals blijkt uit metingen [van den Boomen, 2001; Mul et al, 2002].

## 1.2 Leeswijzer

In dit rapport wordt het (computer)model SIMDEUM (SIMulation of water Demand; an End-Use Model) voor de simulatie van waterverbruik in huishoudens toegelicht. De volledige handleiding zal bij het programma worden geleverd in html-formaat. Hoofdstuk 2 van het rapport bevat informatie over de geraadpleegde bronnen, andere modellen met betrekking tot afnamepatronen en een beschrijving van de structuur van het simulatiemodel. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de invoergegevens voor het model besproken; een apart bijlagerapport [Blokker, 2006] bevat de bijlagen waarin de gegevens van de gebruiker en de soorten tappunten in het simulatiemodel in detail worden beschreven. In hoofdstuk 4 wordt de uitvoer van het simulatiemodel beschreven; welke zaken moeten er uit het model komen en hoe kan dat gepresenteerd worden. In hoofdstuk 5 wordt de gevoeligheid van het simulatiemodel geanalyseerd. Vervolgens wordt het model gevalideerd aan de hand van metingen, de laatste bijlage gaat uitgebreid in op de validatie, terwijl in hoofdstuk 6 slechts de samenvatting wordt gegeven. In de hoofdstukken 7 en 8 worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan. De bijlagen in dit rapport gaan in op de statistiek die gebruikt is in het onderzoek en bevatten enige achtergrond bij de metingen.

Het simulatiemodel is in het Engels geprogrammeerd. In het rapport worden de termen die in het model worden gebruikt niet vertaald, in de tekst staan de engelse termen *cursief gedrukt*. Informatie uit het model wordt in kaders geplaatst, het lettertype is dan ook anders, namelijk een letter met een vaste breedte per letter.

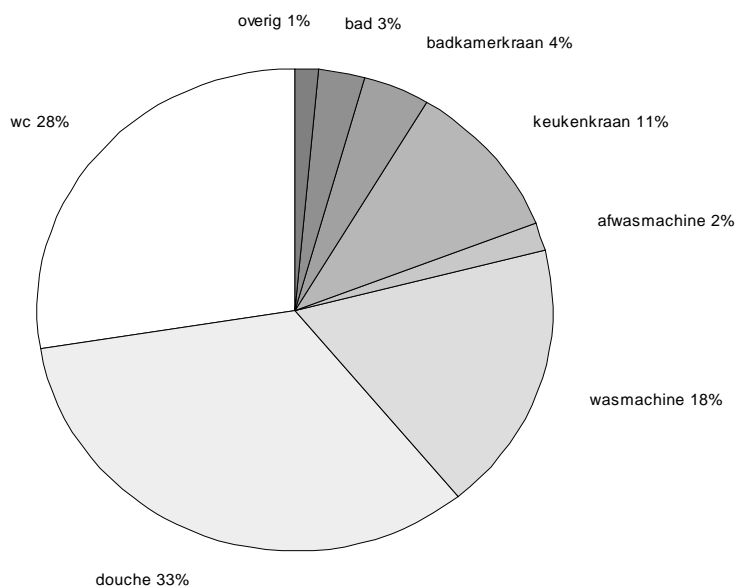
## 2 De aanpak

Bij de ontwikkeling van ons simulatiemodel zijn verschillende bronnen geraadpleegd. Deze bronnen bevatten informatie over mogelijke invloedsfactoren van afnamepatronen (statistische gegevens) of beschrijven reeds bestaande modellen met betrekking tot afnamepatronen. In dit hoofdstuk worden de bronnen en de relevante bestaande modellen beschreven. Het hoofdstuk eindigt met een kort overzicht van de opbouw van het door Kiwa ontwikkelde simulatiemodel.

### 2.1 Bronnen voor het simulatiemodel

#### 2.1.1 WT'01

In opdracht van VEWIN doet TNS-NIPO driejaarlijks een onderzoek naar het waterverbruik in huishoudens. Voor dit rapport is gebruik gemaakt van het onderzoek 'Waterverbruik Thuis 2001' [Foekema en Engelsma, 2001]. In het rapport zal naar dit onderzoek worden gerefereerd als het WT'01. Ongeveer 3200 huishoudens hebben in de zomer en het najaar van 2001 aan dit onderzoek deelgenomen. Het onderzoek bestaat uit een enquête en het bijhouden van het waterverbruik gedurende een week. Uit het onderzoek komen gegevens over de aanwezigheid van waterverbruikende apparaten en de frequentie en hoeveelheid van gebruik per dag.



*figuur 2-1 Verdeling van wateroverbruik over de verschillende tappunten, de buitenkraan is hierin niet meegenomen, WT'01.*

In ons simulatiemodel worden 8 verschillende soorten tappunten gedefinieerd. In figuur 2-1 zijn deze tappunten met hun aandeel aan het

dagelijks gemiddelde waterverbruik weergegeven. De buitenkraan is in deze figuur niet meegenomen.

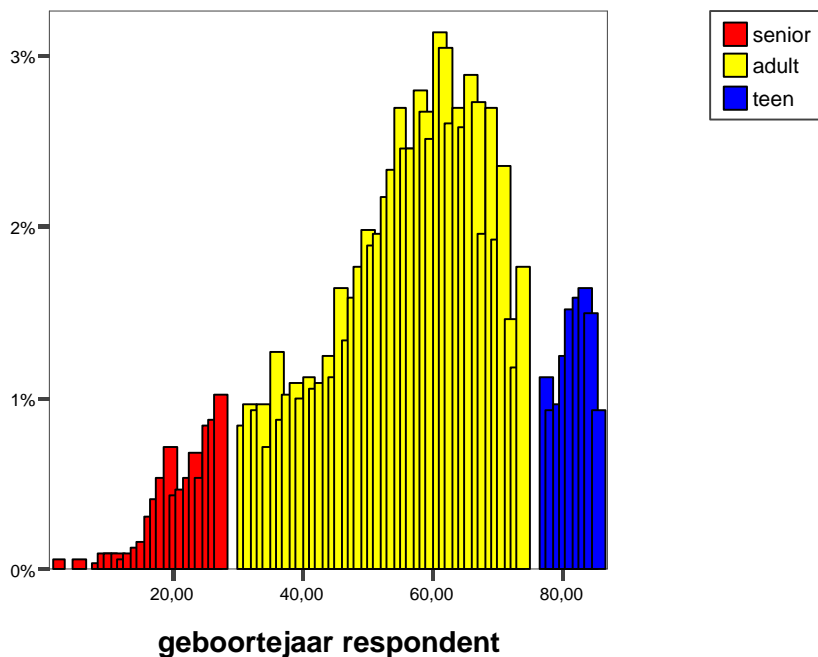
Tijdens de loop van voorliggend onderzoek is in 2004 wederom een onderzoek gedaan naar het waterverbruik thuis, WT'04 [Kanne, 2005a]. Er zijn enkele verschillen tussen WT'01 en WT'04. De verschillen in vraagstelling hebben voor onderhavig onderzoek geleid tot een aantal aanvullingen uit WT'04 op WT'01. Echter, de getallen van penetratiegraad, verbruik en capaciteit zijn gebaseerd op WT'01.

### 2.1.2 TBO'95

Het SCP doet vijfjaarlijks een tijdsbestedingsonderzoek. Voor dit rapport is gebruik gemaakt van het onderzoek uit 1995 [Broek en Breedveld, 1995]. In het rapport zal naar dit onderzoek worden gerefereerd als het TBO'95. De gegevens komen uit een computerfile, een database met alle gegevens, antwoorden van de enquête en het dagboek.

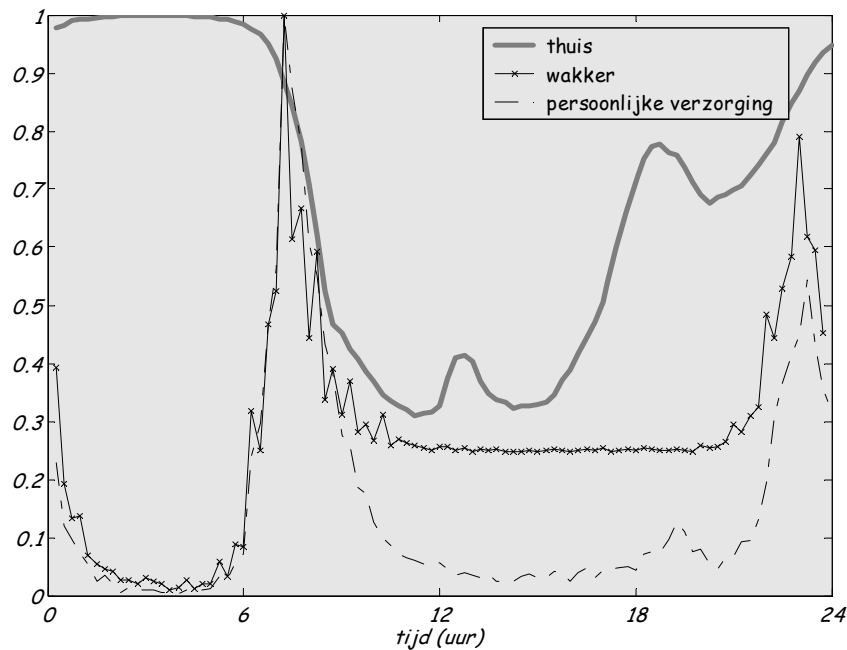
Ongeveer 3200 respondenten (ouder dan 12 jaar) hebben in het najaar van 1995 (1 t/m 7 oktober en 8 t/m 14 oktober; buiten de herfstvakantie) aan dit onderzoek deelgenomen. Het onderzoek bestond uit een enquête en het bijhouden van een dagboekje gedurende een week. Aangezien er van dit onderzoek geen rapport is geschreven zal hier kort worden beschreven hoe het onderzoek is opgezet.

- De steekproef bestond uit mensen van 12 jaar of ouder, de leeftijdsverdeling is in figuur 2-2 weergegeven.
- Activiteiten (er zijn codes voor een groot aantal verschillende activiteiten beschikbaar) die minimaal 8 minuten in een kwartier hebben plaatsgevonden worden geregistreerd in een dagboekje.
- Niet alle denkbare activiteiten hebben een eigen code. Zo is wassen, was ophangen en was binnenhalen één code. Toiletbezoek heeft geen code, douchen ook niet. Er is wel een code voor persoonlijke verzorging.
- Het geeft de activiteiten weer van de respondenten, niet van het huishouden (de schoonmaakactiviteiten worden niet altijd door de respondenten gedaan).
- In 1995 was er in de enquête een vraag opgenomen naar hoe laat men meestal van huis gaat. Deze vraag is er in het onderzoek van 2000 uitgehaald. Het blijkt dat de antwoorden op de vraag slecht overeenkomen met de tijden die uit de dagboekjes blijken.
- In 1995 waren er minder mensen met een vaatwasmachine dan in 2000, voor het inzicht in het afwassen (de enige activiteit die direct gerelateerd is aan waterverbruik) was het TBO'95 een betere bron.
- Het TBO'00 kan worden geraadpleegd voor meer up-to-date informatie. Vanaf eind 2004 is TBO'00 algemeen beschikbaar, vanaf 2006 is het TBO'05 beschikbaar voor onderzoeksdoeleinden.



figuur 2-2 Geboortejaar (na 1900) van de respondenten van het TBO'95 (geboren voor 1930 zijn de 65+ers in 1995).

In TBO'95 is geen activiteit douchen meegenomen, maar er is wel een categorie 'persoonlijke verzorging'. Hieronder valt douchen, aankleden, scheren, opmaken etc. Wanneer de tijdstippen hiervan vergeleken worden met de tijdstippen van opstaan, naar bed gaan en thuis zijn is er een duidelijk verband te zien. In figuur 2-3 is voor een doordeweekse dag het gemiddelde patroon uitgezet van thuis zijn, wakker zijn en persoonlijke verzorging. Het gemiddelde patroon is verkregen door voor de betreffende activiteit (thuis zijn, wakker zijn en persoonlijke verzorging) een waarde 1 toe te kennen per respondent waarvoor die activiteit geldt en anders een waarde 0. Om de overgang van waken naar slapen en andersom (opstaan en naar bed gaan) duidelijk naar voren te laten komen is bij de overgang van 0 naar 1 een waarde van 20 toegekend (in plaats van 1). Daarna is de tijdreeks voor alle respondenten gesommeerd en genormeerd op 1. Tijdens opstaan en naar bed gaan (rond 7:00 en 23:30 uur) is een duidelijke piek in de persoonlijke verzorging te zien. De kleinere piekjes (bijv. rond 19:30) vallen ongeveer gelijk met de pieken in het thuis zijn.



figuur 2-3 Gemiddeld patroon over de dag (zaterdag) voor thuis zijn, wakker zijn en persoonlijke verzorging.

Voor dit rapport zijn vooral de tijdstippen en tijdsduren bestudeerd van slapen en waken, thuiszijn en elderszijn. Voor de tijden van waterverbruik is gekeken naar het afwassen.

### 2.1.3 CBS

Het Centraal Bureau voor de Statistiek doet voortdurend onderzoek naar allerlei zaken in de Nederlandse samenleving. Op hun website [CBS, 2004] zijn deze zaken eenvoudig op te vragen. Voor dit rapport is met name gekeken naar de samenstelling van huishoudens in Nederland.

### 2.1.4 Eerder onderzoek van Kiwa

Eerder onderzoek van Kiwa ([Blokker, 2003; Vogelaar en Blokker, 2004]) heeft zich gericht op de keuze voor tappunten (afhankelijk van de gebouwfunctie) en informatie van installatiebedrijven over volumestromen van apparaten en open- en sluittijden. Daarnaast is hier geïnventariseerd welke gegevens gebruikt worden voor de dimensionering van leidingen en warmwatertoestellen. Tevens zijn een aantal randvoorwaarden duidelijk geworden, zoals de beperking in gelijktijdig warmwatergebruik afhankelijk van het type warmwatertoestel.

Tijdens onderzoek naar de nieuwe ontwerpcriteria voor vertakte leidingen zijn metingen uitgevoerd aan tappatronen. In hoofdstuk 6 worden deze gebruikt voor de validatie van het simulatiemodel.

### 2.1.5 Overige bronnen

Informatie over het energie- en watergebruik van wasmachines en afwasmachines is te vinden in [SenterNovem, 2004]. Siemens heeft informatie verstrekt over het patroon van waterinname van een bepaald type was- en afwasmachine.

Voor watergebruik van tuinsproeiers en tuinslangen is informatie gevonden op de website van Gardena [Gardena, 2004].

De Europese studie Health Behaviour in School aged Children heeft informatie opgeleverd over tandenpoetsen in Vlaams sprekend België [Vereecken en Maes, 2004].

## 2.2 Andere modellen

Hier wordt kort ingegaan op modellen van afnamepatronen waarover (onlangs) is gepubliceerd. Naast de genoemde literatuur is ook gepubliceerd over randvoorwaarden voor een model, metingen die gedaan zijn op basis waarvan een model geconstrueerd kan worden etc. Deze publicaties hebben echter geen concrete modellen opgeleverd en worden derhalve hier niet behandeld. Voor de meeste modellen geldt dat ze ofwel bedoeld zijn om voor onbemeterde percelen het 'juiste' watergebruik in rekening te kunnen brengen ofwel dat ze voorspellingen kunnen opleveren voor het totale waterverbruik of piekgebruik in de toekomst. Daarbij zijn de meeste modellen op metingen van waterverbruik gebaseerd, en niet zozeer op overige bronnen.

Aan de basis van de hierna besproken modellen staan metingen aan waterverbruik [Buchberger en Wells, 1996; AwwaRF, 2003]. Hieruit volgt onder andere dat een afnamepatroon is opgebouwd uit blokvormige patronen. Veel van de metingen worden ook gebruikt om parameters voor modellen te schatten.

Het model van [Williamson et al, 2002] voorspelt de jaarlijkse waterafname in Engelse huishoudens op verschillende niveaus; regionaal, district en sub-district. Determinanten zijn grootte en samenstelling van het huishouden, aantal huishoudens, grootte van de woning (aantal slaapkamers) en type woning (met schatting van oppervlakte tuin). De basis is de volkstelling van 1991 en officiële bevolkingsprognoses. Daarnaast is er in 1991 een onderzoek naar huishoudelijk waterverbruik gedaan. Verschillende scenario's voor de watervraag zijn met elkaar vergeleken; ten eerste géén verandering met 1991 en vervolgens (een combinatie van) verandering(en) in bezit van apparaten (wasmachine, vaatwasmachine, en was-droogcombinatie), watergebruik van deze apparaten, gedrag met betrekking tot persoonlijke verzorging en tuinsproeien.

Het model van [García et al, 2003] voorspelt afnamepatronen over de dag. Doel is het afstemmen van vraag en aanbod op uurbasis. In de basis bestaat het model uit de som van een aantal aselekt bepaalde blokvormige pulsen die bij elkaar worden opgeteld. Het is een relatief eenvoudig model, dat



onafhankelijkheid van duur en volumestroom van verbruikspulsen verondersteld. Op basis van metingen zijn parameters geschat die de duur en volumestroom van de pulsen kunnen beschrijven (met behulp van respectievelijk een exponentiële en een Weibull-kansverdeling) en het totale waterverbruik per dag. Daarnaast wordt ook het aantal keer dat een puls plaatsvindt, dus het aantal tappingsen (volgens een Poisson-verdeling) geschat. Voor het tijdstip van gebruik is een derdegraads vergelijking afgeleid uit de gemeten data die als kansverdeling wordt gebruikt. Metingen worden gebruikt om zowel de parameters te schatten als om het model te valideren; dit is een zwak punt. Door de keuze van de exponentiële kansverdeling voor de duur van een tapping komen lange tappingsen nauwelijks voor, terwijl bijvoorbeeld voor douchen een lange tijdsduur verwacht kan worden. Bovendien is de onderliggende reden voor verandering in parameters tussen verschillende locaties onduidelijk en kunnen toekomstvoorspellingen niet worden gedaan.

Jacobs [2004] heeft tijdens zijn promotie onderzoek gedaan naar (het modelleren van) huishoudelijk waterverbruik en afvalwater in Zuid-Afrika. Een deel van dit onderzoek is een uitgebreide literatuurstudie naar waterverbruik in de wereld. Een ander deel van zijn onderzoek is het ontwikkelen van een model, waarin het vooral gaat om de totale hoeveelheid water, niet zozeer om gelijktijdigheid van gebruik.

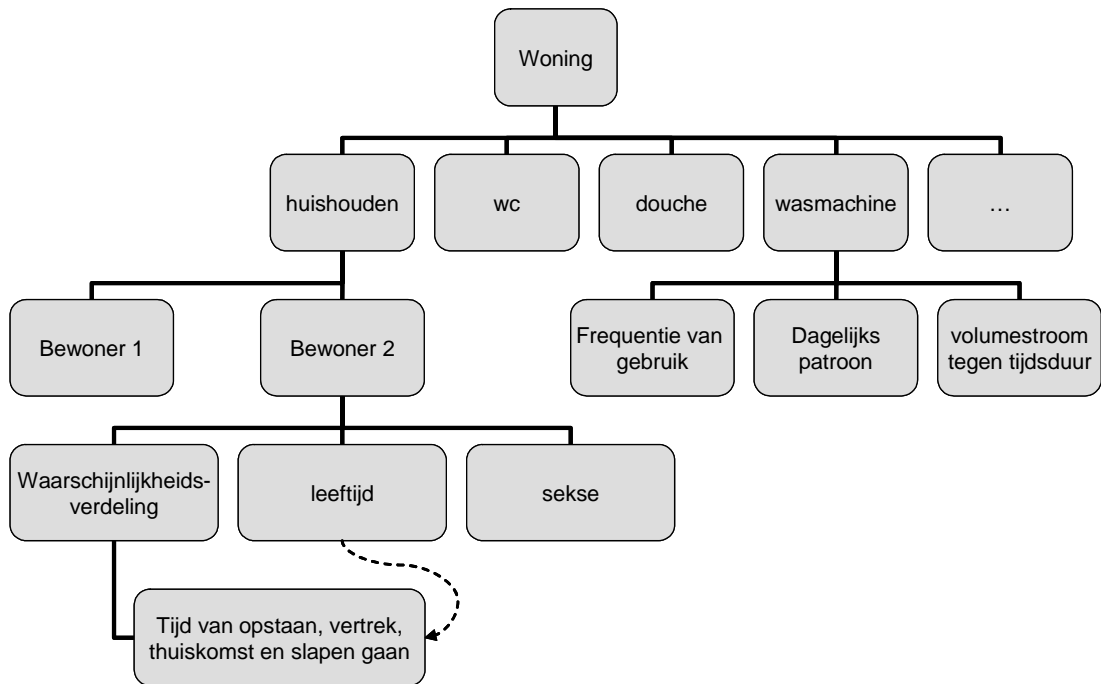
Het waterleidingbedrijf van de gemeente Amsterdam heeft een model – VerbruikSim - dat waterverbruik kan simuleren op 1- of 5-minutenbasis; met als doel iets te kunnen zeggen over het waterverbruik van onbemeterde aansluitingen. Een eerste versie van het model wordt beschreven in een afstudeerverslag [Ansems, 1995]. De opzet van het model en de bronnen die gebruikt zijn vertonen grote gelijkenis met die van het voorliggende onderzoek. Het model was echter niet eenvoudig aan te passen en besloten is om een nieuw model te ontwikkelen, zie ook [Blokker, 2003].

### 2.3 De opbouw van het simulatiemodel

Het simulatiemodel kan het waterverbruik bepalen voor één gebouw, of een aantal gebouwen. In eerste instantie is een gebouw een woning, later kunnen ook andere gebouwen (appartementengebouw, ziekenhuis, etc.) worden gedefinieerd. In figuur 2-4 is de opbouw van een woning in het simulatiemodel schematisch weergegeven. Een woning bestaat uit een aantal tappunten en gebruikers. In figuur 2-4 zijn niet alle tappunten ingevuld.

De tappunten (*types*) kunnen op verschillende manieren worden ingevuld door *subtypes*. Een *subtype* is bijvoorbeeld een wc met kleine stortbak en spoelonderbreker of een ouderwetse wc met hoge stortbak met grote inhoud en geen spoelonderbreker. Voor de keukenkraan worden de *subtypes* bepaald door het gebruik, bijvoorbeeld de afwas, water voor consumptie en overige doelen. Voor alle tappunten is een kansverdeling bekend voor de penetratiegraad van het type en subtype, de frequentie van gebruik, de tijdsduur van gebruik, de volumestroom en de temperatuur. Deze kunnen nog samenhangen met het aantal bewoners of de leeftijd van een gebruiker.

De gebruikers (bewoners) zijn gedefinieerd door hun leeftijd en geslacht en een kansverdeling over de dag voor wat betreft hun waterverbruik. Bij gebruikers in een woning hangt de kansverdeling over de dag samen met de tijdstippen waarop bewoners opstaan, het huis verlaten, thuis komen en gaan slapen, zie § 2.1.2.



figuur 2-4 De opbouw van een woning in het simulatiemodel

Binnen een woning liggen de gegevens van bewoners en van de tappunten de *types* en *subtypes* vast. Om tot een woning te komen kunnen verschillende woningtypes worden gedefinieerd. Een woningtype is bijvoorbeeld een seniorenflat, waar alleen bewoners van ouder dan 55 jaar wonen (een huishouden van één of twee personen) en zonder 2<sup>e</sup> toilet (en met een bepaalde statistische verdeling voor alle tappunten) of een nieuwbouw eengezinswoning met een aantal waterbesparende apparaten (toilet met klein reservoir en spoelonderbreker, douche met waterbesparende douchekop etc.). Binnen een woningtype zijn alle statistische gegevens betreffende de tappunten (zoals penetratiegraad en frequentie van gebruik) en gebruikers (zoals opbouw van huishoudens) opgeslagen.

Met behulp van deze gegevens kan per tappunt worden bepaald hoe vaak en op welke tijdstippen water wordt afgenomen. Er blijkt dat de versnellingen in zulke korte tijd plaatsvinden ( $\ll 1$  seconde) dat deze verwaarloosd kunnen worden en de volumestromen als (samenstelling van) blokvormen kunnen worden weergegeven [Vogelaar en Blokker, 2004; Buchberger en Wells, 1996]. De som van al deze tappatronen is een afnamepatroon van de woning. De som van afnamepatronen van een aantal woningen (aselect gekozen) levert een afnamepatroon in een distributieleiding op.

Voor verdere details van het simulatiemodel en de bepaalde statistische verdelingen van gebruikers en tappunten wordt verwezen naar het rapport met de bijlagen [Blokker, 2005]. Deze geeft informatie over de invoer van het model en inzicht in de informatie die uit verschillende bronnen is verzameld; dit levert aanknopingspunten voor het invoeren van informatie uit andere of nieuwe bronnen.

## 3 De invoer van het simulatiemodel

De invoer voor het simulatiemodel is één (of meer) woningtype(n). Een woning(type) wordt bepaald door (statistische) gegevens van gebruikers en tappunten. Daarnaast zijn er externe factoren, die invloed kunnen hebben op afnamepatronen.

### 3.1 Tappunten en gebruikers

In het vorige hoofdstuk (§ 2.3) is al iets gezegd over hoe de gebruikers en tappunten in het model zijn ingebouwd. In tabel 3-1 is een samenvatting gegeven van de invoervariabelen per type tappunt, figuur 3-1 geeft de statistieken voor bewoners weer. In [Blokker, 2005] wordt in detail daarop ingegaan. In dit rapport worden de invoergegevens van de gemiddelden van Nederland gegeven, waarin ook een aanwijzing zit voor het invullen van andere waarden. In deze paragraaf wordt kort ingegaan op het mogelijk invullen van andere waarden.

*tabel 3-1 samenvatting invoervariabelen van het simulatiemodel*

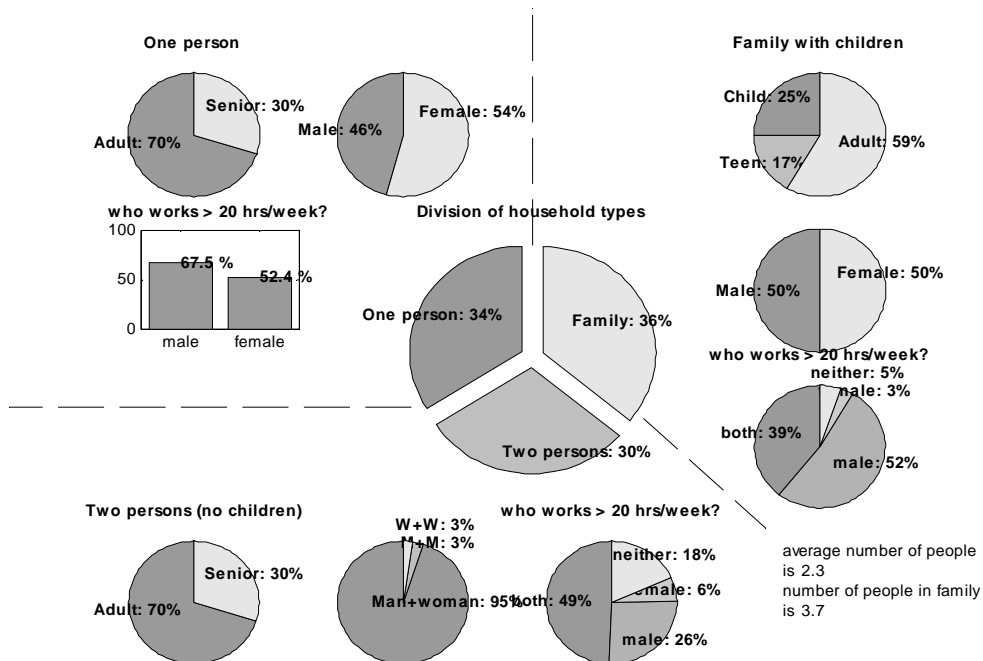
tappunt	penetratie- graad	frequentie (pppd)	patroon over de dag	duur tapping	volume- stroom (l/s)	temp (°C)
wc	100%	6	x	2,4 (min)	0,042	10
douche	100%	0,7	x	8,5 (min)	0,142	38
badkamerkraan	100%	4,1	x	16 (s)	0,083	10
bad	50%	0,044	x	10 (min)	0,2	40
keukenkraan	100%	12,5	uit BTO'95	16 (s)	0,25	10
vaatwasser	50%	0,2	uit WT'01	patroon		10
wasmachine	98%	0,3	uit WT'01	patroon		10
buitenkraan	58%	0,44	x	10 (min)	0,2	10

De invoergegevens voor de tappunten houden voor de \*\_type in de penetratiegraad, de frequentie van gebruik en informatie over de tijdstippen van verbruik over de dag; voor de \*\_subtype zijn de penetratiegraad binnen de type van belang, de volumestroom, tapduur en temperatuur. Het simulatiemodel hanteert per tappunt en per invoertype een vastgelegde statistische verdeling om de uiteindelijke frequentie van gebruik, tijdstip van gebruik, volumestroom en de temperatuur te bepalen van alle tappingen in een woning. De aanwezigheid van verschillende tappunten, en dan met name de subtypes, hangt sterk samen met het type woning (bouwjaar, aantal verdiepingen, wel of geen tuin etc.); voor nieuwe woningen is vaak een beperkte set van installatiemogelijkheden beschikbaar.

De invoergegevens voor gebruikers bestaan uit de samenstelling van de verschillende typen huishoudens (éénpersoons-, meerpersoons- zonder kinderen, en meerpersoons- met kinderen). Daarnaast moet de verdeling van het aantal mensen per leeftijdsgroep (<12, 13-20, 21-64 en 65+) worden opgegeven. Deze gegevens zijn per wijk op te vragen bij het CBS. Informatie

over deeltijdwerk en voltijdwerk heeft het CBS niet per wijk, aangeraden wordt om hiervoor de gemiddelde gegevens van Nederland te gebruiken.

Uit het TBO'95 is informatie gehaald over de tijdstippen waarop mensen opstaan, van huis gaan, thuiskomen en gaan slapen. Dit is echter niet per regio bekend. Aangeraden wordt om de gemiddelde waarden van Nederland te gebruiken. Er is wel een onderscheid gemaakt voor doordeweekse dagen en weekenddagen. Voor een gevoeligheidsanalyse kunnen wel andere, extreme waarden (zoals iedereen tegelijkertijd thuis) worden ingevuld.



figuur 3-1 statistieken over de samenstelling van Nederlandse huishoudens

### 3.2 Externe factoren

Eén van de externe factoren is de watermeter.

- In het simulatiemodel wordt geen rekening gehouden met beperkingen van de volumestroom ten gevolge van de capaciteit van de watermeter. Een watermeter met capaciteit  $Q_n = 1,5$  heeft een kortstondige piekbelasting ( $Q_{max}$ ) van 0,83 l/s. Uit de praktijk blijkt dat deze maximale volumestroom geen beperking is in het watergebruik. Eerste simulaties laten ook zien dat de maximale volumestroom niet beperkt zal worden door deze 0,83 l/s.
- Er zijn aanwijzingen dat huishoudens zonder watermeter minder zuinig omgaan met water en wellicht een lek minder snel verhelpen. Hiervoor zijn geen cijfers gevonden in de literatuur en in Nederland zijn de meeste woningen bemeterd en daarom is wel of geen watermeter niet als factor meegenomen in het simulatiemodel.

Een andere externe factor is de warmwatervoorziening.

- Het comfort dat mensen willen bepaalt de gewenste gelijktijdigheidsklasse [Vogelaar en Blokker, 2004] voor warm water. Een doorstroomtoestel (geiser) heeft een beperking in volumestroom, zodat de douche en de keukenkraan niet tegelijk van warm water kunnen worden voorzien; voor een voorraadtoestel (boiler) geldt die beperking in mindere mate.
- Bij een beperking in de warmwatervolumestroom is het van belang welk tappunt prioriteit krijgt, bijvoorbeeld de keukenkraan gaat voor de douche.
- De temperatuur van het koude en warme water heeft invloed op de beide volumestromen, niet op het totaal. Tijdens een simulatie is de temperatuur van het drinkwater en warm tapwater constant; in een volgende simulatie kunnen andere constanten worden ingevoerd.
- De hersteltijd en volumecapaciteit van een voorraadtoestel [Vogelaar en Blokker, 2004] beperken het totale volume warm water dat in een bepaalde tijd kan worden afgenomen. Het simulatiemodel helpt bepalen wat gewenst is en de genoemde eigenschappen zijn dus geen beperkende factoren in het simulatiemodel.
- Woningen kunnen ook een centrale warmwatervoorziening hebben, er komt dan naast een koudwaterleiding ook een warmwaterleiding het huis binnen. Er wordt dan verondersteld dat er geen beperking is in de warmwatervolumestroom.

Voor een verzameling woningen zijn er nog een aantal externe factoren.

- Bij collectieve warmwatervoorziening zijn niet alleen de afnamepatronen van koud water van belang, maar ook die van warm water.
- Het aantal woningen op een leiding is van belang om de afnamepatronen van de verzameling te kunnen bepalen.
- Voor het berekenen van de schuifspanning is de diameter van de distributieleiding van belang.



## 4 De uitvoer van het simulatiemodel

Afhankelijk van het doel zullen er andere kentallen uit het simulatiemodel moeten komen. Voor woningen of woningtypen kan de simulatie veelvuldig worden gedaan; dit wordt een Monte-Carlo-simulatie genoemd. De uitkomst van zo'n Monte-Carlo-simulatie is veelal een histogram met de verdeling van verschillende kentallen/uitkomsten, zodat inzicht wordt verkregen in zowel het gemiddelde en maximum als de spreiding van de kentallen.

Het simulatiemodel kan worden gedraaid voor een specifieke woning; hieruit komen kentallen voor de dimensionering van de binneninstallatie en aansluitleiding. Wanneer het model gedraaid wordt voor meerdere woningen of woningtypen is de uitkomst een aantal kentallen voor de dimensionering van het leidingnet in een wijk. De kentallen die nodig zijn als ontwerpparameter volgen uit [Vogelaar en Blokker, 2004]. Daarnaast zijn er ook een aantal kentallen die geschikt zijn om het simulatiemodel mee te valideren. In dit hoofdstuk wordt per toepassing beschreven wat het resultaat van de simulatie moet zijn; ontwerp van de binneninstallatie, ontwerp van het distributienet en validatie van het simulatiemodel. De afbeeldingen in dit hoofdstuk zijn ter illustratie; de vorm van de grafische voorstelling is belangrijker dan de exacte uitkomsten.

### 4.1 De binneninstallatie

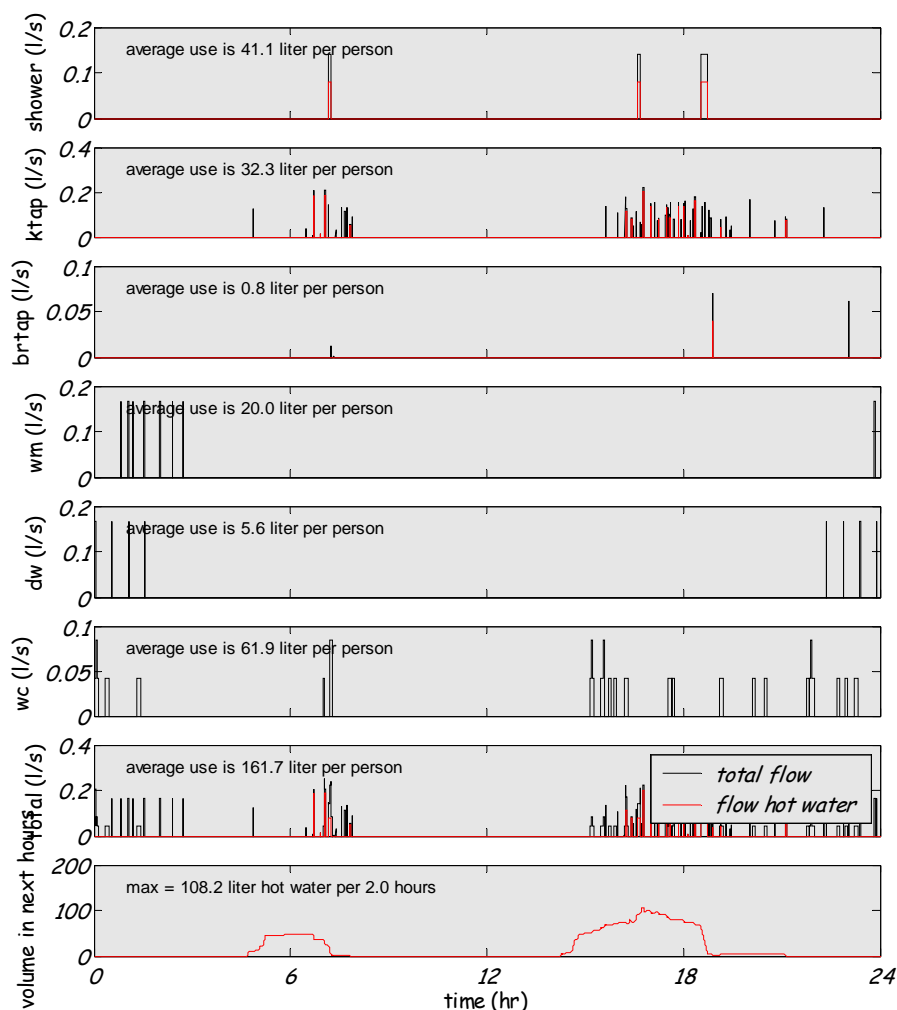
In de binneninstallatie bevindt zich een net van leidingen. Dit leidingnet begint vlak na de watermeter, waarna een aftakking plaatsvindt naar een eventuele buitenkraan, de warmwatervoorziening en de verschillende kamers waar zich tappunten bevinden (de keuken, toiletruimtes, badkamers, etc.). In figuur 4-1 worden een aantal gesimuleerde patronen per tappunt weergegeven.

Voor het dimensioneren van de leidingdiameters is met name de maximum moment volumestroom (MMV) van belang (zie § 4.1.1) [Vogelaar en Blokker, 2004].

Warmwatertoestellen zijn er in twee varianten; doorstroomtoestellen (geiser) of voorraadtoestellen (boiler). Voor de dimensionering van de capaciteit van voorraadtoestellen is van belang hoeveel warm water er binnen een bepaalde tijdsperiode afgenomen wordt (zie § 4.1.2). Deze hersteltijd is bijvoorbeeld 2 uur, maar kan ook 24 uur zijn wanneer een elektrische boiler op goedkope nachtstroom wordt gebruikt.

Voor de nieuw voorgestelde keuringsmethodiek voor watermeters [Baggelaar en van Lieverloo, 2004] is het van belang welke volumestroom welk deel van de tijd door de watermeter stroomt. Uitgangspunten hierbij zijn dat de miswijzing van watermeters verschilt voor kleine, gemiddelde en grote volumestromen en dat de totale afwijking van de watermeter maximaal een bepaald percentage mag zijn. Er is derhalve een wens om de volumestroomverdeling te kennen (zie § 4.1.1).





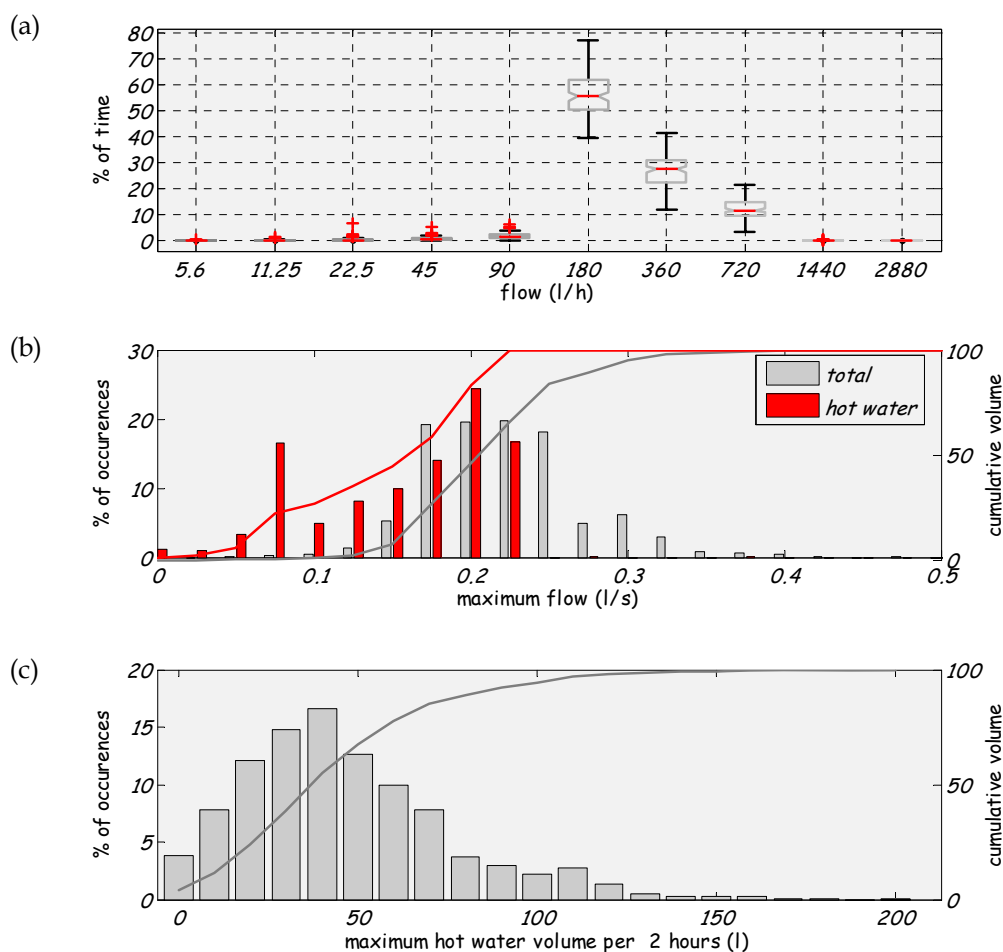
figuur 4-1 Uitkomst van het model voor een specifieke woning, binneninstallatie. Deze woning heeft 5 bewoners (3 volwassenen, twee kinderen) en qua tappunten een douche, keukenkraan, badkamerkraan, wasmachine, afwasmachine, 2 toiletten (en een buitenkraan die niet gebruikt is).

#### 4.1.1 Volumestroom

Een Monte-Carlo-simulatie kan worden gedaan voor een bepaalde woning met verschillende gebruikers en beperkte verandering in tappunten (rekening houdend met nieuwe installatie en beperkte aanpassingen in de toekomst). De uitkomst is een histogram met maximale volumestromen (zie figuur 4-2b), of MMV (maximum moment volumestroom, [Vogelaar en Blokker, 2004]). De maximale volumestroom geeft een randvoorwaarde aan de diameter van de leiding bij de ontwerpsnelheid. Deze uitkomst is er niet alleen voor het totale waterverbruik, maar ook onderverdeeld in koud en warm water en bijv. per tappunt of natte ruimte (zie bijvoorbeeld figuur 4-1).

Voor de watermeter-keuringssystematiek is niet de verdeling van maximale volumestromen, maar de verdeling van volumestromen van belang. De klassenindeling van het histogram hangt samen met de klassenindeling van

de voorgestelde nieuwe keuringssystematiek van watermeters [Baggelaar en van Lieverloo, 2004]. Met boxplots (of box-whisker-plot: doos met snorharen) wordt in figuur 4-2a deze verdeling weergegeven. Bij een boxplot is de middelste (rode) lijn de mediaan, de *box* loopt van de 25<sup>ste</sup> tot 75<sup>ste</sup> percentiel, de data die daarbuiten ligt wordt met rode '+' en aangegeven wanneer ze meer dan 1,5 maal de hoogte van de box verwijderd zijn vanaf de rand van de *box*. Tussen de rand van de *box* en de uitschieters lopen de *snorharen*. In het voorbeeld van figuur 4-2 is bijvoorbeeld bij 180 l/h te zien dat de mediaan ongeveer 55% is (de mediaan van alle uitkomsten van de Monte-Carlo-simulaties bedraagt 55% voor een volumestroom van 180 l/h). Het 25<sup>ste</sup> percentiel ligt op ongeveer 50% en het 75<sup>ste</sup> percentiel op ongeveer 63%, er zijn uitschieters tot 40% en 79%.



figuur 4-2 Uitkomst voor verzameling van 30 standaard woningen, 20 simulaties per woning, binneninstallatie (a) verdeling van volumestromen, (b) verdeling van maximum volumestromen en cumulatieve lijn, (c) verdeling van maximum warm water volume per 2 uur en cumulatieve lijn.

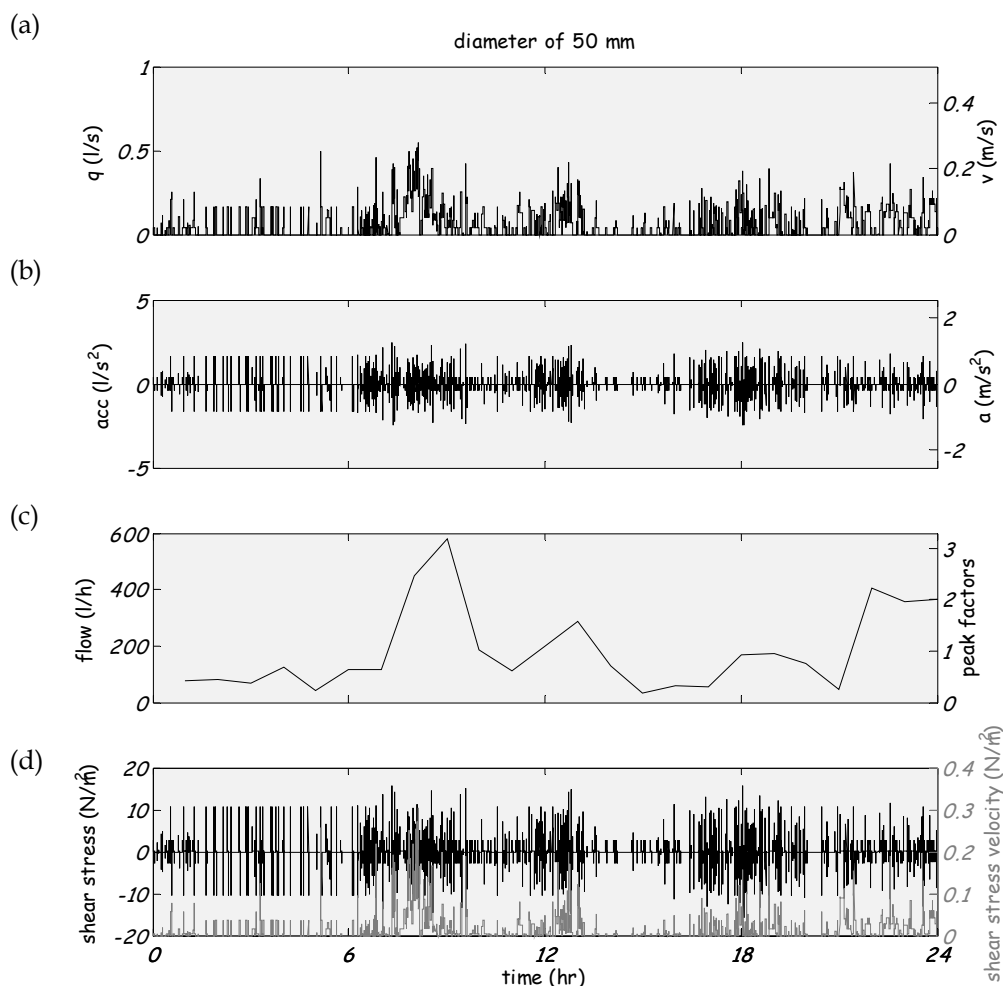
#### 4.1.2 Warmwatervolume

Een andere uitkomst van de Monte-Carlo-simulatie is een histogram van maximaal warmwatervolume binnen 2 uur (zie figuur 4-2c). Het gaat hier om

het volume dat onttrokken wordt van de warmwatertap, dus exclusief het koude water dat bijgemengd wordt.

#### 4.2 Het distributienet

Het distributienet wordt sinds een aantal jaar zelfreinigend aangelegd [van den Boomen en Vreeburg, 1999]. Om het zelfreinigend effect te bewerkstelligen is het noodzakelijk dat op een dagelijkse basis een minimum snelheid (of een minimum schuifspanning) optreedt in de leidingen. Afhankelijk van de hoeveelheid huishoudens die door een bepaalde leiding in het distributienet worden gevoed zal een bepaalde diameter noodzakelijk zijn. Daarnaast zal in uitzonderlijke gevallen (grote droogte, iedereen sproeit de tuin, of in de pauze van de EK finalewedstrijd waarin men koffie zet en toilet doorspoelt) een MMV optreden waarbij voldoende druk aanwezig moet blijven. Ook wordt bij het leidingnetontwerp rekening gehouden met de bluswatervoorziening en de beschikbare leidingdiameters. Zie voor een voorbeeld van een gesimuleerd afnamepatroon in een distributienet (100 woningen) figuur 4-3.



figuur 4-3 Uitkomst voor verzameling van 100 standaard woningen, distributienet PVC 50 mm; (a) volumestroom en snelheid, (b) versnellingen, (c) volumestroom per uur en piekfactoren, (d) schuifspanning tgv snelheid en versnellingen.

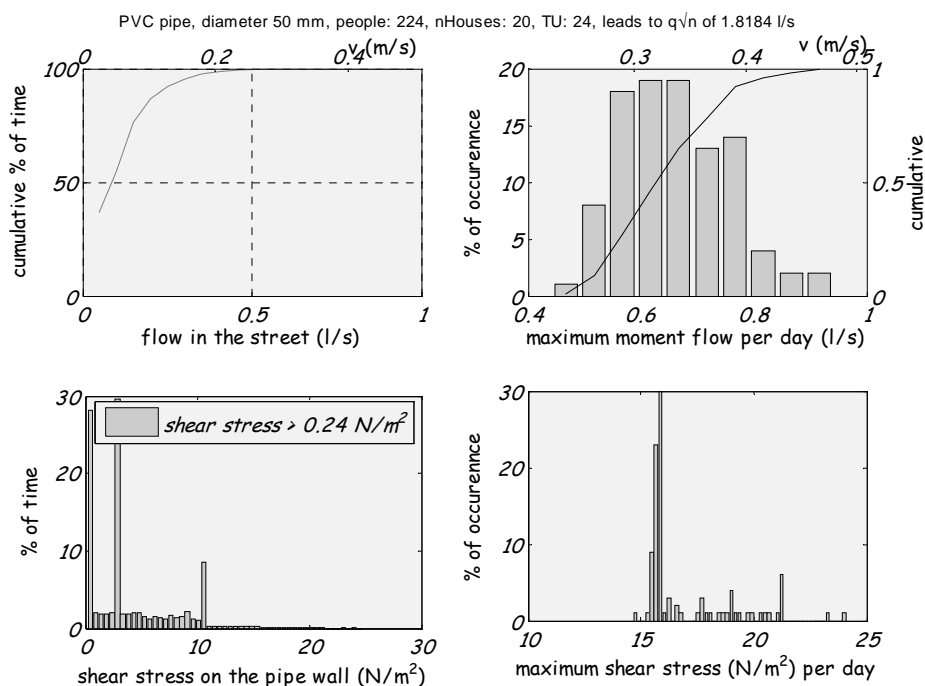
#### 4.2.1 Volumestroom

Uit het model zal informatie komen over de volumestromen in een leiding, die een aantal woningen voedt. Wanneer een Monte-Carlo-simulatie wordt gedaan komt informatie beschikbaar over de verdeling van de volumestromen. Hierbij is de verdeling van de MMV het meest interessant: wat is het absolute maximum en welk maximum komt geregeld voor (bijv. op 80% van de dagen is de MMV minimaal 0,2 l/s).

De uitkomst van het simulatiemodel zou dus een histogram moeten zijn voor het aantal keren dat een (maximum) volumestroom voorkomt; zie figuur 4-4 links- en rechtsboven.

#### 4.2.2 Maximum schuifspanning

Op dit moment wordt de leidingdiameter gedimensioneerd op een minimum snelheid. Onderliggend is echter de schuifspanning van belang. De schuifspanning is opgebouwd uit een snelheids- en een versnellingscomponent, en daarbij is zowel de k-waarde van het leidingmateriaal als de leidingdiameter van belang.



figuur 4-4 Overzicht van volumestromen en schuifspanningen in de straat, 20 woningen, PVC 50 mm, 100 simulaties. Linksboven: totale volumestroomverdeling over 100 maal 24 uur, rechtsboven: MMV-verdeling van 100 simulaties. Linksonder: totale schuifspanningverdeling (alles onder 0,24 N/m<sup>2</sup> weggelaten, nog 2,1 % over) over 100 maal 24 uur, rechtsonder: maximum-schuifspanning-verdeling van 100 simulaties.

Omdat (nog) niet duidelijk is of schuifspanningen die maar zeer korte tijd plaatsvinden evenveel effect hebben als langer durende schuifspanningen wordt in de grafiek van de schuifspanning zowel de totale schuifspanning als

de schuifspanning ten gevolge van enkel en alleen de snelheid weergegeven (figuur 4-3d).

De uitkomst van het simulatiemodel voor wat betreft de schuifspanning is (figuur 4-4 links- en rechtsonder):

- een histogram van het aantal keer dat een maximum schuifspanning voorkomt;
- voor zowel totale schuifspanning als ten gevolge van alleen de snelheidsterm.

#### 4.3 Validatie van het simulatiemodel

Om het simulatiemodel te kunnen valideren moeten de uitkomsten van het model worden vergeleken met de werkelijkheid, voor verschillende kenmerken (zie ook hoofdstuk 6). Bovenop de reeds genoemde uitvoer voor binneninstallatie en distributienet komen dan nog zaken die te maken hebben met specifiek de tijdstippen van verbruik.

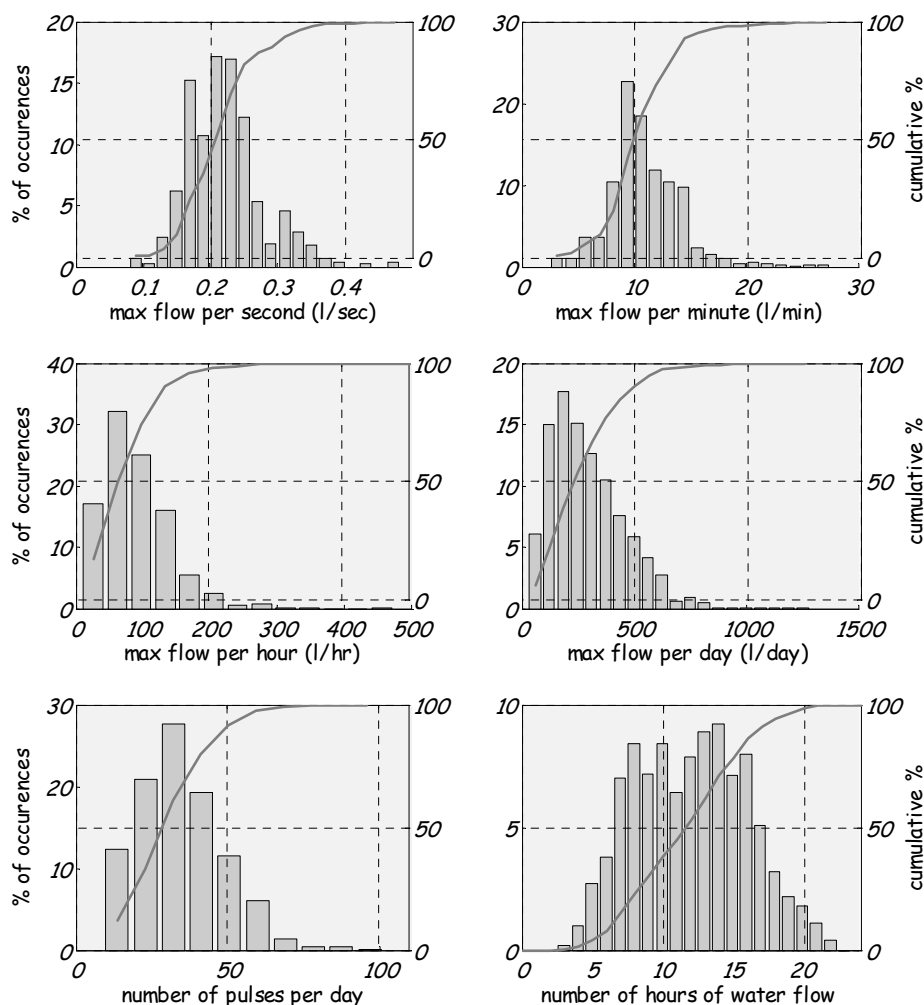
Van een woning waar metingen zijn gedaan moet van de tappunten precies bekend zijn welke *types* en *subtypes* aanwezig zijn en van de bewoners wanneer ze thuis zijn en slapen. Bij voorkeur is ook bekend van welk tappunt water wordt verbruikt en hoe lang, zodat zoveel mogelijk statistische verdelingen kunnen worden teruggebracht tot de werkelijke waarde. Op deze manier kan worden bekeken of de aannames met betrekking tot het tijdstip van verbruik en de kentallen die dit tot gevolg heeft (door de gelijktijdigheid van gebruik) juist zijn.

##### 4.3.1 Kentallen voor maximum afname

In [García et al, 2004] wordt het model (op huisniveau) op 5 punten, vergeleken met de metingen te weten:

- 1) maximum, gemiddelde en spreiding van volume per dag
- 2) maximum, gemiddelde en spreiding van maximum volume per uur
- 3) maximum, gemiddelde en spreiding van maximum volume per seconde (dus MMV)
- 4) aantal uren per dag dat er sprake was van afname
- 5) aantal pulsen per dag (aantal maal dat een kraan werd geopend)

Voor een gemiddeld huishouden is het resultaat van de simulatie te zien in figuur 4-5.



figuur 4-5 overzicht van verschillende kentallen van wateroverbruik in huishoudens.

#### 4.3.2 Verbruikspatroon

In [Burnell, 2003] wordt de dag opgedeeld in 8 'time-slices', en worden de gemiddelde volumestromen gedurende deze dagdelen gedeeld door de gemiddelde volumestroom over de dag. Vervolgens wordt een multi-variate-analyse losgelaten op de uitkomsten.

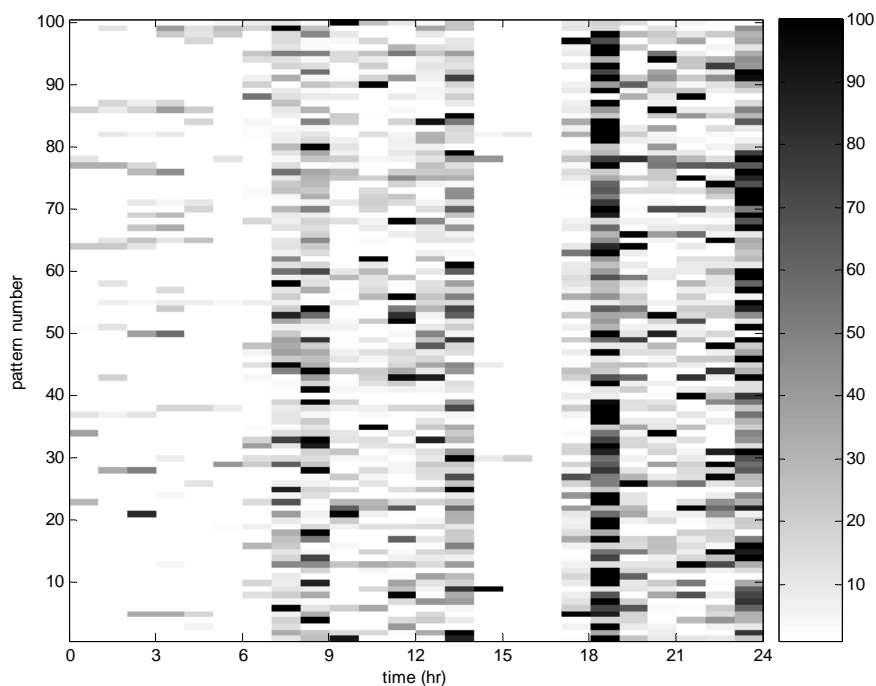
De dagdelen die Burnell voorstelt zijn:

00:00 – 03:00: <i>night-time</i>	12:00 – 15:00: <i>afternoon</i>
03:00 – 06:00: <i>dead of night</i>	15:00 – 17:00: <i>kids home</i>
06:00 – 09:30: <i>rising</i>	17:00 – 19:00: <i>tea time</i>
09:30 – 12:00: <i>morning</i>	19:00 – 00:00: <i>evening</i>

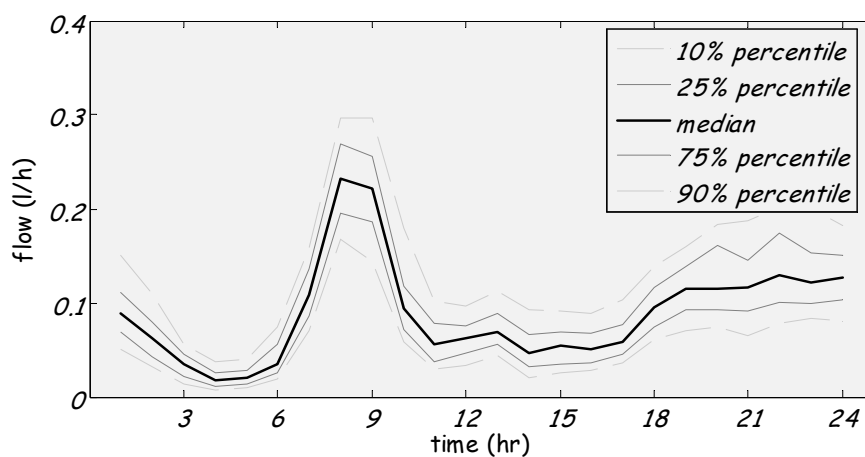
Onduidelijk is waarom er niet gekozen is voor dagdelen van elk 3 uur. De gekozen dagdelen zijn wellicht niet direct even relevant voor de Nederlandse situatie. Voor het simulatiemodel is daarom wel gekozen voor dagdelen van 3 uur.

Door de patronen (per dagdeel) te delen door de maximum waarde en te plotten kunnen de verschillen tussen de patronen visueel worden beoordeeld.

Door de patronen niet als lijn te plotten, maar de waarde met een kleur of grijswaarde aan te geven, kunnen de patronen overzichtelijk in één grafiek geplaatst worden. Het maximum dagdeel is op 100% gesteld en is in onderstaande figuur zwart. Wanneer er geen waterverbruik was is het dagdeel 0% en wit gekleurd. In de figuur vindt het grootste waterverbruik plaats tussen 18:00 en 19:00 en tussen 23:00 en 24:00.



figuur 4-6 100 gesimuleerde uurpatronen voor een huishouden met 2 personen

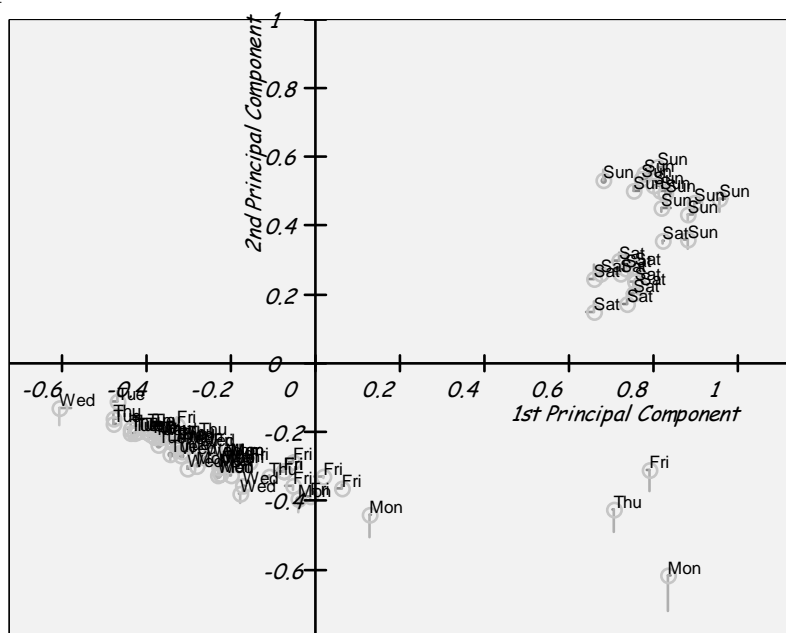


figuur 4-7 Mediaan en verschillende percentielen van 100 uurpatronen van een simulatie van een straat van 30 woningen (basismodel).

figuur 4-6 vergelijkt de patronen kwalitatief; het geeft zicht op het moment waarop het maximum optreedt. Om een meer kwantitatief beeld te geven worden verschillende percentielen van alle uurpatronen uitgezet. In figuur 4-7 zijn de mediaan, 10%, 25%, 75% en 90% percentielen van 100 dagpatronen

per uur uitgezet. Uit de figuur blijkt dat in 50% van de gevallen het maximum tussen 0,19 en 0,27 l/h ligt. Daarnaast is 's avonds de grootste variatie te zien. Uit de simulaties blijkt reeds dat dergelijke plots voor enkele woningen veel meer variatie laten zien dan voor sompatronen van straten of wijken.

De som van verbruikspatronen van een aantal woningen zal een homogener beeld geven dan patronen van individuele woningen. Hoe meer woningen namelijk gesommeerd worden, des te minder variatie er optreedt in de totale verbruikspatronen. Op deze patronen kan dan bijvoorbeeld een hoofdcomponenten-analyse worden losgelaten (zie bijlage II en [Burnell, 2003]), en in een plot geeft dat een aardig beeld. In figuur 4-8 is een voorbeeld gegeven van zo'n plot voor de metingen van Diemen-Noord west. De metingen zijn uitgevoerd in september t/m december 2004 (90 dagen), iedere minuut is gelogd en er bevonden zich ca. 1000 woningen 'achter' de logger, zie ook bijlage III. Aardig is om te zien dat de weekenddagen bij elkaar in de buurt vallen, en de weekdays ook. De drie aparte dagen (maandag 18, donderdag 21 en vrijdag 22 oktober) vielen in de herfstvakantie in Amsterdam (18-10-04 t/m 22-10-04, op de dinsdag en woensdag in deze vakantie is er niet gelogd). De gesimuleerde patronen kunnen ook in een dergelijk assenstelsel worden uitgezet en vergeleken met de gemeten patronen.



figuur 4-8 Resultaten van Hoofdcomponenten-analyse op verbruikspatronen van een wijk van 1059 woningen plus 4 klein-zakelijke aansluitingen (Diemen-Noord west).





## 5 Gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse geeft informatie over de invloed van de invoervariabelen op de simulatie-uitkomsten. De spreiding in de uitvoer van de simulatie zou kunnen worden verkleind door minder kansverdelingen als invoer voor de simulatie te nemen, dus door goed te weten wat je meet. Kennis over de tappunten (*types* en *subtypes*) en over de bewoners die je meting beïnvloeden is dan belangrijk.

Het simulatiemodel is in de eerste plaats ontwikkeld om de dagelijks en maximaal optredende volumestromen te kunnen voorspellen, waarbij minder belangrijk is wanneer op de dag deze volumestromen optreden. In de gevoeligheidsanalyse zal worden gekeken naar het effect op kenmerken van de kansverdeling van maximum volumestroom (bijvoorbeeld naar het 5-, 50- en 95-percentiel). Om de verschillende simulaties te vergelijken zullen er telkens 100 woningen met elk 10 patronen worden gesimuleerd, dit zijn dan 1000 'huis-patronen'.

Uit deze huis-patronen kunnen 'straat-patronen' worden gevormd uit de som van bijvoorbeeld telkens 20 willekeurige patronen voor een straat van 20 woningen. De gevoeligheid van huis- en straat-patronen kan verschillen. Uit de analyses van metingen blijkt al dat uur-patronen meer gelijkend worden wanneer er naar straat-patronen van meer woningen gekeken wordt (zie bijv. figuur III-13(c) en figuur III-14(c)). Dit effect treedt bij een straat van 30 woningen al enigszins op, maar om een duidelijker effect te krijgen wordt in de simulatie een straat van 50 woningen gebruikt.

### 5.1 Tijdschaal

Welke tijdschaal is kritisch voor het simulatiemodel? Is dit 1 sec, 10 sec of 1 minuut? Verschil kan maken of er naar één woning wordt gekeken of naar een straat. Een langere tijdschaal zal de simulatietijd bekorten (er hoeven per dag tenslotte minder meetpunten te worden berekend) en de opslagruimte op de harde schijf beperken. Uit tabel 5-1 blijkt dat op woning-niveau het verschil tussen een tijdbasis van 1 seconde en 10 seconden beperkt is. Een tijdbasis van 60 seconden levert op woningniveau grotere verschillen op. Op straatniveau zijn de verschillen beduidend groter. Een verklaring hiervoor is dat tappingen meestal langer duren dan 10 seconden, en doordat op woningniveau weinig gelijktijdig gebruik is, is een tijdschaal van 10 seconde goed genoeg. Op straatniveau treedt echter meer gelijktijdig gebruik op en dat geeft bij een tijdschaal van 1 seconde een ander beeld dan bij een tijdbasis van (oftewel een integratie over) 10 seconden. Een andere verklaring voor het verschil bij de straat-patronen is dat 100 patronen onvoldoende convergeren naar een verdelingsfunctie (herhaling van de simulatie geeft telkens iets andere cijfers voor de straat-patronen, vooral op het 99-percentiel), maar het 50-percentiel convergeert wel. Er is niet gesimuleerd tot convergentie om de simulatietijd te beperken en omdat dit nog niet automatisch getest wordt.

tabel 5-1 gevoeligheidsanalyse voor simulatie van 250 woningen, elk 20 patronen en een straat van 50 woningen, 100 patronen, verschillende tijdbases. De uitkomst is 5-, 20-, 50-, 95- en 99-percentiel van de maximum volumestroom (l/x.s en tussen haakjes l/s) per dag.

percentiel van MMV	Basismodel (l/s)		Basismodel – l/10 sec (l/s)		Basismodel – l/60 sec (l/s)	
	huis	straat	huis	straat	huis	straat
5%	0,14	0,90	1,47 (0,15)	8,49 (0,85)	7,38 (0,12)	45,44 (0,76)
20%	0,17	1,00	1,67 (0,17)	9,15 (0,92)	9,81 (0,16)	51,22 (0,85)
50%	0,21	1,11	2,09 (0,21)	10,31 (1,03)	11,04 (0,18)	59,07 (0,98)
95%	0,31	1,39	3,14 (0,31)	12,73 (1,27)	18,10 (0,30)	73,08 (1,22)
99%	0,37	1,53	3,80 (0,38)	13,58 (1,36)	21,30 (0,35)	81,63 (1,36)
duur sim. (min)	60	10	16	3	13	2

Omdat de duur van de simulatie beduidend korter is met een tijdbasis van 10 seconden zal de gevoeligheidsanalyse in de rest van dit hoofdstuk worden gedaan met een tijdschaal van 10 seconden. Volstaan zal worden met 100 straat-patronen, maar dan kan eigenlijk alleen het 50-percentiel (de mediaan) goed worden vergeleken.

## 5.2 Effect van verschillende type woningen

De eerste vraag is of er verschil is tussen typen woningen, welke verschillen er zijn in bewoners en binneninstallatie. Gekeken wordt naar de voorbeelden uit hoofdstuk 11 van het bijlage-rapport: het basismodel, de eengezinswoning, het seniorenappartement en het tweeverdienersappartement. Dit basismodel geeft het gemiddelde van Nederland weer zoals dit uit de cijfers van het CBS over 2003, het TBO'95 en WT'01 naar voren komt. Dit basismodel is bovendien ook gevoed met een 'nieuwe installatie', d.w.z. de bewoners zijn gelijk, maar de binneninstallatie is nieuw, met zuinig toilet met spoelonderbreking en douche met combiketel en spaarkop. In onderstaande tabel staan de waarden van de nieuwe installatie tussen haakjes.

tabel 5-2 gevoeligheidsanalyse voor simulatie van (huis) 250 woningen, elk 20 patronen, en (straat) som van 50 woningen, 100 patronen, tijdbasis = 10 sec. De uitkomst is 5-, 20-, 50-, 95- en 99-percentiel van de maximum volumestroom (l/s) per dag.

Perc. MMV	Basismodel (nieuwe installatie)		Eengezinswoning		Seniorenappartement		Tweeverdienersappartement	
	huis	straat	huis	straat	huis	straat	huis	straat
5%	0,147 (0,142)	0,849 (0,844)	0,152	0,912	0,123	0,639	0,134	0,719
20%	0,167 (0,167)	0,915 (0,922)	0,167	1,01	0,165	0,685	0,167	0,775
50%	0,209 (0,209)	1,03 (1,03)	0,213	1,09	0,196	0,768	0,205	0,861
95%	0,314 (0,320)	1,27 (1,25)	0,328	1,44	0,277	0,997	0,290	1,12
99%	0,380 (0,376)	1,36 (1,35)	0,370	1,64	0,346	1,13	0,355	1,23

Vergelijk van de uitkomsten van het basismodel (tabel 5-1, kolom l/s) en het basismodel met een nieuwe installatie (tabel 5-2, kolommen 2 en 3) laat zien dat de invloed van de installatie op de gelijktijdigheid van waterverbruik zeer

beperkt is. De verschillen die optreden tussen de verschillende typen woningen zijn dus voornamelijk toe te schrijven aan het aantal en type bewoners, wat geconcludeerd kan worden uit de vergelijking tussen het basismodel en het seniorenappartement of tweeverdienersappartement respectievelijk de vergelijking tussen deze twee typen appartementen (tabel 5-2).

### 5.3 Effect van de installatie en type bewoners

De volgende stap is om te kijken wat het effect is van de variatie in de binneninstallatie en de bewoners. Dit is van belang om te kunnen bepalen tot in welk detail het simulatiemodel moet worden ingevuld.

De eerste vraag is wat het effect is van de variatie in de binneninstallatie, oftewel is het zinvol om meerdere *subtypes* te definiëren of levert het gemiddelde van de verschillende *subtypes* hetzelfde simulatieresultaat? De tweede vraag is wat de invloed is van de verschillen in watergebruik per leeftijdscategorie en sekse. Door geen gebruik te maken van de relatie tussen waterverbruik en gezinsgrootte (*numUserDependence*) en leeftijd (*userTypeDependence*), maar de gemiddelden in te vullen kan dit worden getest. De vraag naar de invloed van het aantal bewoners is reeds beantwoord in de vorige paragraaf. De derde vraag is wat de invloed is van het aanwezigheidspatroon van de bewoners (*homePresence*); door uit te gaan van opstaan om 7:00, vertrekken om 8:00, 8 uur later thuis komen en 8 uur (allen met een standaardafwijking van 30 minuten) slapen. Voor alle typen bewoners wordt deze invloed bekeken (*homePresence(1)*).

tabel 5-3 gevoeligheidsanalyse voor simulatie van 250 woningen, elk 20 patronen, en (straat) som van 50 woningen, 100 patronen, tijdbasis = 10 sec. De uitkomst is 5-, 20-, 50-, 95- en 99-percentiel van de maximum volumestroom(l/s) per dag.

percentiel	Basismodel		Slechts één subtype (gem.)		Zonder numUserDependence en userTypeDependence		homePresence(1)	
	huis	straat	huis	straat	huis	straat	huis	straat
5%	0,147	0,849	0,138	0,926	0,142	0,884	0,142	1,02
20%	0,167	0,915	0,163	1,03	0,167	0,947	0,167	1,11
50%	0,209	1,03	0,180	1,15	0,209	1,04	0,210	1,23
95%	0,314	1,27	0,305	1,43	0,314	1,30	0,323	1,54
99%	0,380	1,36	0,347	1,66	0,378	1,40	0,376	1,75

Uit tabel 5-3 blijkt dat leeftijd- en sekse-informatie in frequentie en duur van watergebruik niet veel toevoegen aan de maximum volumestroom, op woningniveau zijn de percentielen praktisch gelijk en op straatniveau zijn de maximum volumestromen marginaal groter zonder het onderscheid in leeftijd en sekse. De invulling van verschillende *subtypes* geeft wel een verschil, de maximum volumestroom is wanneer slechts één *subtype* wordt meegenomen iets lager op woningniveau, maar op straatniveau zijn de maximum volumestromen significant groter (!). Dit kan verklaard worden doordat de duur van water tappen voor o.a. toilet en de volumestroom van bijvoorbeeld de douche bepaald worden door de verschillende subtypes.

Door de variatie in subtypes kan een grotere volumestroom optreden en kan de gelijktijdigheid toenemen bij langere tappingen. Op woningniveau speelt dit minder, doordat daar de maximum volumestromen meer bepaald worden door de verschillende subtypes dan door de gelijktijdigheid. Dit blijkt ook weer uit de laatste kolommen van de tabel: op woningniveau is er weinig invloed van een grotere kans op gelijktijdigheid door de tijd dat men thuis komt en gaat slapen met minder spreiding te simuleren. Op straatniveau is er duidelijk veel invloed; de maximum volumestromen zijn duidelijk hoger dan bij meer spreiding in de tijden dat men thuis is en slaapt.

#### 5.4 Conclusie gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse is beperkt. Er zijn namelijk vele invoervariabelen en verschillende uitvoervariabelen waarop vergeleken kan worden. Hier is gekozen om slechts (verschillende percentielen van) de MMV te vergelijken.

Informatie over de aanwezigheid en waak-slaap-ritme van de bewoners heeft een grote invloed op voornamelijk de gelijktijdigheid van waterverbruik op straatniveau. Dit kan ook worden geconcludeerd op basis van de uurpatronen van de metingen; een patroon over de dag is duidelijker te zien bij een toename van het aantal woningen in een straat. Uit het TBO'95 kan worden geconcludeerd dat het dagpatroon van mensen samenhangt met de leeftijd, en met de dagbesteding (school, werk of zonder werk). Dit betekent dat de informatie van het CBS met betrekking tot leeftijd en dagbesteding (voltijd of deeltijd werk of zonder werk) belangrijk is. Daarnaast zal het interessant zijn om de tijdstippen van gebruik van andere \*\_types dan de keukenkraan nauwkeuriger in beeld te krijgen.

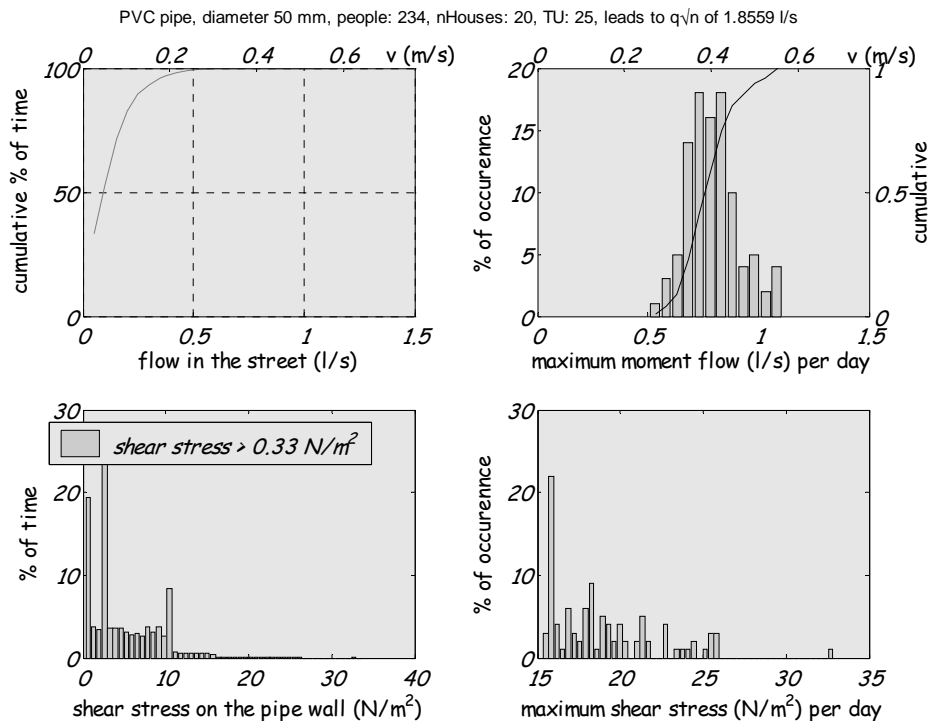
Wanneer de leeftijden van de bewoners bekend zijn kost het weinig moeite om ook verschillen in frequentie per leeftijd te onderscheiden. De aanbeveling is om de informatie die beschikbaar is wel te gebruiken in het model.

Het onderscheid naar sekse lijkt minder relevant dan het onderscheid naar leeftijd, omdat deze eerste minder onderscheidend is in watergebruik. Wel is het zo dat vrouwen minder vaak een voltijd baan hebben dan mannen.

Het onderscheid in *subtypes* lijkt weinig relevant op woningniveau, maar is op straatniveau wel van belang. De verschillen in *subtypes* zijn relatief klein, behalve voor de keukenkraan. Verschillen in watertemperatuur, duur van de tapping en de volumestroom zijn zeer groot en zijn belangrijk om mee te nemen.

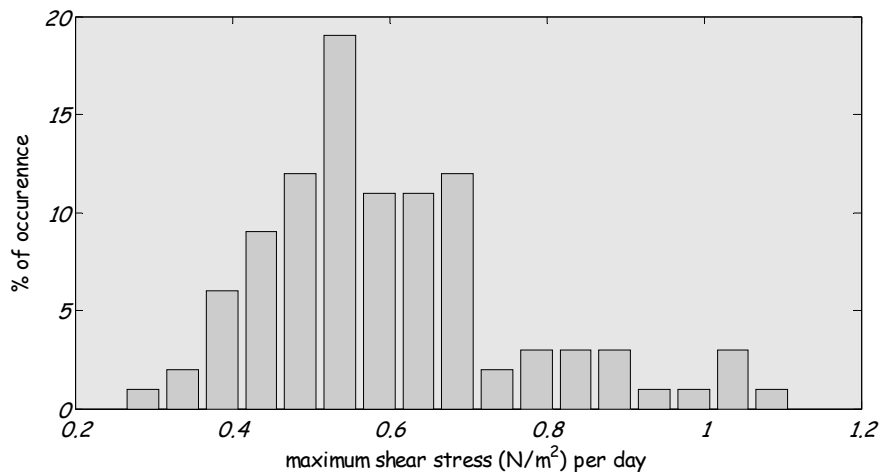
#### 5.5 Schuifspanning

Als voorbeeld nemen we een straat van 20 woningen (basismodel), 100 simulaties per woning. Wanneer de simulatie wordt gedraaid kan een grafiek met volumestromen en schuifspanningen worden geplot. Gedurende het grootste deel van de tijd is de volumestroom gelijk aan 0. Voor het bepalen van de schuifspanning is uitgegaan van een PVC-leiding met een diameter van 50 mm.



figuur 5-1 Volumestromen (l/s) en schuifspanningen (N/m<sup>2</sup>) in een PVC-leiding, diameter 50 mm, 20 woningen.

De schuifspanning die optreedt bij de maximale volumestroom is 15 tot 33 N/m<sup>2</sup>. Het aandeel van de snelheidscomponent hierin is 0,3 tot 1,15 N/m<sup>2</sup> (zie figuur 5-2).



figuur 5-2 Maximale schuifspanning over de dag ten gevolge van de snelheidscomponent.

De bijdrage van de snelheid en versnelling aan de schuifspanning kan ook analytisch worden bekeken. De wandschuifspanning in een leiding kan worden afgeleid uit de algemene bewegingsvergelijking en wordt beschreven door [van den Boomen en Mazijk, 2002]:

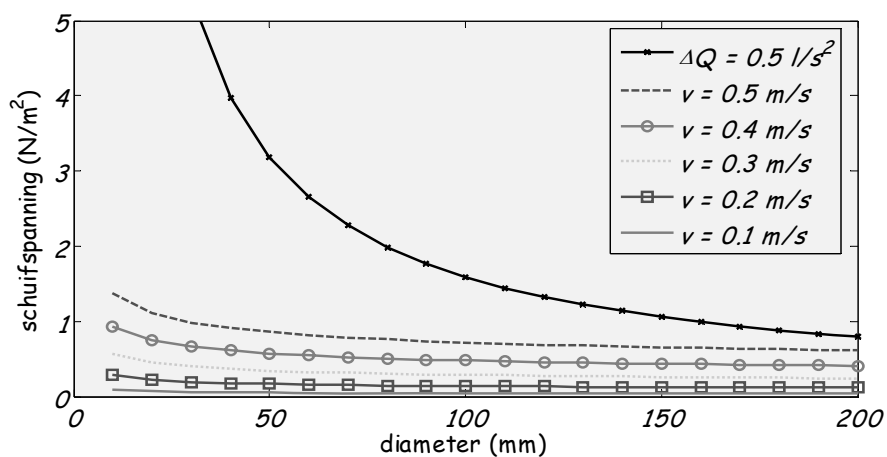
$$\tau = -\rho \cdot R \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial t} + g \cdot \frac{u^2}{C^2 R} \right) \quad \text{vergelijking 5-1}$$

waarin

$\tau$	schuifspanning	[N/m <sup>2</sup> ]
$\rho$	dichtheid van het water/sediment-mengsel	[kg/m <sup>3</sup> ]
$R$	hydraulische straal (=1/4 · D)	[m]
$D$	inwendige diameter van de leiding	[m]
$g$	gravitatieconstante	[m/s <sup>2</sup> ]
$u$	gemiddelde stroomsnelheid van het water	[m/s]
$C$	Chézy- coëfficiënt	[√m/s]

Wanneer de versnellingsterm  $\partial u / \partial t$  gelijkgesteld wordt aan  $u / \Delta t$  kan bekeken worden in welke situatie de eerste term (de versnellingsterm) of de tweede term (de snelheidsterm) leidend is.

De versnelling is een gevolg van het openen van kranen, de duur van sluiten en openen van kranen tussen de 2 en 400 ms [Vogelaar en Blokker, 2004]. Per huishouden (gem. bezetting van 2,3) zijn er gemiddeld een 40-tal momenten waarop een kraan wordt geopend [Foekema en Engelsma, 2001]. Bij een straat van bijv. 200 woningen zijn er dus gemiddeld 8000 tapmomenten. Het is waarschijnlijk dat er gelijktijdig waterverbruik plaatsvindt, er treden gelijktijdige stroomsnelheden op die bij elkaar opgeteld kunnen worden. Voor de open- en sluittijden kiezen we voor het gemak 100 ms. In een dag gaan 86.400 seconden, dus 864.000 maal 100 ms. Het is dan zeer onwaarschijnlijk ( $8000/864.000 < 1\%$  per dag) dat gelijktijdig tappunten worden geopend en er gelijktijdige versnellingen optreden. Voor de versnellingsterm in vergelijking 5-1 betekent dit dat deze niet afhangt van gelijktijdig watergebruik, maar alleen afhangt van de diameter van de leiding. Uit tabel 5-1 volgt dat het 99-percentiel van de MMV 0,37 l/s is. Voor het maximum van  $\Delta Q$  nemen we 0,05 l/s is en voor  $\Delta t$  kiezen we 0,1 s (100 ms), zodat  $\Delta Q / \Delta t = 0,05/0,1 = 0,5 \text{ l/s}^2$ ; hieruit kan  $\partial u / \partial t$  worden berekend.



figuur 5-3 schuifspanning als functie van diameter bij gegeven versnelling of snelheid.

Het verband tussen snelheid, diameter en schuifspanning is grafisch weergegeven in figuur 5-3 voor verschillende snelheden (en versnelling = 0) en de versnellingsterm als  $\Delta Q / \Delta t = 0,5 \text{ l/s}^2$  ( $v = 0 \text{ m/s}$ ). De bijdrage van de versnellingsterm is vele malen groter. Hier dient opgemerkt te worden dat de versnelling, en derhalve de hoge schuifspanning ten gevolge van de versnelling, slechts gedurende zeer korte tijd optreedt.





## 6 Validatie van het simulatiemodel

In bijlage III is de uitwerking van de validatie van het simulatiemodel gegeven. In dit hoofdstuk worden de conclusies samengevat. De validatie is gedaan met behulp van metingen op wijkniveau (Leidsche Rijn), op straatniveau (Blixembosch en Saendelft) en huisniveau (nieuwe metingen door Wolter&Dros en LHD metingen van Waternet).

In tabel 6-1 is een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen simulaties en metingen. In de laatste kolom wordt een afwijking tot 10% als goed (+) gekwalificeerd, een afwijking tot 30% als matig ( $\pm$ ) en een grotere afwijking als slecht (-). Zowel de metingen in Leidsche Rijn als de Wolter&Dros- en LHD-metingen laten zien dat het gesimuleerde patroon over de dag redelijk klopt, maar dat de relatie tussen waterverbruik en gaan slapen overschat wordt, terwijl de relatie tussen waterverbruik en het avondeten onderschat wordt. De maximum volumestromen per 10 seconden, minuut, 5 minuten en per uur komen redelijk goed overeen tussen metingen en simulaties. Het 100-percentiel (maximum) komt beter overeen dan het 50-percentiel (gemiddeld 20% en 55% afwijking voor P100 respectievelijk P50). De  $q\sqrt{n}$ -methode met 22 tapeenheden komt op woningniveau goed overeen, maar heeft bij 15 en 512 woningen een afwijking van meer dan 100% ten opzichte van het 100-percentiel van de metingen (tijdbasis van 5 minuten).

Een duidelijke verbetering in overeenkomst wordt gevonden wanneer de bevolkingssamenstelling van de gemeten woningen of buurt beter bekend is en wordt gebruikt in de simulaties. Dit duidt erop dat het simulatiemodel terecht de bevolkingssamenstelling als invoerparameters gebruikt.

tabel 6-1 Samenvatting van de vergelijking van metingen en simulaties, kwantitatief en kwalitatief.

	parameter ter vergelijking		metingen	simulatie	overeenkomst		
					kwant.	kwal. (simulatie tov metingen)	
wijk	<i>Leidsche Rijn</i>						
	Q <sub>max</sub> (1/5 min)	P50 $\ddagger$	470	1080	130%	te hoog	-
		P100	1240	1450	17%	te hoog	$\pm$
	patronen (piek)	ochtend	8:00	8:00 - 9:00		goed	+
		avond	20:00	0:00		piek 0:00 niet goed	-
straat	<i>Blixembosch</i>						
	Q <sub>max</sub> (1/5 min)	P50	175	130	-26%	te laag	$\pm$
		P100	220	225	2%	goed	+
	<i>Saendelft</i>						
	patronen (piek)	ochtend	6:00 - 9:00	8:00 - 9:00		iets later	+
avond		19:00 - 20:00	19:00 - 21:00		goed	+	

$\ddagger$  P50 is het 50-percentiel, P100 is het 100-percentiel

	parameter ter vergelijking	metingen	simulatie	overeenkomst			
				kwant.	kwal. (simulatie tov metingen)		
huis	<i>Wolter&amp;Dros (alle metingen)</i>						
	Q <sub>max</sub> (l/10 sec)	P50	2,8	2,3	-18%	te laag	±
		P100	4,5	4,9	9%	goed	+
	Q <sub>max</sub> (l/min)	P50	12	12	0%	goed	+
		P100	25	20	-20%	te laag	±
	Q <sub>max</sub> (l/uur)	P50	65	120	85%	te hoog	-
		P100	160	240	50%	te hoog	-
	V (l/dag)	P50	210	420	100%	te hoog	-
		P100	600	750	25%	te hoog	±
	<i>fam. A</i>						
	patronen (piek)	ochtend	7:00 - 8:00	7:00 - 8:00		goed	+
		avond	19:00 - 20:00	19:00 - 20:00 / 23:00		piek 23:00 niet goed	±
	<i>LHD</i>						
	Q <sub>max</sub> (l/5 min)	P50	30	35	17%	te hoog	±
		P100	90	85	-6%	goed	+
	V (l/dag)	P50	250	200	-20%	te laag	±
		P100	2500	1000	-60%	te laag	-
	pulsen per dag	P50	25	35	40%	te hoog	-
		P100	90	100	11%	goed	+
	patronen (piek)	ochtend	8:00 - 9:00	8:00 - 9:00		goed	+
		avond	18:00 - 20:00	18:00 - 21:00 / 0:00		piek 0:00 niet goed	±

Het vergelijken van metingen en simulaties is voornamelijk kwalitatief gedaan. Het is mogelijk om een statistische test (bijvoorbeeld de Wilcoxon-ranksum-test) te doen op 2 verdelingen. Een voorbeeld is de maximum dagelijks volumestroom volgend uit de metingen en uit de simulaties of de verdeling van het verbruik in een bepaald uur (bijv. 7:00 's ochtends). Er kan dan een uitspraak worden gedaan of de twee reeksen of de medianen van de reeksen met een zekere waarschijnlijkheid uit dezelfde verdeling afkomstig zijn. Deze tests zijn hier niet getoond, omdat ze alle een negatieve uitslag hadden. Wanneer meer en betere metingen beschikbaar zijn is het aan te bevelen om deze tests in te zetten.

Schuifspanningen (druk) zijn niet gemeten en derhalve wordt geen uitspraak gedaan over de validiteit van het simulatiemodel voor wat betreft schuifspanningen.

# 7 Conclusies

## 7.1 Bruikbaarheid van het simulatiemodel

Het simulatiemodel is in een ruwe vorm beschikbaar. Om het model te runnen is kennis nodig van Matlab®. Het model is uitgebreid getest en is van zoveel mogelijk fouten ontdaan. Wanneer de simulatie wordt onderbroken, zijn de afnamepatronen die tot dan toe berekend zijn reeds opgeslagen en beschikbaar voor analyse.

De statistische kansverdelingsfuncties zijn in het simulatiemodel geprogrammeerd; dit betekent dat deze niet eenvoudig gewijzigd kunnen worden. Getracht is om logische statistische kansverdelingen te kiezen met zo min mogelijk parameters. Een voorbeeld hiervan is de Poisson-verdeling voor de frequentie van het gebruik van de wasmachine, wc, buitenkraan etc. Deze verdeling wordt vanuit de theorie verwacht en blijkt goed te passen, het gemiddelde kan veranderen over de tijd, maar de statistische verdeling blijft gelijk. De invoer van het simulatiemodel kan worden aangepast aan de situatie, bijvoorbeeld een andere gezinssamenstelling of woningbouw in de grote steden. Aanknopingspunten hiervoor kunnen worden gevonden in de het bijlagerapport, de rapporten rapport WT'01, WT'04 en toekomstige onderzoeken.

Een simulatie kan in relatief korte tijd worden gedaan. Een simulatie van 1000 tappatronen van woningen bijvoorbeeld duurt ongeveer 10 minuten (afhankelijk van het gemiddelde aantal bewoners per woning). Het berekenen van 100 afnamepatronen in een straat van 20 woningen (aselecte sommatie van aantal tappatronen van woningen) duurt ongeveer 2,5 minuut. Het plotten van allerlei statistische gegevens duurt enkele minuten.

Een simulatie van meer woningen, meer patronen of meer woningen per straat duurt langer. Om ervoor te zorgen dat in een 'straat' voldoende onafhankelijke patronen worden gegenereerd is een minimum aantal patronen van woningen noodzakelijk. De beperking van het simulatiemodel tot ongeveer 200 woningen per straat komt voort uit de tijd die het kost om dit minimum aantal patronen te simuleren.

## 7.2 Validatie van het simulatiemodel

De verbruikspatronen over de dag worden redelijk goed gesimuleerd, maar het verband tussen waterverbruik en thuis komen wordt overschat en het verband met het avondeten wordt onderschat. Dit betekent dat onderzoek naar deze relaties gewenst is.

De kentallen van de maximum volumestroom komen goed overeen tussen metingen en simulaties. Een duidelijke verbetering in overeenkomst wordt gevonden wanneer de samenstelling van de bewoners van de gemeten woningen of buurt beter bekend is en wordt gebruikt in de simulaties. Dit

duidt erop dat het simulatiemodel terecht de bevolkingssamenstelling als invoerparameters gebruikt.

## 8 Aanbevelingen

De onderstaande aanbevelingen betreffen onderzoek ten bate van de invoer van het simulatiemodel en uitbreidingen en toepassingen van het model.

### 8.1 Het driejaarlijkse VEWIN-onderzoek “waterverbruik thuis”

Voor meer informatie over het gebruik van de buitenkraan zou gevraagd moeten worden welke volumestroom bij normaal gebruik wordt toegepast (zoals ook voor de keukenkraan wordt gedaan) en er zou gekeken kunnen worden naar een mogelijk verband van het gebruik van de buitenkraan met de buitentemperaturen of het seizoen of de grootte van de tuin. Ook over de badkamerkraan moeten meer zaken worden gevraagd, zoals voor de keukenkraan wordt gedaan (hoe vaak, hoe lang, met welk doel). Voor de badkamerkraan en keukenkraan zou het bovendien waardevol zijn om te vragen of er warm of koud water wordt getapt.

Om meer inzicht te krijgen in het tijdstip van watergebruik zouden andere begrippen dan 's ochtends en 's avonds kunnen worden gebruikt in de vraag naar gebruik van (af)wasmachine, bijvoorbeeld 'vlak na het opstaan', 'tijdens slaap', 'voor het naar bed gaan', 'voor vertrek van huis', 'na het avondeten', etc. Ook kan onderzocht worden of er een verband is tussen gebruik van (af)wasmachine en nachtstroom. Gevraagd kan worden of men nachtstroom heeft en daar rekening mee houdt met het aanzetten van de (af)wasmachine en eventueel een elektrische boiler. Er dient rekening mee te worden gehouden dat nachtstroom ook het gehele weekend goedkope stroom betekent.

Naast de enquête en het dagboekje zouden ook een aantal metingen kunnen worden uitgevoerd. Het eenvoudigste kan dat door de watermeter af te lezen voor en na het bijhouden van het dagboekje (dit is wel gedaan in WT'04, maar heeft helaas weinig opgeleverd; het kan beter gedaan worden door de enquêteur dan door de respondenten zelf). Een uitgebreidere meting met behulp van een datalogger kan de antwoorden verifiëren en verfijnen (bijv. voor het douchen geen afrondingen meer op vijf minuten). Ook kan het inzicht geven in de tijd tussen twee gebruiken van het tappunt. Tijdens het WT'04 zijn in Amsterdam metingen uitgevoerd, maar deze metingen zijn niet direct aan de enquêtegegevens gekoppeld.

Om de duur en volumestroom aan de verschillende kranen goed in beeld te krijgen is meten de enige betrouwbare methode; respondenten kunnen dit zelf moeilijk goed inschatten. De volumestroom van kranen (keukenkraan, badkamerkraan en buitenkraan) is nu uniform verdeeld in het model, wellicht is het beter om een lognormale verdeling te nemen. Omdat de douche, keukenkraan en wastafel samen bijna 50% van het waterverbruik uitmaken zal een meting op microniveau veel bijdragen aan de nauwkeurigheid van het model.

## 8.2 Tijdsbestedingsonderzoek

Om meer inzicht te krijgen in het tijdstip van waterverbruik zouden in het TBO meer watergerelateerde activiteiten opgenomen moeten worden. Met een gemiddelde doucheduur van 8,5 minuut zou douchen gemakkelijk als hoofdactiviteit gedefinieerd kunnen worden. Wanneer bijvoorbeeld 'afdrogen' daarbij genomen wordt zal douchen een activiteit zijn die langer dan 8 minuten duurt zodat deze in het dagboekje opgenomen kan worden. Er is dan een categorie 'douchen' en een categorie 'overige persoonlijke verzorging', wat een beter inzicht geeft in het tijdstip van douchen, zodat voor de douche ook een patroon over de dag gedefinieerd kan worden.

In het simulatiemodel wordt vaker 's avonds gedoucht doordat mensen tussen opstaan en weggaan vaak veel minder tijd hebben dan tussen thuiskomen en gaan slapen. Uit een aanpassing van het TBO kan bijvoorbeeld blijken dat veel vaker 's ochtends dan 's avonds wordt gedoucht.

## 8.3 Metingen

Secties tot 150 à 250 woningen worden ontworpen op zelfreinigend vermogen. Het simulatiemodel is echter nog niet gevalideerd voor clusters van meer dan 46 en minder dan 512 woningen, omdat hiervan geen metingen beschikbaar zijn. Het is aan te bevelen om metingen te verzamelen van een straat van 100 tot 150 woningen en het model voor deze schaal te valideren.

Het resultaat van de Monte-Carlo-simulatie is het gemiddelde en spreiding van een aantal kentallen. De verwachte spreiding geeft een indicatie hoeveel metingen nodig zijn voor een goede validatie van het model. Bij een kleine spreiding zijn weinig metingen nodig. Ook geven de resultaten van de simulatie inzicht in de te verwachte grootte van volumestromen en dus hoe nauwkeurig de volumestroommeter moet registreren.

## 8.4 Verbeteringen van het simulatiemodel

### *Woongebouwen*

Om het simulatiemodel ook te kunnen gebruiken voor woongebouwen hoeft alleen de warmwaterklasse te worden gewijzigd wanneer een collectieve warmwatervoorziening aanwezig is. Voor wat betreft de tappunten en gebruikers (bewoners) zal geen verschil met ééngezinswoningen optreden.

### *Utiliteitsgebouwen*

Om het simulatiemodel te kunnen gebruiken voor utiliteitsbouw zijn wel aanpassingen nodig. Een nieuw type gebruiker moet worden gedefinieerd, bijvoorbeeld *user\_school*, *user\_hospital* etc, voor wie de aanwezigheidscurve bepaald wordt door bijvoorbeeld lessen of werktijden. Nieuwe *subtype* tappunten kunnen eenvoudig worden toegevoegd, maar wellicht is het ook noodzakelijk om een nieuw *type* tappunt te definiëren. Omdat in een kantoorgebouw bijvoorbeeld 40 toiletten aanwezig kunnen zijn is het gewenst dit op een eenvoudige wijze te kunnen modelleren.

### *Schuifspanningen*

Uit de simulaties blijkt dat de versnellingen in binneninstallatie en distributienet voornamelijk vanaf of naar stilstand plaatsvinden, de kans op exact gelijktijdig openen van een tappunt is zeer klein. De versnellingen die optreden worden dus vrijwel volledig door de open (en sluit)tijden van een enkel tappunt bepaald en niet door de som ervan.

Als de schuifspanningen ten gevolge van versnellingen interessant blijken kan het simulatiemodel worden aangepast om in plaats van standaard 100 ms als open-/sluittijd bijvoorbeeld een random tijd tussen 4 ms en 800 ms te bepalen.

#### *Verfijningen van het model*

Voor het modelleren zijn een aantal keuzes gedaan, die hebben geleid tot vereenvoudigingen. In verdere ontwikkeling zijn deze vereenvoudigingen nader in te vullen, c.q. te verfijnen.

- Andere *type* tappunten kunnen worden toegevoegd: bijvoorbeeld een koffieautomaat in een bedrijf of lekverliezen (zie ook [Baggelaar en van Lieverloo, 2004], blz. 23).
- Afhankelijkheden, bijvoorbeeld handen wassen na toiletbezoek, kunnen worden toegevoegd, zodat meer gelijktijdig waterverbruik wordt gesimuleerd.
- Op dit moment zijn als belangrijkste *user*-parameters de grootte van het huishouden, leeftijd en sekse meegenomen. Uit het WT'04 blijkt dat etniciteit ook van grote invloed is. Onduidelijk is of het waterverbruik van tweede en derde generatie allochtonen meer op het autochtone waterverbruik gaat lijken.
- Wachtijden (tot warm water uit de kraan komt) zijn niet meegenomen.
- Voor andere toepassingen zijn wellicht andere grafische voorstellingen of statistische gegevens uit de simulatie van belang. Bijvoorbeeld een taartdiagram van volumeaandeel per tappunt (zoals figuur 2-1) of de verblijftijd van het water in de leidingen.

#### *Gebruiksvriendelijke versie*

Het gebruik van het simulatiemodel vergt kennis van Matlab®, inzicht in statistiek en begrip van voorliggend rapport. Een gebruiksvriendelijker model zou buiten Matlab® met een grafische interface (GUI) en veel standaardtoepassingen ontwikkeld kunnen worden, afhankelijk van de belangstelling en de beoogde gebruikersgroep.

## **8.5 Toepassingen van het simulatiemodel**

### *Toekomst*

Het simulatiemodel kan gebruikt worden om te voorspellen hoe toekomstig waterverbruik eruit kan zien. Gebruik kan worden gemaakt van de prognoses van het CBS en de prognoses die gedaan zijn op basis van oude gegevens uit de TNS-NIPO enquêtes (vanaf 1992) [Baggelaar en Driehuis, 2000 en Baggelaar en Geudens, 2002]. Daarnaast kunnen de gegevens worden gebruikt van de nieuwste waterverbruikende apparaten; de onzuinige



toiletten met hoge stortbak worden bijvoorbeeld niet meer nieuw geïnstalleerd.

#### *Buitenland*

Voor toepassingen van het simulatiemodel in het buitenland is meer onderzoek nodig. Allereerst zullen andere gemiddelde waarden gelden. Mogelijk zijn ook andere kansverdelingsfuncties nodig, de Poisson-verdelingen zullen wel algemeen gelden, maar bijv. de doucheduur kan heel anders zijn. Het is dan wellicht nodig om de lognormale verdeling in plaats van de chi-kwadraat-verdeling te gebruiken, waarbij naast het gemiddelde ook de standaarddeviatie van belang is. Mogelijk moeten ook extra tappunten worden gedefinieerd.

#### *Ontwerp van de binneninstallatie*

Op dit moment is voor de binneninstallatie het warmwaterverbruik niet duidelijk en derhalve is onduidelijk waarop de warmwatervoorziening gedimensioneerd moet worden. Hoewel het niet mogelijk was om de resultaten van het simulatiemodel voor warm water te valideren lijkt het model wel geschikt om meer inzicht te krijgen in het warmwaterverbruik. Vanuit de installatiebranche is met name interesse in het ontwerp van de warmwatervoorziening in woongebouwen en utiliteitsbouw. Dit vergt nader onderzoek; de weg van het modelleren is echter veelbelovend.

#### *Ontwerprichtlijnen van zelfreinigend net*

Met behulp van het simulatiemodel kunnen de dagelijks optredende (maximum) volumestromen beter worden voorspeld dan met de  $q\sqrt{n}$ -methode. Dit zal leiden tot een aanpassing van de ontwerprichtlijnen.

#### *Verbruikspatronen in leidingnetmodel*

Een leidingnetmodel bestaat uit drie elementen, de voeding, het leidingnet en de vraag. De voeding van een model is goed bekend in Q en H en te sturen door de gebruiker van het model. Het leidingnet volgt uit het LIS en kan daarmee worden gemodelleerd. Het verbruik volgt uit het VIS en is op basis van het adres ruimtelijk en op basis van de afrekening in grootte bekend (gemiddeld jaarverbruik).

In een leidingnetmodel is echter het gemiddeld jaarverbruik maar heel beperkt interessant. Het zijn de extremen in het verbruik die de leidingnetanalyse noodzakelijk maken. Vragen als 'Wat zijn de drukken bij het maximum verbruik?' en 'Hoe gedragen de waterstromen zich bij een minimum verbruik?' moeten beantwoord worden. In leidingnetberekeningsprogramma's wordt het verbruik omgerekend naar een momentaan verbruik door middel van vermenigvuldigingsfactoren of een afnamepatroon. De gebruikte factoren liggen vast voor bepaalde groepen van verbruiken in het model. Het resultaat van een dergelijke benadering is een geleidelijke overgang van verbruiken wanneer niet elke verbruiker op minuutbasis zijn eigen afnamepatroon wordt gegeven.

Door echter een patroongenerator in het model op te nemen die een verbruikspatroon genereert per verbruiker over een gedefinieerde periode

wordt het mogelijk om het werkelijke gedrag van de afzonderlijke verbruikers te simuleren. Met een dergelijk afnamepatroon wordt de werkelijke plaatselijke verbruikssituatie gesimuleerd. Bij de analyse van de uitgevoerde berekening moeten de volgende vragen worden beantwoord: 'Hoe moet de doorgerekende situatie gezien worden?', 'Wat is de maximum situatie?' en 'Welk totaal verbruik is er in het model opgenomen?'.

Met de gevolgde methode van verbruiksopbouw behoort het ontwerp van een leidingnet volgens de probabiliteitsmethode tot de mogelijkheden. Inzicht ontstaat in de gevoeligheden van een ontwerp en gaat de statistiek van de berekeningen (bijvoorbeeld 10.000 berekeningen, minimum, 95% minimum, maximum, 95% maximum, gemiddelden) een onderdeel vormen van de uitkomst. Risico's binnen het ontwerp worden hiermee duidelijk.

Reproduceerbaarheid van een berekening is noodzakelijk. De via een random generator geproduceerde verbruiken zullen opgeslagen moeten worden zodat een nadere studie van de tot stand gekomen verbruiken mogelijk is. (Waarom die hoeveelheid, waarom op die plaatsen)

Meerwaarde is aanwezig voor het ontwerp van vertakte leidingstructuren (80 - 200 aansluitingen) in verband met de werkelijk optredende verbruiken. Informatie over kansen van optreden dient te worden toegevoegd. Hetzelfde geldt voor wijken tot 2000 aansluitingen. Voor transportsystemen hangt de meerwaarde sterk af van de fluctuaties die de methode met zich meebrengt. Er moet in elk geval duidelijkheid zijn over de kansen dat bepaalde verbruikssituaties zich voordoen. Welke marges in de antwoorden worden nog gezien als relevant. In dit soort systemen zijn de waterkwaliteitsberekeningen wellicht veel meer geholpen met de fluctuerende vraag. Er zal namelijk veel meer macrodispersie optreden. De kans dat waterdeeltjes verder verspreid worden lijkt mij met deze wijze van verbruik in een model zeer aanwezig. Voor leveringszekerheidsberekeningen is het niet nodig om afnamepatronen op minutenbasis in te voeren; de huidige methode volstaat hier.



## 9 Referenties

- Ansems, P. (1995 May 19) *Verklaren van huishoudelijk wateroverbruik uit bevolkingskenmerken*, Universiteit Twente, beschrijving HuisSim.
- AwwaRF (2003). *Random demands, travel times, and water quality in dead ends*, AWWARF.
- Baggelaar, P. K. en Driehuis, W. (2000). *Model van het huishoudelijk wateroverbruik in Nederland en zijn toepassingen*, Kiwa N.V., Nieuwegein, versie 1.0, SWI 2000.xxx (niet gepubliceerd).
- Baggelaar, P. K. en Geudens, P. J. J. G. (2002). *Prognoses landelijke drinkwateroraag tot 2020*, Vewin.
- Baggelaar, P. K. en Lieverloo, J. H. M. van (2004). *Verkenning voor aanpassing van de keuringssystematiek van in gebruik zijnde watermeters*, Kiwa N.V., Nieuwegein, KWR 04.070.
- Blokker, E. J. M. (2003). *Haalbaarheidsstudie modelleren afnamepatronen - beschrijving opbouw prototype*, Kiwa N.V., Nieuwegein, BTO 2003.026.
- Blokker, E. J. M. (2006). *Bijlage bij rapport BTO 2005.066*, Kiwa N.V., Nieuwegein, BTO 2005.067.
- Boomen, M. van den (2001). *Metingen afnamepatronen Blixembosch en Meerhoven*, Kiwa N.V., Nieuwegein, BTO 2000.220 (C).
- Boomen, M. van den, Mazijk, A. van, en Beuken, R. H. S. (2004), "First evaluation of new design concepts for self-cleaning distribution networks", *Journal of Water Supply: Research & Technology - AQUA*, **53**(1), 43-50 .
- Boomen, M. van den en Vreeburg, J. H. G. (1999). *Nieuwe ontwerprichtlijnen voor distributienetten*, Kiwa N.V., Nieuwegein, ISBN 90-74741-78-9, SWE 99.011.
- Broek, A. van der en Breedveld, K. *Tijdsbestedingsonderzoek 1995 - TBO'95 [computer file]*, Sociaal en Cultureel planbureau, SCP, Den Haag, Amsterdam, Steinmetz-archief (P1383).
- Buchberger, S. G. and Wells, G. J. (96), "Intensity, duration and frequency of residential water demands", *Journal of Water Resources Planning and Management*, **122**(1), 11-19 .
- Burnell, D., "Lifestyle and its effect on domestic water use" (*Advances in Water Supply Management - Proceedings of the CCWI '03 conference*, (A.A. Balkema Publishers.
- CBS, <http://statline.cbs.nl>, 2004/4
- Foekema, Henk en Engelsma, Okke (2001). *Een ander consumptiepatroon (het wateroverbruik thuis 2001)*, TNS NIPO, Amsterdam, in opdracht van VEWIN.
- García, V., Cabrera, E., García-Serra, J., Arregui, F., and Almandoz, J., "Stochastic prediction of the minimum night flow demand in a district metered area" (2003). *Advances in Water Supply Management - Proceedings of the CCWI '03 conference*, (A.A. Balkema Publishers, 2003).
- García, V., García-Bartual, R., Cabrera, E., Arregui, F., and García-Serra, J. (2004), "stochastic model to evaluate residential water demands", *Journal of water resources planning and management*, 386-394 .
- Gardena, <http://www.gardena.com>, 2004/3/1

- Jacobs, H. E. (2004). *a conceptual end-use model for residential water demand and return flow*, RAU, Johannesburg, Zuid-Afrika.
- Kanne, P. (2005a). *Watergebruik thuis 2004*, TNS NIPO, Amsterdam, in opdracht van VEWIN.
- Kanne, P. (2005b). *Watergebruik thuis 2004, deelrapportage Waterleidingbedrijf Amsterdam*, TNS NIPO, Amsterdam, in opdracht van het waterleidingbedrijf van Amsterdam.
- Kooij, D. van der, Veenendaal, H., en Scheffer, W. J. H. (2003), "Biofilmvorming en groei van legionella op leidingmaterialen in een experimentele tapwaterinstallatie", *H2O*, #11.2003
- Kreukniet, A., Holterman, G., Bannink, L., en Boomen, M. van den (2003), "Hoe zelfreinigend zijn zelfreinigende netten? ", *H2O*, #13.2003
- Mesman, G. A. M. and Trietsch, E. A. (2000). *Ontwerprichtlijnen voor een vertakt leidingnet (achtergrondinformatie bij SWE 99.011)*, Kiwa N.V., Nieuwegein, BTO 2000.03.
- Mul, P. B., Boomen, M. van den, en Koning, M. de (2002), "Een eerste evaluatie van een zelfreinigend net", *H2O*, #8.2002
- Onderzoek en Statistiek Amsterdam, <http://www.os.amsterdam.nl/>, 2005/6
- Schee, W. van der en Scheffer, W. J. H. (2004), "Wereldwijd behoefte aan rekenmodellen voor afnamepatronen leidingwater", *TVVL Magazine*, 46-52.
- Scheffer, W. J. H. (2002), "Beperk ringsystemen in leidingwaterinstallaties", *Intech K&S*, 76-78 .
- Scheffer, W. J. H. (2005), "Simulatiemodel voor afnamepatronen; Tappatronen in leidingwaterinstallaties (6)", *Intech K&S*, 88-90.
- SenterNovem, <http://www.energielabel.nl>, 2004/4/27
- Vereecken, C. and Maes, L., <http://allserv.rug.ac.be/~cvereeck/hbsc/>, 2004/5
- Vogelaar, A. J. en Blokker, E. J. M. (2004). *Tappatronen en Leidingdimensionering; Inventarisatie van kentallen en rekenmethoden*, Kiwa N.V., Nieuwegein, BTO2004.026.
- Williamson, P., Mitchell, G., and McDonald, A. T. (2002), "Domestic water demand forecasting: a static microsimulation approach ", *Journal of The Chartered Institution of Water and Environmental Management*, **16**, 243-248 .

# I Statistiek

Van uitkomsten van enquêtes tracht men vaak vast te stellen uit welke statistische kansverdeling deze afkomstig zijn, zodat men verder uit kan gaan van die kansverdeling. De reden is dat met enquêtes maar een deel van de bevolking wordt bereikt en er dus veel gegevens ontbreken. Wanneer een bepaalde statistische kansverdeling goed past (zowel vanuit de theorie als vanuit de meetgegevens) kan allerlei ontbrekende informatie daarmee worden gesimuleerd. Voor het vergelijken van de afnamepatronen is o.a. gebruik gemaakt van de Hoofdcomponenten analyse (*Principal Component Analysis, of* (PCA).

In deze bijlage worden kort een aantal begrippen besproken voor de leek op statistisch gebied. Het gaat hier niet om de formules, maar om enig gevoel te krijgen voor de materie.

## **Fitten van statistische verdelingen**

In veel gevallen kan worden aangenomen dat meetgegevens afkomstig zijn uit een normale kansverdeling. Maar voor discrete variabelen (bijv. het aantal keer dat een wasmachine draait binnen een bepaalde periode) zal veeleer een Poisson-verdeling gelden.

Wanneer duidelijk sprake is van een scheve verdeling passen deze beide verdelingen niet langer. Voor de continue variabele gaat men dan vaak over op de lognormale verdeling, en voor de discrete variabele naar de Negatief Binomiale verdeling.

Veel statistische kansverdelingen zijn door slechts twee parameters vastgelegd. Bij de normale kansverdeling zijn dat bijvoorbeeld het gemiddelde en de standaardafwijking (een maat voor de spreiding). De Poisson-verdeling is een bijzondere kansverdeling, omdat de spreiding bepaald wordt door het gemiddelde. Daarom heeft deze verdeling slechts één parameter, het gemiddelde. In het onderzoek is in plaats van de lognormale verdeling ook wel gekozen voor de  $\chi^2$ -verdeling, omdat deze verdeling eveneens slechts één parameter kent. Naast het feit dat het invoeren van slechts één parameter veel gemakkelijker is, is het vaak ook een parameter die gemakkelijk te schatten is. Een rekenprogramma als Matlab® is in staat om parameters van veel verschillende verdelingen te schatten, maar Excel komt vaak niet veel verder dan het gemiddelde en de spreiding van de normale verdeling.

## **Statistische parameters voor het bepalen van de pasvorm**

Om te bepalen of een verzameling meetwaarden afkomstig kan worden geacht uit een bepaalde statistische kansverdeling moet de pasvorm ('goodness of fit') worden bepaald. Daartoe kan worden afgegaan op statistische prestatie-maten. Een aantal parameters wordt hiervoor in de bijlagen rapport gebruikt.

De eenvoudigste prestatemaat is de *Mean Error*, de gemiddelde fout. De error  $\underline{\varepsilon}$  wordt gedefinieerd volgens:

$$\underline{\varepsilon} = \underline{y} - \underline{x},$$

waarin  $\underline{y}$  een vector van n meetwaardes, en  $\underline{x}$  een vector van n modelwaardes. De ME is dan:

$$ME = \sum \frac{\varepsilon}{n}$$

Bij een zuivere schatter of een systematisch goed model zal deze maat naar nul gaan als het aantal uitkomsten naar oneindig gaat. Duidelijke afwijkingen van nul duiden daarentegen op een systematische fout. De *Root Mean Square Error* (RMSE) is een maat voor de grootte van de gemiddelde gekwadrateerde fout:

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n-1}}$$

De zogenaamde *Fractie Verklaarde Variantie* (FVV of  $R^2$ ) is een maat voor hoe sterk de spreiding in waarden een variabele verklaard wordt door een model. Uitgangspunt van een FVV is dat de spreiding van een variabele uit een verklaarde en een niet verklaarde ('ruis') component bestaat. In de praktijk kan een model met  $R^2 > 0,75$  vaak als redelijk passend worden beschouwd, maar dit verschilt enigszins met de beoogde toepassing van het model.

### **Hoofdcomponent-analyse (Principal Component Analysis, of PCA)**

(<http://www.euronet.nl/users/warnar/demostatistiek/stat/pca.html>)

Met de PCA kan men inzicht krijgen in verbanden tussen variabelen in situaties die gekenmerkt worden door een multi-dimensionale gegevensstructuur. De bedoeling is om uit de veelheid van (verborgen, onbekende of latente) variabelen die door een situatie wordt gekenmerkt, juist de belangrijkste componenten uit te lichten. In feite berust PCA op data-reductie en dient er dus toe belangrijke factoren op te sporen en te visualiseren in een situatie die bepaald wordt door een set van multidimensionale gegevens.

De PCA-analyse wordt veel gebruikt, bijvoorbeeld in de markt-analyse, de ecologie (milieu), de genetica (DNA-fingerprints), de grafische industrie om patronen te visualiseren (bv. gelaatsherkenning) en de astronomie (sterrenstelsels).

## II Enquête-gegevens bij metingen Wolter&Dros

De tabel geeft per gezin aan van welke samenstelling van binneninstallatie en gezin sprake is.

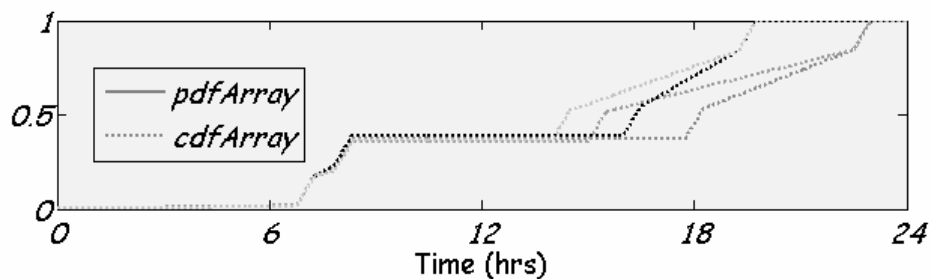
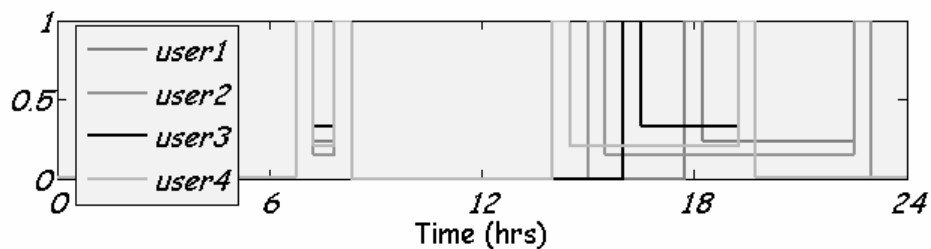
	<i>fam. A</i>	<i>fam. B</i>	<i>fam. C</i>	<i>fam. D</i>
meetperiode	16 april - 19 mei	24 mei - 2 juni	14 juni - 30 juni	5 juli - 12 juli
wc	6 en 9 liter (met spoelonderbreker)	2 x 6 liter (met spoelonderbreker)	2 x 9 liter (met spoelonderbreker)	2 x 6 liter (geen spoelonderbreker)
douche	in bad, 2 pers 's ochtends, 2 's avonds	spaardouche, 's ochtends, gemiddeld vaker dan 1x per dag	geen spaardouche, vooral 's ochtends	geen spaardouche, vooral 's avonds
wasmachine	uit 1996, 7-8 x per week	uit 2004, 10 x per week, nachtstroom	uit 2004, 12 x per week	uit 2000, 10 x per week, nachtstroom
afwasmachine	uit 1999, 7 x per week	uit 2003, 8 x per week, nachtstroom	uit 2004, 9 x per week, nachtstroom	x
keukenkraan	ja	ja	ja	ja
badkamerkraan	ja	ja	ja	ja
bad	ja, wel gebruikt	nee	ja, wel gebruikt	ja, niet gebruikt
buitenkraan	ja, wel gebruikt (in weekend)	ja, niet gebruikt	ja, niet gebruikt	ja, niet gebruikt
overig	fonteintje wc	fonteintje wc	fonteintje wc, en in garage	fonteintje wc
warm water	combiketel, 24 kW	combiketel, 24 kW	combiketel, 24 kW + zonneboiler 150 liter	combiketel, 21 kW + keukenboiler 30 liter
bewoners	man, 41, werkt vrouw, 38, parttime man, 8, school vrouw, 4, school	man, 51, werkt vrouw, 50, werkt man, 16, school man, 14, school vrouw, 13, school	man, 43, werkt vrouw, 40, geen werk man, 7, school vrouw, 5, school vrouw, 3, thuis	vrouw, 48, parttime man, 48, fulltime man 20, school/werk man 18, school
nachtstroom	nee	ja	ja	ja
tuin	ja	ja	ja	ja



	<i>fam. A</i>	<i>fam. B</i>	<i>fam. C</i>	<i>fam. D</i>
jaarverbruik laatste 3 jaar (m <sup>3</sup> )	168/175/178	180/190/192	180/180/180	onbekend

In onderstaande figuur is voor familie A beschreven op welke tijden de gezinsleden normaal gesproken door de week opstaan, van huis gaan, thuis komen en gaan slapen. Deze getallen zijn gebruikt voor de simulatie en hebben een grote invloed op het uurpatroon over de dag.

	<b>user1</b>	<b>user2</b>	<b>user3</b>	<b>user4</b>
type	work_ad	work_ad	child	child
sex	male	female	male	male
up	06:45	06:45	06:45	06:45
go	08:20	08:20	08:20	08:20
home	17:45	15:00	16:00	14:00
sleep	23:00	23:00	19:45	19:45



## III Validatie van het simulatiemodel

Voor de validatie van het simulatiemodel worden de uitkomsten van het model vergeleken met de werkelijkheid. Het meten van de 'werkelijkheid' kan op verschillende manieren:

1. via enquêtes;
2. meten van waterverbruik op pompstation;
3. meten van waterverbruik op straatniveau;
4. meten van waterverbruik met de watermeter;
5. meten van waterverbruik op tappunten.

Gegevens die gebruikt zijn als invoer voor het model (gegevens uit WT'01, TBO'95, technische gegevens van tappunten [Vogelaar en Blokker, 2004] en meetgegevens ten behoeve van de schatting van het nachtverbruik) kunnen niet worden gebruikt voor de validatie.

Afhankelijk van de methode kunnen verschillende aspecten van het simulatiemodel worden gevalideerd. In dit onderzoek wordt voornamelijk gekeken naar de maximum volumestroom (tijdens de meting meestal bepaald per minuut of per 5 minuten) en het verbruikspatroon over de dag. Het is niet eenvoudig om de overeenkomst tussen simulatie en meting te kwantificeren. Het aantal metingen is meestal beperkt waardoor de spreiding in maximum volumestromen klein is. De uurpatronen over de dag zijn alleen visueel te beoordelen en nauwelijks in getallen uit te drukken.

In deze bijlage wordt elk van de boven vermelde validatiemethoden besproken. Iedere paragraaf bevat een tabel met een samenvatting van de beschikbare metingen en op welke punten de simulatie kan worden vergeleken met deze metingen. Na de tabel worden de metingen uitgebreider beschreven en grafisch weergegeven. Dan volgen de gegevens van de relevante simulaties. Vervolgens worden simulatie en meting vergeleken en geconcludeerd hoe goed ze overeenkomen.

### III.1 Enquêtes

Een manier om de werkelijkheid te leren kennen is via het houden van een enquête. Het WT'01 is reeds gebruikt als invoer voor het simulatiemodel en bevat geen duidelijke vragen over tijdstip van watergebruik, dus deze kan niet gebruikt worden voor de validatie van het model.

Een nieuwe aanvullende enquête over tijdstippen van waterverbruik, zowel over de dag als over de week of het jaar, kan dienen om de aanname van het simulatiemodel te valideren of het simulatiemodel verder te verbeteren. Daarnaast kan een enquête ondersteunen bij de overige metingen, zodat een stuk basisinformatie bekend is, zoals over tappunten en gebruikers.

### III.2 Validatie op wijkniveauvoorzieningsgebiedniveau: meten bij pompstations

Pompstations leveren water aan veel huishoudens en bedrijven. Het waterverbruik verloopt meer continu (minder piekerig) dan wanneer het waterverbruik van slechts enkele woningen wordt gemeten. Validatie van het

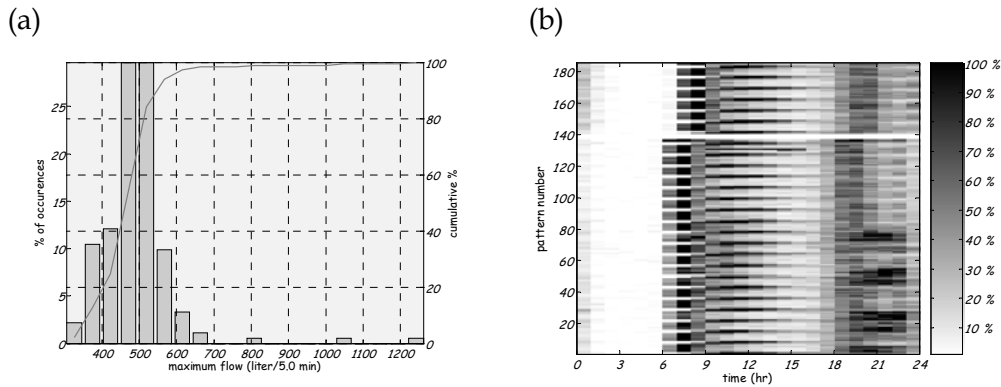
gemiddelde dagverbruik en de tijdstippen van piekafnames en vergelijking met de piekfactorenmethode is met metingen op pompstations mogelijk. Doordat het waterverbruik op pompstations niet veel schommelt over het jaar zijn metingen op pompstations zeer geschikt om een verloop over de dag te bekijken. Om te vergelijken met metingen op pompstations moet bekend zijn hoeveel woningen en welk type woning er voorkomt in het voorzieningsgebied en wat de bevolkingssamenstelling is. Helaas is er meestal niet veel informatie over het achterliggende gebied. En vaak is er ook nog waterverbruik door bedrijven in het gebied, dus niet alleen huishoudelijk waterverbruik.

In [Blokker, 2003] is een limiet afgeleid voor het aantal woningen in de simulatie. Eén overweging is daarbij de rekentijd, een andere overweging is dat de simulatie voornamelijk een alternatief moet zijn voor de  $q\sqrt{n}$ -methode en niet voor de piekfactorenmethode. Dit betekent dat het simulatiemodel niet veelvuldig ingezet zal worden voor een groot voorzieningsgebied. Ten behoeve van de validatie zal dit wel worden gedaan.

### III.2.1 Overzicht metingen

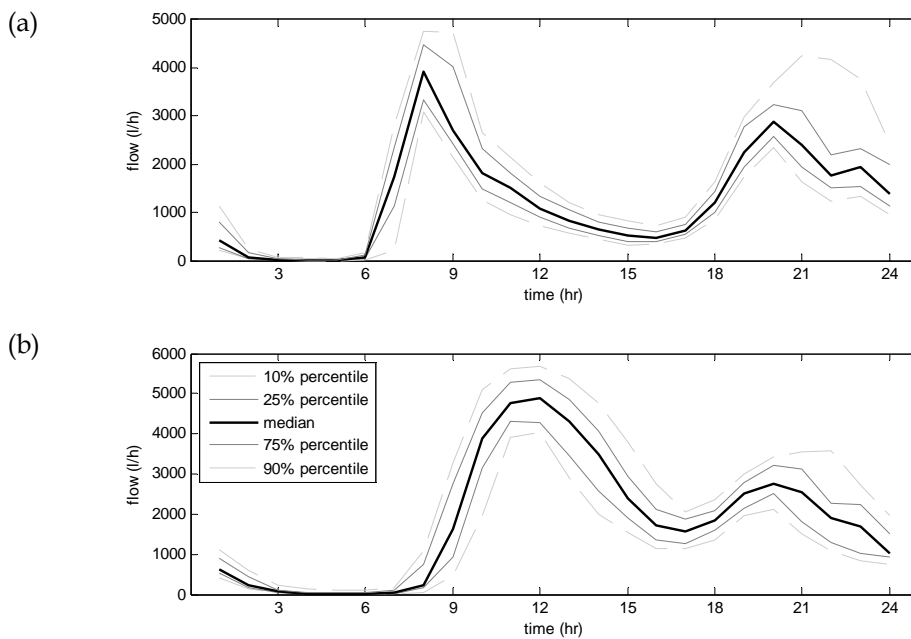
	HMN - Huishoudwater	DPW - Lekverliezen	Gewenst (op basis van simulatiemodel)
Log-tijd	5 min	1 min	1 min is voldoende kort
Aantal dagen	185	90	ca. 100
Aantal woningen	512	1000	< 250 (sectiegrootte). Meer is niet gewenst
Extra gegevens	Apart drinkwater en huishoudwater		Info binneninstallatie (type woningen, bedrijven) en bewoners (aantal)
Water-bedrijf	HMN	Waternet	Kiwa
Tijd van meting	Juni-dec 2001	Sep-dec 2004	Op basis van statistiek: <ul style="list-style-type: none"> <li>• CBS 2004 (of jaar van meting)</li> <li>• TBO'95</li> <li>• WT'01, evt. WT'04</li> </ul>
commentaar	Bruikbaar, hoewel logtijd van 5 min lang is	Niet erg bruikbaar, erg veel woningen	Vergelijken metingen - simulaties op: <ul style="list-style-type: none"> <li>• maximum volumestroom op 5 min</li> <li>• uurpatronen</li> </ul>

Hydron Midden Nederland heeft in Leidsche Rijn metingen gedaan in een wijk van 512 woningen, op 5 minuten-basis. Hier werd zowel het drinkwater als het huishoudwater gemeten, de som van deze twee waterverbruiken is gebruikt voor de validatie. In de meetperiode (juni - december 2001) zijn 185 bijna volledige dagpatronen gemeten; onderstaande figuren laten de uurpatronen en de maximum volumestromen per dag zien (in l/5 min). Wat opvalt is de uurverschuiving eind oktober, de verklaring hiervoor is het ingaan van de wintertijd (terwijl de logger gewoon doorliep).



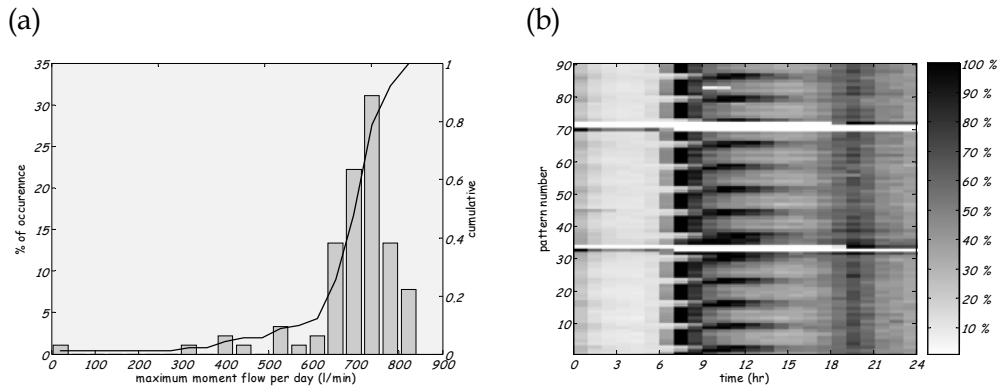
figuur III-1 (a) maximum volumestroom (l/5 min) per dag en (b) uurpatronen van Leidsche Rijn (512 woningen).

In figuur III-2 wordt de volumestroom per uur over de dag getoond, met de mediaan en een aantal percentielen. Uit deze figuur blijkt dat de grootste variatie optreedt 's avonds na 18:00 uur en in het weekend.

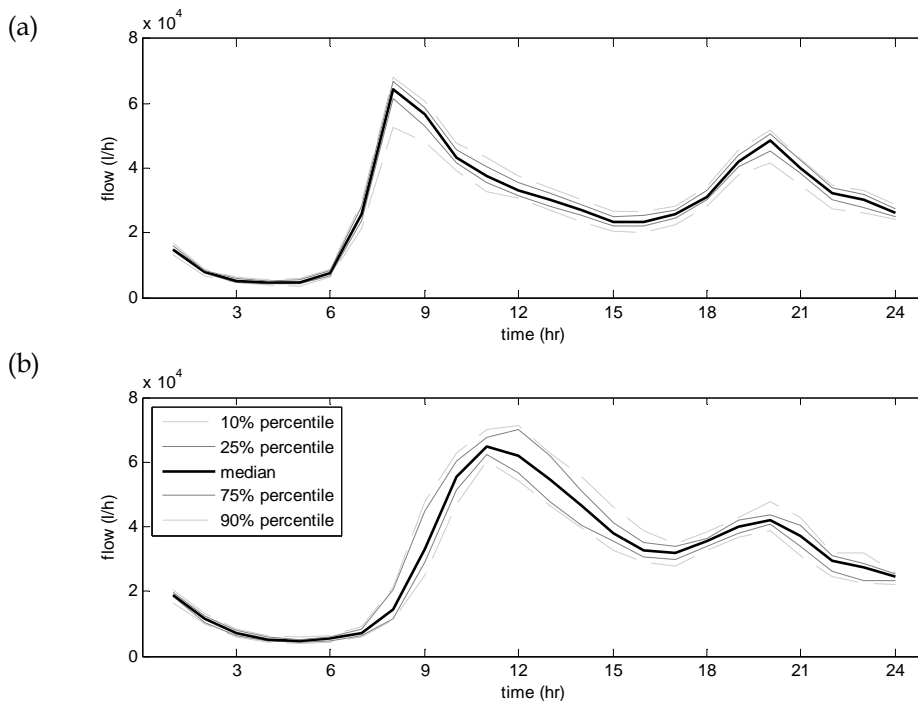


figuur III-2 Mediaan van de volumestroom per uur, met de 10%, 25%, 75% en 90% percentielen, voor (a) doordeweekse en (b) weekenddagen in Leidsche Rijn. Alleen de eerste 135 dagen zijn meegenomen, zodat niet gecorrigeerd hoefde te worden voor de verschuiving van een uur bij de afloop van de zomertijd.

In Diemen-Noord zijn metingen gedaan van ca. 1000 en 1800 woningen, gelogd is op 1 minuut. In de meetperiode (geanalyseerd zijn de metingen tussen september en december 2004) zijn 90 bijna volledige dagpatronen gemeten; onderstaande figuren laten de uurpatronen en de maximum volumestromen per dag zien (in l/min).



figuur III-3 (a) maximum volumestroom (l/min) per dag en (b) uurpatronen van Diemen-Noord (1000 woningen).

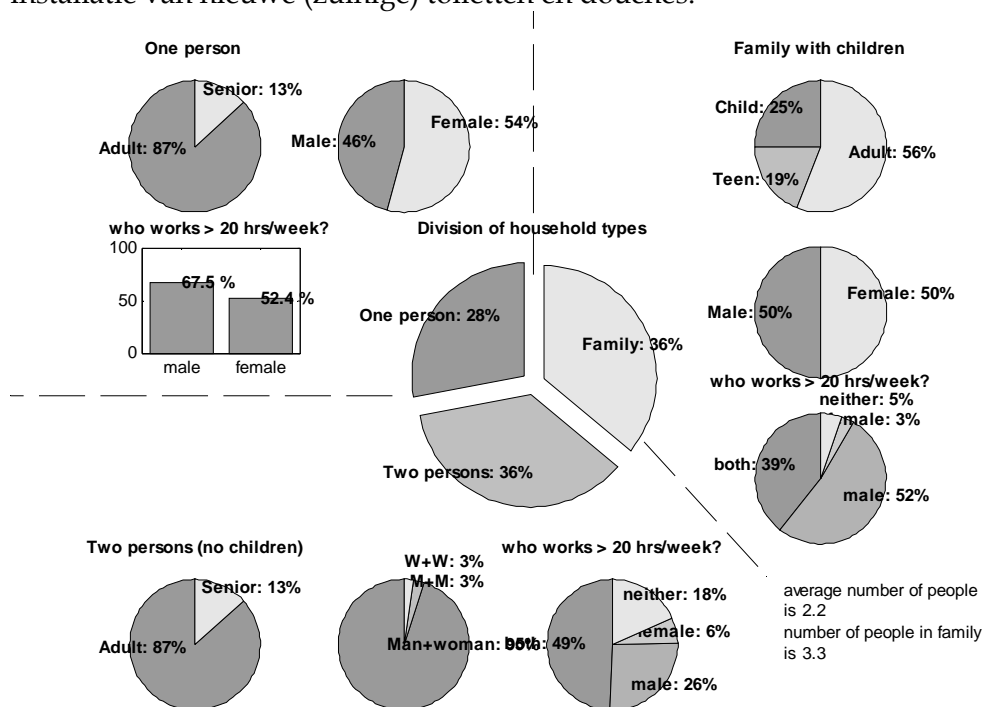


figuur III-4 Mediaan van de volumestroom per uur, met de 10%, 25%, 75% en 90% percentielen, voor (a) doordeweekse en (b) weekenddagen in Diemen-Noord.

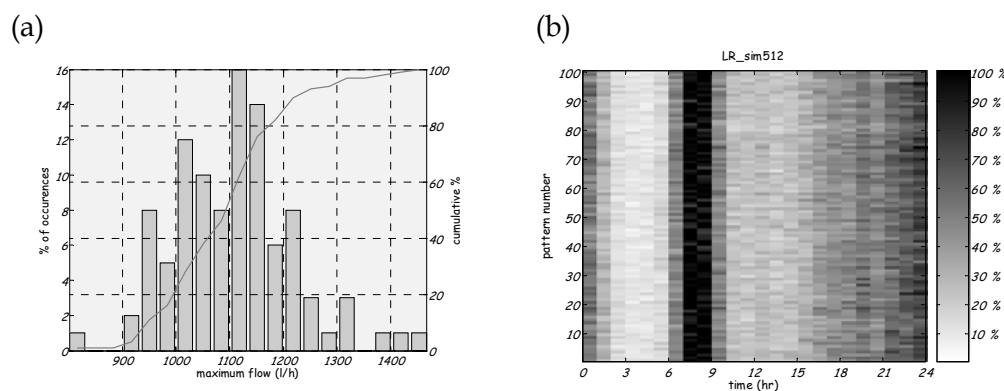
### III.2.2 De simulatie

Uit de metingen blijkt dat hoe groter het voorzieningsgebied is hoe minder variatie tussen de patronen over de dag te zien is. De voorkeur voor het vergelijken van metingen en simulatie gaat daarom uit naar een zo klein mogelijk voorzieningsgebied, in dit geval dus Leidsche Rijn met 512 woningen. De simulatie is uitgevoerd in 2 stappen. Eerst zijn 1000 (basismodel, nieuwe installatie) woningen (elk 50 patronen, doordeweeks, geen weekends, en op 5 minuten-basis) gesimuleerd. Vervolgens is hieruit 100 maal een sommatie gedaan van 512 patronen.

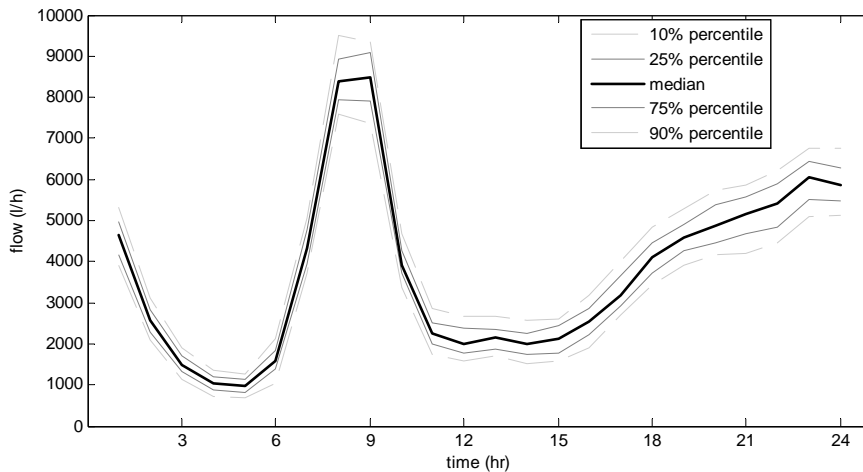
Het CBS heeft specifieke informatie over de wijk Leidsche Rijn in 2001. Deze wijk had in 2001 28% eenpersoonshuishoudens, 36% meerpersoons-huishoudens zonder kinderen en 36% meerpersoonshuishoudens met kinderen. De gemiddelde grootte van het huishouden was 2,2 personen. Slechts 6% van de bewoners was ouder dan 65 jaar, en er waren aanzienlijk meer kinderen en jongeren dan gemiddeld in Nederland (28% jonger dan 25). Voor Leidsche Rijn zijn de statistische gegevens van het huishouden in het simulatiemodel (*householdStats*) aangepast. Omdat niet bekend is welke waterverbruikende apparaten in de woningen zijn geïnstalleerd worden de gegevens van de WT'01 gebruikt; wel is er een aanpassing gedaan voor installatie van nieuwe (zuinige) toiletten en douches.



figuur III-5 householdStats voor Leidsche Rijn, 2001



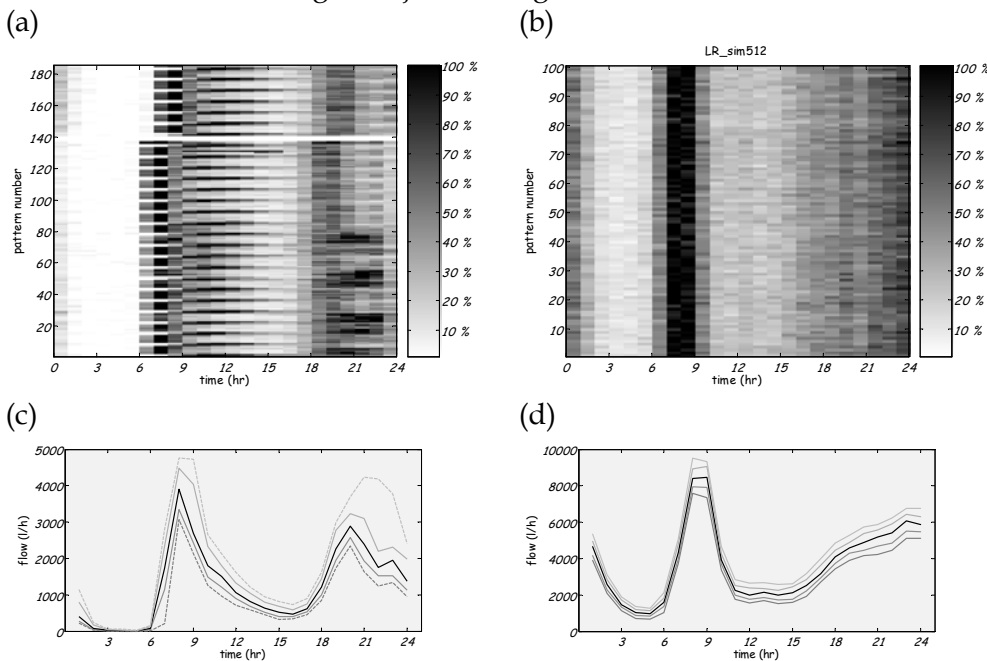
figuur III-6 (a) maximum volumestroom (l/5 min) per dag en (b) uurpatronen van simulatie, 512 woningen.



figuur III-7 mediaan en percentielen van 100 dagpatronen van een simulatie van een wijk van 512 woningen.

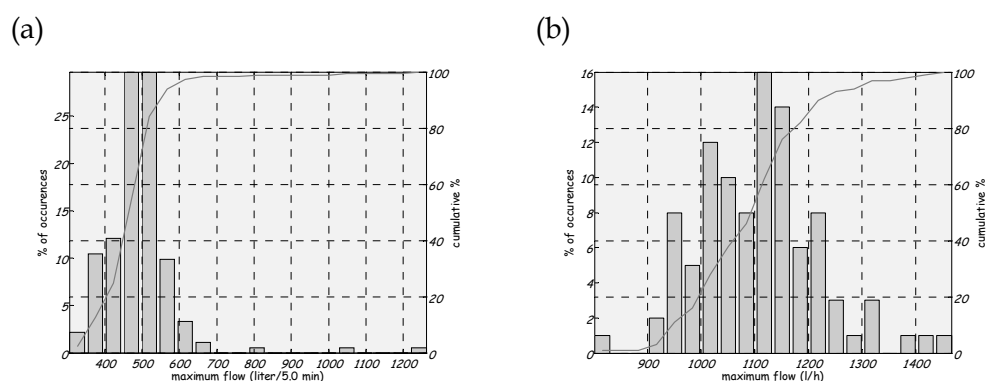
### III.2.3 Vergelijken van metingen en simulatie

De uurpatronen van de metingen van Leidsche Rijn laten een zeer laag verbruik in de nacht zien; dit geldt veel minder voor de metingen van Diemen-Noord en voor de simulaties. In figuur III-8 staan metingen en simulaties naast elkaar. De momenten van maximum verbruik van de metingen en simulaties komen goed overeen. De simulaties kennen een groter verbruik en een iets ander patroon (meer waterverbruik in de nacht) en geen 'bult' in de vroege avond. Zowel bij de metingen als bij de simulaties is de variatie in de avond het grootst. Het maximumverbruik is bij de simulaties echter tweemaal zo hoog als bij de metingen.



figuur III-8 vergelijken van uurpatronen (a) metingen, figuur III-1b; (b) simulaties, figuur III-6b; (c) metingen, figuur III-2; (d) simulaties, figuur III-7.

De maximum volumestroom per 5 minuten ligt bij de metingen tussen 300 en 1200 l/5 min, met de grootste concentratie tussen 400 en 600 l/5 min. In de simulaties ligt de maximum volumestroom tussen 800 en 1250 l/5 min; met een grotere variatie dan bij de metingen (figuur III-9). De simulaties laten hier dus een groter gelijktijdig gebruik zien dan de metingen. De 100 patronen van 512 woningen zijn verkregen uit een sommatie van 1000 woningen, elk 50 patronen. Met de 50000 patronen kan de sommatie tot 51200 wel worden uitgevoerd, maar de uitkomst is niet geheel onafhankelijk; hierdoor ontstaat meer gelijktijdig gebruik. Een simulatie met meer basispatronen kan een oplossing zijn, maar dan duurt de simulatie erg lang en dit geeft ook aan wat de beperking is van het simulatiemodel.



figuur III-9 vergelijken van maximum volumestroom per 5 minuten (a) metingen, figuur III-1a; (b) simulaties, figuur III-6a.

### III.2.4 Conclusie

Het vergelijken van metingen en simulaties op wijkniveau geeft veel inzicht in de overeenkomst van patronen. De reden is dat de gemeten patronen op wijkniveau veel minder variatie vertonen dan op huisniveau.

Het simulatiemodel geeft een patroon over de dag waarbij relatief veel nachtverbruik is vergeleken met de metingen. Daarnaast lijkt het erop dat het verbruik voor het slapen gaan wordt overgewaardeerd, terwijl het waterverbruik rond het eten wordt ondergewaardeerd. Dit ondanks het feit dat het gebruik van de keukenkraan in het simulatiemodel wel het maaltijdenpatroon volgt.

Wat betreft de maximum volumestroom wijken de 100-percentielen nauwelijks af, maar passen de 50-percentielen slecht. Dit ligt wellicht aan het feit dat de simulatie te kort was. Het verlengen van de simulatietijd is niet gedaan om praktische redenen. Ons simulatiemodel is weinig geschikt voor een groot aantal achterliggende woningen.

### III.3 Validatie op straatniveau: meten in de straat

Bij metingen op straatniveau gaat het om metingen aan distributieleidingen die een aantal woningen voorzien van water. Voor een goede vergelijking met de simulatie moet bekend zijn hoeveel woningen gemeten zijn, wat het



type woning is en wat de bevolkingssamenstelling is. Validatie van MMV (vergelijk met  $q\sqrt{n}$ -methode) is mogelijk; de schuifspanning kan worden bepaald via drukmetingen.

In het verleden heeft Kiwa metingen uitgevoerd aan waterverbruik op straatniveau in Saendelft [de Koning en Beuken, 2001], Blixembosch [van den Boomen, 2001] en Raalte [Kreukniet et al, 2003]. Bij al deze metingen is enige informatie verzameld over de woningen die achter het meetpunt lagen. Tijdens de metingen is tevens een (onbekende hoeveelheid) extra onttrekkingen aan brandkranen (voor troebelheidsmetingen) gedaan. De metingen in Raalte zijn gebruikt om het nachtverbruik te schatten (zie bijlagerapport); deze kunnen dus niet zo maar worden gebruikt voor de validatie.

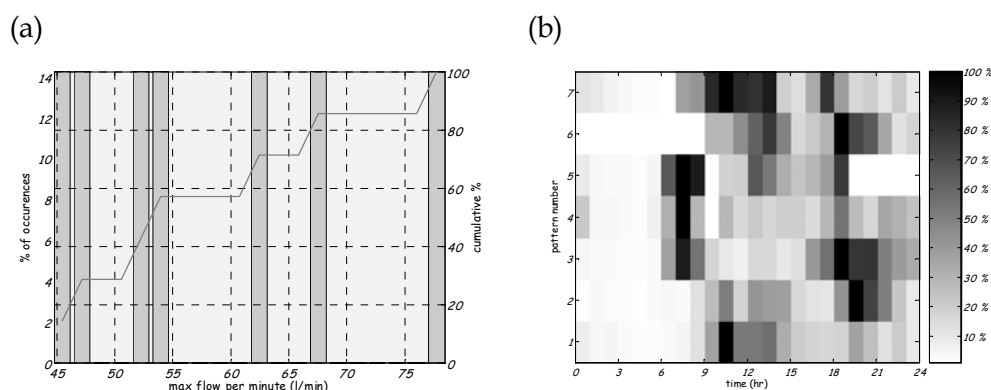
### III.3.1 Overzicht metingen

	<i>BTO - NOC Raalte</i>	<i>BTO - NOC Blixembosch</i>	<i>BTO - NOC Saendelft</i>	<i>Gewenst (op basis van simulatiemodel)</i>
<i>Log-tijd</i>	1 sec	1 uur, 5 min	1 minuut	1 sec
<i>Aantal dagen</i>	< 7	14	12, 21	ca. 100
<i>Aantal woningen</i>	1, 4, 14, 30	1, (3x)5, (2x)10, (2x)15	7, 19, 46	>1, tot 250 (sectiegrootte)
<i>Extra gegevens</i>	extra onttrekking voor troebelheidsmetingen	kleine enquête gehouden	extra onttrekking voor troebelheidsmetingen, kleine enquête gehouden	Info binneninstallatie (type woningen) en bewoners (aantal)
<i>Water-bedrijf</i>	Vitens	BW	PWN	Kiwa
<i>Tijd van meting</i>	Mei 2002	Maart 2000	September 2001	Op basis van statistiek: <ul style="list-style-type: none"> <li>• CBS 2004 (of jaar van meting)</li> <li>• TBO'95</li> <li>• WT'01, evt. WT'04</li> </ul>
<i>commentaar</i>	Beperkt bruikbaar: erg weinig metingen, wm niet geschikt voor loggen per sec. én extra onttrekkingen voor FTU => omrekenen naar 1 minuten-basis	Beperkt bruikbaar: lange logtijden en dan alleen max. verbruik	Beperkt bruikbaar: meting in stappen van één liter	Vergelijken metingen - simulaties op: <ul style="list-style-type: none"> <li>• maximum volumestroom op 5 min</li> <li>• aantal uren met volumestroom &gt; 0</li> <li>• uurpatronen</li> </ul>

In Raalte zijn op 4 locaties metingen uitgevoerd: bij 1 woning, bij 4 woningen, bij 14 woningen en bij 30 woningen (tussen zondag 19 mei en maandag 27 mei 2002; maandag 20 mei was 2<sup>e</sup> pinksterdag). Opgemerkt dient te worden dat de meting van 1 woning niet representatief is, omdat de bewoners thuis moesten blijven voor de metingen. Niet alle locaties zijn op alle dagen gelogd, waardoor eigenlijk alleen de metingen van de 30 woningen bruikbaar zijn. Gelogd is per seconde, de 'digit' van de watermeter (minimaal doorstroomde volume voordat de aflezing verandert) was echter te groot om goed op secondebasis te kunnen meten. Dit betekent dat beter kan worden geïntegreerd over een langere periode, bijv. 1 minuut. Andere opmerkingen:

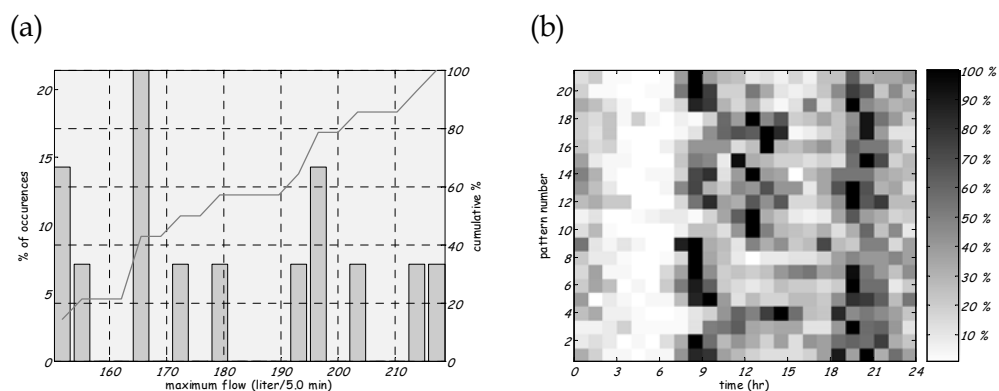
- het aantal uren met volumestroom > 0 kan niet worden bepaald doordat tegelijkertijd water is afgetapt voor troebelheidsmetingen;

- in de meetperiode zijn 7 bijna volledige dagpatronen gemeten, figuur III-10 laat de maximum volumestromen per dag zien (in l/min) en de uurpatronen.
- de mediaan en andere percentielen van de dagpatronen geven te weinig informatie, omdat er slechts weinig dagpatronen gemeten zijn.



figuur III-10 (a) maximum volumestroom (l/min) per dag en (b) uurpatronen van Raalte, 30 woningen.

De metingen in Meerhoven en Blixembosch zijn uitgevoerd op 4 locaties: 1 woning, 5 woningen, 10 woningen en 15 woningen (21 dagen eind februari - begin maart 2000). Vastgelegd zijn de maximum volumestroom per 5 minuten en de gemiddelde volumestroom per uur. De gemiddelde uurpatronen zijn voor 15 woningen geplot in figuur III-11. De mediaan en andere percentielen van de dagpatronen geven te weinig informatie, omdat er slechts weinig dagpatronen beschikbaar zijn en er veel variatie is bij sompatronen van slechts 15 woningen.



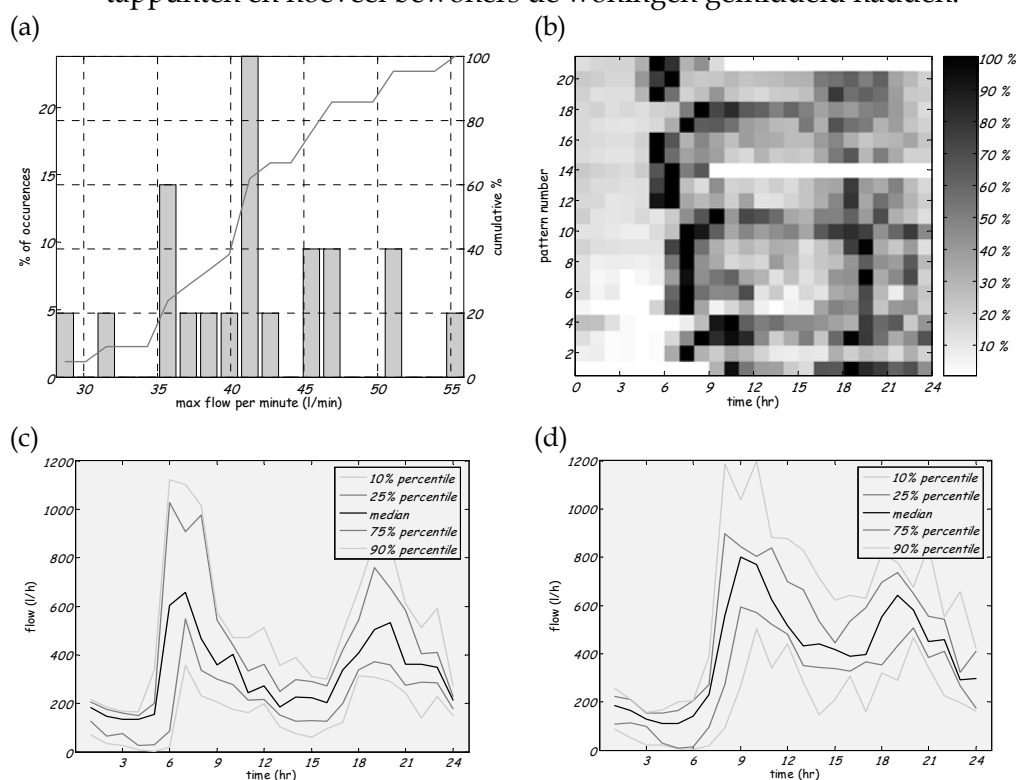
figuur III-11 (a) maximum volumestroom (l/5 min) per dag en (b) uurpatronen van Blixembosch 15 woningen.

Wat opvalt is dat in de meetpatronen behoorlijk wat variatie optreedt; het is niet zo dat de piekuren iedere dag op dezelfde tijd optreden. Omdat gemeten is op (5) minuten-basis kan niets worden gezegd over de maximale volumestroom per seconde. Daarnaast is het aantal gemeten dagen te klein

om een betrouwbare kansverdeling van de maximum volumestroom te kunnen bepalen. Dit betekent dat het ook niet mogelijk is om een relatie te vinden tussen de maximum volumestroom en bijvoorbeeld het aantal woningen.

De metingen in Saendelft zijn gedaan op 3 locaties: 7, 19 en 46 woningen (twee tot drie weken in september 2001). De metingen werden uitgevoerd gedurende 12 dagen voor 7 en 46 woningen, en gedurende 21 dagen voor 19 woningen. Gelogd werd per minuut; de 'digit' van de watermeter (minimaal doorstroomde volume voordat de aflezing verandert) was 1 liter. De afronding op 1 liter is eigenlijk te groot om goed op minuut-basis te kunnen loggen. Toch is deze minuut aangehouden. Andere opmerkingen:

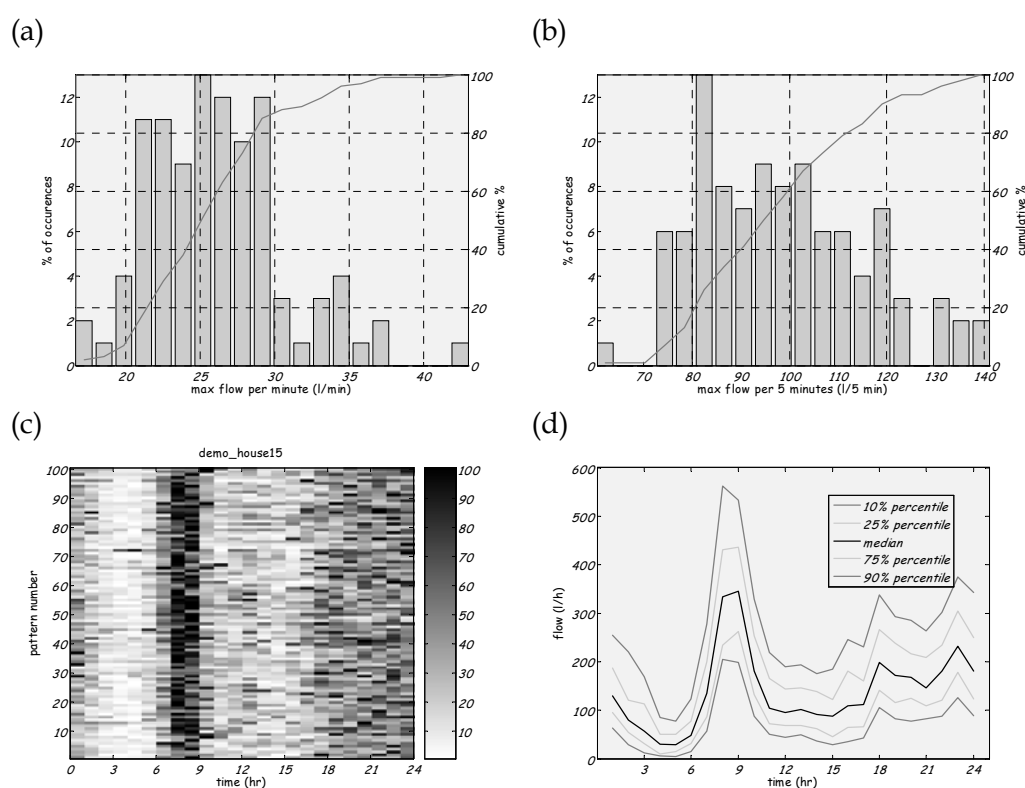
- het aantal uren met volumestroom > 0 kan niet worden bepaald doordat tegelijkertijd water is afgetapt voor troebelheidsmetingen;
- in de meetperiode zijn 21 bijna volledige dagpatronen gemeten, figuur III-12 laat de maximum volumestromen per dag zien (in l/min) en de uurpatronen.
- de mediaan en andere percentielen van de dagpatronen geven weinig informatie, omdat er slechts weinig dagpatronen zijn. Omdat bij de 19 woningen gedurende meer dagen is gemeten (6 weekenddagen en 13 volledige doordeweekse dagen) zijn de metingen voor deze locatie geselecteerd voor de analyse.
- Er is een kleine enquête gehouden waarin is geïnventariseerd hoeveel tappunten en hoeveel bewoners de woningen gemiddeld hadden.



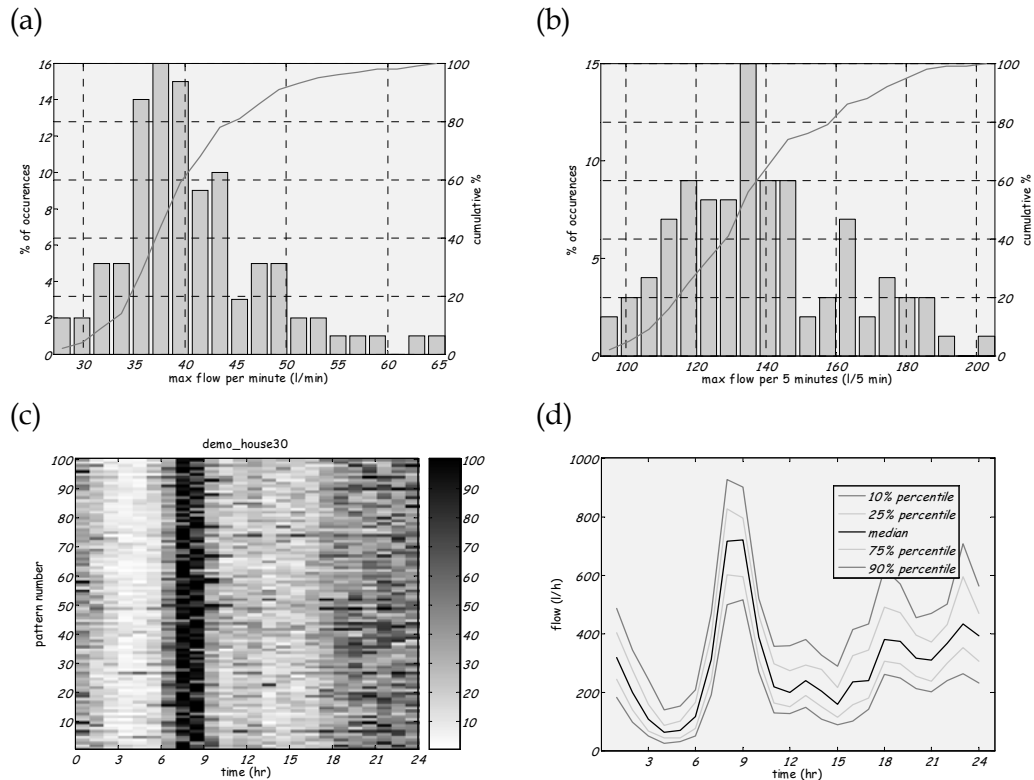
figuur III-12 (a) maximum volumestroom (l/min) per dag en (b) uurpatronen van Saendelft, 19 woningen. De variatie in uurpatronen van (c) weekdays en (d) weekenddagen.

### III.3.2 De simulatie

Omdat er geen informatie is over het type woningen en de bewoners van de gemeten straten in Blixembosch en Raalte en slechts beperkte informatie over Saendelft zal in de simulatie worden gewerkt met de standaard woning, de landelijke statistische gegevens uit 2001 (CBS en WT'01) en de onderzochte tijdsbestedingen uit TBO'95 (alleen doordeweeks, geen weekends). De gegevens van Saendelft komen vrijwel overeen met het Nederlandse gemiddelde; in Saendelft was sprake van gemiddeld 2,6 bewoners en 20 tapeenheden per woning. Van dit type woning zijn vervolgens 100 verbruikspatronen gesimuleerd. Door op een willekeurige wijze deze patronen op te tellen kunnen 100 straat-verbruikspatronen voor een straat van 15 en 30 woningen worden gesimuleerd. De resultaten staan in onderstaande figuren.

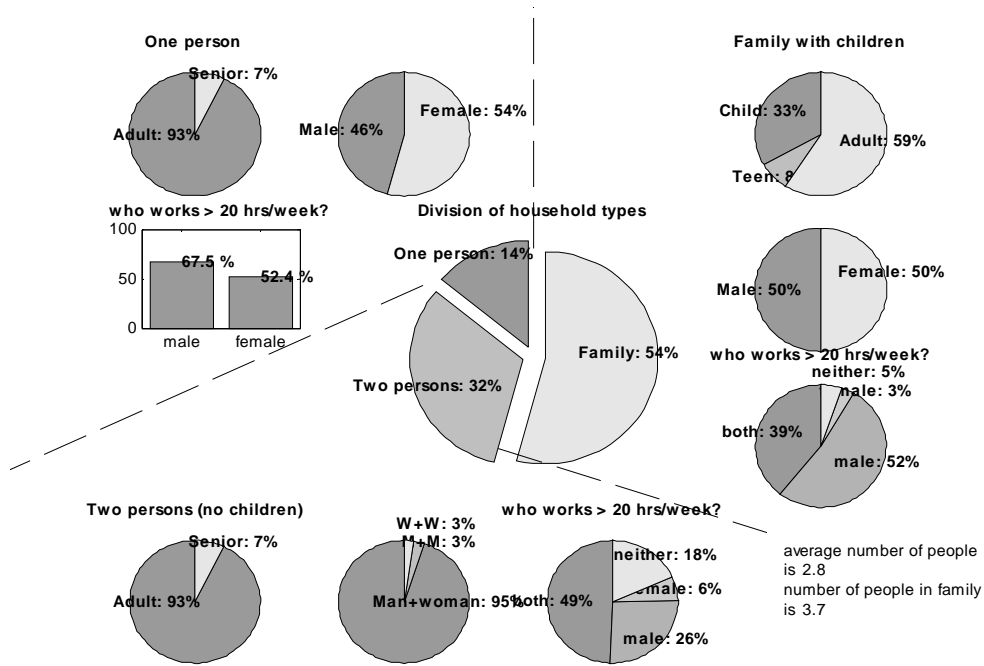


figuur III-13 Resultaat van een simulatie van 100 patronen op 1 seconde-basis, som van 15 woningen (basismodel); (a) maximum volumestroom per minuut (b) maximum volumestroom per 5 minuten (c) uurpatronen (d) percentielen van uurpatronen.

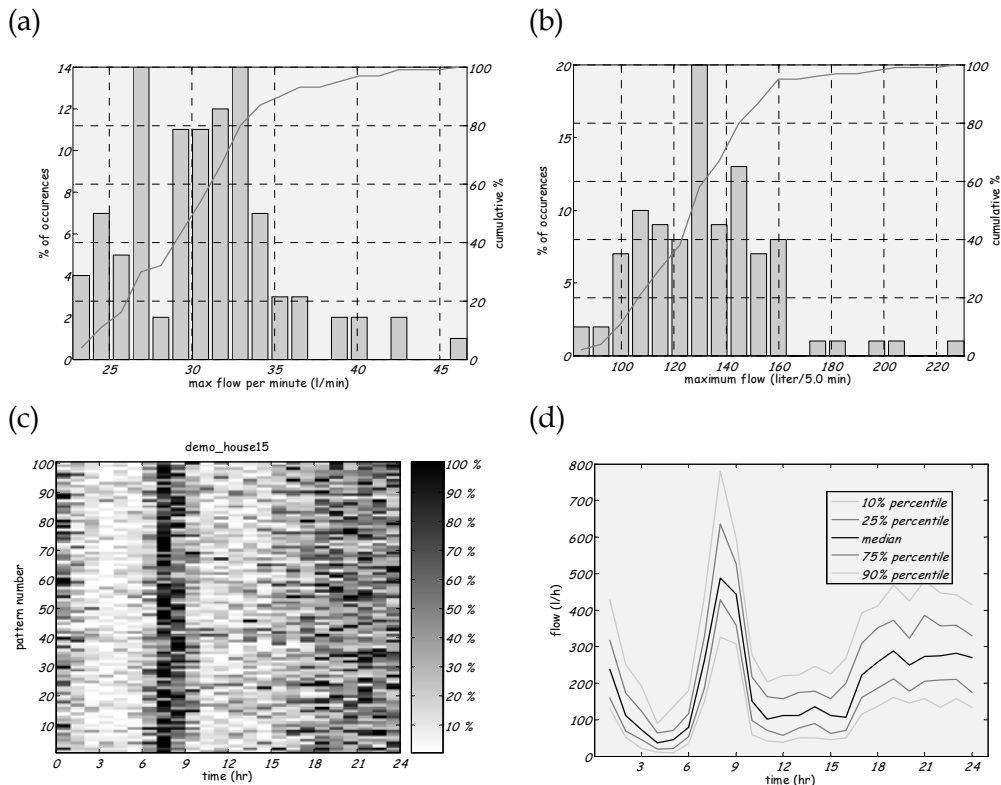


figuur III-14 Resultaat van een simulatie van 100 patronen op 1 seconde-basis, som van 30 woningen (basismodel); (a) maximum volumestroom per minuut (b) maximum volumestroom per 5 minuten (c) uurpatronen (d) percentielen van uurpatronen.

Het CBS heeft gegevens van 2001 van de wijken Blixembosch Oost en West. De metingen vonden plaats in Blixembosch Oost. Deze wijk heeft veel minder eenpersoonshuishoudens (slechts 14%) en meer huishoudens met kinderen (54%) dan het landelijk gemiddelde en daardoor ook een groter gemiddeld aantal gezinsleden per huishouden (2,8). Ook woonden er slechts 2% senioren en relatief veel jonge kinderen (24% < 12 jaar).



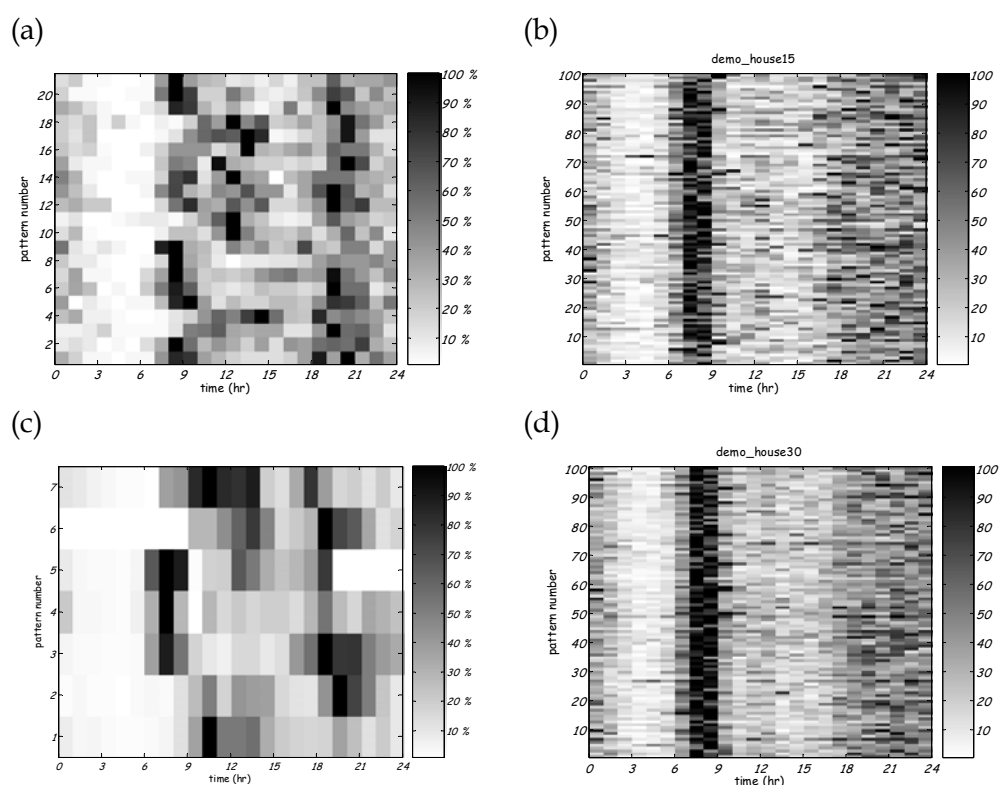
figuur III-15 samenstelling huishoudens in Blixembosch, 2001.



figuur III-16 Simulaties 15 woningen, met specifieke samenstelling van huishoudens in de wijk Blixembosch.

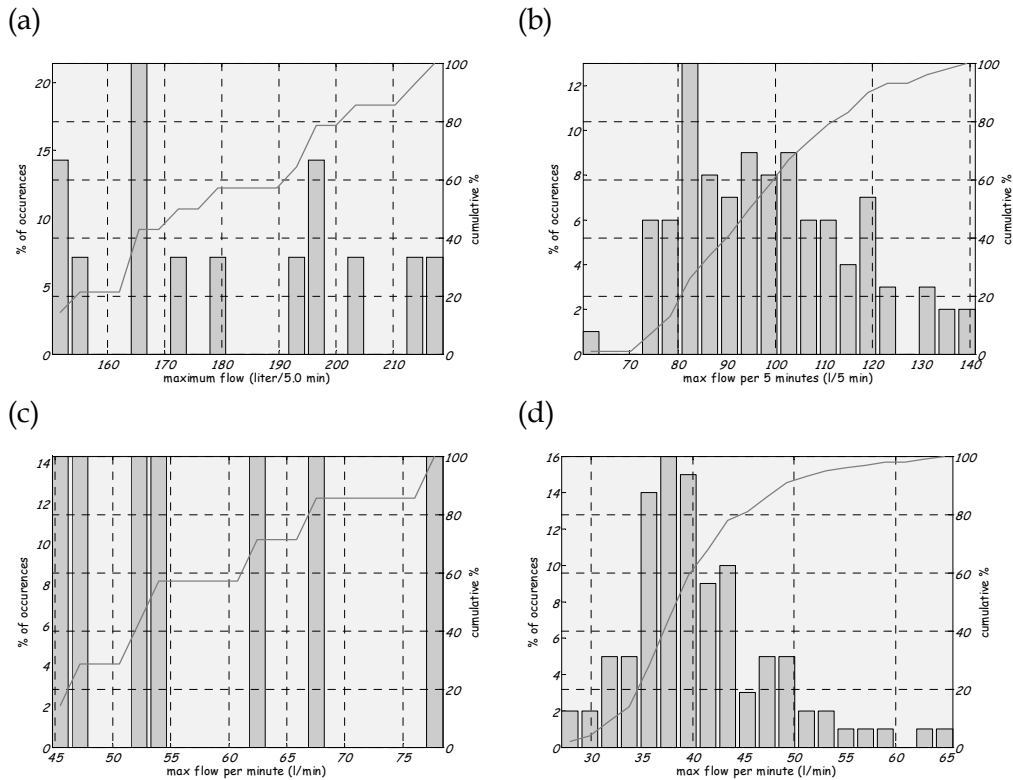
### III.3.3 Vergelijken van metingen en simulatie

De uurpatronen van de simulatie lijken consistentere te zijn dan de patronen van de metingen (figuur III-17). Dit komt o.a. doordat in de simulatie geen rekening is gehouden met weekends, er geen witte vlekken in de simulatie zitten (bij de metingen zijn een aantal periodes waarin de loggers niets hebben geregistreerd) en er meer patronen zijn gesimuleerd dan gemeten. De maxima in de ochtend (doordeweeks) zijn voor metingen en simulaties vrijwel gelijk. In de (meet- en simulatie-) patronen zijn uren met geen waterverbruik in de nacht waar te nemen voor de straat met 15 woningen, en nauwelijks voor de straat met 30 woningen.



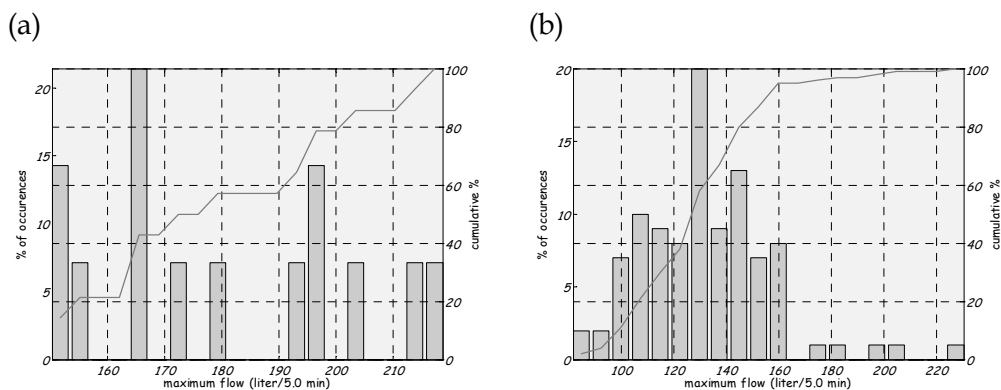
figuur III-17 vergelijken van uurpatronen (a) metingen 15 woningen, figuur III-11b;; (b) simulaties 15 woningen, figuur III-13c;(c) metingen 30 woningen, figuur III-10b; (d) simulaties 30 woningen, figuur III-14c.

De door het model geschatte maximum volumestroom wordt gevalideerd door de metingen van Blixembosch en de simulatieresultaten te vergelijken (15 woningen, tijdbasis van 5 minuten), en door de metingen van Raalte en de simulatieresultaten te vergelijken (30 woningen, tijdbasis van 1 minuut), zie figuur III-18. De metingen blijken duidelijk hogere maximum volumestromen hebben dan de simulaties. De hoogst gemeten maximum volumestromen treden op in de weekends (Raalte: 3 hoogste pieken in het weekend en 2<sup>e</sup> pinksterdag; Blixembosch: van de 5 hoogste pieken vallen er 4 in het weekend). De verschillen tussen de metingen en simulaties voor Blixembosch zijn veel groter en kunnen niet alleen verklaard worden door de bijdragen van de weekends. Een mogelijke verklaring kan worden gevonden in de samenstelling van de huishoudens.



figuur III-18 vergelijken van maximum volumestroom (a) metingen per 5 minuten, 15 woningen, figuur III-11a; (b) simulaties per 5 minuten, 15 woningen, figuur III-13b; (c) metingen per minuut, 30 woningen, figuur III-10a; (d) simulaties per minuut, 30 woningen, figuur III-14a.

Wanneer rekening wordt gehouden met deze specifieke samenstelling van huishoudens en de simulatie wordt opnieuw gedaan, dan blijkt de maximum volumestroom van de metingen veel beter te lijken op die van de simulatie (figuur III-19).



figuur III-19 vergelijken van maximum volumestroom (a) metingen per 5 minuten, 15 woningen, figuur III-11a; (b) simulaties per 5 minuten, 15 woningen, figuur III-16b;



### III.3.4 Conclusie

Er valt een duidelijke verbetering in overeenkomst in maximum volumestromen waar te nemen tussen metingen en simulaties wanneer preciezer gegevens over de bevolkingssamenstelling mee worden genomen in de simulaties.

De uurpatronen van de metingen laten een piek zien in de vooravond en een duidelijke daling voor middernacht. De simulaties hebben in de vroege avond een wat gelijkmatiger verbruik en de daling naar het nachtverbruik zet pas na middernacht in.

### III.4 Validatie op huishoudniveau: meten op de watermeter

Bij meten per woning gaat het om het totale waterverbruik, dus aan de watermeter of de aansluitleiding. Te denken valt aan metingen op verschillende tijdschalen (bijv. jaar-, dag- of secondenbasis).

Voor een goede validatie van het simulatiemodel moet van de gemeten woningen bekend zijn welke *type* en *subtypes* tappunten aanwezig zijn en verder is informatie gewenst over de bewoners (gebruikers). Bij voorkeur is er ook informatie over hoe vaak de bewoners bij welk tappunt water verbruiken en hoe lang, zodat zoveel mogelijk kansverdelingen kunnen worden teruggebracht tot de werkelijke waarde. Wanneer op secondenbasis wordt gemeten kan worden bekeken of de aannames met betrekking tot het tijdstip van verbruik en de kentallen die dit tot gevolg heeft (door de gelijktijdigheid van gebruik) juist zijn. Metingen op dagbasis geven inzicht in verschil tussen week- en weekenddagen of over het seizoen. Metingen op jaarbasis (de jaarafrekening) geven inzicht in gemiddeld verbruik per persoon per dag. Voor metingen op jaarbasis kunnen eventueel de meteropnames worden verzameld van de waterbedrijven. In WT'04 zijn meterstanden opgenomen voor en na de dagboekperiode. Hier bleek echter dat veel meterstanden niet goed waren afgelezen.

#### III.4.1 Overzicht metingen

	BTO - afnamepatronen	LHD	Gewenst (op basis van simulatiemodel)
Log-tijd	2 sec	1 min	1 sec
Aantal dagpatronen	75, gem. 15 voor 5 woningen	46 woningen * 7 dagen	ca. 100
Aantal woningen	1	1	1
Extra gegevens	Kleine enquête	Nipo enquête WT'04	Info binneninstallatie en bewoners (leeftijd, tijd van opstaan, vertrek, thuiskomst en slaap)
Waterbedrijf	Kiwa, Wolter&Dros, Brinck, HMN	Waternet	
Tijd van meting	Feb-mrt 2005	Eind 2004	Op basis van statistiek: <ul style="list-style-type: none"><li>• CBS 2004</li><li>• TBO'95</li><li>• WT'01, evt. WT'04</li></ul>
commentaar	bruikbaar	Bruikbaar, digit watermeter was 1 liter	Vergelijken metingen - simulaties op: <ul style="list-style-type: none"><li>• volumestroom op sec en min</li><li>• verdeling volumestromen en max. volumestromen</li><li>• aantal pulsen (sec) en aantal uren met volumestroom &gt; 0</li><li>• uurpatronen</li></ul>

In april-juli 2005 zijn in Amersfoort in huishoudens van 4 medewerkers van Wolter&Dros metingen uitgevoerd. Daarnaast zijn gegevens van de tappunten en gebruikers van het huishouden verzameld (zie bijlage III).

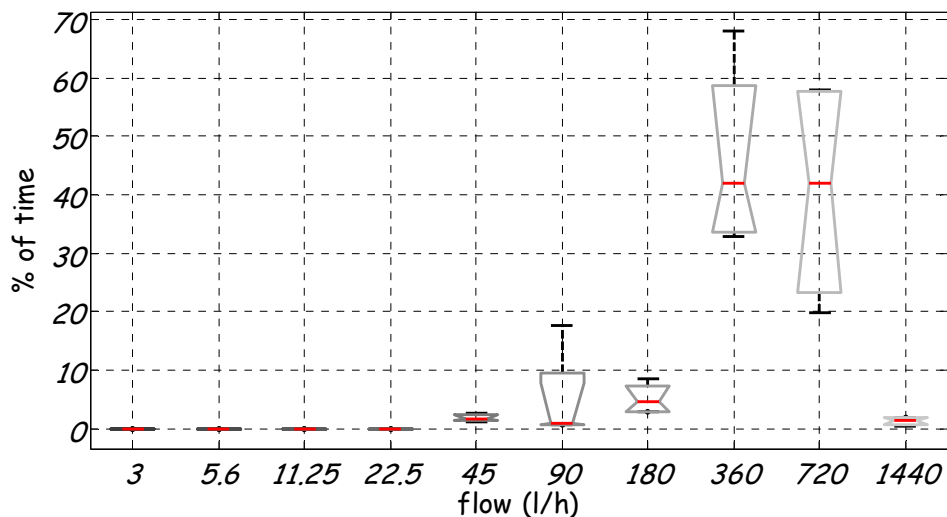
Tijdens het WT'04 onderzoek heeft Waternet Amsterdam bij 46 woningen gedurende de week van het perceptieonderzoek ook het waterverbruik gelogd met een interval van 1 minuut. Bij Waternet staat dit bekend als het LHD-onderzoek (Liter per Hoofd per Dag). Naast de meetgegevens zijn ook de enquêtegegevens beschikbaar.

De metingen en bijbehorende simulaties van Wolter&Dros en het Amsterdamse LHD onderzoek worden apart besproken in de volgende paragrafen.

### III.4.2 Metingen Wolter&Dros

Tussen 16 april en 12 juli 2005 zijn metingen gedaan bij medewerkers van Wolter&Dros (in 4 woningen in Amersfoort). In verband met de geheugencapaciteit van de logger werd gelogd per 2 seconden (loggen met 1 seconde-interval betekent 2 maal per dag geheugen legen; dit is te belastend voor de deelnemers). Brinck HMT meettechniek heeft de watermeter, de logger en de nodige ondersteuning geleverd. Hydron Midden Nederland heeft de verwisseling van de watermeter gedaan. De deelnemers hebben ook een korte enquête ingevuld over hun huishouden en binneninstallatie, zie bijlage II.

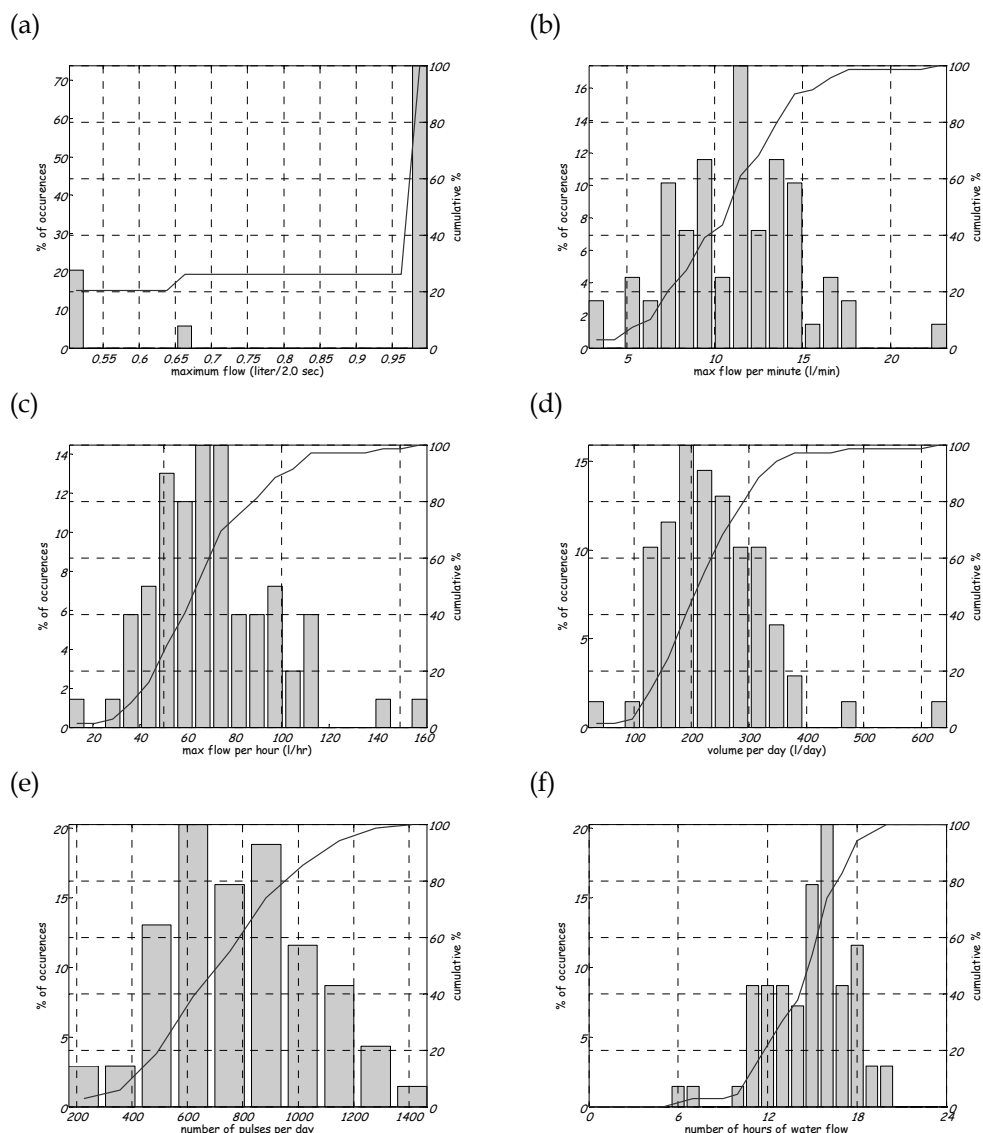
Het doorstroomd volume wordt door de volumestroommeter (Brinck watermeters 510 DN 15 Qn 1,5/0,75) gemeten in stappen van 0,02 l. De impulsgever (K501/4/0,5) heeft een impuls waarde van 0,5 liter.



figuur III-20 verdeling van volumestromen

Af en toe is er niet gelogd (de meting geeft dan -9999 aan); dit was op het adres waar 34 dagen is gemeten gedurende 2,4 % van de tijd het geval. Voor

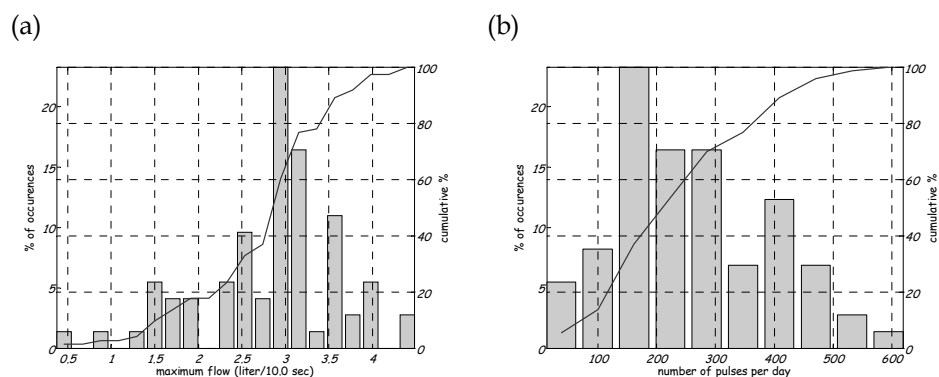
de analyse van de metingen is aangenomen dat hier geen waterverbruik plaatsvond (volumestroom van 0 l/2s).



figuur III-21 analyse van de W&D metingen (a) maximum volumestroom per 2 seconden, (b) maximum volumestroom per minuut, (c) maximum volumestroom per uur, (d) volume per dag, (e) aantal pulsen per dag, (f) aantal uren met positieve volumestroom.

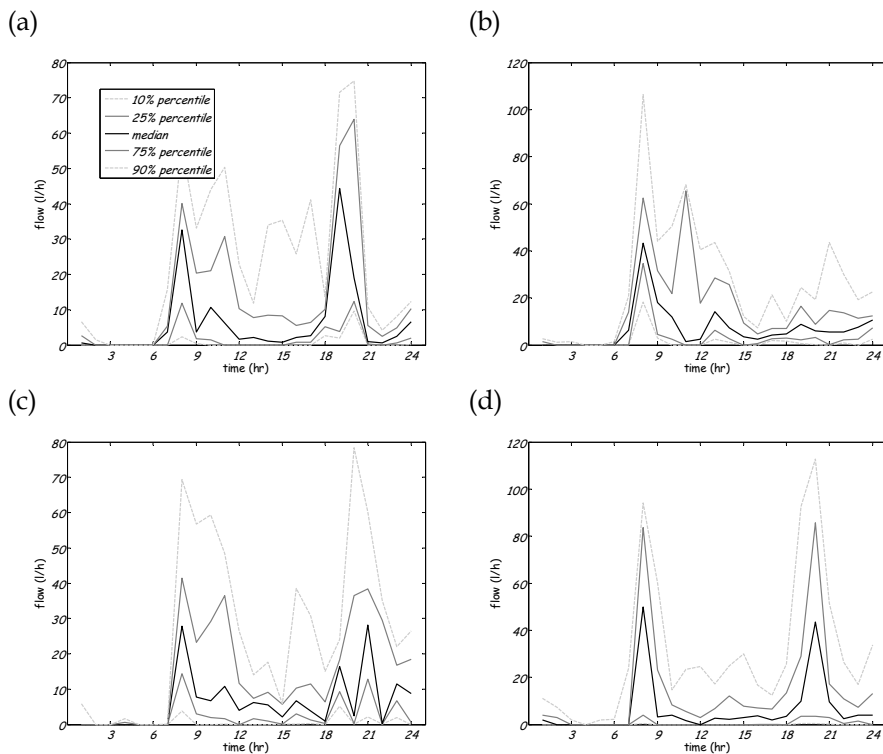
Wat opvalt in figuur III-21(e) is de enorme hoeveelheid aan tappingen. Het aantal tappingen lijkt zo groot omdat veel tappingen door de beperking van de meting niet als een aaneengesloten tapping worden herkend, maar als losse piekjes. Derhalve is het aantal tappingen niet geschikt om de metingen en simulatie te vergelijken. Omdat de metingen per 2 seconden niet echt een betrouwbaar beeld geven worden de metingen geïntegreerd over 10 seconden. Dit geeft een nieuw beeld van figuur III-21(a) en figuur III-21(e), zie figuur III-22. De maximum volumestroom is nu meer verdeeld tussen 0,5 l/10 sec. en 4,5 l/10 sec. Het aantal pulsen is kleiner, maar nog altijd erg groot; dit

komt doordat iedere verandering van volumestroom ( $>0$ ) wordt geteld als puls, ook als de verandering van 0,3 naar 0,4 l/s gaat. Het is daarom lastig om met metingen het werkelijke aantal maal dat water getapt is goed te tellen.



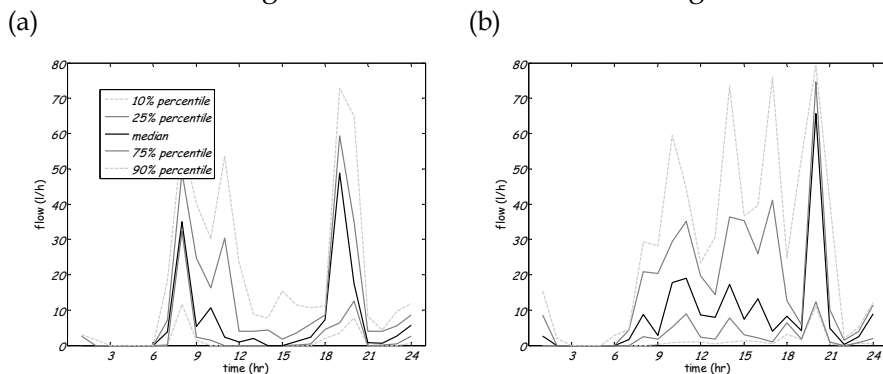
figuur III-22 analyse van de W&D metingen geïntegreerd over 10 seconden (a) maximum volumestroom per 10 seconde, (b) aantal pulsen per dag

Wat opvalt in figuur III-21(a) is de kleine variatie in maximum volumestroom per 2 seconden, op 51 van de 69 dagen was de maximum volumestroom gelijk aan 1 l/2s. Opgemerkt dient te worden dat dit maximum van 1 l/2s slechts enkele seconden per dag wordt gemeten. De vraag is of dit de werkelijke maximum volumestroom weergeeft of dat er door een meetfout een vertekend beeld ontstaat. In figuur III-22 is te zien dat de maxima veel gevarieerder zijn en tot 4,5 l/10 sec (0,45 l/s) beperkt zijn. Een maximum van 1 l/2s (oftewel 0,5 l/s) is wat voorspeld wordt door de  $q\sqrt{n}$ -methode bij een woning met ca. 36 tapeenheden, bij 30 tapeenheden geldt een MMV van 0,45 l/s. In de woningen worden 21 tot 32 tapeenheden geteld (afhankelijk van het wel of niet meetellen van bad en buitenkraan), wat met  $q\sqrt{n}$  een MMV van 0,38 tot 0,47 l/sec oplevert. In dit geval lijkt de  $q\sqrt{n}$ -methode een goede schatting.



figuur III-23 uurpatronen en percentielen van de gemeten volumestromen van (a) fam. A – 16 april t/m 19 mei (34 dagen), (b) fam. B – 24 mei t/m 2 juni (10 dagen), (c) fam. C – 5 juli t/m 12 juli (8 dagen), (d) fam. D – 14 juni t/m 30 juni (17 dagen)

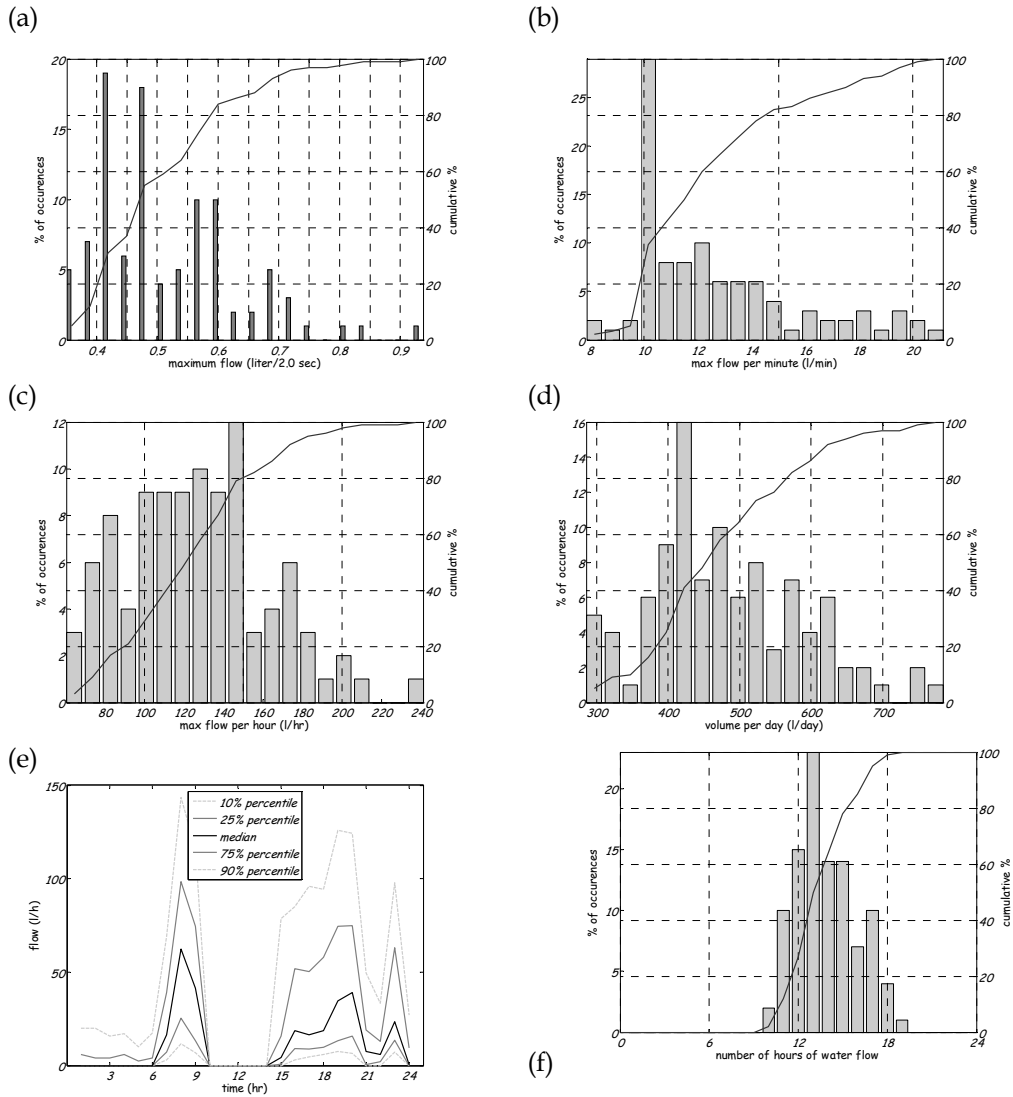
Om de patronen over de dag goed te kunnen vergelijken met de simulaties wordt onderscheid gemaakt in week- en weekenddagen.



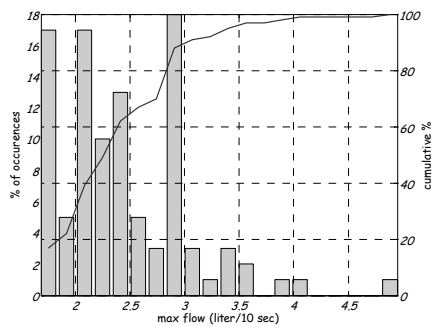
figuur III-24 uurpatronen van de gemeten volumestromen van Fam. A van (a) 24 weekdagen en (b) 10 weekenddagen.

### III.4.3 Simulaties Wolter&Dros

De simulaties zijn gebaseerd op de enquêtegegevens van familie A. De reden is dat hiervan de meeste metingen beschikbaar.



figuur III-25 Enkele resultaten van 100 gesimuleerde dagpatronen van Fam. A, op tijdbasis van 2 seconden, (a) maximum volumestroom per 2 seconden, (b) maximum volumestroom per minuut, (c) maximum volumestroom per uur, (d) volume per dag, (e) uurpatronen met percentielen, (f) aantal uren per dag met positieve volumestromen.

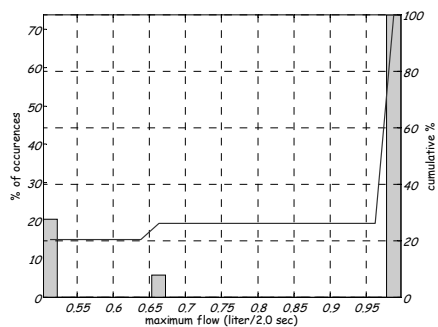


figuur III-26 100 gesimuleerde dagpatronen van Fam. A, op tijdbasis van 2 seconden: maximum volumestroom per 10 seconden

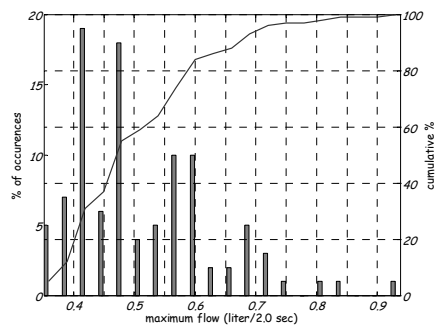
### III.4.4 Vergelijken van metingen en simulatie

Voor het vergelijken van simulaties en metingen zijn de grafieken van de vorige paragrafen in figuur III-27 uitgezet. N.B. de figuur laat metingen op week- en weekenddagen zien, terwijl de simulaties zijn gedaan voor slechts wekdagen.

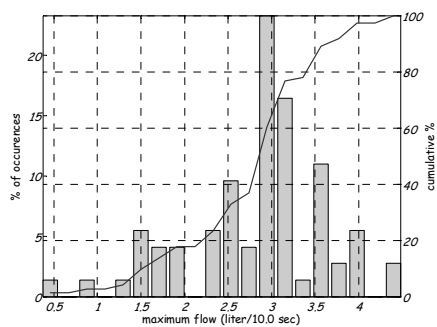
(a)



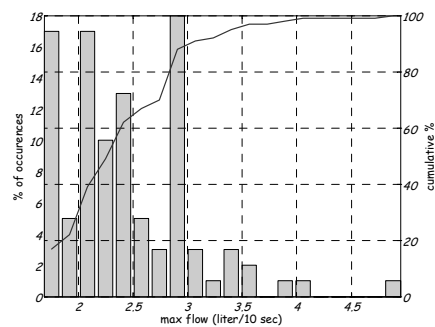
(b)



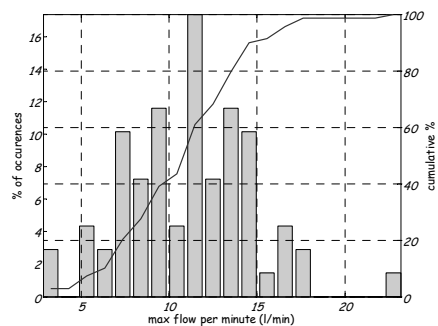
(c)



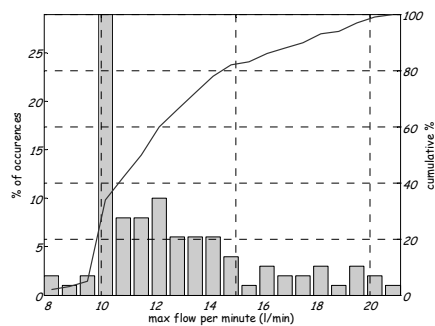
(d)



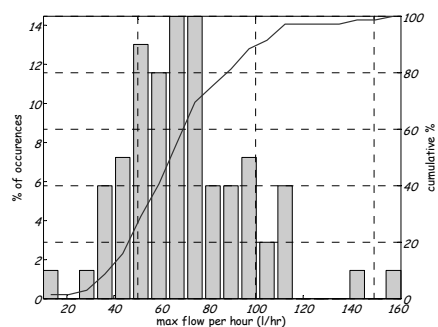
(e)



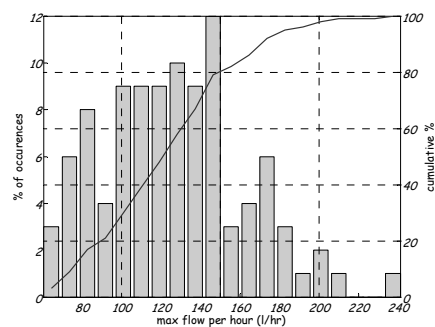
(f)

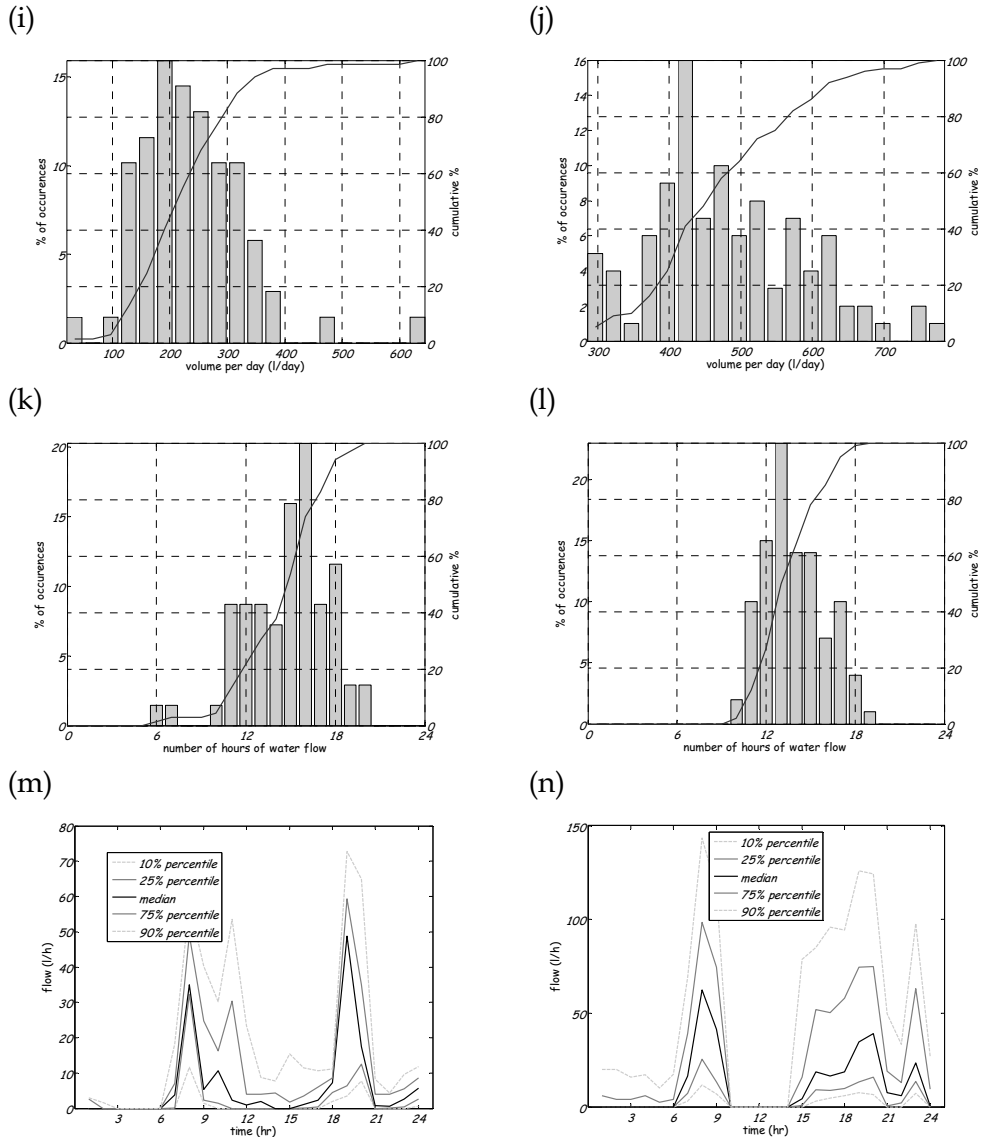


(g)



(h)





figuur III-27 vergelijken van metingen en simulaties; metingen, figuur III-21, figuur III-22 en figuur III-24: (a) maximum volumestroom per 2 s, a; (c) maximum volumestroom per 10; (e) maximum volumestroom per min; (g) maximum volumestroom per uur; (i) volume per dag; (k) aantal uren waterverbruik; (m) uurpatronen; simulaties, figuur III-25 en figuur III-26: (b) maximum volumestroom per 2 s; (d) maximum volumestroom per 10 s; (f) maximum volumestroom per min; (h) maximum volumestroom per uur; (j) volume per dag; (l) aantal uren waterverbruik; (n) uurpatronen.

De maximum volumestroom per 2 sec laat in de simulaties een veel gevarieerder beeld zien, al komt het maximum van 0,93 l/2s wel goed in de buurt van de 1 l/2s van de metingen. De maximum volumestromen op een grotere tijdbasis zijn voor de metingen en de simulaties gelijk aan 4,5 l/10 sec (met 65% < 3 l/10 sec), 22 l/min en 160 l/h respectievelijk 4,9 l/10 sec (met 90% < 3 l/10 sec), 21 l/min en 240 l/h. De volumes per dag zijn 620 liter en 780 liter voor de metingen respectievelijk de simulaties; voor de 20% en 80% percentielen geldt 150 en 300 l/dag (metingen) en 380 en 550 l/dag



(simulaties). De resultaten van de simulaties wijken hier dus sterk af van de metingen.

Het aantal uren per dag dat er waterverbruik was komt redelijk overeen. Bij de metingen lag dit tussen 6 en 20 uur, met gemiddelde 15 uur. En bij de simulaties lag dit tussen 9 en 19 uur, met gemiddelde 13 uur. Het vergelijken van de uurpatronen over de dag laat het volgende zien:

- De piek 's ochtends valt in de metingen tussen 7:00 en 9:00, met een klein piekje erachter om 10:00; in de simulaties begint de piek om 6:00 en duurt tot 10:00 uur.
- In werkelijkheid vond meer waterverbruik in de voormiddag plaats dan bij de simulaties. Bij deze laatste is verondersteld dat niemand 's middags thuis was, maar dit blijkt niet voor alle dagen te kloppen.
- De metingen laten een duidelijke piek in de vooravond zien; deze is in de simulaties niet als een scherpe piek te zien, maar als meer verspreid gebruik over de gehele avond.
- In de simulaties is een piek in waterverbruik te zien laat in de avond, voor het naar bed gaan; in de metingen is een dergelijk verloop niet te zien, ook niet op de andere adressen.
- De 90%-lijnen zijn veel hoger bij de simulaties dan bij de metingen; dit wordt vooral veroorzaakt doordat er meer patronen in de simulaties beschikbaar zijn, en dus meer uitschieters, het maximum van de mediaan is wel vergelijkbaar.

#### **III.4.5 Conclusie Wolter&Dros-metingen**

Metingen zijn over het algemeen lastig uit te voeren; er blijken telkens haken en ogen aan te zitten. De metingen geven wel een goed beeld van het waterverbruik over de dag, en over maximum verbruik over een tijdschaal van 10 seconden. Conclusies voor maximum volumestromen per seconde kunnen eigenlijk niet worden getrokken. Een meting gaat wel eens mis; er wordt niet gelogd, of er worden verkeerde waarden gelogd. Een ander probleem is dat het aantal metingen altijd beperkt is, en dus vooral iets zeggen over het waterverbruik in de meetperiode.

Wanneer de metingen en simulaties worden vergeleken kan worden geconcludeerd dat maximum volumestroom per 2 en 10 seconden, per minuut en per uur redelijk overeenkomen. Ook het aantal uren dat per dag water is gebruikt klopt aardig. Het volume per dag wijkt echter sterk af.

Het vergelijken van de uurpatronen over de dag kan alleen kwalitatief. Het is moeilijk te bewijzen dat het waterverbruik een sterke samenhang heeft met tijdstippen van opstaan, vertrek, thuis komen en gaan slapen. Het lijkt erop dat mensen veel variatie in hun 'dagelijkse' patroon hebben. Dit blijkt ook wel uit het TBO'95; de spreiding rond gemiddelde slaapduur en dergelijke is vrij groot. De relatie met 's ochtends opstaan en het huis verlaten is waar te nemen in de gemeten afnamepatronen en geconcludeerd kan worden dat in het simulatiemodel hiervoor een goede aanname is gedaan. In de metingen van individuele huishoudens is zichtbaar dat waterverbruik soms zeer

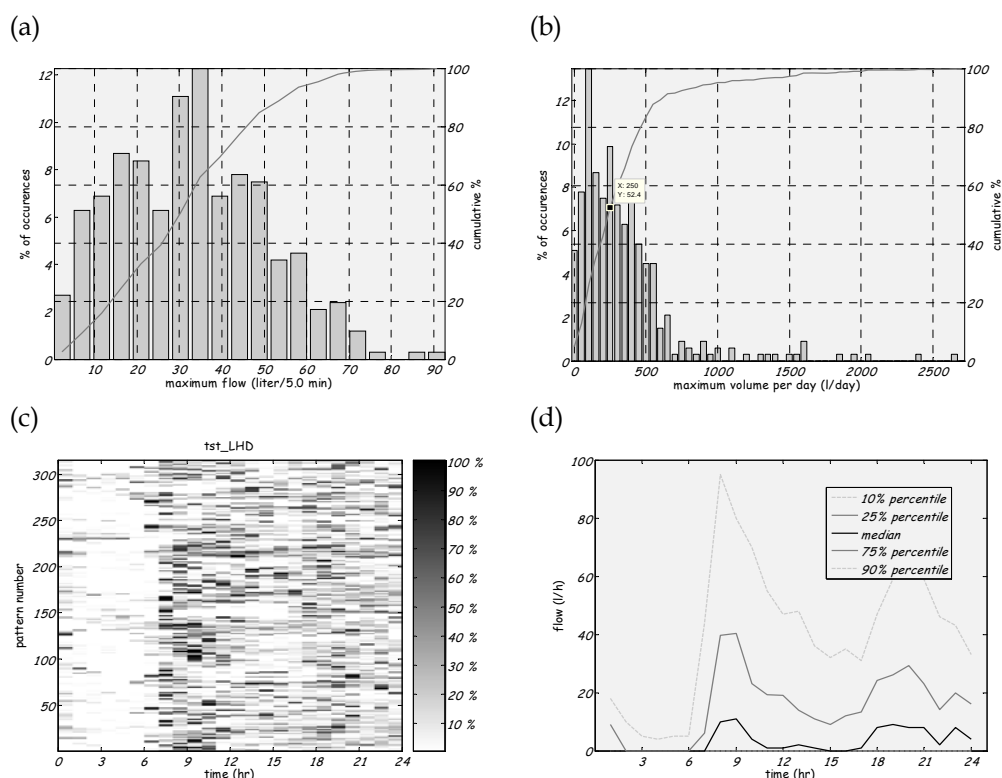
geconcentreerd plaatsvindt rond etenstijd. Deze relatie is niet in het simulatiemodel geïntegreerd, behalve via het gebruik van de keukenkraan.

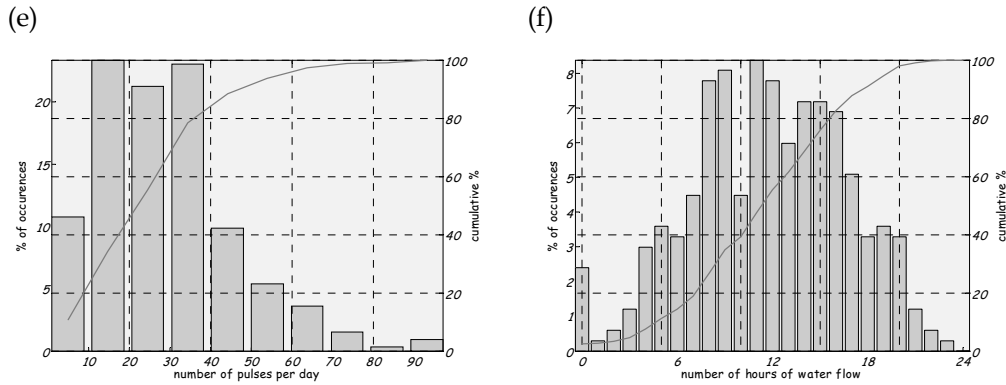
In de enquête is gevraagd of de deelnemers nachtstroom hebben en of ze hiermee rekening houden bij het gebruik van was- en afwasmachine. De meeste deelnemers gaven aan hier inderdaad rekening mee te houden. Het effect hiervan op de uurpatronen is echter niet onderzocht.

### III.4.6 Metingen LHD

Tijdens het WT'04 onderzoek heeft Waternet bij 46 woningen gedurende de week van het perceptieonderzoek ook het waterverbruik gemeten [Kanne, 2005b]. In 5 periodes is gelogd gedurende 7 dagen. De logfrequentie was 1 minuut, de pulsintensiteit van de watermeter was 1 liter. De afronding op hele liters geeft een onnauwkeurig beeld wanneer per minuut wordt gelogd. Besloten is daarom de metingen te integreren over een tijdbasis van 5 minuten, waardoor meer onderscheid ontstaat.

Eén van de woningen had een lek van gemiddeld 0,2 liter/minuut; deze woning is niet meegenomen in de validatie, omdat in het simulatiemodel geen lekken zijn ingebouwd. In 5 van de 46 woningen is gelogd op het moment dat men één of meer dagen niet thuis was. Deze 5 patronen zijn wel meegenomen in de validatie. De validatie is dus gedaan met 45 woningen.





figuur III-28 analyse LHD meetgegevens, 45 woningen, 7 dagen; (a) maximum volumestroom per 5 minuten; (b) verbruik per huishouden per dag; (c) uurpatronen over de dag - kwalitatief; (d) uurpatronen over doordeweekse dagen - kwantitatief; (e) aantal tappings per dag; (f) aantal uren met waterverbruik per dag.

Het gemiddelde verbruik per persoon per dag voor deze 45 woningen is 150,2 liter. Uit het WT'04 volgt voor Amsterdam gemiddeld 151,9 liter, op basis van de enquête in 341 woningen. Dit is een miniem verschil. De verklaring die in WT'04 opgevoerd wordt voor het hogere hoofdelijk waterverbruik in de grote steden ten opzichte van het Nederlands gemiddelde is dat er vaker en langer gedoucht wordt, er meer met de hand wordt (af)gewassen en er minder toiletten met spoelonderbreking en zuinige capaciteit zijn geïnstalleerd. Tevens hebben de grote steden (waaronder Amsterdam) een hoger percentage allochtonen, met een hoger LHD. Bij de metingen zit één woning met 3 personen die veel water verbruikt en één met 7 personen; zonder deze 2 woningen is het LHD 137,1 liter.

Uit figuur III-28 blijkt dat 99% van het maximum verbruik kleiner is dan 74,2 liter per 5 minuten en 80% van het maximum verbruik is groter dan 16 liter per 5 minuten. De patronen geven een zeer gevarieerd beeld; opeenvolgende dagen per woning geven nauwelijks een gelijk patroon en er is ook geen duidelijk onderscheid tussen week- en weekenddagen op de schaal van één woning wanneer gekeken wordt naar tijdstip van het maximum verbruik, de uren zonder waterverbruik, de hoogte van het maximum per 5 minuten, (en per uur en per dag), het aantal pulsen per dag en het aantal uren van waterverbruik. Het aantal tappings per dag per woning is gemiddeld ca. 25 en maximaal 95. Het aantal uren met waterverbruik volgt een vrijwel normale kansverdeling met een gemiddelde van 12 uur. Het plaatje van de percentielen van de patronen ('d' in de figuur) is niet geschikt voor de validatie, omdat alle patronen van alle woningen zijn meegenomen, dus zowel van éénpersoonshuishoudens als van meerpersoonshuishoudens. Toch geeft het enigszins een beeld van wanneer de pieken optreden en hoeveel variatie er in de patronen zit.

### III.4.7 Simulaties LHD

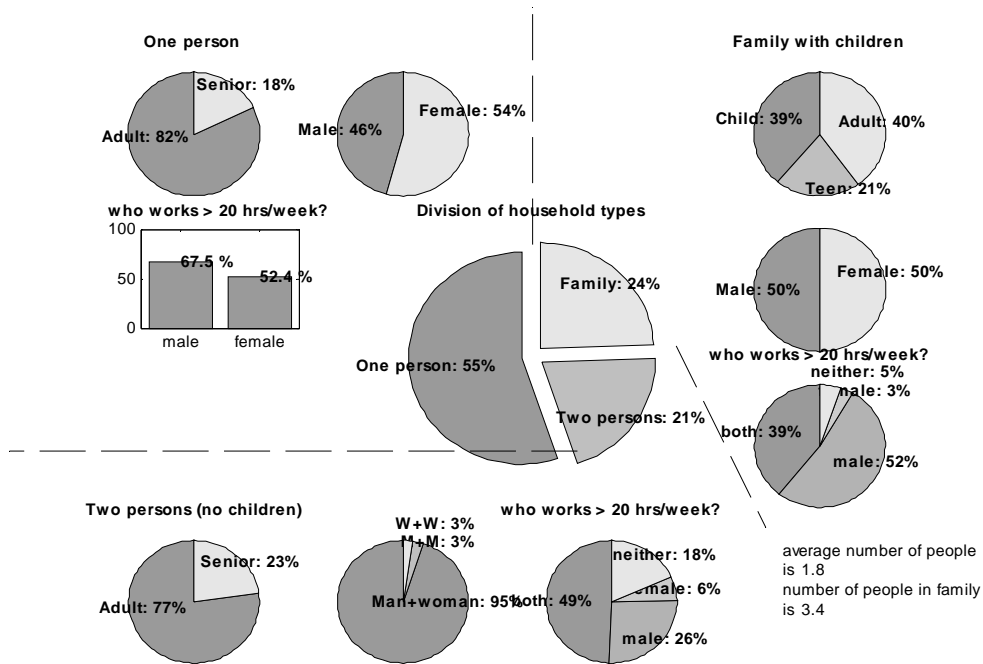
De simulatie ter vergelijking met de Amsterdamse metingen is uitgevoerd met de cijfers van het WT'04 (voor Amsterdam) en de cijfers van het CBS uit

2004 voor Amsterdam (zie tabel III-1). Een aantal getallen is bepaald door de relatieve hoeveelheid ten opzichte van gemiddeld Nederland te bekijken, bijv. het aantal tappingen aan de badkamerkraan is 20% meer in Amsterdam, omdat het keren wassen aan de wastafel 20% meer is dan gemiddeld. In de tabel wordt niet direct duidelijk hoe de invulling van de diverse *subtypes* is ten opzichte van het gemiddelde van Nederland. In Amsterdam zijn minder spoelonderbrekers (48%) geïnstalleerd, wel gelijke verdeling van hoge, lage en lage zuinige type stortbakken. In Amsterdam zijn minder waterbesparende douchekoppen geïnstalleerd (35%), wel meer keukengeisers (20%), minder combiketels (50%) en meer collectieve warmwatervoorzieningen (12%). De penetratie van de buitenkraan is 23% (29% heeft een tuin, 80% daarvan heeft een buitenkraan).

tabel III-1 kentallen voor watergebruik in Amsterdam

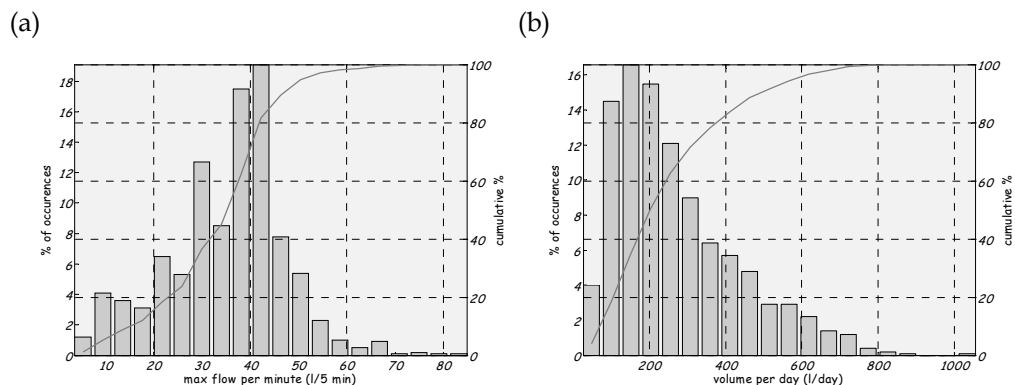
tappunt	penetratie- graad	frequentie (pppd)	patroon over de dag	duur tapping	volumestroom (l/s)	temp (°C)
wc	100%	5,5	x	2,9 (min)	0,042	10
douche	100%	1,06	x	8,5 (min)	0,142	38
badkamerkraan	100%	4,9	x	16 (s)	0,083	10
bad	22%	0,02	x	10 (min)	0,2	40
keukenkraan	100%	37,0	uit BTO'95	16 (s)	0,25	10
vaatwasser	35%	0,22	uit WT'01	patroon		10
wasmachine	97%	0,26	uit WT'01	patroon		10
buitenkraan	23%	0,44	x	10 (min)	0,2	10

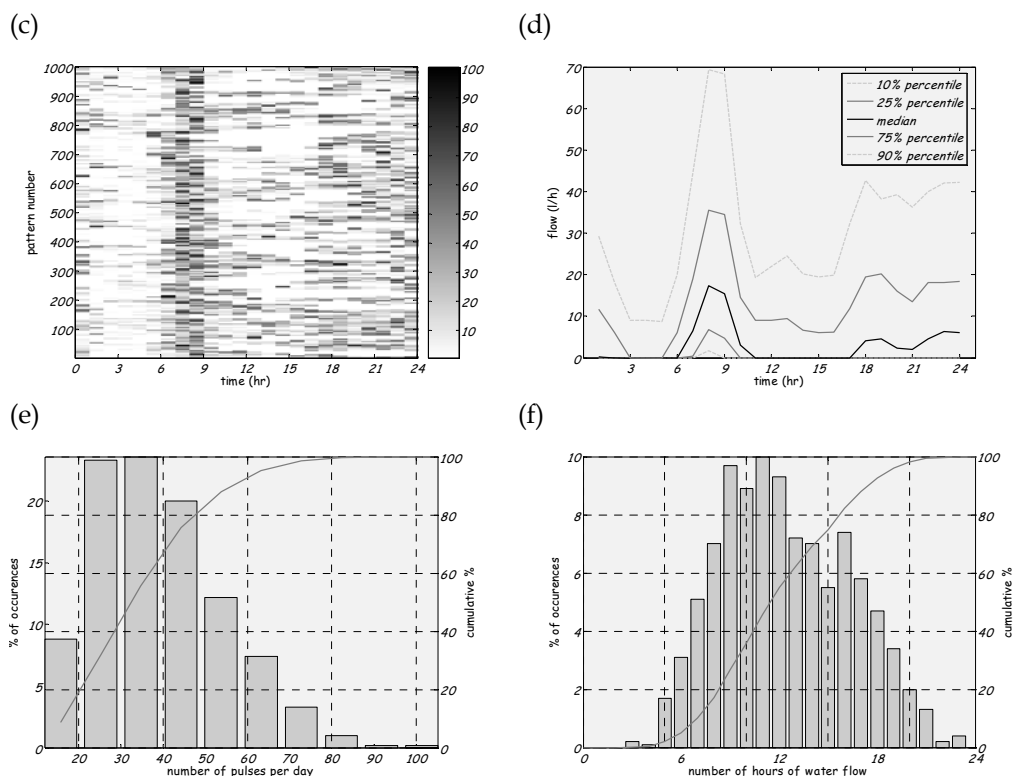
De dienst onderzoek en statistiek van de gemeente Amsterdam (<http://www.os.amsterdam.nl/>) heeft iets andere cijfers dan het CBS voor Amsterdam 2004. Zo is de gemiddelde woningbezetting volgens het CBS gelijk aan 1,8 en volgens O&S gelijk aan 1,97. Het waterleidingbedrijf houdt voor Amsterdam inclusief Diemen en Amstelveen ook een gemiddelde woningbezetting van 1,97 aan. Het percentage mensen tussen 20 en 64 jaar oud is volgens het CBS gelijk aan 62%, volgens O&S 67,5%, het aantal 65+ers is bij beide rond de 11%.



figuur III-29 samenstelling huishoudens Amsterdam 2004 [O&S].

100 woningen, elk 10 patronen, worden gesimuleerd met bovenstaande invoergegevens; de simulatie is gedaan op secondebasis. Er zijn geen patronen voor het weekend bepaald. De reden hiervoor is dat er in de metingen geen duidelijk verschil tussen week- en weekenddagen werd gevonden. Voor Amsterdammers is er blijkbaar minder verschil tussen week en weekend dan voor de gemiddelde Nederlander.





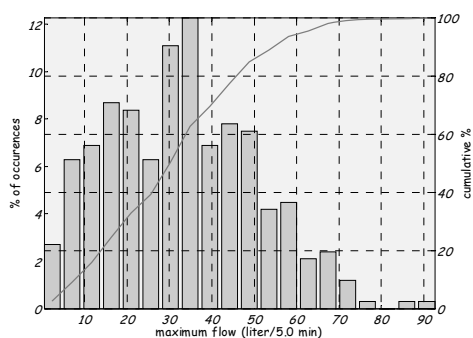
figuur III-30 analyse simulatie Amsterdam; (a) maximum volumestroom per 5 minuten; (b) maximum verbruik per huishouden per dag; (c) uurpatronen over de dag - kwalitatief; (d) uurpatronen over de dag - kwantitatief; (e) aantal tappings per dag; (f) aantal uren met waterverbruik per dag.

### III.4.8 Vergelijken van metingen en simulatie

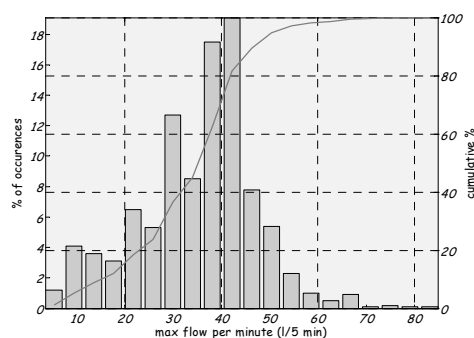
Voor de validatie worden figuur III-28 en figuur III-30 met elkaar vergeleken in figuur III-31. In de simulatie is 99% van het maximum verbruik kleiner dan 63 liter per 5 minuten en 80% van het maximum verbruik is groter dan 23 liter per 5 minuten. De simulatie geeft dus een grotere gelijktijdigheid in verbruik dan de metingen. De simulatie geeft ongeveer evenveel uren met waterverbruik ('f' in de figuren), gemiddeld 11,5 uur. Er is een verschil in de spreiding van het waterverbruik over de dag tussen simulatie en meting, zoals blijkt uit de uurpatronen ('c' en 'd' in de figuren); de simulatie heeft minder verbruik in de middag en een duidelijkere ochtendpiek dan de metingen laten zien. Wellicht zijn de tijden van thuis zijn en slapen anders in Amsterdam dan in het gemiddelde van Nederland. Het aantal tappings per dag is in de simulatie iets hoger (gemiddeld 32 ten opzichte van 25 in de metingen). Het totale volume per dag per huishouden is in de metingen gemiddeld 250 liter (maximum tot 2500 liter) en in de simulaties gemiddeld 200 liter (maximum tot 1000 liter). Een deel van de verklaring is dat in de simulaties huishoudens uit maximaal 5 personen bestaan, terwijl een van de grotere verbruikers in de metingen een 7 persoonshuishouden was. Zonder de 2 grotere verbruikers (zie ook tekst onder figuur III-28) is het gemiddelde van de metingen gelijk aan 215 liter per huishouden per dag (maximum tot 1200 liter); nog altijd iets hoger dan de simulaties. Het verschil tussen de

metingen en simulaties kan voor een deel worden verklaard door een beperking in de metingen; deze representeren de Amsterdamse situatie in beperkte mate. Zo was de gemiddelde woningbezetting bij de metingen duidelijk hoger dan volgens O&S (1,97; zie figuur III-29), namelijk 2,4, terwijl bij de simulaties het gemiddelde 2,1 was (de invoer van de simulatie was een gemiddelde van 1,97 maar de uitkomst van de simulatie van 100 woningen gaf een gemiddelde bezetting van 2,1).

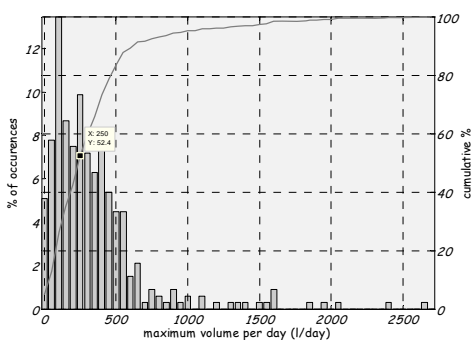
(a)



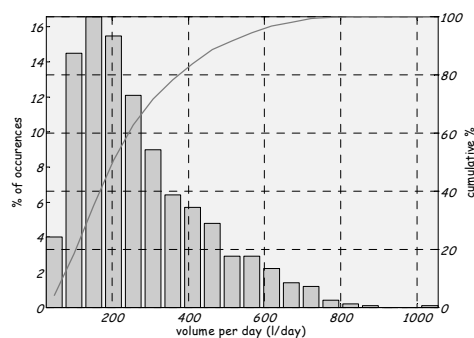
(b)



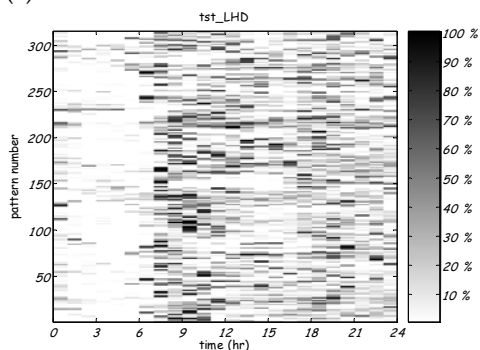
(c)



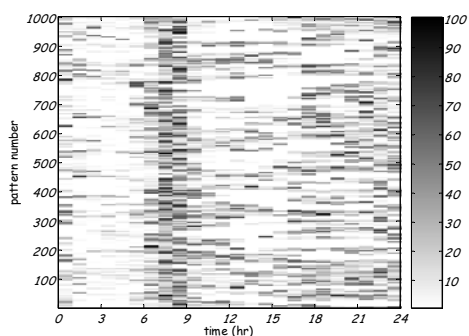
(d)

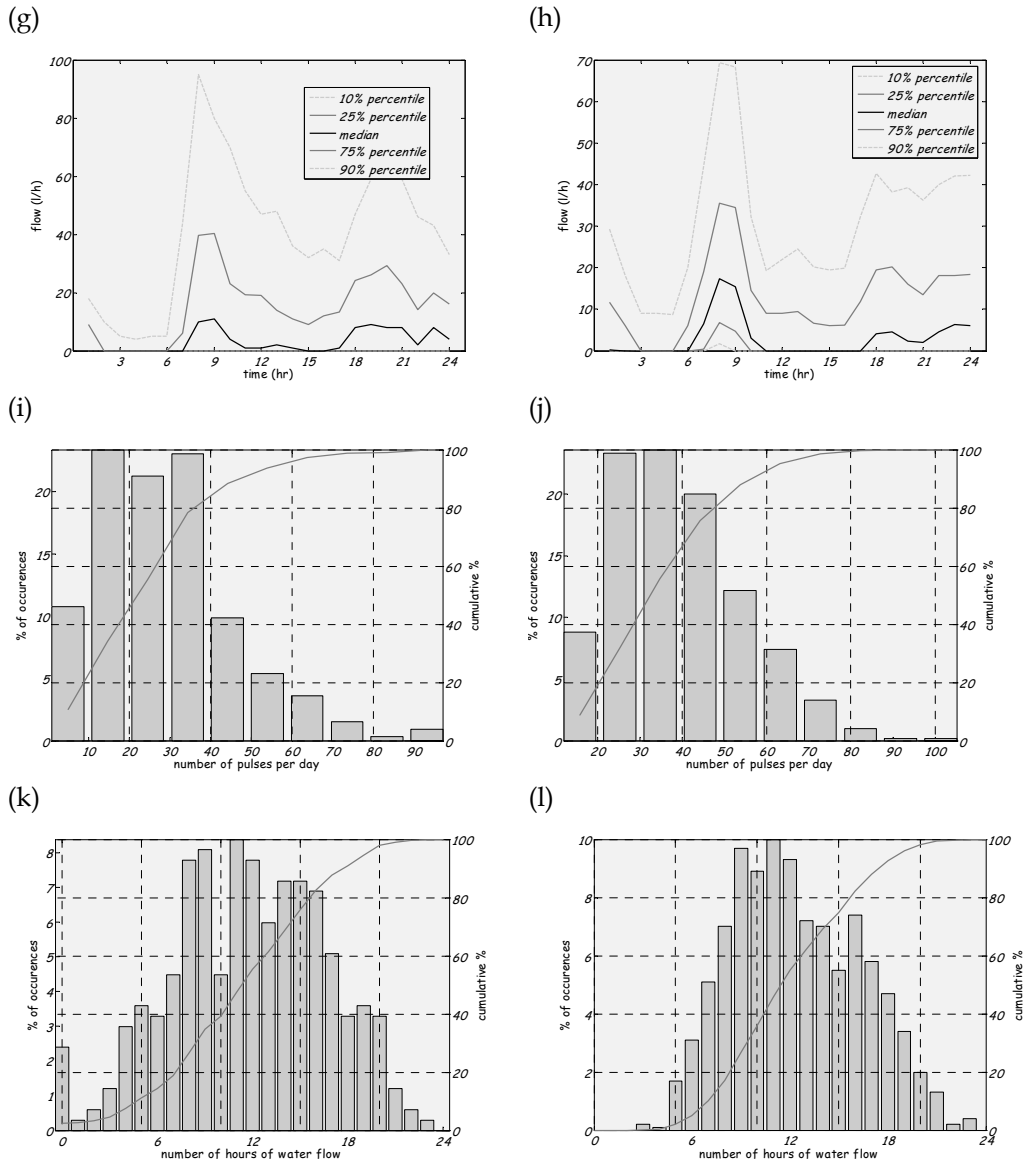


(e)



(f)





figuur III-31 vergelijk metingen en simulaties; metingen, figuur III-28: (a) maximum volumestroom per 5 minuten; (c) volumes per dag; (e) uurpatronen; (g) uurpatronen met percentielen; (i) aantal pulsen per dag; (k) aantal uren waterverbruik; simulaties, figuur III-30: (b) maximum volumestroom per 5 minuten; (d) volumes per dag; (f) uurpatronen; (h) uurpatronen met percentielen; (j) aantal pulsen per dag; (l) aantal uren waterverbruik

### III.4.9 Conclusie LHD-metingen

Voor wat betreft de maximum volumestroom per 5 minuten, het volume per dag, het aantal pulsen per dag en het aantal uren waterverbruik per dag komen de resultaten van de metingen en de simulatie goed overeen. Maar voor wat betreft het patroon over de dag zet de afname naar het nachtverbruik in werkelijkheid eerder in dan bij de simulaties.



### **III.5 Meten per tappunt**

Het meten per tappunt zou goed kunnen helpen bij het vergelijken van de antwoorden die met een enquête worden verkregen en het werkelijke gedrag, een goede tip voor het vervolg van WT'04. Dit geeft ook inzicht in het warmwatergebruik. Deze metingen dragen meer bij aan de invoergegevens van het simulatiemodel dan aan de validatie van het model.

In Groot-Brittannië is hiermee ervaring opgedaan en er is een methode ontwikkeld genaamd IntelliFlow®.