

A network diagram with various sized light blue circles connected by thin white lines, set against a solid blue background.

Bedrijfstakonderzoek
BTO 2024.029 | Februari 2024

De impact van waterbesparing op het distributienet, een eerste analyse

Colofon

De impact van waterbesparing op het distributienet, een eerste analyse

BTO 2024.029 | Februari 2024

Dit onderzoek is onderdeel van het thema-overkoepelende project Waterbeschikbaarheid en droogte lange termijn binnen het collectieve Bedrijfstakonderzoek van KWR, de waterbedrijven en Vewin.

Opdrachtnummer

402045/246

Projectmanager

Ir. M.L. (Martin) van der Schans

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Distributie

Auteur

B. (Bram) Hillebrand MSc.

Kwaliteitsborger

Dr. Ir. E.J.M (Mirjam) Blokker

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.

Een jaar na publicatie is het openbaar.

Keywords

waterbesparing, distributienet, simdeum, gondwana

Jaar van publicatie
2024

Meer informatie
Bram Hillebrand, MSc.

T
E

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

Februari 2024 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - 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.

Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding en doelstelling	4
1.2	Casus Waternet, stedelijk gebied	4
1.3	Casus Vitens, landelijk gebied	4
1.4	Leeswijzer	5
2	Methode	6
2.1	Inleiding	6
2.2	Verbruikspatronen basisscenario's	6
2.3	Verbruikspatronen maatregelscenario's	7
2.4	Optimalisatie	8
3	Resultaten case studie Waternet	9
3.1	Resultaten van de scenario's in termen van LPPPD	9
3.2	Resultaten van de scenario's in termen van dagpatroon en piekverbruik	11
3.3	Optimalisatie	13
4	Resultaten casus Vitens	14
4.1	Resultaten van de scenario's in termen van LPPPD	14
4.2	Resultaten van de scenario's in termen van dagpatroon en piekverbruik	17
5	Discussie en conclusie	18
5.1	Casus Waternet	18
5.2	Casus Vitens	18
5.3	Eindconclusie	19
6	Bibliografie	20
I	Huishoudstatistieken voor Casus Waternet	21
II	Huishoudstatistieken voor casus Vitens	23
III	Inputgegevens van de verschillende apparaten voor casus Waternet	25
IV	Aanpassingen aan Douche input voor maatregel 24 (casus Waternet)	30
V	Aanpassingen aan WC input voor maatregel 4 (casus Waternet)	31
VI	Inputgegevens van de verschillende apparaten voor casus Vitens	32
VII	Aanpassingen aan buitenkraan input voor maatregel 5 (casus Vitens)	38
VIII	Berekening van invloed onzekerheid op piekmoment	39

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doelstelling

Er is een toenemende drinkwatervraag door bevolkingsgroei en economische groei. Tegelijkertijd staat de beschikbaarheid van water voor de drinkwatervoorziening onder druk. Waterbedrijven proberen steeds meer om hun klanten te stimuleren om water te besparen en er wordt aangestuurd op een besparing van (gemiddeld) 125 LPPPD naar 100 LPPPD in 2035. In Koop, Brouwer, & Zeidan (2023) zijn verschillende mogelijke maatregelen uitgewerkt die kunnen helpen om deze besparing te bereiken. Hierbij is gekeken naar gedrag veranderende maatregelen, juridische maatregelen en economische maatregelen. Voor elke maatregel is berekend hoeveel deze mogelijk zou kunnen besparen op het gemiddelde Nederlandse verbruik per persoon hierbij is elke keer uitgegaan van een gunstig, gemiddeld en ongunstig scenario. In dit rapport hebben wij elke keer de waarde behorend bij het gemiddelde scenario gebruikt.

Waterbesparing heeft ook een effect op de distributie van drinkwater. Afname van het totale verbruik leidt ertoe dat de gemiddelde verblijftijd toeneemt. Wanneer ook de (dagelijkse) piekvraag daalt, leidt dat ertoe dat de drukval in het leidingnet afneemt en het zelfreinigend vermogen afneemt (Agudelo-Vera & Blokker, 2016).

Een groot deel van het kapitaal van een waterbedrijf ligt onder de grond, namelijk de leidingen. Dit leidingnet veroudert en moet stap voor stap vervangen worden. Ook kennen sommige waterbedrijven uitdagingen om de capaciteit van hun leidingnet uit te breiden door verschillende stedelijke uitbreidingen. In dit rapport wordt onderzocht welke mogelijke gevolgen een eventuele afname van het (hoofdelijk) waterverbruik heeft op deze uitbreidings- en vervangingsopgave. Om een eerste indruk te krijgen zijn hiervoor twee casussen uitgewerkt.

1.2 Casus Waternet, stedelijk gebied

De watervraag neemt toe voor Waternet. Dit komt vooral door de vele bouwplannen die in en om de stad Amsterdam gepland zijn met bijbehorende groei van bevolking en economie. Dit zorgt ervoor dat Waternet een opgave heeft om de capaciteit van haar distributienet uit te breiden voor de toekomst. Hiervoor heeft KWR samen met Waternet een eerdere studie uitgevoerd om te kijken hoe deze opgave het beste kan worden aangepakt en hoe groot deze precies is (Hillebrand, Vertommen, van Laarhoven, Louter, & Preng, 2022). De resultaten van die studie worden in dit rapport als referentie gebruikt. In dit rapport zullen we dezelfde exercitie uitvoeren met een andere piekwatervraag om te zien of dit tot een andere uitkomst leidt. Om tot een piekwatervraag te komen zullen we eerst de maatregelen moeten uitwerken tot dagpatronen.

1.3 Casus Vitens, landelijk gebied

Omdat (het effect van waterbesparing op) de piekvraag verschilt tussen landelijke en stedelijke gebieden, is naast de casus van Waternet een casus gebruikt uit Overijssel. In dit scenario kijken we specifiek naar een dag tijdens een hittegolf. In landelijke gebieden zien we dat er dan vaak een middagpiek plaatsvindt terwijl in stedelijke gebieden de ochtendpiek dominant blijft. Maatregelen die in stedelijk gebied dan effect hebben op de piek zullen geen (of weinig) effect hebben op de piek in landelijk gebied. Daarom wilden we in dit rapport dus ook maatregelen onderzoeken die zich specifiek op deze middagpiek richten. Ook hier zullen we de maatregelen eerst moeten uitwerken tot dagpatronen.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 staat kort de methode beschreven die we hebben gebruikt om de cijfers en schattingen van (Koop, Brouwer, & Zeidan, 2023) om te zetten naar dagpatronen. Deze methode is gelijk voor beide casussen. Voor de casus Waternet hebben we vervolgens een optimalisatie met Gondwana uitgevoerd, de methode hiervan staat kort beschreven in ditzelfde hoofdstuk. In hoofdstuk 3 volgen de resultaten van de casus Waternet en in hoofdstuk 4 de resultaten van de casus Vitens. In hoofdstuk 5 volgt een discussie en conclusie. In de bijlagen zijn alle relevante input waardes voor pysimdeum vermeld.

2 Methode

2.1 Inleiding

In Koop, Brouwer, & Zeidan (2023) is voor verschillende mogelijke waterbesparende maatregelen doorerekend welk effect deze hebben op de gemiddelde Nederlandse drinkwatervraag per persoon per dag. In dit rapport willen we onderzoeken welke consequenties een veranderende watervraag kan hebben voor het distributienet. Dat betekent dat niet alleen naar de gemiddelde (veranderende) watervraag, maar ook naar de variatie daarin over de dag en tussen dagen gekeken moet worden.

Voor de casus Waternet hebben we met een aangepaste watervraag opnieuw een optimalisatie (met Gondwana) uitvoeren en kijken of dit leidt tot een andere vervangingsopgave dan wanneer we de standaard (conservatieve) prognose gebruiken. Daarvoor moeten twee aanpassingen gemaakt worden aan de waterbespaarscenario's uit Koop, Brouwer, & Zeidan (2023). Ten eerste: deze cijfers, die gelden voor het algemene Nederlandse gemiddelde, moeten vertaald worden naar de situatie voor Waternet (Bakker, van de Mooren, & Boonstra, 2022a), dit is o.a. belangrijk omdat uit de *watergebruik thuis* blijkt dat de watervraag per persoon per dag in het afzetgebied van Waternet significant hoger is dan het Nederlandse gemiddelde. Ten tweede: in Koop, Brouwer, & Zeidan (2023) zijn de maatregelen doorerekend voor een gemiddelde dag. Voor het ontwerp van het distributienet maken we echter gebruik van maximale uurverbruiken of nog gedetailleerder (max 5 minuten). In het geval van Waternet betekent dit dat we vooral geïnteresseerd zijn in de maatregelen die potentieel effect hebben op de ochtendpiek. De maatregelen uit Koop, Brouwer, & Zeidan (2023) moeten dus vertaald worden naar dagpatronen zodat te zien is welk effect deze maatregelen op de (ochtend)piek zullen hebben. Met deze nieuwe maximale watervraag (op 5 minuten basis) kan vervolgens een nieuwe optimalisatie met Gondwana worden uitgevoerd om te zien of de vervangingsopgave verandert en zo ja met hoeveel.

Landelijke gebieden worden veelal ontworpen op het maximale uurgemiddelde op jaarbasis. Deze vindt meestal plaats tijdens hittegolven, in de middag, en er wordt dan dus gekeken naar de middagpiek i.p.v. een ochtendpiek. Daarom hebben we voor casus Vitens een maatregel doorerekend die effect heeft op de middagpiek. Ook hiervoor zijn de gemiddelde gegevens vertaald naar dagpatronen.

2.2 Verbruikspatronen basisscenario's

Met SIMDEUM (Blokker, 2010) en sinds kort ook met de open source python versie pysimdeum (Steffelbauer, Hillebrand, & Blokker, pySIMDEUM-an open-source stochastic water demand end-use model in python, 2022) kunnen stochastische verbruikerspatronen worden gegenereerd per seconde en per tappunt. De input hiervoor zijn technische gegevens van apparaten (bv volumestroom van een douche, inhoud van een wc etc.), CBS-gegevens over huishoudenssamenstellingen en gegevens uit de Vewin-enquête *Watergebruik thuis*. In dit rapport hebben we gebruik gemaakt van de open source software pysimdeum. De input voor pysimdeum staan, mits aangepast, in de bijlages. Voor de overige input is gebruik gemaakt van de standaard input van pysimdeum welke openbaar beschikbaar is via Github. (Steffelbauer & Hillebrand, pysimdeum, 2024)

Voor de casus Waternet hebben we de inputgegevens van pysimdeum aangepast aan relevante CBS-gegevens voor Waternet (bijlage I) en aan de gegevens uit de watergebruik-thuis-enquête die specifiek voor Waternet is uitgevoerd (Bakker, van de Mooren, & Boonstra, 2022a) (zie bijlage III). Voor de casus Vitens hebben we de inputgegevens aangepast aan de relevante CBS-gegevens van de provincie Overijssel (bijlage II) en aan de gegevens

van de watergebruik-thuis-enquête die specifiek voor Vitens en Overijssel is uitgevoerd (Bakker, van der Mooren, & Boonstra, 2022b) (zie bijlage VI).

Op basis van deze inputgegevens zijn 5000 huizen gegenereerd en voor elk huis is 1 dag aan verbruiksdata (op secondebasis) gegenereerd. De uitkomsten hiervan zijn gebruikt als de basisscenario's voor beide casussen

2.3 Verbruikspatronen maatregelscenario's

2.3.1 Casus Waternet

In samenspraak met Waternet hebben we twee maatregelen van de studie uit werkpakket 4 (Koop, Brouwer, & Zeidan, 2023) gekozen en doorgerekend. Het gaat dan om *maatregel 24: Sturing op het marktaanbod waterzuinige douche* en *maatregel 4: Stimuleren gebruik van kleine wc-knop*. Deze twee maatregelen zijn geselecteerd omdat ze zich richten op de twee grootste verbruikers: de WC en de douche en zijn gerelateerd aan het piekmoment. En staan hieronder kort toegelicht.

Maatregel 24

De korte beschrijving van deze maatregel is: Enkel beschikbaarheid van waterzuinige douchekoppen als vervanging voor gewone douchekoppen of recycledouches als vervanging voor regendouches. De maatregel kan, afhankelijk van het scenario 7 t/m 9,8 LPPPD besparen (voor Nederlands gemiddelde. Zie voor meer detail Koop, Brouwer, & Zeidan(2023)). De besparing is interessant omdat deze ten eerste redelijk groot is en ten tweede zich richt op de douche, die een grote bijdrage heeft aan de ochtendpiek (Vloerbergh, 2008).

Voor de simulatie in pysimdeum zijn we uitgegaan van het middelste scenario. Dat betekent dat er een uptake is van 60%, over. 7 jaar. De veranderingen die we in de pysimdeum input hebben doorgevoerd zijn te vinden in bijlage IV.

Maatregel 4

De korte beschrijving van deze maatregel is: m.b.v. bespaarpakket met o.a. stickers die op de kleine wc-knop konden geplakt met de boodschap Bespaar Water! En kleine boodschap? Kleine Knop! Ook werd er tussentijdse waterverbruikfeedback gegeven. De maatregel kan, afhankelijk van het scenario 0,7 t/m 1,2 LPPPD besparing opleveren (voor het Nederlandse gemiddelde, zie ook Koop, Brouwer, & Zeidan (2023)). De maatregel is interessant omdat deze zich op de wc richt (de op een na grootste verbruiker van water) en omdat deze vrij eenvoudig uit te voeren is.

Voor de simulatie in pysimdeum zijn we uitgegaan van het middelste scenario waar een mogelijke besparing van 0,9 LPPPD te behalen zou zijn. De veranderingen die we in de pysimdeum input hebben doorgevoerd zijn te vinden in bijlage V.

2.3.2 Casus Vitens

In samenspraak met Vitens hebben we een maatregel van de studie uit werkpakket 4 (Koop, Brouwer, & Zeidan, 2023) gekozen en doorgerekend. Het gaat dan om *maatregel 5 Tijdelijk verbod op tuinsproeien*. Deze maatregel is geselecteerd omdat het zich richt op de grote verbruiker tijdens een hittegolf namelijk de buitenkraan. Hieronder staat deze kort toegelicht.

Maatregel 5

De korte beschrijving van de geselecteerde maatregel is: Tijdelijk verbod op tuinsproeien. Deze maatregel kan afhankelijk van het scenario 0,3 tot 1,2 LPPPD besparen (op het Nederlandse gemiddelde, zie ook Koop, Brouwer, & Zeidan (2023)) Omdat het om een tijdelijke maatregel gaat die enkel wordt ingevoerd tijdens een hittegolf is de besparing op dat moment veel interessanter. Hier gaat het om 12,6 tot 50,4 LPPPD. Koop, Brouwer, & Zeidan (2023) gaan ervan uit dat een verbod voor de helft wordt opgevolgd. Dit hebben we ook zo aangenomen voor de simulatie in pysimdeum. De veranderingen die we in de pysimdeum input hebben doorgevoerd zijn te vinden in bijlage VII.

2.4 Optimalisatie

De optimalisatie is uitgevoerd met Gondwana (van Thienen & Vertommen, 2015). Optimalisatie met Gondwana bestaat uit het genereren van mogelijke netwerken (via een genetisch algoritme) en een hydraulische doorrekenstap met Epanet (Rossman, et al., 2020). Het werkt in het kort als volgt:

- 1 Als input geldt een netwerkmodel met één tijdstap, het piekverbruik op de maxdag (in dit geval de 5 minuten piek).
- 2 Dit netwerkmodel wordt gebruikt om een eerste generatie van mogelijke netwerken random te creëren. Hierbij wordt de diameter van verschillende leidingen in het model random aangepast (waarbij de diameter wordt gekozen uit een lijstje van door Waternet gebruikte diameters).
- 3 Deze eerste generatie van modellen wordt doorgerekend en uitkomsten worden getoetst aan de doelfuncties en randvoorwaarden.
- 4 We voeren de optimalisatie uit met twee doelfuncties. De ene is erop gericht om het aantal drukproblemen in het business as usual scenario alsook enkele uitvalscenario's te beperken. De andere doelfunctie is erop gericht om het aantal kilometers dat hiervoor vergroot dient te worden zo klein mogelijk te houden en tegelijkertijd de diametervergroting zelf ook beperkt te houden.
- 5 Als randvoorwaarde wordt onder andere een bepaalde waterverdeling tussen twee productielocaties opgelegd.
- 6 De best presterende modellen van de eerste generatie worden gebruikt om een tweede generatie te creëren welke vervolgens weer wordt doorgerekend en getoetst aan de doelfuncties en randvoorwaarden.
- 7 Op deze manier hebben we 4000 generaties doorgerekend. Door het gebruik van de best presterende oplossingen van de vorige generatie voor de nieuwe generatie krijgen we steeds beter presterende oplossingen.
- 8 De beste oplossingen worden geplot op een zogenaamd paretofront. Daarbij staat de prestatie van de ene doelfunctie op de x-as en de prestatie van de andere doelfunctie op de y-as. Elke oplossing op een paretofront is een ideale oplossing en het gehele paretofront laat dus de afweging zien tussen de twee doelfuncties. Rechtsboven in het paretofront bevindt zich de ruimte waar oplossingen in eerdere generaties zijn gevonden.

De optimalisatie zoals we die voor Waternet hebben uitgevoerd bevat nog twee extra stappen: een selectie- en filter-stap en vervolgens een tweede optimalisatiestap. Vanwege de beperkte omvang van het voorliggende project konden we in deze studie alleen de eerste optimalisatie uitvoeren. De vergelijking tussen beide studies is gedaan na stap 8.

Het verschil tussen de twee optimalisaties (de optimalisatie voor Waternet buiten dit project (Hillebrand, Vertommen, van Laarhoven, Louter, & Preng, 2022), en de optimalisatie in dit project) is dat we de 5 minutenpiek hebben bepaald op basis van de standaard scenario's voor toekomstig waterverbruik en op basis van de maatregelsscenario's. Op deze manier kunnen we dus bekijken welke invloed een lagere piekvraag heeft op deze voor Waternet specifieke opgave.

3 Resultaten case studie Waternet

3.1 Resultaten van de scenario's in termen van LPPPD

Allereerst hebben we de input voor pysimdeum aangepast zoals beschreven in bijlages I en III gebaseerd op gegevens zoals beschreven in paragraaf 2.2. Uit de simulatie met pysimdeum volgt een verbruik per persoon van 138 Liter (zie Figuur 1). Dit ligt dichtbij de in de enquête (Bakker, van de Mooren, & Boonstra, 2022a) geobserveerde 141 Liter. Hieruit blijkt dat we met pysimdeum, met de genoemde aanpassingen, de situatie goed kunnen simuleren

3.1.1 Onzekerheden in de simulaties

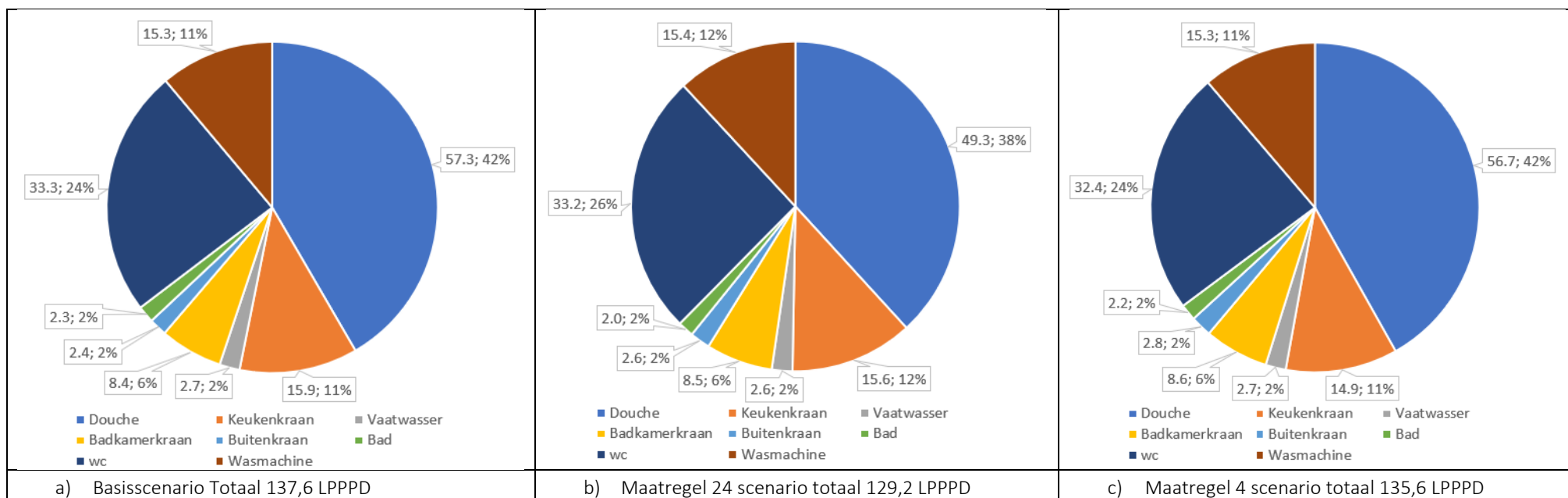
Pysimdeum is een stochastische tappatroon generator. Dit betekent dat er stochastische variatie is tussen de verschillende dagpatronen van de verschillende huizen die pysimdeum simuleert. Hoe meer huizen we bij elkaar optellen hoe meer deze variatie wordt uitgemiddeld en hoe meer we bij het gemiddelde verbruik van, in dit geval, Waternet komen. Omdat voor maatregel 24 alleen de gegevens van de douche zijn aangepast en voor maatregel 4 alleen de gegevens van de wc hebben we dus 3x 5000 huizen (voor bad, keukenkraan, wasmachine, vaatwasser, badkamerkraan en buitenkraan) met exact dezelfde input gegevens doorgerekend en 2x 5000 huizen (voor douche en wc) met exact dezelfde input gegevens doorgerekend (voor maatregel 24 wijkt de douche af en voor maatregel 4 de wc). Hieruit kunnen we een indicatie halen van hoe groot de onzekerheid, puur door stochastische variatie nog is per tappunt. Dit is weergegeven in Tabel 1. Ook staat hier het gemiddelde verbruik aangegeven per apparaat. Het is belangrijk om op te merken dat dit niet hetzelfde is als het basisscenario. De variatie verschilt per apparaat maar is in de orde van grootte van 0,1 tot 0,6 L per apparaat en tot 1 L voor het totaal.

3.1.2 Maatregel 24

In Figuur 1 b zien we het verbruiksdiagram van maatregel 24. Gebaseerd op het verbruik van 5000 huizen. Er is in dit scenario enkel een aanpassing gedaan aan de douche (zie paragraaf 2.3). In Tabel 1 staat de gesimuleerde besparing weergegeven. Volgens Koop, Brouwer, & Zeidan (2023) is er met een uptake van 60% na 7 jaar een gemiddelde besparing te realiseren van 8,4 LPPPD. Uit Figuur 1 en Tabel 1 blijkt dat de besparing op basis van het simuleren van 5000 huizen voor Waternet neerkomt op 8 LPPPD (besparing douche). De besparing die mogelijk is voor Waternet met deze maatregel is dus zeer vergelijkbaar (ondanks andere verdeling in douche types en bevolkingsstatistieken) met het Nederlandse gemiddelde. We zien dat de totale besparing in het maatregel 24 scenario 8,4 LPPPD is. De overige 0,4 L besparing komt dus door stochastische variatie.

3.1.3 Maatregel 4

In Figuur 1 c zien we het verbruiksdiagram van maatregel 4. Gebaseerd op het verbruik van 5000 huizen. Er is in dit scenario enkel een aanpassing gedaan aan de wc (zie paragraaf 2.3). In Tabel 1 staat de gesimuleerde besparing weergegeven. Uit Figuur 1 en Tabel 1 blijkt dat de besparing op basis van het simuleren van 5000 huizen voor Waternet neerkomt op 0,9 LPPPD (besparing wc). Dit is vergelijkbaar met wat is berekend in Koop, Brouwer, & Zeidan (2023). We zien dat de totale besparing van het maatregel 4 scenario 2,0 LPPPD is. De overige 1,1 L besparing komt dus door stochastische variatie. De variatie specifiek voor de wc lijkt klein te zijn (+/- 0,1 L) waardoor de besparing van 0,9 L van deze maatregel op de wc redelijk robuust lijkt.



Figuur 1: Taartdiagrammen van het waterverbruik voor de verschillende scenario's van casus Waternet

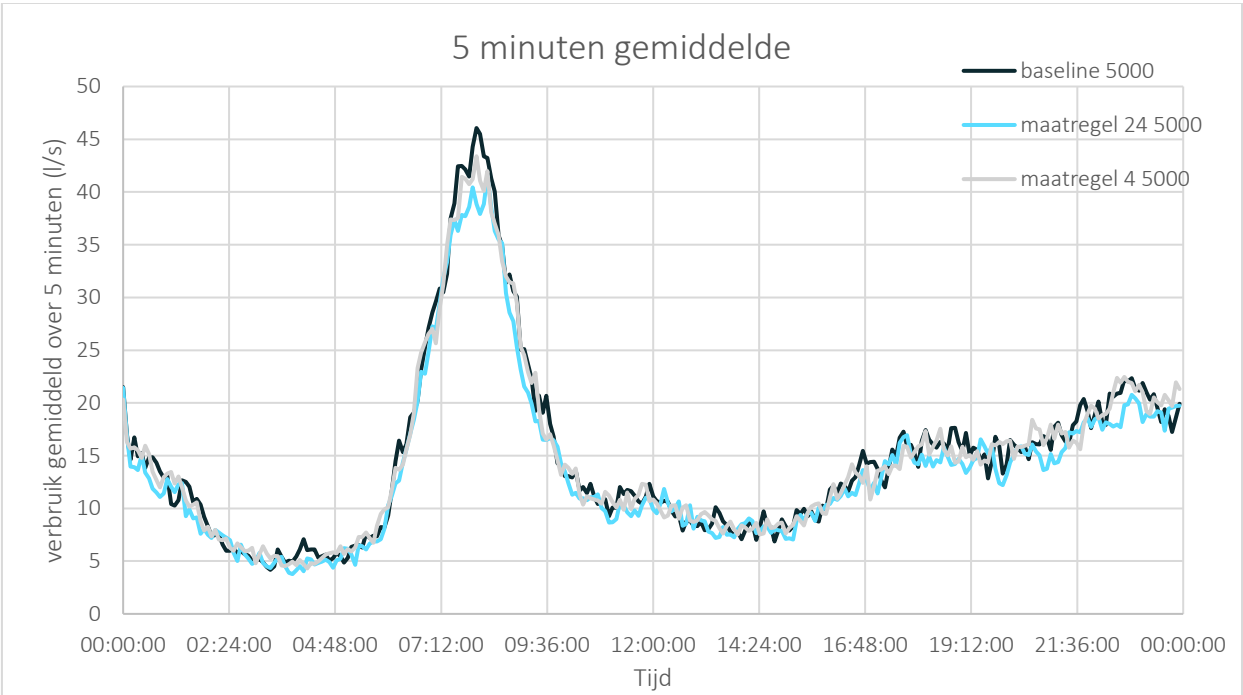
Tabel 1: Tabel met de besparingen per maatregel en de onzekerheidsmarges voor het gemiddelde verbruik per persoon na simulatie van 5000 huizen voor de verschillende apparaten.

	Gemiddelde met onzekerheidsmarge (L)	Besparing maatregel 24	Besparing maatregel 4
Douche	57,0+/-0,3	-8 L (57,3 → 49,3)	-
WC	33,3+/-0,1	-	-0,9 L (33,3 → 32,4)
Keukenkraan	15,5 +/- 0,6	-	-
Wasmachine	15,3+/-0,1	-	-
Vaatwasser	2,7+/- 0,0	-	-
Badkamerkraan	8,6 +/- 0,1	-	-
Bad	2,15 +/-0,15	-	-
Buitenkraan	2,6 +/- 0,2	-	-
Totaal	137,6 +/- 1	-8,4 L (137,6 → 129,2)	-2 L (137,6 → 135,6)

3.2 Resultaten van de scenario's in termen van dagpatroon en piekverbruik

De dagpatronen weergegeven in Figuur 2 komen overeen met de taartdiagrammen van Figuur 1. Hier kunnen we zien dat de ochtendpiek voor maatregel 24 het laagst uitvalt, daarna die van maatregel 4 ten opzichte van die van het basisscenario. Deze resultaten zijn ook samengevat in)

Tabel 2. Maatregel 24 geeft ook een lager verbruik laat in de avond (rond 21:00 en 23:00). Verder zijn er weinig verschillen. Omdat de “besparing” door stochastische variatie voor maatregel 4 relatief groot is (zeker t.o.v. de besparing door de wc) is het moeilijk om te bepalen hoeveel van de ochtendpiek reductie komt door de wc en hoeveel door deze variatie. De stochastische variatie is in principe netjes verdeeld over de dag volgens het verbruiks patroon. Dit betekent dat de 1,1L stochastische “besparing” volgens het dagpatroon zal zijn uitgesmeerd over de dag. De verwachte “besparing” tijdens de ochtendpiek is dan in de orde van grootte van 0,3 L/s (zie bijlage VIII). Vergeleken met de reductie van 2,5 L/s (45,9 L/s → 43,4 L/s) op piekmoment is het aannemelijk maakt dat de waargenomen reductie van de ochtendpiek toch zeker (groten)deels toe te schrijven is aan de besparing op de wc. Simulatie van grotere hoeveelheden huizen (waardoor de stochastische variatie zal afnemen) kan hier uitsluitsel geven. Binnen dit project was daar helaas geen ruimte meer voor.



Figuur 2: verbruik voor 5000 huizen het gemiddelde per 5 minuten. Dit betreft het basisscenario voor Waternet en de twee maatregelscenario's.

In)

Tabel 2 is te zien dat het piekverbruik van maatregel 24 9% lager is dan dat van het basisscenario., Ondanks de marginale besparing van maatregel 4 (0,9 L) is het piekverbruik wel ook duidelijk lager (5%)

Tabel 2: samenvatting van effect van maatregel 24 en maatregel 4 op de ochtendpiek

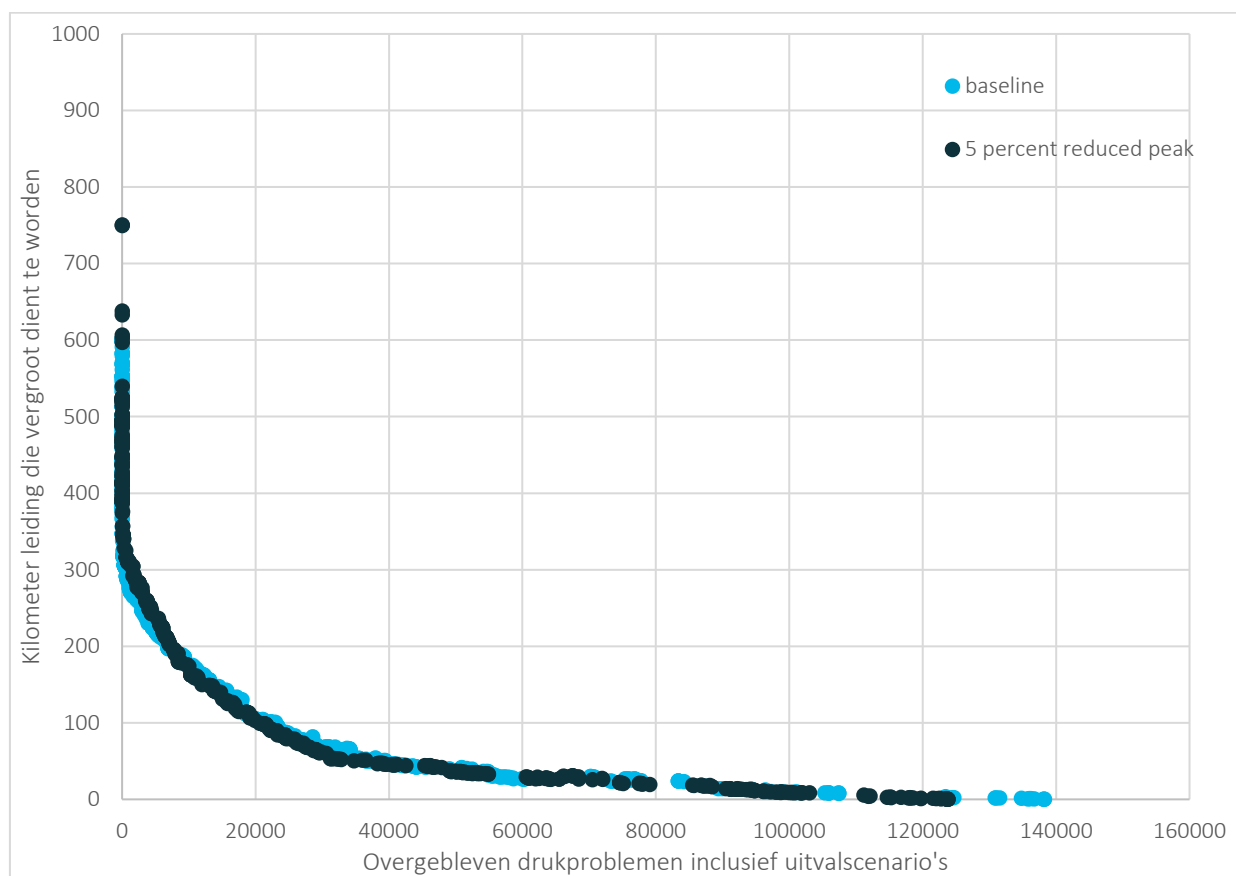
	5 min gemiddeld piekverbruik (L/s)	5 min gemiddeld verbruik (L/s)	5 min gemiddeld piekfactor (piekverbruik/gemiddeld verbruik)
Basisscenario (baseline)	45,9	14,7	3,12
Maatregel 24	41,7	13,8	3,02
% lager t.o.v. basisscenario (baseline) voor maatregel 24	9%	6%	3%
Maatregel 4	43,4	14,6	2,97
% lager t.o.v. basisscenario (baseline) voor maatregel 4	5%	0,7%	5%

3.3 Optimalisatie

De hierboven bepaalde besparing op het piekverbruik (9% voor maatregel 24) is geldig voor huishoudelijk verbruik. Het netwerkmodel kent echter ook niet-huishoudelijk verbruik (waarvoor we geen besparing hebben berekend). Uiteindelijk hebben we ervoor gekozen om de piek van het verbruik met een conservatieve 5% te verlagen en hiermee de optimalisatie uit te voeren. Zoals vermeld hebben we enkel het eerste deel van het optimalisatieproces uitgevoerd. De resultaten die met elkaar worden vergeleken zijn die na dit deel.

In Figuur 3 zien we de twee paretofronten. Op de x-as staat een optelsom van de overgebleven drukproblemen in het business as usual scenario alsook alle uitvalscenario's inclusief enkele strafpunten voor het schenden van randvoorwaarden. Op de y-as staat het aantal kilometer leiding waarvan de diameter vergroot dient te worden. De ideale, maar niet bestaande onbereikbare oplossing ligt in het 0,0 punt. Alle oplossingen op een paretofront zijn de best mogelijke oplossing en laten de trade-off zien tussen minder netwerk aanpassen (goedkoper) en resterende drukproblemen. De twee paretofronten zijn zeer vergelijkbaar en uit de minimale verschillen die zichtbaar zijn valt geen conclusie te trekken. Het lijkt erop dat het 5% piek-reductie-scenario geen significante verschillen oplevert qua vervangingsopgave.

Ook hebben we verschillende netwerken vergeleken die gelijk scoren op resterende drukproblemen (d.w.z. een uit de baseline en een uit de 5% piek-reductie-scenario) om te kijken of de gemiddelde diameters van de aangepaste leidingen kleiner zijn. Ook hier is het verschil klein. Het lijkt erop dat voor een scenario waar in het piekverbruik met 5% daalt geen significante verschillen zijn te verwachten voor de ideale diameters (uit de gegeven set van beschikbare diameters) van het primaire en secundaire leidingnet.



Figuur 3: Een vergelijking van de paretofronten van de twee optimalisaties. Waarbij de 5 percent reduced peak een 5% lagere piekverbruik heeft dan de baseline

4 Resultaten casus Vitens

4.1 Resultaten van de scenario's in termen van LPPPD

Er is eerst een basisscenario doorgerekend. Dit is een ander basisscenario dan in de casus van Waternet. Hierin is de aanname gedaan dat er een hittegolf plaatsvindt en dat sproeien in overgrote meerderheid in de middag plaatsvindt. In Figuur 4 zien we de verdeling van het waterverbruik over de verschillende tappunten. Hier zien we een totaal gemiddeld verbruik per persoon van 177 LPPPD. N.B. dit is geen jaargemiddelde, maar alleen valide tijdens een hittegolf. In Koop, Brouwer, & Zeidan (2023) wordt opgemerkt dat voor sommige gebieden in Nederland het verbruik tot 40% hoger was in juli 2018 t.o.v. gemiddeld. Het gemiddelde verbruik van Overijssel is volgens de CBS-enquête (Bakker, van der Mooren, & Boonstra, 2022b) 131 LPPPD. Onze simulatie komt dus 46 LPPPD (35%) hoger uit dan het gemiddelde van Overijssel. Het basisscenario is als valide beoordeeld.

4.1.1 Onzekerheden in de simulaties

Zoals beschreven in sectie 3.1.1 hebben we ook voor de casus Vitens te maken stochastische variatie tussen de verschillende dagpatronen van de verschillende huizen die pysicaliteit simuleert. Hoe meer huizen we bij elkaar optellen hoe meer deze variatie wordt uitgemiddeld en hoe meer we bij het gemiddelde verbruik van, in dit geval, Overijssel komen. Door de andere input voor deze casus dan voor casus Waternet is de onzekerheid niet per se hetzelfde. Omdat voor maatregel 5 alleen de gegevens van de buitenkraan zijn aangepast we dus 2x 5000 huizen (voor bad, keukenkraan, wasmachine, vaatwasser, badkamerkraan, wc en douche) met exact dezelfde input gegevens doorgerekend. Hieruit kunnen we een indicatie halen van hoe groot de onzekerheid, puur door stochastische variatie nog is per tappunt. Dit is weergegeven in Tabel 3. Ook staat hier het gemiddelde verbruik aangegeven per apparaat. Ook in dit geval is dat niet hetzelfde als het basisscenario. De variatie verschilt per apparaat maar is in de orde van grootte van 0,1 tot 0,3 L per apparaat.

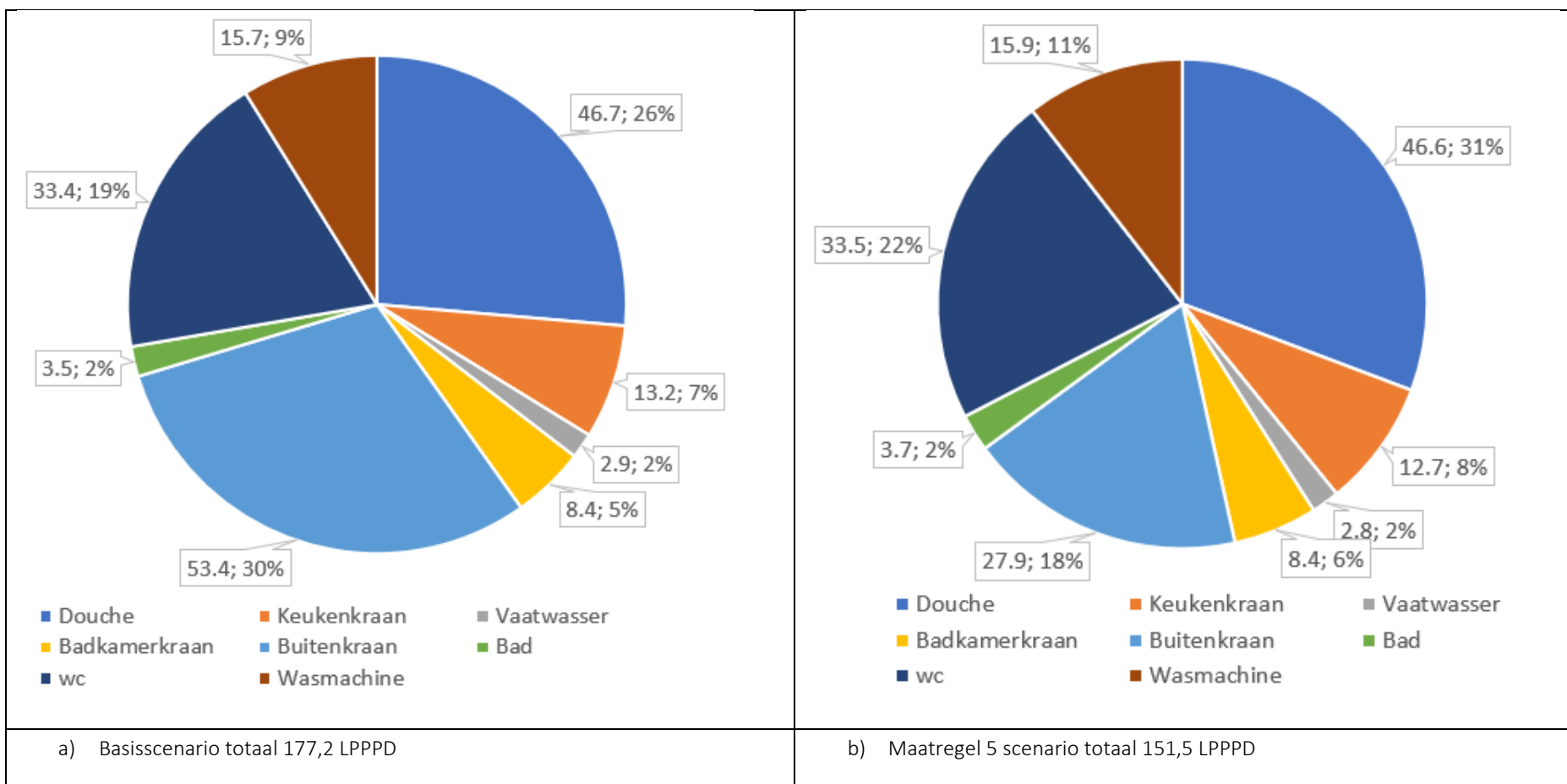
4.1.2 Maatregel 5

In Figuur 4 en Tabel 3 kunnen we zien dat er een besparing wordt bereikt van 25,6 LPPPD op de buitenkraan (48% van het buitenkraanverbruik in het basisscenario tijdens een hittegolf). Het totale verbruik gaat van 177,2 LPPPD naar 151,5 LPPPD; een besparing van 25,7 LPPPD ofwel van 15%. De overige 0,1 L "besparing" komt dus door stochastische variatie.

De besparing op de buitenkraan is vergelijkbaar met het gemiddelde scenario voor maatregel 5 in Koop, Brouwer, & Zeidan (2023).

Tabel 3: Tabel met de besparingen per maatregel en de onzekerheidsmarges voor het gemiddelde verbruik per persoon na simulatie van 5000 huizen voor de verschillende apparaten.

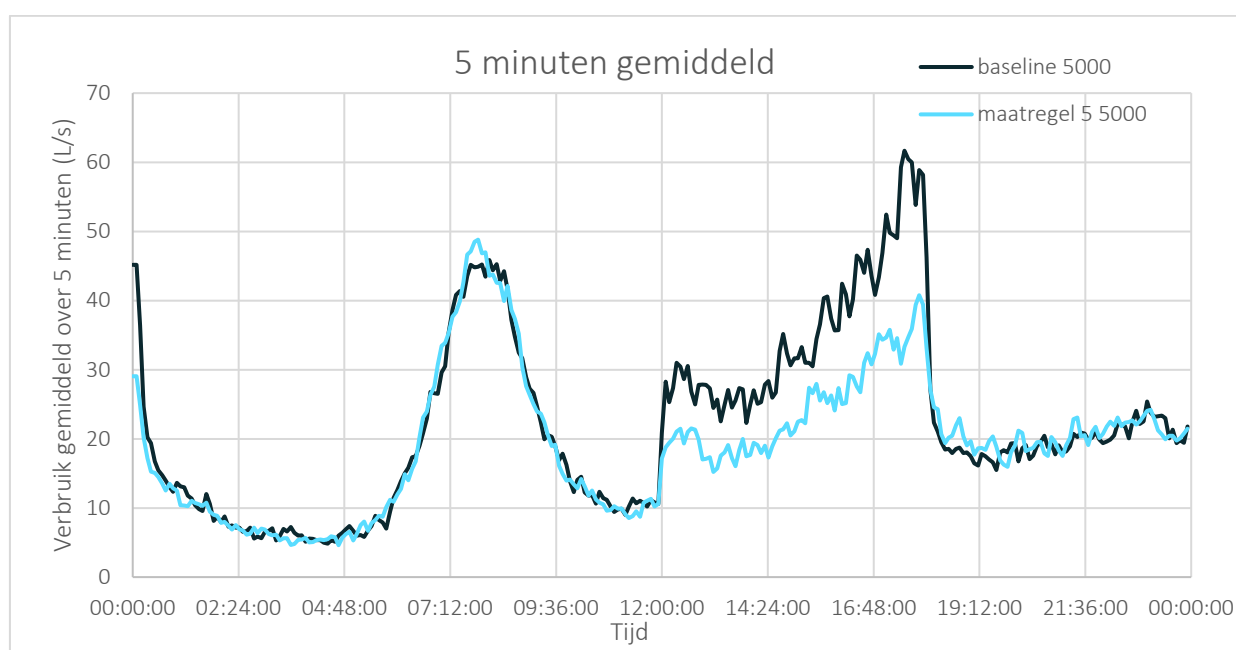
	Gemiddelde met onzekerheidsmarge (L)	Besparing maatregel 5
Douche	46,7+/-0,1	-
WC	33,4+/-0,1	-
Keukenkraan	13,0 +/- 0,3	-
Wasmachine	15,8+/-0,1	-
Vaatwasser	2,9+/- 0,1	-
Badkamerkraan	8,4 +/- 0	-
Bad	3,6 +/-0,1	-
Buitenkraan	53,4 (onbekend)	-25,6 L (53,4 → 27,8)
Totaal	177,2	-25,7 L (177,2 → 151,5)



Figuur 4: Taartdiagrammen voor de verschillende scenario's van casus Vitens

4.2 Resultaten van de scenario's in termen van dagpatroon en piekverbruik

De bijbehorende dagpatronen van het basisscenario en het maatregel-5-scenario zijn weergegeven in Figuur 5. Hierin kunnen we zien dat voor het basisscenario de piek in de middag plaatsvindt. Dit is in grote mate toe te schrijven aan de buitenkraan. Maatregel 5 richt zich op de buitenkraan. In Figuur 5 is het effect te zien van maatregel 5 op de middagpiek. Hierbij zien we dat de reductie van de middagpiek zo groot is dat de dagpiek weer in de ochtend valt en niet meer in de middag. Het piekverbruik daalt met 21% (zie ook Tabel 4) en verschuift van de middag naar de ochtend. De middagpiek zelf daalt met ~60 L/s naar ~40 L/s een daling van 33%.



Figuur 5: verbruik voor 5000 huizen het gemiddelde per 5 minuten voor het basisscenario en voor maatregel 5 voor Vitens Overijssel. In de simulaties vindt het buitenkraan verbruik enkel plaats tussen 12 en 18 uur. Dit veroorzaakt de twee ietwat artificiële sprongen in het verbruik. Deze simulatieomstandigheden zijn wel gelijk voor beide scenario's waardoor de scenario's goed met elkaar te vergelijken zijn.

Tabel 4: samenvatting van effect van maatregel 5 op de piek

	5 min gemiddeld piekverbruik (L/s)	5 min gemiddeld verbruik (L/s)	5 min gemiddeld piekfactor (piekverbruik/gemiddeld verbruik)
Basisscenario (Baseline)	61,6 (middag)	22,4	2,75 (middag)
Maatregel 5	48,8 (ochtend)	19,5	2,50 (ochtend)
% maatregel 5 lager dan basisscenario (baseline)	21%	13%	9%

5 Discussie en conclusie

In eerder onderzoek (Agudelo-Vera & Blokker, 2016) en (Vloerbergh, 2008) is gekeken naar het effect op drinkwaterdistributie van toekomstig drinkwaterverbruik onder verschillende soorten maatregelen, die zowel tot een toe- als een afname van het drinkwaterverbruik konden leiden. Daarin zijn maatregelen gekwantificeerd met behulp van SIMDEUM waarbij gekeken is naar totaal dagverbruik en naar piekverbruik. Vervolgens zijn de verbruikspatronen toegepast leidingnetmodellen van tertiaire en secundaire netwerken. Een x afname van piekverbruik leidde tot y afname van druk, z toename van verblijftijd en w afname van zelfreinigende werking. Pas bij zeer grote besparingsmaatregelen (eco++) zijn grote effecten in distributie te verwachten.

De toegevoegde waarde van dit onderzoek zit in a) er is niet gekeken naar bestaande infrastructuur, maar naar de vervanging van infrastructuur (Waternet), b) er is vooral naar het primaire leidingnet gekeken (Waternet); en c) er is specifiek gekeken naar waterbesparingsmaatregelen, zowel tijdelijke (hittegolf, Overijssel) als meer permanente (Waternet) waarbij de focus lag op verlaging van piek al dan niet onder invloed van het moment van de piek.

5.1 Casus Waternet

We zien dat de besparing die Waternet kan bereiken voor Maatregel 24 (enkel waterbesparende douchekoppen ter vervanging van huidige) en 4 (stimulering gebruik kleien wc knop) vergelijkbaar zijn zoals deze zijn gerapporteerd in Koop, Brouwer, & Zeidan (2023) voor het Nederlandse gemiddelde. De reductie is voor Waternet dus, ondanks een afwijkende bevolkingssamenstelling en hoger gemiddeld verbruik in absolute zin zeer vergelijkbaar met de reductie op landelijk niveau. De piekreductie is groter voor maatregel 24 dan voor maatregel 4 (9% t.o.v. 5%) wel is het opvallend dat de totale besparing van maatregel 24 ~8x zo groot is als maatregel 4 en dat dit grote verschil niet geheel terug te zien is in de piekreductie. Dit laat het belang zien van de vertaling van gemiddelde waterbesparing naar dagpatroon naar piekreductie.

Met een gereduceerde piek van 5% is er in de resultaten na een eerste optimalisatiestap geen duidelijk verschil te zien in de vervangingsopgave voor Waternet voor het primaire en secundaire net. Er zijn verschillende verklaringen mogelijk voor het uitblijven van een duidelijk verschil. Ten eerste is het mogelijk dat een piekreductie van 5% te klein is om van een kleiner aantal leidingen de diameter te vergroten, of minder grote diameters te kunnen selecteren. Ten tweede is het mogelijk dat de opgelegde waterverdeling die streeft naar een 50-50 verdeling tijdens piek moment, die via de randvoorwaarden in het optimalisatieproces zit een grotere drive is voor de benodigde aanpassingen dan de piekwatervraag. Om deze hypothesen te controleren is het belangrijk om ook de laatste twee stappen van het optimalisatieproces uit te voeren. Op dit moment (februari 2024) vindt er een BO onderzoek plaats waarin dit zal gebeuren en deze vraag verder wordt onderzocht (Zeidan, 2024).

5.2 Casus Vitens

We zien dat maatregel 5 (verbod op tuinsproeien tijdens hittegolf) een grote besparing kan opleveren welke vergelijkbaar is zoals deze is gerapporteerd in Koop, Brouwer, & Zeidan (2023). De piekreductie is zo groot (21%) dat de middagpiek verdwijnt en de ochtendpiek dominant wordt. Dit effect wordt mogelijk wat overdreven door de simulatiekeuze om het verbruik van de buitenkraan te concentreren tussen 12 en 18. Wanneer het verbruik meer wordt gespreid (bijv. Verder de avond in) zal de middagpiek van het basisscenario naar verwachting lager worden en de mogelijke piekreductie ook. Onze keuze leidde er in elk geval toe dat de middagpiek dominant werd. Om deze casus aan te scherpen zal eerst het basisscenario moeten worden aangepast op basis van data die verzameld moet worden tijdens een hittegolf.

Omdat de middagpiek verdwijnt en de ochtendpiek weer dominant wordt zal een strengere naleving van maatregel 5 geen verdere piekreductie opleveren omdat deze maatregel geen effect heeft op de ochtendpiek. Door extra simulaties valt uit te rekenen hoe groot de naleving moet zijn om de gewenste reductie van de middagpiek te bereiken.

5.3 Eindconclusie

Om te bepalen welk effect waterbesparingsmaatregelen in potentie hebben op het distributienet is het belangrijk om deze te vertalen naar dagpatronen en in het bijzonder naar het piekverbruik. Dit kan eenvoudig met pysimdeum. Uit dit rapport blijkt wederom (in twee verschillende casussen) dat specifieke maatregelen zeker een effect kunnen hebben op het dagpatroon en bijbehorende piekverbruik. Voor maatregel 24 en 4 van de casus Waternet geldt dat de gemiddelde besparing op dagbasis niet direct een maat is voor de besparing op het piekverbruik. De besparing op dagbasis voor maatregel 24 is $\sim 8x$ zo groot terwijl de besparing op het piekverbruik slechts $\sim 2x$ zo groot is. N.B. deze maatregelen zijn specifiek uitgekozen om hun verwachte invloed op het piekverbruik. Andere maatregelen uit Koop, Brouwer, & Zeidan (2023) zullen veel minder of geen invloed hebben op het piekverbruik. Uit de casus van Vitens blijkt dat het mogelijk is dat (zoals voor maatregel 5) een strengere naleving van de maatregel wel leidt tot een grotere besparing op dagbasis maar niet in een verdere reductie van het piekverbruik omdat de piek in dit geval verschuift van de middag naar de ochtend waar de maatregel geen invloed op heeft.

6 Bibliografie

- Agudelo-Vera, C., & Blokker, E. (2016). *Developing a stress-test to assess drinking water distribution systems under changing demand (ebook)*. IWA.
- Bakker, J., van de Mooren, F., & Boonstra, H. (2022a). *Resultatenrapport Waternet Watergebruik Thuis (WGT) 2021*. Heerlen: CBS.
- Bakker, J., van der Mooren, F., & Boonstra, H. J. (2022b). *Resultatenrapport Vitens Overijssel Watergebruik Thuis (WGT) 2021*. Heerlen: CBS.
- Blokker, E. (2010). *Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks*. Nieuwegein: BTO 2010.038.
- Hillebrand, B., Vertommen, I., van Laarhoven, K., Louter, J., & Preng, M. (2022, December). How can the growth of Waternet's drinking water distribution network keep pace with that of the city? *H2O Water Matters*.
- Koop, S., Brouwer, S., & Zeidan, M. (2023). *100 liter per persoon per dag. Welke waterbesparings-maatregelen zijn nodig?* Nieuwegein: BTO 2023.037.
- Rossman, L., Woo, H., Tryby, M., Shang, F., Janke, R., & Haxton, T. (2020). *EPANET 2.2 User Manual*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Steffelbauer, D., & Hillebrand, B. (2024, 2 22). *pysimdeum*. Opgehaald van github.com: <https://github.com/KWR-Water/pysimdeum>
- Steffelbauer, D., Hillebrand, B., & Blokker, E. (2022). pySIMDEUM-an open-source stochastic water demand end-use model in python. *Proc., 2 nd Int. Joint Conf. on Water Distr. Syst. Anal. Comput. Contr. Water Ind.*
- van Thienen, P., & Vertommen, I. (2015). Gondwana a generic optimization tool for drinking water distribution systems design and operation. *Procedia Engineering*, (pp. 1212-1220).
- Vloerbergh, I. (2008). *Waterdistributie van de toekomst; op tijd voorbereid*. Nieuwegein: Kiwa Water research BTO2008.022.
- Zeidan, M. (2024). BO Doelstelling drinkwaterbesparing 2035. <https://kwrwater.sharepoint.com/sites/BTO/SitePages/Doelstelling-drinkwaterbesparing-2035.aspx>.

I Huishoudstatistieken voor Casus Waternet

De volgende huishoudens statistieken zijn als input gebruikt voor pysimdeum voor het basisscenario alsook maatregel 24 en maatregel 4 scenario's van de casus Waternet. Input voor pysimdeum gebeurd via een zogenoemde toml file, welke hieronder is weergegeven

```
# One person households
['one_person']
people      = 1          # Number of people per household
households  = 55         # Number of households (%)

[one_person.division_gender]
male        = 46
female      = 54

[one_person.division_age]
# Age division (%)
child       = 0 # Children (0-12 years old)
teen        = 0 # Teens (13-18 years old)
adult       = 70 # Adults (19-64 years old)
senior      = 30 # Seniors (>65 years old)

[one_person.job]
# Subdivision % of adults with job away from home
male        = 67.5
female      = 52.4

# Two person households
['two_person']
people      = 2          # Number of people per household
households  = 22         # Number of households (%)

[two_person.division_gender]
male_female = 95
male_male   = 2.5
female_female = 2.5

[two_person.division_age]
# Age division (%)
child       = 0 # Children (0-12 years old)
teen        = 0 # Teens (13-18 years old)
adult       = 70 # Adults (19-64 years old)
senior      = 30 # Seniors (> 65 years old)

[two_person.job]
# Subdivision % of adults with job away from home
both        = 49.4
only_male   = 26.0
only_female = 6.3
neither_person = 18.3

# Families with children
['family']
people      = 3.72       # Number of people per household
households  = 23         # Number of households (%)

[family.division_gender]
male        = 50
female      = 50

[family.division_age]
```

```
# Age division (%)
child  = 25    # Children ( 0-12 years old)
teen   = 11.2 # Teens     (13-18 years old)
adult  = 63.8 # Adults    (19-64 years old)
senior = 0     # Seniors   ( >65 years old)

[family.job]
# Subdivision % of adults with job away from home
both          = 39.4
only_male     = 52.3 # only father
only_female   = 3.1  # only mother
neither_person = 5.2  # neither parent
```

II Huishoudstatistieken voor casus Vitens

De volgende huishoudens statistieken zijn als input gebruikt voor pysimdeum voor het basisscenario alsook het maatregel 5 scenario van de casus Vitens. Input voor pysimdeum gebeurt via een zogenoemde toml file, welke hieronder is weergegeven

```
# One person households
['one_person']
people      = 1          # Number of people per household
households  = 35         # Number of households (%)

[one_person.division_gender]
male        = 50
female      = 50

[one_person.division_age]
# Age division (%)
child       = 0 # Children (0-12 years old)
teen        = 0 # Teens (13-18 years old)
adult       = 70 # Adults (19-64 years old)
senior      = 30 # Seniors (>65 years old)

[one_person.job]
# Subdivision % of adults with job away from home
male        = 67.5
female      = 52.4

# Two person households
['two_person']
people      = 2          # Number of people per household
households  = 30         # Number of households (%)

[two_person.division_gender]
male_female = 95
male_male   = 2.5
female_female = 2.5

[two_person.division_age]
# Age division (%)
child       = 0 # Children (0-12 years old)
teen        = 0 # Teens (13-18 years old)
adult       = 70 # Adults (19-64 years old)
senior      = 30 # Seniors (> 65 years old)

[two_person.job]
# Subdivision % of adults with job away from home
both        = 49.4
only_male   = 26.0
only_female = 6.3
neither_person = 18.3

# Families with children
['family']
people      = 3.66       # Number of people per household
households  = 35         # Number of households (%)

[family.division_gender]
male        = 50
female      = 50

[family.division_age]
# Age division (%)
```

```
child = 25 # Children ( 0-12 years old)
teen  = 15 # Teens    (13-18 years old)
adult = 60 # Adults   (19-64 years old)
senior = 0  # Seniors  ( >65 years old)

[family.job]
# Subdivision % of adults with job away from home
both          = 39.4
only_male     = 52.3 # only father
only_female   = 3.1  # only mother
neither_person = 5.2 # neither parent
```

III Inputgegevens van de verschillende apparaten voor casus Waternet

Hieronder staan de inputgegevens voor de verschillende apparaten zover deze afwijken van de standaard NL. De input voor het bad is hetzelfde welke (samen met de andere standaard NL input gegevens) te vinden is op de pysicsim deum GitHub.

(https://github.com/KWR-Water/pysicsimdeum/tree/master/pysicsimdeum/data/NL/end_uses)

III.I WC

```
# Statistics of toilet end-use
classname = 'Wc' # has to be exactly the same name as class
constructor
penetration = 100 # penetraton rate of houses with wc [%]
# pattern_generator = '' # if a pattern exists, otherwise this field is an
empty string
offset = 0 # offset defines the time where a second use of
the end-use is blocked
temperature = 10 # temperature of used-water [%]
prob_flush_inturption = 67 # probability if a water savings option of a
toilett is installed that it will be used [%]
intensity = 0.042 # fixed intensity for toilet flush corresponds to
the pipesize to fill the cistern [L/s]

[frequency]
distribution = 'Poisson' # type of distribution from where the frequency
of the end-use will be drawn
# toilet use is age and gender dependent, therefore the input parameter of
the Poisson distribution changes with age and gender
[frequency.average.child]
male = 5.7 # average frequency of use [day-1]
female = 5.7
total = 5.7
[frequency.average.teen]
male = 7.7
female = 7.7
total = 7.7
[frequency.average.work_ad]
male = 6.2
female = 6.2
total = 6.2
[frequency.average.home_ad]
male = 6.2
female = 6.2
total = 6.2
[frequency.average.senior]
male = 9.0
female = 9.0
total = 9.0
[frequency.average.total]
male = 6.7
female = 6.7
total = 6.7
# different subtypes of toilets which are used to populate a household
[subtype]
[subtype.WcNormal]
penetration = 33 # penetration rate within end-use [%]
```

```

        flush_interruption = false # presence of water savings option
        cistern_size = 6.7         # size of cistern of toilet [L] ,but not
important for calculation
        duration = '2.65 Minutes' # duration of water use corresponds to the
filling time of the cistern and therefore on its size.
    [subtype.WcNormalSave]
        penetration = 67
        flush_interruption = true
        cistern_size = 6.7
        duration = '2.65 Minutes'

```

III.II Douche

```

# statistics for showering
classname = 'Shower'

penetration = 100
offset = '2 Hours'

pattern = 'name of pattern generator'

[frequency]                                # age dependent
    distribution = 'Binomial' # Binomial distribution binomial(N, p)
    n = 1
    [frequency.p]
        child   = 0.735
        teen    = 1.0
        work_ad = 0.828
        home_ad = 0.828
        senior  = 0.862
        total   = 0.875

[duration]
    distribution = 'Chisquare'
    [duration.df]
        child   = '8.6 Minutes'
        teen    = '14.2 Minutes'
        work_ad = '9.3 Minutes'
        home_ad = '9.3 Minutes'
        senior  = '6.5 Minutes'
        total   = '8.8 Minutes'

[subtype]

    [subtype.NormalShower]
        penetration = 50
        intensity = 0.13 # [L/s]

    [subtype.FancyShower]
        # combi_heater_with_water_saving_shower_head
        penetration = 30
        intensity = 0.105 # [L/s]

    [subtype.RainShower]
        # rain shower
        penetration = 20
        intensity = 0.17 # [L/s]

```

III.III Keukenkraan

```

# Statistics of kitchen_tap end-use
classname = 'KitchenTap'

```

```
penetration = 100
offset = 0

[frequency]
distribution = 'Negative_binomial'

[frequency.average]
1 = 11
2 = 11
3 = 11
4 = 11
5 = 11

[frequency.sigma]
1 = 7
2 = 7.2
3 = 7.7
4 = 8.4
5 = 9.1

[subtype]

[subtype.consumption]
penetration = 16
temperature = 10

[subtype.consumption.duration]
distribution = 'Lognormal'
average = '3 Seconds'

[subtype.consumption.intensity]
distribution = 'Uniform'
low = 0.0
high = 0.288

[subtype.dishes]
penetration = 9
temperature = 55

[subtype.dishes.duration]
distribution = 'Lognormal'
average = '20 Seconds'

[subtype.dishes.intensity]
distribution = 'Uniform'
low = 0.0
high = 0.50

[subtype.washing_hands]
penetration = 50
temperature = 10

[subtype.washing_hands.duration]
distribution = 'Lognormal'
average = '13 Seconds'

[subtype.washing_hands.intensity]
distribution = 'Uniform'
low = 0.0
high = 0.334

[subtype.other]
penetration = 25
temperature = 10

[subtype.other.duration]
distribution = 'Lognormal'
```

```

        average = '20 Seconds'

[subtype.other.intensity]
    distribution = 'Uniform'
    low = 0.0
    high = 0.45

```

III.IV Badkamerkraan

```

# Statistics of bathroom tap end-use
classname = 'BathroomTap' # has to be exactly the same name as class
constructor
penetration = 100          # penetraton rate of houses with bathroom taps [%]
# pattern_generator = ''   # if a pattern exists, otherwise this field is an
empty string
offset = 0                 # offset defines the time where a second use of the
end-use is blocked

[frequency]
distribution = 'Poisson' # type of distribution from where the frequency of
the end-use will be drawn
average = 1.86          # average frequency of end-use

# choose between subtypes of end-uses
# after drawing the frequency of end-uses, the end-use subtypes are chosen
according to their end-use penetration rate (two types are defined:
washing/shaving and brushing your teeth)
[subtype]
    [subtype.washing_shaving]
        penetration = 100 # probability of subtype use [%]
        temperature = 38

    [subtype.washing_shaving.duration]
        distribution = 'Lognormal'
        average = '40 Seconds'

    [subtype.washing_shaving.intensity]
        distribution = 'Uniform'
        low = 0.0
        high = 0.230

```

III.V Vaatwasser

```

# Statistics of dishwasher end-use
classname = 'Dishwasher'
offset = 0
temperature = 10

[penetration]
1 = 43 # [%]
2 = 72
3 = 76
4 = 86
5 = 75

[frequency]
distribution = 'Poisson'
[frequency.average]
1 = 0.54 # [1/day]
2 = 0.37
3 = 0.29
4 = 0.26
5 = 0.23

```

III.VI Wasmachine

```
# Statistics of washing machine end-use
classname = 'WashingMachine'
offset = 0
temperature = 10

[penetration]
  1 = 86 # [%]
  2 = 97
  3 = 98
  4 = 99
  5 = 92

# frequency is dependent on number of people living in the household
[frequency]
  distribution = 'Poisson'
  [frequency.average]
    1 = 0.52 # [1/day]
    2 = 0.33
    3 = 0.30
    4 = 0.29
    5 = 0.27
```

III.VII Buitenkraan

```
# statistics for outside tap use
classname = 'OutsideTap'

penetration = 69
offset = 0

[frequency]
  distribution = 'Poisson'
  average = 0.18

[subtype]

  [subtype.garden]

    penetration = 75
    temperature = 10

    [subtype.garden.duration]
      distribution = 'Lognormal'
      average = '300 Seconds'

    [subtype.garden.intensity]
      distribution = 'Uniform'
      low = 0.0
      high = 0.2

  [subtype.other]

    penetration = 25
    temperature = 10

    [subtype.other.duration]
      distribution = 'Lognormal'
      average = '15 Seconds'

    [subtype.other.intensity]
      distribution = 'Uniform'
      low = 0.0
```

```
high = 0.2
```

IV Aanpassingen aan Douche input voor maatregel 24 (casus Waternet)

Hieronder volgt een subsectie van de douche input voor maatregel 24 waar de penetratie van normale en regendouches is verminderd (50 naar 20 en 20 naar 5) en die van waterbesparende douches is verhoogd (30 naar 75).

```
[subtype]

[subtype.NormalShower]
    penetration = 20
    intensity = 0.13 # [L/s]

[subtype.FancyShower]
    # combi_heater_with_water_saving_shower_head
    penetration = 75
    intensity = 0.105 # [L/s]

[subtype.RainShower]
    # rain shower
    penetration = 5
    intensity = 0.17 # [L/s]
```

V Aanpassingen aan WC input voor maatregel 4 (casus Waternet)

Hieronder volgt een subsectie van de wc input voor maatregel 4 waar de waarschijnlijkheid van het gebruik van de kleine wc knop is verhoogd van 67 naar 75

```
# Statistics of toilet end-use
classname = 'Wc'          # has to be exactly the same name as class
constructor
penetration = 100          # penetration rate of houses with wc [%]
# pattern_generator = ''   # if a pattern exists, otherwise this field is an
empty string
offset = 0                 # offset defines the time where a second use of
the end-use is blocked
temperature = 10           # temperature of used-water [%]
prob_flush_interruption = 75 # probability if a water savings option of a
toilett is installed that it will be used [%]
intensity = 0.042          # fixed intensity for toilet flush corresponds to
the pipesize to fill the cistern [L/s]
```

VI Inputgegevens van de verschillende apparaten voor casus Vitens

Hieronder staan de inputgegevens voor de verschillende apparaten

VI.I WC

```
# Statistics of toilet end-use
classname = 'Wc' # has to be exactly the same name as class
constructor
penetration = 100 # penetraton rate of houses with wc [%]
# pattern_generator = '' # if a pattern exists, otherwise this field is an
empty string
offset = 0 # offset defines the time where a second use of
the end-use is blocked
temperature = 10 # temperature of used-water [%]
prob_flush_interruption = 58 # probability if a water savings option of a
toilett is installed that it will be used [%]
intensity = 0.042 # fixed intensity for toilet flush corresponds to
the pipesize to fill the cistern [L/s]

[frequency]
distribution = 'Poisson' # type of distribution from where the frequency
of the end-use will be drawn
# toilet use is age and gender dependent, therefore the input parameter of
the Poisson distribution changes with age and gender
[frequency.average.child]
male = 5.46 # average frequency of use [day^(-1)]
female = 5.46
total = 5.46
[frequency.average.teen]
male = 6.78
female = 6.78
total = 6.78
[frequency.average.work_ad]
male = 5.4
female = 5.4
total = 5.4
[frequency.average.home_ad]
male = 5.4
female = 5.4
total = 5.4
[frequency.average.senior]
male = 8.72
female = 8.72
total = 8.72
[frequency.average.total]
male = 6.36
female = 6.36
total = 6.36
# different subtypes of toilets which are used to populate a household
[subtype]
[subtype.WcNormal]
penetration = 55 # penetration rate within end-use [%]
flush_interruption = false # presence of water savings option
cistern_size = 6.7 # size of cistern of toilet [L] ,but not
important for calculation
duration = '2.65 Minutes' # duration of water use corresponds to the
filling time of the cistern and therefore on its size.
[subtype.WcNormalSave]
```

```

penetration = 45
flush_interruption = true
cistern_size = 6.7
duration = '2.65 Minutes'

```

VI.II Douche

```

# statistics for showering
classname = 'Shower'

penetration = 100
offset = '2 Hours'

pattern = 'name of pattern generator'

[frequency]                                # age dependent
distribution = 'Binomial' # Binomial distribution binomial(N, p)
n = 1
[frequency.p]
child    = 0.58
teen     = 1.0
work_ad  = 0.62
home_ad  = 0.62
senior   = 0.69
total    = 0.67

[duration]
distribution = 'Chisquare'
[duration.df]
child    = '8.6 Minutes'
teen     = '14.2 Minutes'
work_ad  = '9.3 Minutes'
home_ad  = '9.3 Minutes'
senior   = '6.5 Minutes'
total    = '8.8 Minutes'

[subtype]

[subtype.NormalShower]
penetration = 42
intensity = 0.13 # [L/s]

[subtype.FancyShower]
# combi_heater_with_water_saving_shower_head
penetration = 37
intensity = 0.105 # [L/s]

[subtype.RainShower]
# rain shower
penetration = 21
intensity = 0.17 # [L/s]

```

VI.III Keukenkraan

```

# Statistics of kitchen_tap end-use
classname = 'KitchenTap'

penetration = 100
offset = 0

[frequency]
distribution = 'Negative_binomial'

[frequency.average]

```

```
1 = 11
2 = 11
3 = 11
4 = 11
5 = 11

[frequency.sigma]
1 = 7
2 = 7.2
3 = 7.7
4 = 8.4
5 = 9.1

[subtype]

[subtype.consumption]
penetration = 16
temperature = 10

[subtype.consumption.duration]
distribution = 'Lognormal'
average = '3 Seconds'

[subtype.consumption.intensity]
distribution = 'Uniform'
low = 0.0
high = 0.288

[subtype.dishes]
penetration = 9
temperature = 55

[subtype.dishes.duration]
distribution = 'Lognormal'
average = '20 Seconds'

[subtype.dishes.intensity]
distribution = 'Uniform'
low = 0.0
high = 0.50

[subtype.washing_hands]
penetration = 50
temperature = 10

[subtype.washing_hands.duration]
distribution = 'Lognormal'
average = '13 Seconds'

[subtype.washing_hands.intensity]
distribution = 'Uniform'
low = 0.0
high = 0.334

[subtype.other]
penetration = 25
temperature = 10

[subtype.other.duration]
distribution = 'Lognormal'
average = '20 Seconds'

[subtype.other.intensity]
distribution = 'Uniform'
low = 0.0
high = 0.45
```

VI.IV Badkamerkraan

```
# Statistics of bathroom tap end-use
classname = 'BathroomTap' # has to be exactly the same name as class
constructor
penetration = 100          # penetraton rate of houses with bathroom taps [%]
# pattern_generator = ''   # if a pattern exists, otherwise this field is an
empty string
offset = 0                 # offset defines the time where a second use of the
end-use is blocked

[frequency]
distribution = 'Poisson' # type of distribution from where the frequency of
the end-use will be drawn
average = 1.86          # average frequency of end-use

# choose between subtypes of end-uses
# after drawing the frequency of end-uses, the end-use subtypes are chosen
according to their end-use penetration rate (two types are defined:
washing/shaving and brushing your teeth)
[subtype]
    [subtype.washing_shaving]
        penetration = 100 # probability of subtype use [%]
        temperature = 38

    [subtype.washing_shaving.duration]
        distribution = 'Lognormal'
        average = '40 Seconds'

    [subtype.washing_shaving.intensity]
        distribution = 'Uniform'
        low = 0.0
        high = 0.230
```

VI.V Vaatwasser

```
# Statistics of dishwasher end-use
classname = 'Dishwasher'
offset = 0
temperature = 10

[penetration]
    1 = 54 # [%]
    2 = 81
    3 = 86
    4 = 92
    5 = 88

[frequency]
    distribution = 'Poisson'
    [frequency.average]
        1 = 0.51 # [1/day]
        2 = 0.35
        3 = 0.27
        4 = 0.24
        5 = 0.21
```

VI.VI Wasmachine

```
# Statistics of washing machine end-use
classname = 'WashingMachine'
offset = 0
temperature = 10
```

```
[penetration]
1 = 92 # [%]
2 = 99
3 = 99
4 = 100
5 = 97

# frequency is dependent on number of people living in the household
[frequency]
distribution = 'Poisson'
[frequency.average]
1 = 0.54 # [1/day]
2 = 0.36
3 = 0.33
4 = 0.33
5 = 0.30
```

VI.VII Bad

```
# Statistics of bathtub end-use
classname = 'Bathtub' # has to be exactly the same name as class constructor
# pattern_generator = '' # if a pattern exists, otherwise this field is an
empty string
temperature = 40 # temperature of used-water [%]
offset = 0 # offset defines the time where a second use of the end-use is
blocked
size = 120 # size of bathtub filling [L], but this parameter is not used
duration = '10 Minutes' # duration of filling a bathtub depends on the size
and the intensity of the filling
intensity = 0.2 # fixed intensity for bathtub filling corresponds to the
maximum water flow at full tap opening [L/s]

[penetration] # penetraton rate of houses with bathtubes [%] depennds on the
number of people living in a house
1 = 20
2 = 32
3 = 40
4 = 54
5 = 53

[frequency]
distribution = 'Poisson' # type of distribution from where the frequency
of the end-use will be drawn
# bathtub use is age dependent, therefore the input parameter of the
Poisson distribution changes with age
[frequency.average]
child = 0.09
teen = 0.05
work_ad = 0.09
home_ad = 0.09
senior = 0.05
total = 0.06
```

VI.VIII Buitenkraan

Hier is het belangrijk om in acht te nemen dat de input is aangepast om een droge hete periode te representeren en niet het jaargemiddelde.

```
# statistics for outside tap use
classname = 'OutsideTap'

penetration = 88
offset = 0
```

```
[frequency]
  distribution = 'Poisson'
  average = 0.72

[subtype]

  [subtype.garden]

    penetration = 75
    temperature = 10

    [subtype.garden.duration]
      distribution = 'Lognormal'
      average = '300 Seconds'

    [subtype.garden.intensity]
      distribution = 'Uniform'
      low = 0.0
      high = 0.8

  [subtype.other]

    penetration = 25
    temperature = 10

    [subtype.other.duration]
      distribution = 'Lognormal'
      average = '15 Seconds'

    [subtype.other.intensity]
      distribution = 'Uniform'
      low = 0.0
      high = 0.8
```

VII Aanpassingen aan buitenkraan input voor maatregel 5 (casus Vitens)

De intensity van het tuinsproeien is naar beneden gebracht van 0,8 naar 0,4

```
[subtype]
  [subtype.garden]
    penetration = 75
    temperature = 10

    [subtype.garden.duration]
      distribution = 'Lognormal'
      average = '300 Seconds'

    [subtype.garden.intensity]
      distribution = 'Uniform'
      low = 0.0
      high = 0.4
```

VIII Berekening van invloed onzekerheid op piekmoment

Hieronder staat een snelle berekening over wat de orde van grootte van de invloed is van een stochastische variatie van 1L op het piekmoment. De aanname is heur dat deze stochastische variatie is verdeeld over de dag volgens het dagpatroon. Dat betekent dat:

$$1L / (60*60*24) = 1,16E-5 \text{ L/s de gemiddelde afwijking op iedere seconde is}$$

In de grafieken nemen we het 5 minuten gemiddelde, maar niet de 5 minuten som! Het 5 minuten gemiddelde zal dus hetzelfde zijn.

Op piekmoment is het gemiddelde ~3x zo hoog de afwijking die we kunnen verwachten is dus ook 3x zo hoog

$$1,16E-5 * 3 = 3,47E-5 \text{ L/s}$$

Dit is de afwijking op piekmoment voor 1 persoon. In het gebied van Waternet (waarvoor deze berekening geldt) gaat het om een simulatie van 5000 huizen met gemiddeld 1,85 personen per huis. Oftewel :

$$3,47E-5 * (5000 * 1,85) = 0,32 \text{ L/s}$$

Dit is de orde van grootte van de verwachte variatie op piekmoment (op basis van een verwachte variatie van 1 L op de LPPPD)