



Validatie rekenregels voor waterverbruik woontorens

KWR 2013.016
Juni 2013

KWR

Watercycle Research Institute



Watercycle Research Institute

Validatie rekenregels voor waterverbruik woontorens

KWR 2013.016
Juni 2013

© 2012 KWR

Alle rechten voorbehouden.

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

Colofon

Titel

Validatie rekenregels voor waterverbruik woontorens

Opdrachtnummer

A308360, A309120, A309262

Rapportnummer

KWR 2013.016

Projectmanager

Nellie Slaats

Opdrachtgever

UNETO-VNI en TVVL

voorstudie ST 28 "Valideren rekenregels woongebouwen"

voorstudie ST 36 "Rekenregels omzetten in ontwerpreeksregels"

Contactpersoon: Eric van der Blom (UNETO-VNI)

Kwaliteitsborger

Mirjam Blokker

Auteurs

Ilse Pieterse-Quirijns en Hendrik Beverloo

Verzonden aan

UNETO-VNI

Contactpersoon: Eric van der Blom

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject. Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Inhoud

Inhoud		1
1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding en doel	3
1.2	Aanpak	4
1.3	Leeswijzer	5
2	Rekenregels voor woontorens	7
3	Validatieprocedures	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Meetmethode	11
3.3	Validatie van de basis en de uitkomsten van de rekenregels	12
3.4	Vergelijking met bestaande richtlijnen en consequenties voor de ontwerpen	13
3.4.1	Bestaande richtlijnen voor waterverbruik in woongebouwen	13
3.4.2	Consequenties voor ontwerp	14
4	Validatie rekenregels woontorens: woontoren I	15
4.1	Inleiding	15
4.2	Karakterisering woontoren I	15
4.3	Metingen van het waterverbruik in woontoren I	16
4.4	Validatie basis rekenregels met gemeten dagpatroon	17
4.5	Validatie van de uitkomsten van de rekenregels met gemeten kentallen	18
4.6	Vergelijking met bestaande richtlijnen	21
4.6.1	Maximum moment volumestroom en consequenties voor ontwerp leidingdiameter	21
4.6.2	Warmwaterverbruik en consequenties voor ontwerp warmwaterbereider	22
5	Validatie rekenregels woontorens: woontoren II	23
5.1	Inleiding	23
5.2	Karakterisering woontoren II	23
5.3	Metingen van het waterverbruik in woontoren II	24
5.4	Validatie basis rekenregels met gemeten dagpatroon	24
5.5	Validatie van de uitkomsten van de rekenregels met gemeten kentallen	25
5.6	Vergelijking met bestaande richtlijnen	26
5.6.1	Maximum moment volumestroom en consequenties voor ontwerp leidingdiameter	26
5.6.2	Warmwaterverbruik en consequenties voor ontwerp warmwaterbereider	26

6	Vertaling naar ISSO	29
6.1	Inleiding	29
6.2	Uitgangspunten van de rekenregels en unanieme aanpak voor toepassing rekenregels	29
6.2.1	Unanieme aanpak rekenregels	29
6.2.2	Unanieme aanpak voor woontorens: de waarde voor n	30
6.3	Voorstel van veiligheidsmarge voor rekenregels woontorens	32
6.4	Omrekenhulpmiddel voor andere insteltemperaturen van de warmwaterbereider	32
6.4.1	Noodzaak voor omrekenhulpmiddel	32
6.4.2	Opstellen omrekenformule naar andere insteltemperaturen	32
6.4.3	Toetsen van omrekenformule naar andere insteltemperaturen	33
7	Toepassing rekenregels op woontorens in België	37
7.1	Inleiding	37
7.2	Toetsing rekenregels woontorens met appartementgebouwen in België	37
8	Conclusies, samenvatting en aanbevelingen	39
8.1	Conclusies en samenvatting	39
8.2	Aanbevelingen	40
	Referenties	41
I	Leidingwaterinstallatie appartementen in woontoren I	43
II	Resultaten van rekenregels voor woontoren I bij invuloptie 2	45
III	Ontwerprekenregels voor woontorens	47

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

In het kader van het bedrijfstakonderzoek van de Nederlandse waterleidingbedrijven (BTO) en in samenwerking met UNETO-VNI en TVVL, heeft KWR de afgelopen jaren het simulatiemodel SIMDEUM® ontwikkeld, om huishoudelijke afnamepatronen van woningen en woongebouwen te kunnen voorspellen (Blokker, 2006; www.kwrwater.nl). SIMDEUM geeft een voorspelling van zowel de afnamepatronen van het koude als van het warme water. Deze afnamepatronen zijn belangrijk voor de dimensionering van leidingwaterinstallaties en voor de keuze van warmwaterbereidinginstallaties. Hiervoor is namelijk kennis nodig van de maximum moment volumestroom (MMV) voor koud en warm water en het maximum warmwatervolume (MWW) in verschillende tijdseenheden, zoals bijvoorbeeld per uur of per dag. Deze verschillende variabelen voor het waterverbruik kunnen uit de afnamepatronen van koud en warm water worden afgeleid.

Om niet voor iedere nieuwe situatie het model SIMDEUM te hoeven gebruiken zijn een aantal standaardsituaties gedefinieerd waarvoor rekenregels zijn opgesteld op basis van de uitkomsten van SIMDEUM. Deze standaardsituaties zijn gebaseerd op woningklasse, het aantal en type bewoners en het gewenste comfort. De rekenregels voorspellen voor iedere standaardsituatie de gewenste kentallen voor koud en warm waterverbruik (MMV en MWW) als functie van het aantal woningen. De rekenregels voor woningen zijn beschikbaar als praktisch gereedschap in de vorm van een Excelbestand (Blokker e.a., 2007). Omdat deze rekenregels alleen gelden voor één woningsituatie, zijn er ook rekenregels ontwikkeld voor het berekenen van deze kentallen (MMV en MWW) voor woongebouwen en woontorens, die uit verschillende type en aantal appartementen bestaan. De appartementen variëren in leidingwaterinstallatie en bewonersklasse (single, gezin, senioren). Ook van de rekenregels voor woontorens is praktisch gereedschap in de vorm van een Excelbestand beschikbaar (Pieterse-Quirijns, 2008).

De huidige ontwerprichtlijnen voor MMV voor woningen en woongebouwen in ISSO-30 en ISSO-55 zijn gebaseerd op de zogenaamde $q\sqrt{n}$ -methode. Deze overschat het waterverbruik vaak wat leidt tot overdimensionering van de installaties met negatieve gevolgen voor waterkwaliteit en energieverbruik. De op SIMDEUM-gebaseerde rekenregels geven een betere benadering van de resultaten van SIMDEUM of van metingen, dan de huidige ontwerprichtlijnen, gebaseerd op de $q\sqrt{n}$ -methode (Pieterse-Quirijns, 2008; Blokker, 2006). Bovendien kunnen de warmwaterverbruiken in verschillende tijdseenheden voorspeld worden met de rekenregels, terwijl de huidige ontwerpregels hierover geen uitspraak doen.

Voordat deze rekenregels de huidige regels gebaseerd op de $q\sqrt{n}$ -methode in ISSO-30 en ISSO-55 zullen vervangen is het noodzakelijk om de rekenregels eerst te valideren. Het model SIMDEUM is gevalideerd met een beperkte meetset. Bovendien is SIMDEUM alleen gevalideerd voor het totale waterverbruik, maar nog niet apart voor het warmwaterverbruik.

Het doel van dit rapport is in de eerste plaats om de rekenregels voor woongebouwen en woontorens te valideren met metingen van het koud- en warmwaterverbruik in woongebouwen, die uit verschillende type appartementen bestaan. In de tweede plaats wordt op basis van de resultaten van de validatie een aanbeveling gedaan om ISSO-30 en ISSO-55 aan te passen.

1.2 Aanpak

De aanpak die gevolgd is bestaat uit een aantal stappen:

1. Meten van het koud- en warmwaterverbruik

Uit de rekenregels volgt dat zowel de leidingwaterinstallatie als het type bewoners van belang zijn voor het waterverbruik. Voor de validatie moeten dus verschillende woongebouwen en woontorens bemeten worden. In overleg met TVVL Werkgroep ST-28 zijn daarom twee appartementgebouwen geselecteerd, die uit verschillende type appartementen bestaan. Beide appartementgebouwen zijn verschillend in karakter (luke, gezinssamenstelling) en in omvang. Binnen elk appartementgebouw is gedurende minimaal 30 dagen de volumestroom van het koud- en warmwater gemeten:

- a) appartementgebouw I: op 5 locaties in de leidingwaterinstallatie koud water en op 3 locaties warm water
- b) appartementgebouw II: het totaal koud water en het totaal warm water

2. Extraheren van kentallen

Uit elke meetserie worden de benodigde kentallen van het waterverbruik afgeleid:

MMV_{koud}	=	maximum moment volumestroom (MMV) voor het totaal van koud en warm water in [l/s].
MMV_{warm}	=	MMV voor warm water in [l/s]
MWW10	=	maximum warmwatervolume in 10 minuten in [l]
MWW60	=	maximum warmwatervolume in 60 minuten in [l]
MWW120	=	maximum warmwatervolume in 120 minuten in [l]
MWWdag	=	maximum warmwatervolume per dag in [l].

3. Validatie

De validatie van de rekenregels vindt vervolgens op twee niveaus plaats:

- 1) vergelijking van het afnamepatroon: is de basis van de rekenregels goed?
De gemeten afnamepatronen worden vergeleken met de met SIMDEUM gesimuleerde afnamepatronen. Als deze afnamepatronen met elkaar overeenkomen, is dit een indicatie dat de basis van de rekenregels solide is.
- 2) vergelijking van de kentallen: zijn de rekenregels betrouwbaar?
De gemeten kentallen worden vergeleken met de uitkomsten van de rekenregels. Hierdoor kan een uitspraak gedaan worden of de rekenregels betrouwbaar zijn.

4. Omzetten naar ontwerpreeksregels

Er is een procedure nodig die de rekenregels omzetten in ontwerpreeksregels, die door installateurs gebruikt kunnen worden via ISSO-handleidingen. Deze procedure bestaat uit de volgende stappen:

- a. het ontwikkelen van een unanieme aanpak voor het gebruik van de nieuwe ontwerpreeksregels voor woontorens en het vaststellen van de waarde van het aantal appartementen n waarvoor de rekenregels toepasbaar zijn.
- b. het ontwikkelen van een methode om een veiligheidsmarge/ontwerpmarge in de bestaande rekenregels voor woontorens op te nemen zodat ontwerpreeksregels ontstaan.
- c. het toetsen van een omrekenformule om de warmwaterhoeveelheden te berekenen bij andere uitgangstemperaturen.

De ontwerpreeksregels, inclusief de veiligheidsmarges, en de minimale waarde van het aantal appartementen, waarvoor de ontwerpreeksregels toepasbaar zijn, zijn verwerkt in het bijbehorende Excelbestand: KWR_2013_ontwerpreeksregels_woontoren.

Een extra validatie van de rekenregels voor woontorens heeft tot slot plaatsgevonden met meetgegevens van vier appartementgebouwen uit België.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de rekenregels voor woontorens kort beschreven. Met deze informatie kan de invoer van de rekenregels voor de twee gekozen appartementgebouwen bepaald worden. In hoofdstuk 3 wordt de validatieprocedure beschreven. Vervolgens wordt de validatie van appartementgebouw I beschreven in hoofdstuk 4 en van appartementgebouw II in hoofdstuk 5. Hoe de rekenregels vertaald kunnen worden naar ISSO-55 en of ze ook bij andere temperaturen toegepast kunnen worden staat centraal in hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 beschrijft een extra toetsing van de rekenregels met metingen van vier appartementgebouwen in België. In hoofdstuk 8 wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen.

2 Rekenregels voor woontorens

In de rekenregels voor woontorens komen zes standaardtypen appartementen voor. Deze standaardappartementen verschillen in bewonersklasse (gezinssamenstelling en werkend/niet-werkend), in oppervlakte, in aantal kamers en in uitvoering (aantal wc's, aanwezigheid van een bad, afwasmachine, etc). De appartementtypen zijn in Tabel 2-1 weergegeven.

SIMDEUM berekent het waterverbruik in een gebouw door het gedrag van de aanwezige gebruikers te modelleren, rekening houdend met de verschillen in installatie en in waterverbruikende apparaten. Voor het voorspellen van het waterverbruik met SIMDEUM zijn daarom de gezinssamenstelling en de gegevens over de leidingwaterinstallatie in Tabel 2-1 van belang. De oppervlakte van het appartement en het aantal kamers zijn toegevoegd om een vollediger beeld te krijgen van het type appartement. In Pieterse-Quirijns (2008) wordt de afleiding van de rekenregels voor woontorens tot 250 appartementen beschreven.

Om de rekenregels voor woontorens te kunnen toepassen in het ontwerp van een gebouw of validatie van het waterverbruik in een gebouw is er inzicht nodig in de te verwachten gebruikers: senioren hebben een ander waterverbruikend gedrag dan tieners. Natuurlijk is dit niet heel exact van te voren bekend, wel kan vaak een inschatting gemaakt worden. In Figuur 2-1 is een beslissingsschema te zien op basis waarvan een keuze gemaakt kan worden voor een type appartement. De keuze is gebaseerd op een vergelijking van de te verwachten gebruikers en de leidingwaterinstallatie per appartementtype op de bouwtekening met Tabel 2-1:

- a) gebruikers: maak inschatting van aantal bewoners. Bij 1 of 2 bewoners passen studio, luxe tweekamerappartement of senior, bij een gezin past een meerkamerappartement. Daarnaast is ook vaak bekend of de bewoners deelnemen aan het arbeidsproces (midden in de stad), en daardoor minder aanwezig zijn en dus minder water kunnen verbruiken. Daarom is het percentage werkend opgenomen in de tabel.
- b) de leidingwaterinstallatie: welk appartementtype in de tabel komt qua aantal tappunten en type (standaarddouche of comfortdouche) het meest overeen met de appartementen in het woongebouw (is de inrichting standaard of extra luxe?)

In de meeste gevallen voldoen de zes appartementtypen. Als de gedefinieerde appartementen niet voldoen, gelden de volgende overwegingen:

- a) kies de appartementtypen die het dichtstbij komen en vergelijk de uitkomsten van de rekenregels. Vaak leidt dit al tot een goede schatting.
- b) kijk of de mogelijkheden in Blokker (2007) voor eengezinswoningen beter voldoen en vergelijk deze uitkomsten met de rekenregels van de woongebouwen.
- c) als de bewoning nog niet duidelijk is, kan gekozen worden voor de twee uitersten. De consequenties van veranderende bewoning of toekomstveranderingen (vergrijzing) kunnen dan in de analyse/ontwerpen meegenomen worden.

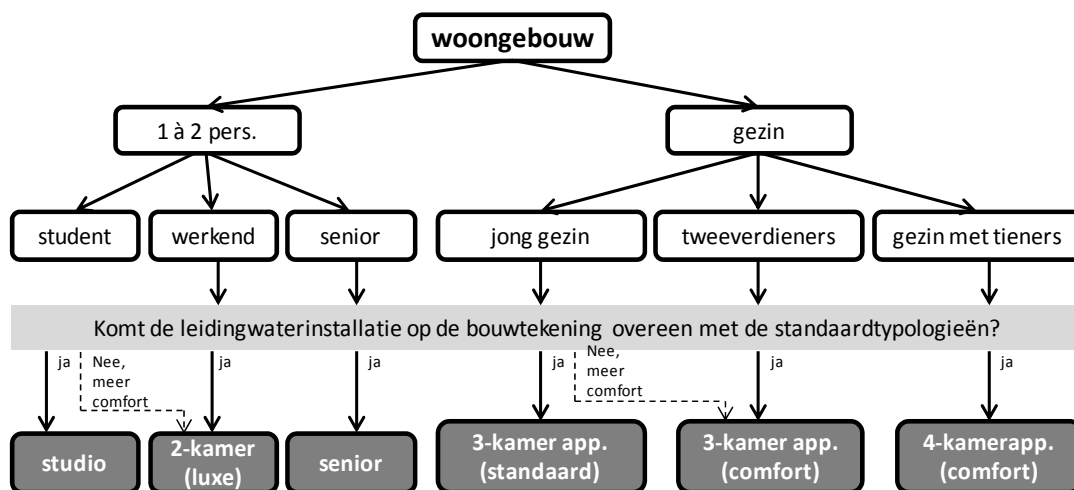
Tabel 2-1: Definiëring van de type appartementen, qua gezinssamenstelling, woonoppervlak, aantal kamers en opbouw leidingwaterinstallatie.

type appartement	bewonersklasse		opp. [m ²]	aantal kamers	leidingwaterinstallatie						
	gezinssamenstelling	bezetting			toilet	douche	bad	wastafel	keuken	afwas-mach.	was-mach.
<i>studio</i>	student of één werkende	1,2	50	1	1	1 standaard ^a	-	1	1	< gem. ^b	1
<i>luxe tweekamerappartement</i>	één persoon of tweeverdieners 1.7 werkend	1,5	100	2	2	50% comfort 50% spaar	1	2	1	>gem.	1
<i>driekamerappartement 120 m²</i>	gezin + evt. klein kind 1.2 werkend	2,2	120	3	2	1 standaard	1	2	1	gem.	1
<i>driekamerappartement 160 m²</i>	twee verdieners + evt. ouder kind 1.6 werkend	2,2	160	3	2	1 comfort 1 standaard	1	3	1	>gem.	1
<i>luxe vierkamerappartement</i>	gezin met tieners 1.3 werkend	2,5	250-300	4	3	1 comfort 1 standaard	groot bad ^c	3	1	>gem.	1
<i>seniorenappartement</i>	één of twee senioren	1,5	120	3	1	1 standaard	-	2	1	gem.	1

^a : standaard douche: 60% met spaarkop en 40% zonder.

^b: gem. staat voor gemiddeld

^c: groot bad impliceert ook aanwezigheid whirlpool en sauna



Figuur 2-1 Beslissingsschema voor keuze appartementtype in de rekenregels voor woontorens

3 Validatieprocedures

3.1 Inleiding

In de validatie worden de basis van de rekenregels en de uitkomsten ervan getoetst aan metingen. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de metingen zijn uitgevoerd, hoe de kentallen voor koud en warm water uit de metingen zijn afgeleid en hoe de vergelijking met de rekenregels heeft plaatsgevonden. Tot slot wordt beschreven hoe het verschil met de huidige richtlijnen wordt bepaald en hoe de consequenties voor het ontwerp van de leidingwaterinstallaties zijn afgeleid.

3.2 Meetmethode

Voor het meten van het koud- en warmwaterverbruik is de Proline Prosonic Flow meter gebruikt (Figuur 3-1). De Prosonic Flowmeter is een ultrasone meter in clamp-on uitvoering. De volumestroommeter wordt aan de buitenkant van de leiding bevestigd. Dit betekent dat er geen ingrepen hoeven te worden gedaan in installaties. Bovendien wordt de watertoevoer niet verstoord of beïnvloed.

De volumestroommeters zijn zodanig geïnstalleerd dat voldaan is aan de gewenste afstand van appendages, zoals bochten en afsluiters (Beverloo, 2011).

Om er absoluut zeker van te zijn dat het maximale waterverbruik wordt gemeten en geregistreerd, is elke seconde de volumestroom gemeten met een nauwkeurigheid van 0,5%. Dit is voor het eerst dat op zo'n kleine tijdschaal het waterverbruik van zowel het koude water (direct achter de watermeter) als het warme water zijn gemeten. Elke seconde werd het waterverbruik gemeten. Als het nodig was werd elke seconde de meting opgeslagen (woontoren II). Indien mogelijk werd om opslagruimte te besparen elke seconde gemeten, maar per minuut het maximum en het gemiddelde opgeslagen (woontoren I).



Figuur 3-1 Weergave van een Proline Prosonic volumestroommeter.

In twee woontorens is het koud- en warmwaterverbruik gemeten. In één woontoren was het mogelijk om op meerdere strengen het waterverbruik te meten met variërend aantal achterliggende appartementen: op 5 locaties in de leidingwaterinstallatie is koud water (=totaal water) gemeten, op 3 locaties het warm water. In de tweede woontoren was het alleen mogelijk om het totale waterverbruik van het gebouw te meten: 1 meetlocatie voor koud water en 1 meetlocatie voor warm water. Op elke meetlocatie vonden de metingen gedurende minimaal 30 dagen plaats.

3.3 Validatie van de basis en de uitkomsten van de rekenregels

Keuze van de appartementgebouwen

Voor de validatie zijn twee verschillende typen van appartementgebouwen gekozen, om de brede toepasbaarheid van de rekenregels te onderzoeken. De appartementgebouwen verschillen in karakter (type appartementen, luxe, gezinssamenstelling) en in omvang. In hoofdstuk 4 en 5 worden de appartementgebouwen in detail beschreven.

Vaststellen appartementtypen in woontoren

Voordat de rekenregels toegepast kunnen worden voor de bemeten woontorens, moeten de aanwezige appartementen onderverdeeld worden in de gedefinieerde typologieën in Tabel 2-1. Het keuzediagram van Figuur 2-1 is als hulpmiddel gebruikt om op basis van de leidingwaterinstallatie en het karakter van de woontoren het type en het aantal van de standaardappartementen te kiezen.

Validatie van de basis van de rekenregels

De basis van de rekenregels wordt getoetst door de gemiddelde gemeten afnamepatronen van koud en warm water te vergelijken met het gemiddelde van 100 gesimuleerde afnamepatronen voor de gekozen typen en aantallen van de standaardappartementen.

Validatie van de uitkomsten van de rekenregels

De rekenregels voorspellen een aantal kentallen van het waterverbruik, namelijk MMV_{koud} , MMV_{warm} en MWW in 10 minuten, 60 minuten, 120 minuten en een dag. Deze kentallen worden uit de meetseries op secondebasis afgeleid als:

$$\bar{X} + 3 \cdot \sigma \quad (1)$$

waarin:

- \bar{X} = de gemiddelde waarde van de kentallen uit minimaal 30 gemeten dagelijkse afnamepatronen
 σ = de standaard deviatie binnen de gemeten kentallen

De resulterende waarden voor MMV_{koud} , MMV_{warm} en MWW vertegenwoordigen het 99,7-percentiel. Dat betekent dat 99,7% van de kentallen beneden deze waarde vallen.

De afwijking van de rekenregels voor de gekozen typen en aantallen van de standaardappartementen ten opzichte van de gemeten waarde wordt uitgedrukt als:

$$r\Delta = \frac{X_{rekenregel} - X_{meting}}{X_{meting}} \cdot 100\% \quad (2)$$

waarin:

- $r\Delta$ = relatieve afwijking ten opzichte van de meting [%]
 X = het betreffende kental: MMV_{koud} , MMV_{warm} of MWW

3.4 Vergelijking met bestaande richtlijnen en consequenties voor de ontwerpen

3.4.1 Bestaande richtlijnen voor waterverbruik in woongebouwen

Voor woongebouwen geldt als richtlijn de $q\sqrt{n}$ -methode. Binnen deze methode worden alle tappunten geïnventariseerd. Voor elk tappunt wordt het aantal tapeenheden (TE) vastgesteld op basis van de waarden gegeven in ISSO-55. In Tabel 3-1 en Tabel 3-2 zijn de waarden voor TE weergegeven die gebruikt zijn voor de tappunten in appartementen met een standaard uitvoering van de sanitaire voorzieningen en in appartementen met een luxere uitvoering. Op basis van de som van het aantal TE kan dan de MMV als volgt berekend worden:

$$MMV_{koud} = 0,083 \cdot \sqrt{\sum TE_{koud}} \quad [l/s] \quad (3)$$

$$MMV_{warm} = 0,083 \cdot \sqrt{\sum TE_{warm}} \quad [l/s] \quad (4)$$

waarin:

TE_{koud} = tapeenheden van koud en warmwater van een tappunt

TE_{warm} = tapeenheden van warm water van een tappunt

Bij het berekenen van de MMV voor warm water is geen rekening gehouden met gelijktijdigheidsklassen volgens de procedure in ISSO-30. In de rekenregels voor woontorens is uitgegaan van de hoogste gelijktijdigheidsklasse III.

Voor de warmwaterverbruiken in een bepaalde tijdsperiode, de MWW, bestaan geen richtlijnen.

De bestaande richtlijnen zijn op vergelijkbare manier vergeleken met de metingen, namelijk als:

$$r\Delta = \frac{X_{bestaande\ richtlijn} - X_{meting}}{X_{meting}} \cdot 100\% \quad (5)$$

waarin:

rΔ = relatieve afwijking ten opzichte van de meting [%]

X = het betreffende kental: MMV_{koud} of MMV_{warm}

Tabel 3-1 Tapeenheden voor koud en warm water toegepast in de $q\sqrt{n}$ -methode voor standaarduitvoering van appartementen (woontoren II)

tapeenheden	wc	fontein	wastafel	douche	bad	aanrecht	was- machine	vaatwas- machine
koud water	0,25	0,25	1	1	-	4	4	4
warm water	0	0	0,25	0,5	-	1	0	0

Tabel 3-2 Tapeenheden voor koud en warm water toegepast in de $q\sqrt{h}$ -methode voor luxere uitvoering van appartementen (woontoren I)

tapeenheden	wc	fontein	wastafel	douche	bad	aanrecht	was- machine	vaatwas- machine
koud water	0,25	0,25	1	9	6	4	4	4
warm water	0	0	0,25	4	3	1	0	0

3.4.2 Consequenties voor ontwerp

Consequenties voor ontwerp leidingdiameter

Het ontwerp van de leidingdiameter is gebaseerd op de MMV. De maximale stroomsnelheid, v_{max} bepaalt de inwendige leidingdiameter, d_{in} :

$$d_{in} = \sqrt{\frac{MMV / 1000}{0.25 \cdot \pi \cdot v_{max}}} \cdot 1000 \text{ [mm]} \quad (6)$$

Voor v_{max} is een maximale toelaatbare stroomsnelheid van 2 m/s genomen. De resulterende interne diameter wordt vergeleken met bestaande diameters van koperen leidingen, die beperkt zijn in aantal/range. De kleinste koperen leiding die aan de berekende inwendige diameter voldoet wordt geselecteerd.

Aan de hand van de MMV kan de leidingdiameter gekozen worden voor het totale traject. Er dient een controle uitgevoerd te worden op maximum drukverlies. Als het drukverlies ontoelaatbaar hoog is, is een vergroting van de diameter gewenst.

De consequenties van het gebruik van de rekenregels voor het ontwerp van de leidingdiameter worden bepaald, door de diameters, die volgen uit vergelijking 6 met de MMV verkregen met de verschillende richtlijnen, te vergeleken met de diameters die volgen uit de gemeten MMV.

Consequenties voor ontwerp warmwaterbereider

Voor de keuze van de warmwaterbereider, uitgedrukt in vermogen en inhoud van het voorraadvat, is in de herziene versie van ISSO-55 een ontwerpprocedure opgenomen. Op basis van de uitkomsten van de rekenregels voor warmwaterverbruik, namelijk MMV_{warm} , MWW_{10} , MWW_{60} , MWW_{120} , MWW_{dag} kan met behulp van de bijbehorende tool een benodigde combinatie van vermogen en inhoud van de warmwaterbereider geselecteerd worden.

Om de consequenties van het gebruik van de rekenregels voor het ontwerp van de warmwaterbereider te onderzoeken, zijn de dimensies voor de warmwaterbereider vergeleken met voorstellen van fabrikanten. Voor de woontorens waarin het waterverbruik is gemeten, is hiertoe op basis van de karakteristieke eigenschappen van de aanwezige appartementen een ontwerp van een warmwaterbereider opgevraagd bij fabrikanten.

4 Validatie rekenregels woontorens: woontoren I

4.1 Inleiding

De validatie van de rekenregels voor het waterverbruik in woontorens vindt plaats met metingen van het waterverbruik in twee verschillende appartementgebouwen, variërend in karakter en omvang. In dit hoofdstuk worden de rekenregels getoetst met metingen van het waterverbruik in woontoren I. In deze woontoren was het mogelijk om op meerdere locaties in het gebouw, met verschillend aantal achterliggende appartementen, het koud- en warmwaterverbruik te meten. Na een inventarisatie van het type appartementen in woontoren I en de keuze van de bijbehorende appartementtypologieën van de rekenregels, worden de metingen beschreven. Vervolgens worden de metingen getoetst op twee niveaus. Eerst wordt het gemeten dagelijks patroon van het waterverbruik vergeleken met het gesimuleerde waterverbruik, dat ten grondslag ligt aan de rekenregels. Daarna worden de uitkomsten van de rekenregels vergeleken met de waarde van de kentallen die uit de metingen afgeleid worden. Tot slot worden de rekenregels vergeleken met huidige richtlijnen en de consequenties voor het ontwerp van de leidingwaterinstallatie beschreven.

4.2 Karakterisering woontoren I

Woontoren I bestaat uit 213 luxe appartementen, die variëren in leidingwaterinstallatie. De hoogste toren is 23 verdiepingen hoog. In bijlage I zijn de tappunten in de verschillende appartementen weergegeven. Uit de bijlage blijkt dat er een groot aantal verschillende appartementen in de woontoren voorkomen, echter op basis van de leidingwaterinstallatie bestaan er slechts drie onderscheidende types (Tabel 4-1). De standaard woningtypologieën van de rekenregels die eenzelfde leidingwaterinstallatie hebben (Tabel 2-1) zijn in dezelfde tabel weergegeven. Voor het invullen van de rekenregels kan dus op basis van de leidingwaterinstallatie gekozen worden voor studio, luxe tweekamerappartement of standaard driekamerappartement en een luxe vierkamerappartement.

Tabel 4-1 Leidingwaterinstallatie van de appartementen in woontoren I en corresponderende standaardtype in de rekenregels

appartement- type woontoren I	wc	fontein	wastafel	douche	bad	aanrecht	was- machine	vaatwas- machine	standaard appartementtype rekenregel
type I	1	1	1 of 2	1	-	1	1	1	studio
type II	2	1 of 2	1 of 2	1	1	1	1	1	luxe twee kamer of standaard drie kamer
type III	3	1	3	2	1	1	1	1	luxe vier kamer

Naast de leidingwaterinstallatie, zijn de gebruikers essentieel in de berekening voor het waterverbruik. In het appartementencomplex wonen voornamelijk expats, die voor een Nederlands bedrijf werkzaam zijn. In minder dan 5% van de appartementen woont een gezin. Dit betekent dat voor het appartementtype II in de woontoren niet een standaard driekamerappartement gekozen kan worden als invoer van de rekenregels. Er komen 139 appartementen van type II in de woontoren voor. Bij een keuze van standaard driekamerappartement in de rekenregels (met 20% gezinnen) leidt dit tot 28

appartementen met gezinnen. Dit komt niet overeen met de praktijk (<5%). Daarnaast wordt het appartementencomplex gekenmerkt door het luxe karakter ervan. Het is daarom niet aannemelijk dat type I overeenkomt met een studio, omdat die in de rekenregels een standaard uitvoering heeft. Voor type I wordt daarom ook een luxe tweekamerappartement gekozen als invoer van de rekenregels. In deze standaardtypologie is wel een bad aanwezig, maar door de lage gebruiksfrequentie zal het effect daarvan op het berekende waterverbruik niet groot zijn.

Op basis van de leidingwaterinstallatie en het karakter van de woontoren (luxe woontoren met voornamelijk werkende mensen) zijn de aanwezige appartementen dus onderverdeeld in de standaard typologieën: luxe tweekamerappartementen en luxe vierkamerappartementen. In Tabel 4-2 is deze keuze weergegeven als invuloptie 1. In dit hoofdstuk worden de resultaten van deze invuloptie beschreven. Ter illustratie worden in bijlage II de resultaten beschreven als voor type I het standaardtype 'studio' wordt gekozen (invuloptie 2 in Tabel 4-2).

Woontoren I bestaat uit verschillende drukgroepen (etages), die hun eigen streng hebben. Daardoor is het mogelijk om in woontoren I het waterverbruik van variërend aantal en type appartementen te bemeten. In Tabel 4-2 zijn de aanwezige appartementen per type per drukgroep aangegeven, die als invoer van de rekenregels dienen.

De bezetting van woontoren I is 85%. In dit geval stonden dus ongeveer 32 appartementen leeg. Er is aangenomen dat de 85% bezetting evenredig is verdeeld over de woontoren.

Tabel 4-2 Het aantal appartementen van een typologie per drukgroep/streng in woontoren I

aantal appartementen drukgroep/streng	invuloptie 1 ^a		studio (type I)	invuloptie 2 ^a	
	luxe twee kamer (type I+type II)	luxe vier kamer (type III)		luxe twee kamer (type II)	luxe vier kamer (type III)
24	22	2	3	19	2
59	55	4	12	43	4
68	64	4	10	54	4
86	84	3	42	42	3
213	203	10	64	139	10

ad^a: voor invulling van de rekenregels worden de aantallen met de bezetting vermenigvuldigd (85%)

4.3 Metingen van het waterverbruik in woontoren I

In woontoren I kan van 24 en 213 appartementen het koud (= totaal) waterverbruik gemeten worden; van 59, 68 en 86 appartementen kan zowel het koud- als het warmwaterverbruik gemeten worden. De kenmerken van de metingen zijn weergegeven in Tabel 4-3. Ter informatie zijn het aantal week- en weekenddagen weergegeven. De analyse vindt plaats op alle gemeten data.

Tabel 4-3 Uitgevoerde metingen van het koud- en/of warmwaterverbruik van variërend aantal en type appartementen in woontoren I

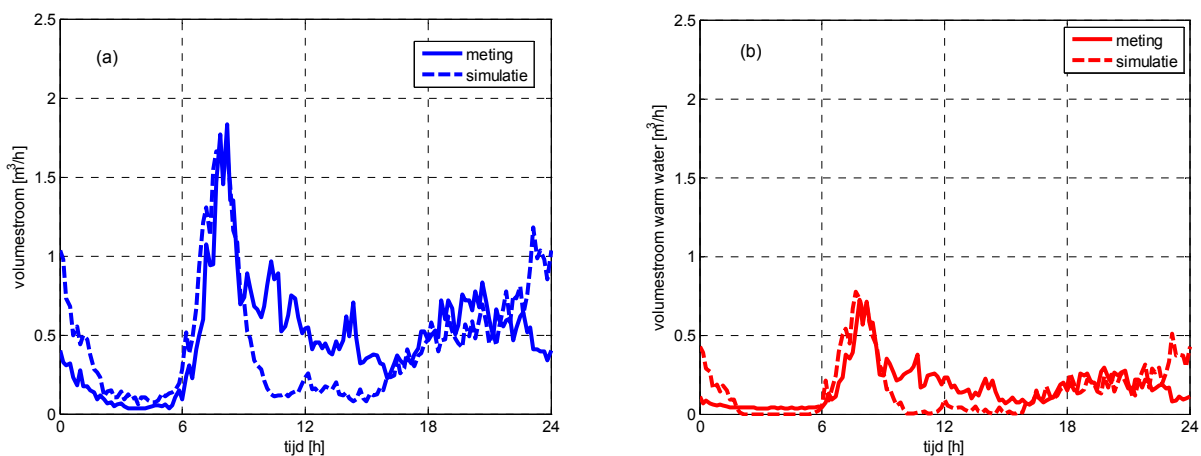
aantal bemeten app.	meetperiode	koud/warm	aantal dagen	weekdagen	weekend-dagen
24	20-03-2010 tot 02-04-2010	koud	13 ^a	10	3
59	20-03-2010 tot 19-04-2010	koud en warm	30	20	10
68	21-04-2010 tot 07-06-2010	koud	47	33	14
	09-06-2010 tot 14-07-2010	koud en warm	35	25	10
86	20-03-2010 tot 19-04-2010	koud	30	21	9
	09-06-2010 tot 09-07-2010	koud en warm	26	20	6
213	21-10-2009 tot 01-12-2009	koud	32	22	9

ad^a: van de totale meetperiode zijn slechts 13 dagen beschikbaar, doordat iemand de stekker uit het stopcontact had getrokken.

4.4 Validatie basis rekenregels met gemeten dagpatroon

De basis van de rekenregels is getoetst door het gemeten dagpatroon voor koud- en warmwaterverbruik te vergelijken met het gesimuleerde patroon. Het waterverbruik van de standaardappartementen, waarop de rekenregels zijn gebaseerd, is gesimuleerd volgens invuloptie 1 van Tabel 4-2. Voor de drukgroep met 59 appartementen is de vergelijking tussen de meting en de simulatie van zowel koud- als warmwaterverbruik te zien in Figuur 4-1.

De figuur laat duidelijk zien dat het gesimuleerde waterverbruik van een woontoren bestaande uit de gestandaardiseerde woningtypologieën een hele goede voorspelling geeft van zowel het koud- als van het warmwaterverbruik. De pieken vinden op hetzelfde tijdstip plaats en zijn even hoog. Alleen het nachtverbruik is in de simulatie hoger. Daarnaast wordt gedurende de dag in werkelijkheid meer water verbruikt dan gesimuleerd. Waarschijnlijk zijn er gedurende de dag meer mensen aanwezig dan



Figuur 4-1 Het gemeten (—) en gesimuleerde (---) gemiddelde afnamepatroon van de drukgroep met 59 appartementen in woontoren I voor a) koud water (=totaal water) en b) warm water (weergave met een tijdschaal van 10 minuten).

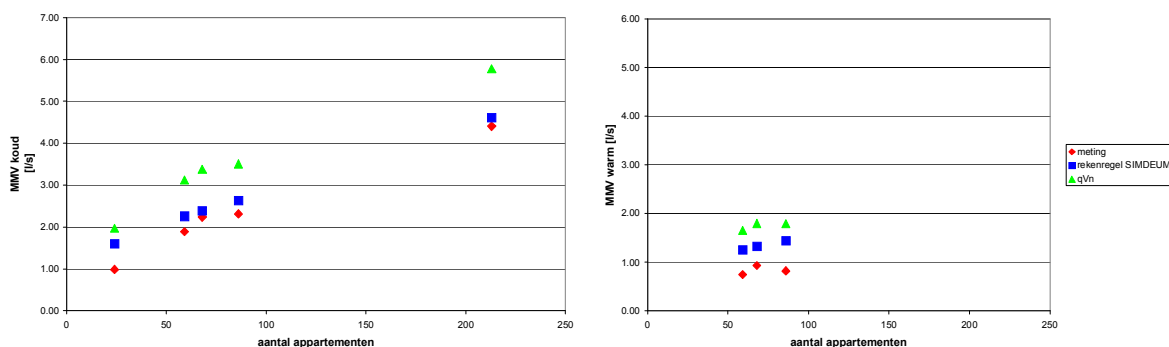
aangenomen in de simulatie. Uit de figuur blijkt dus duidelijk dat met SIMDEUM goed inzicht wordt verkregen in het warmwaterverbruik in een woontoren, niet alleen in het piekverbruik, maar ook in het verloop van het verbruik gedurende de dag. De overeenkomst tussen de metingen en de berekende afnamepatronen toont aan dat de basis voor de rekenregels betrouwbaar is.

4.5 Validatie van de uitkomsten van de rekenregels met gemeten kentallen

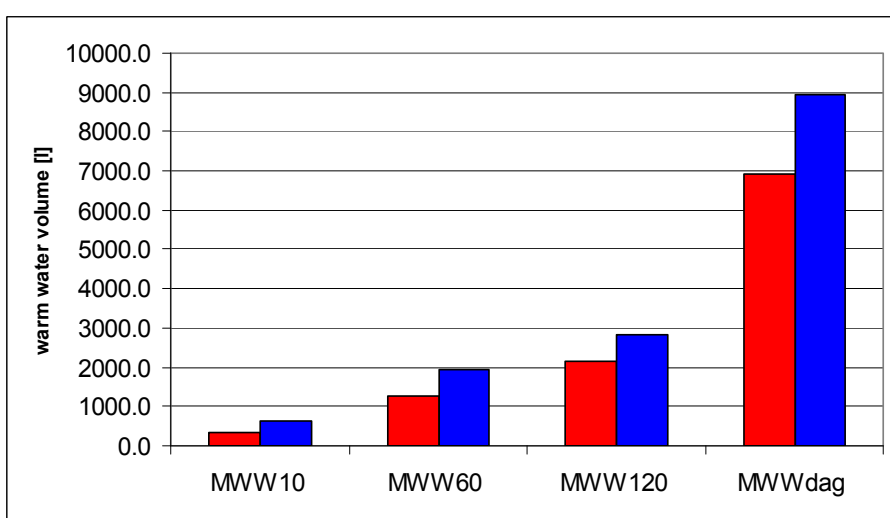
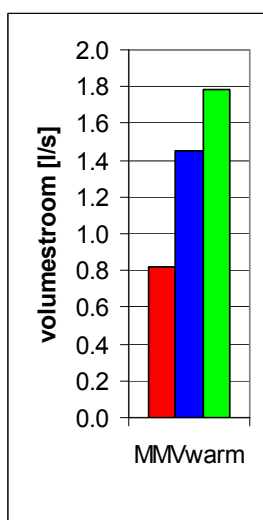
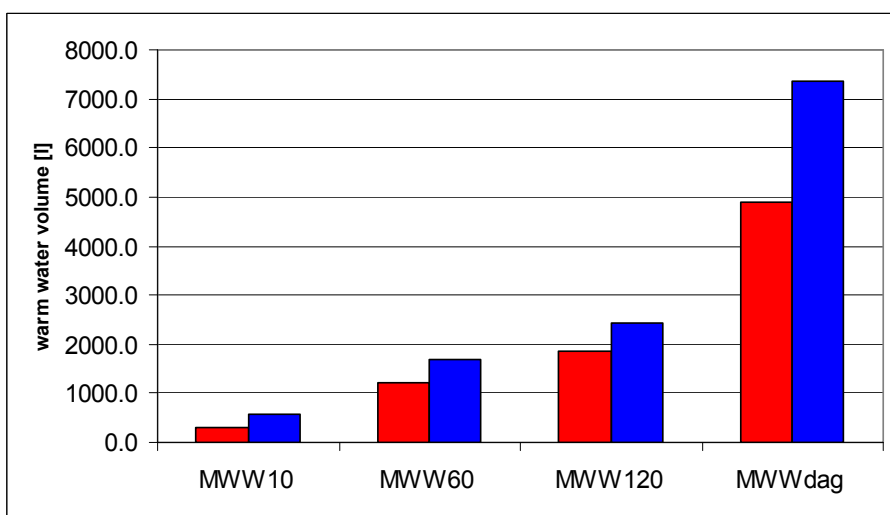
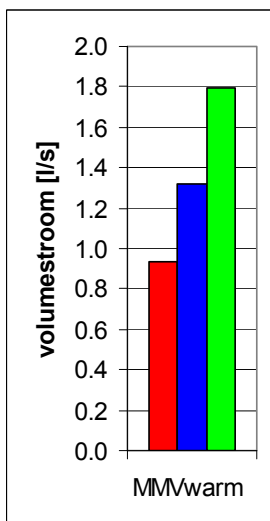
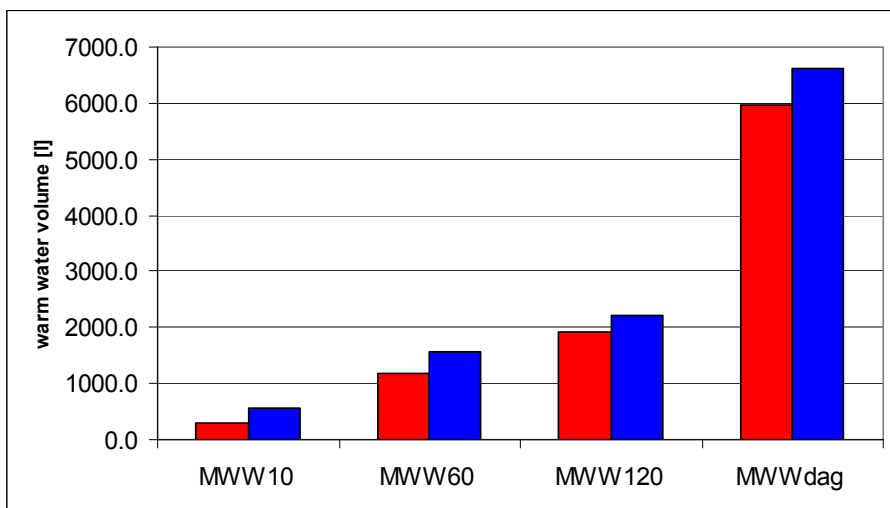
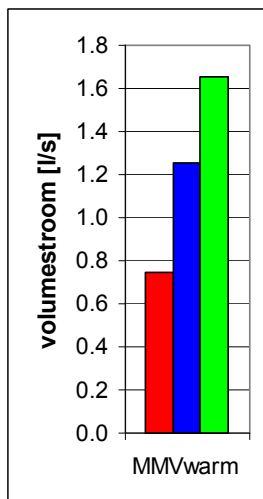
Als het afnamepatroon van het waterverbruik gedurende de gehele dag goed voorspeld wordt, geeft dit vertrouwen in een goede berekening van de kentallen die de maxima beschrijven van het waterverbruik. In Tabel 4-4 zijn voor elke drukgroep en voor het totaal waterverbruik van woontoren I de gemeten kentallen en de uitkomsten van de rekenregels bij invuloptie 1 te zien. In Figuur 4-2 en Figuur 4-3 zijn de resultaten grafisch weergegeven.

De resultaten in de tabel en in beide figuren laat zien dat de rekenregels het maximum moment volumestroom voor koud water (MMV_{koud}) goed voorspelt. Het warmwaterverbruik wordt enigszins overschat. Een mogelijke verklaring voor deze overschatting is dat de temperatuur van het koude en/of het warme water afwijkt van wat in de simulaties is verondersteld. De uitgangspunten voor de rekenregels (en dus voor de simulaties) is een koudwatertemperatuur van 10 °C en een warmwatertemperatuur van 60 °C, in overeenstemming met ISSO-55. Uit Figuur 4-4 blijkt dat de totale hoeveelheid water vergelijkbaar is, maar dat er meer warm water wordt berekend in de simulaties. Wanneer de temperatuur van het warme water in werkelijkheid hoger is dan 60°C of als de koudwatertemperatuur hoger is dan 10 °C (wat mogelijk is gezien de meetperiode) is er minder warm water nodig om de gewenste temperatuur aan de tap te krijgen. De totale volumestroom blijft wel vergelijkbaar omdat een totale hoeveelheid water gewenst is. Hoofdstuk 6 beschrijft een methode om de kentallen om te rekenen naar temperaturen die afwijken van de uitgangstemperaturen van 10 °C en 60 °C.

Een andere mogelijkheid voor de overschatting is dat de appartementen minder luxe zijn dan gekozen in de invoer van de rekenregels. Wanneer voor de type I appartementen in woontoren I, het standaardtype 'studio' wordt gekozen (invuloptie 2 in Tabel 4-2), ligt het voorspelde warmwaterverbruik dichterbij de metingen (bijlage II).



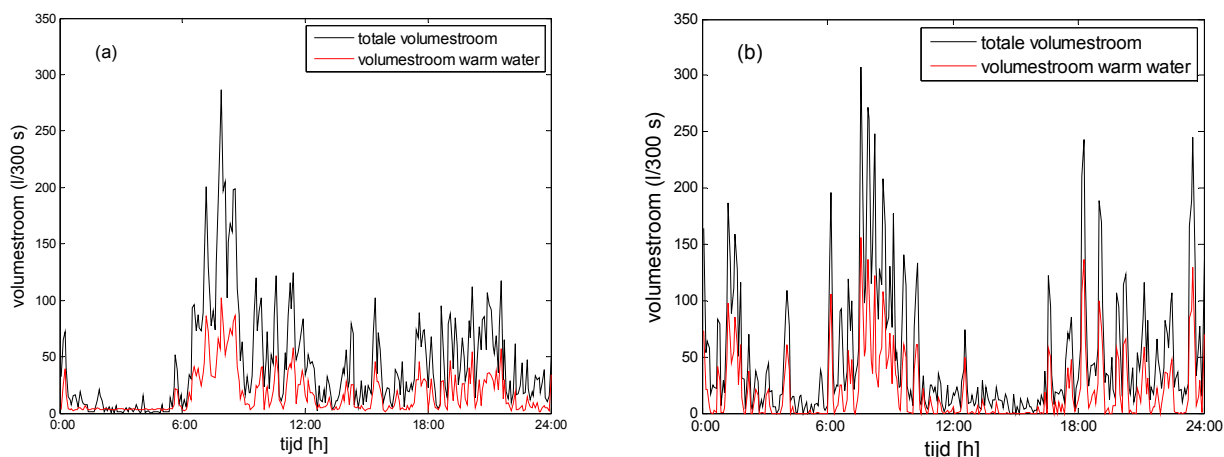
Figuur 4-2 De maximum moment volumestroom voor koud (a) en warm (b) water voor een variërend aantal appartementen in woontoren I, afgeleid uit metingen, de rekenregels en de huidige ontwerpformule gebaseerd op qVh .



Figuur 4-3 De kentallen voor warmwaterverbruik voor 59, 68 en 86 appartementen in woontoren I, afgeleid uit metingen (rood), berekend met de rekenregels (blauw) en berekend met de $q_v n$ methode voor MMV (groen). Er bestaan geen andere richtlijnen om deze kentallen te berekenen.

Tabel 4-4 Vergelijking van de kentallen afgeleid uit metingen, berekend met de rekenregels gebaseerd op SIMDEUM en berekend met de gangbare richtlijn voor woontoren I (invuloptie 1)

aantal app.	kental		meting	rekenregel SIMDEUM		q _v n	
				kental	afwijking tov meting [%]	kental	afwijking tov meting [%]
24	MMV_koud	[l/s]	0,99	1,6	62	1,97	100
59	MMV koud	[l/s]	1,89	2,3	19	3,12	65
	MMV warm	[l/s]	0,75	1,3	68		
	MWW in 10 min.	[l]	284,44	547,1	92		
	MWW in 60 min.	[l]	1195,96	1569,5	31		
	MWW in 120 min.	[l]	1933,55	2216,3	15		
	MWW in een dag	[l]	5954,16	6604,9	11	1,65	120
68	MMV koud	[l/s]	2,23	2,4	7	3,38	51
	MMV warm	[l/s]	0,93	1,3	42		
	MWW in 10 min.	[l]	316,06	577,1	83		
	MWW in 60 min.	[l]	1211,68	1689,8	39		
	MWW in 120 min.	[l]	1864,18	2422,2	30		
	MWW in een dag	[l]	4900,00	7346,8	50	1,80	93
86	MMV koud	[l/s]	2,32	2,6	14	3,51	51
	MMV warm	[l/s]	0,82	1,4	76		
	MWW in 10 min.	[l]	318,69	632,5	98		
	MWW in 60 min.	[l]	1254,14	1934,9	54		
	MWW in 120 min.	[l]	2142,67	2845,7	33		
	MWW in een dag	[l]	6913,75	8945,6	29	1,79	118
213	MMV koud	[l/s]	4,40	4,61	5	5,78	31



Figuur 4-4 Een voorbeeld van een gemeten verbruikspatroon voor 59 appartementen voor koud en warm water (a) en een gesimuleerd patroon (b)

4.6 Vergelijking met bestaande richtlijnen

4.6.1 Maximum moment volumestroom en consequenties voor ontwerp leidingdiameter

De uitkomsten van de rekenregels voor MMV_{koud} en MMV_{warm} zijn vergeleken met de uitkomsten van bestaande richtlijnen, de $q\sqrt{n}$ -methode. Het aantal tapeenheden (TE) per appartement verschilt. In Tabel 3-2 is het aantal TE opgenomen, dat voor elk tappunt gebruikt is. Per appartement is het aantal TE bepaald en opgeteld. Vervolgens is per drukgroep de TE van de aanwezige appartementen opgeteld. Ook bij de toepassing van de $q\sqrt{n}$ -methode is de bezetting van 85% meegenomen. In Tabel 4-4 en Figuur 4-2 zijn de uitkomsten van de $q\sqrt{n}$ -methode weergegeven.

De $q\sqrt{n}$ -methode overschat de MMV_{koud} en MMV_{warm} aanzienlijk, 30-110% voor MMV_{koud} en 90-120% voor MMV_{warm} ten opzichte van de metingen. De figuren laten duidelijk zien dat de nieuwe rekenregels een betere voorspelling van het waterverbruik geven. Ze liggen dichterbij de metingen. De waarden voor MMV berekend met de $q\sqrt{n}$ -methode zijn een factor 1,25 tot 1,4 groter dan de waarden berekend met de rekenregels. Dit betekent dat de leidingdiameters, die geselecteerd worden op basis van de MMV , kleiner zullen zijn bij toepassing van de nieuwe rekenregels.

In Tabel 4-5 zijn de consequenties te zien voor de keuze van de leidingdiameters. De nieuwe rekenregels leiden tot dezelfde of kleinere diameters dan de $q\sqrt{n}$ -methode. Vooral voor de warmwaterleidingen resulteren de nieuwe rekenregels in een kleinere diameter. De diameters op basis van de rekenregels zijn gelijk of groter dan de diameters die volgen uit de gemeten MMV . Dit betekent dat ze toereikend zijn voor de daadwerkelijke watervraag en dus voldoen aan de comforteis van de gebruikers.

Tabel 4-5 Keuze van de diameter van bestaande koperen leidingen voor de distributie van koud of warm water op basis van de gemeten MMV (d_{meting}), op basis van de rekenregels gebaseerd op SIMDEUM ($d_{rekenregel}$) en op basis van de oude richtlijn, de $q\sqrt{n}$ -methode ($d_{oude\ richtlijn}$) voor woontoren I

aantal app.	leiding voor	keuze leidingdiameter [mm]		
		d_{meting}	$d_{rekenregel}$	$d_{oude\ richtlijn}$
24	koud water	28	42	42
59	koud water	42	42	54
	warm water	28	35	42
68	koud water	42	54	54
	warm water	28	35	42
86	koud water	42	54	54
	warm water	28	35	42
213	koud water	64	64	76

4.6.2 Warmwaterverbruik en consequenties voor ontwerp warmwaterbereider

Voor het warmwaterverbruik bestonden tot nu toe geen richtlijnen. De inzichten in het warmwaterverbruik met de rekenregels zijn hierdoor een enorme winst. Het ontwerp voor een warmwaterbereider op basis van de rekenregels is vergeleken met het ontwerp op basis van het gemeten warmwaterverbruik en met het ontwerp dat voorgesteld is door een fabrikant op basis van de eigenschappen van de aanwezige appartementen (Tabel 4-6). Alleen de drukgroep met 59 appartementen is voorgelegd aan de fabrikant, waardoor alleen de resultaten van deze drukgroep weergegeven is in Tabel 4-6. De kentallen voor het warmwaterverbruik berekend met de rekenregels resulteren in kleinere dimensies van de warmwaterbereider dan het voorstel van de fabrikant. De dimensies zijn ongeveer 2x kleiner dan voorgesteld door de fabrikant. Ze zijn vergelijkbaar met de dimensies en het vermogen die volgen uit het daadwerkelijke warmwaterverbruik, afgeleid uit de metingen. Dat betekent dat de zuinigere ontwerpen op basis van de rekenregels voldoen aan de gewenste comforteis van de gebruikers.

Tabel 4-6 Dimensies van een warmwaterbereider voor de druk groep van 59 appartementen in woontoren I, uitgedrukt in volume van het voorraadvat en het benodigde vermogen in kW op basis van het gemeten warmwaterverbruik, op basis van de kentallen van de rekenregels en het voorstel van een fabrikant.

woontoren I	dimensies op basis van metingen		dimensies op basis van rekenregels		voorstel fabrikant	
	volume [l]	vermogen [kW]	volume [l]	vermogen [kW]	volume [l]	vermogen [kW]
59 appartementen	500	55	500	82	1000	80

5 Validatie rekenregels woontorens: woontoren II

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de rekenregels getoetst met metingen van het waterverbruik in woontoren II. Na een inventarisatie van het type appartementen in woontoren II en de keuze van de bijbehorende appartementstypologieën van de rekenregels, worden de metingen beschreven. Vervolgens worden de metingen getoetst op twee niveaus. Eerst wordt het gemeten dagelijks patroon van het waterverbruik vergeleken met het gesimuleerde waterverbruik, dat ten grondslag ligt aan de rekenregels. Daarna worden de uitkomsten van de rekenregels vergeleken met de waarde van de kentallen die uit de metingen afgeleid worden. Tot slot worden de rekenregels vergeleken met huidige richtlijnen en de consequenties voor het ontwerp van de leidingwaterinstallatie beschreven.

5.2 Karakterisering woontoren II

Woontoren II bestaat uit 99 appartementen, 33 appartementen in de laagbouw en 66 appartementen in de hoogbouw. De leidingwaterinstallatie van alle appartementen is hetzelfde (Tabel 5-1), echter de bewoning is zeer verschillend: 60% van de appartementen wordt bewoond door senioren, 15% door gezinnen, 15% door alleenstaanden en 10% door mensen met een beperking.

Voor het invullen van de rekenregels kan op basis van de leidingwaterinstallatie gekozen worden voor drie standaardtypologieën: studio, standaard driekamerappartement en een seniorenappartement. In het standaard driekamerappartement is wel een bad aanwezig, maar door de lage gebruiksfrequentie zal het effect daarvan op het berekende waterverbruik niet groot zijn. De bewoning van de appartementen bepaalt de definitieve keuze, namelijk 60% seniorenappartementen, 15% standaard driekamerappartement en 25% studio. Hierbij is aangenomen dat de appartementen die bewoond worden door mensen met een beperking overeenkomen met het standaardtype 'studio'. De uiteindelijke invoer voor de rekenregels is ook in Tabel 5-1 weergegeven.

Tabel 5-1 Leidingwaterinstallatie van de appartementen in woontoren II en corresponderende standaardtype in de rekenregels

leidingwaterinstallatie in appartement woontoren II								standaard appartementtype rekenregel	aantallen in woontoren II
wc	fontein	wastafel	douche	bad	aanrecht	was-machine	vaatwas-machine		
1	1	2	1	-	1	1	1	studio	25
								standaard driekamerappartement	15
								seniorenappartement	60

5.3 Metingen van het waterverbruik in woontoren II

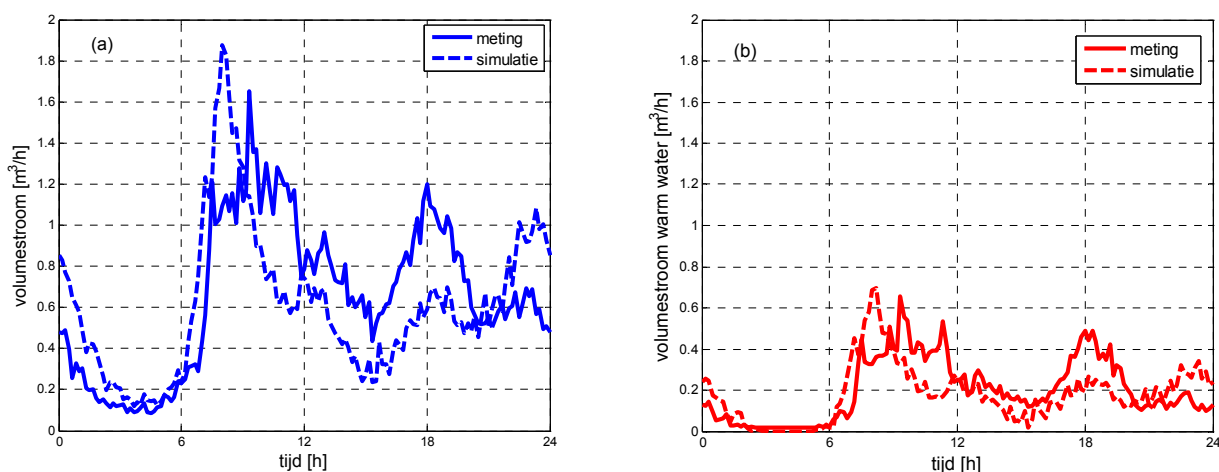
In woontoren II is zowel het koud- als het warmwaterverbruik in de gehele woontoren gemeten. De kenmerken van de metingen zijn weergegeven in Tabel 5-2. In woontoren II kon de volumestroommeter niet voor de watermeter geïnstalleerd worden. Daarom is na de afsplitsing na de watermeter elke seconde het koud en warmwaterverbruik gemeten. Voor het afnamepatroon van het totale water, waaruit MMV_{koud} afgeleid wordt, worden deze bij elkaar opgeteld.

Tabel 5-2 Uitgevoerde metingen van het koud- en warmwaterverbruik in woontoren II

aantal bemen app.	meetperiode	koud/warm	aantal dagen	weekdagen	weekend-dagen
99	29-10-2011 tot 01-12-2011	koud en warm	29	19	10

5.4 Validatie basis rekenregels met gemeten dagpatroon

De basis van de rekenregels is getoetst door het gemeten dagpatroon voor koud- en warmwaterverbruik te vergelijken met het gesimuleerde patroon. Het waterverbruik van de standaardappartementen, waarop de rekenregels zijn gebaseerd, is gesimuleerd volgens de invoer genoemd in Tabel 5-1.



Figuur 5-1 Het gemeten (—) en gesimuleerde (- -) gemiddelde afnamepatroon in woontoren II voor a) koud water (=totaal water) en b) warm water (weergave met een tijdschaal van 10 minuten).

De figuur laat duidelijk zien dat het gesimuleerde waterverbruik van een woontoren bestaande uit de gestandaardiseerde woningtypologieën een goede voorspelling geeft van zowel het koud- als van het warmwaterverbruik. Het waterverbruik in de ochtend en gedurende de dag zijn vergelijkbaar. De gemeten ochtendpiek duurt wat langer. Het avondverbruik vindt in de simulaties later plaats, waardoor het gesimuleerde nachtverbruik hoger is.

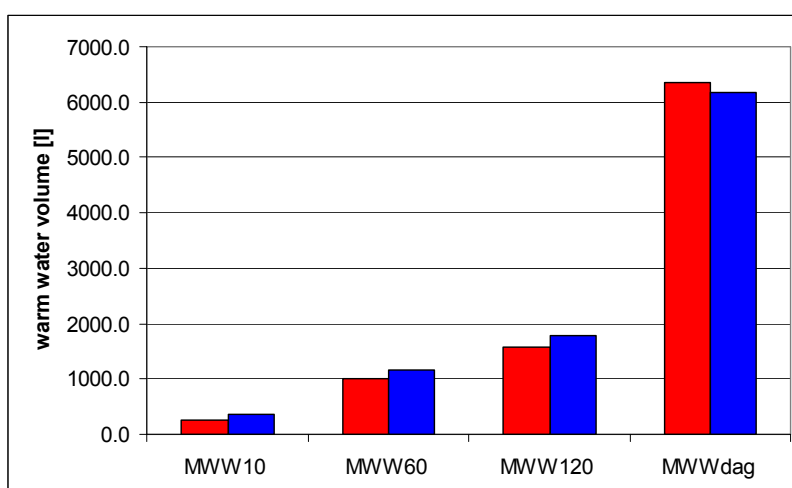
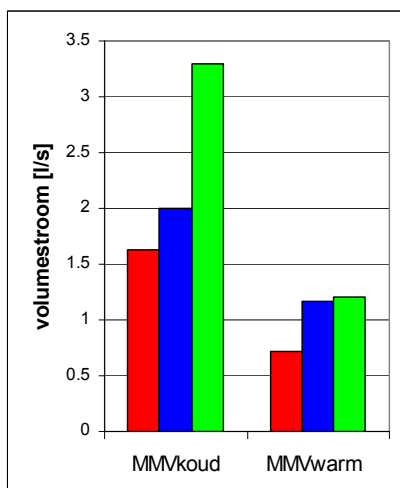
5.5 Validatie van de uitkomsten van de rekenregels met gemeten kentallen

De voorspelling van het waterverbruik door de rekenregels wordt getoetst door de uitkomsten van de rekenregels te vergelijken met de kentallen, die uit het gemeten waterverbruik afgeleid kunnen worden. In Tabel 5-3 zijn de gemeten kentallen voor koud- en warmwaterverbruik voor woontoren II te zien, samen met de uitkomsten van de rekenregels bij de gekozen invoer. In Figuur 5-2 is de vergelijking voor het warmwaterverbruik grafisch weergegeven.

De resultaten in Tabel 5-3 en Figuur 5-2 laten zien dat de rekenregels een goede schatting van het koud- en warmwaterverbruik geven; de afwijkingen variëren tussen -3 en 34%. Alleen de maximum moment volumestroom voor warmwater wordt door de rekenregels overschat met meer dan 35%, namelijk 63%.

Tabel 5-3 Vergelijking van de kentallen afgeleid uit metingen, berekend met de rekenregels gebaseerd op SIMDEUM en berekend met de gangbare richtlijn voor woontoren II

aantal app.	kental	meting	rekenregel SIMDEUM		q _v n	
			kental	afwijking tov meting [%]	kental	afwijking tov meting [%]
99	MMV koud [l/s]	1,63	2,0	22%	3,3	101%
	MMV warm [l/s]	0,72	1,2	63%	1,2	63%
	MWW in 10 min. [l]	264,52	353,4	34%		
	MWW in 60 min. [l]	996,58	1164,9	17%		
	MWW in 120 min. [l]	1580,02	1786,4	13%		
	MWW in een dag [l]	6356,85	6176,3	-3%		



Figuur 5-2 De kentallen voor koud- en warmwaterverbruik voor woontoren II, afgeleid uit metingen (rood), berekend met de rekenregels (blauw) en berekend met de q_vn methode voor MMV (groen). Er bestaan geen andere richtlijnen om de kentallen voor warmwaterverbruik (MWW) te berekenen.

5.6 Vergelijking met bestaande richtlijnen

5.6.1 Maximum moment volumestroom en consequenties voor ontwerp leidingdiameter

De uitkomsten van de rekenregels voor MMV_{koud} en MMV_{warm} zijn vergeleken met de uitkomsten van bestaande richtlijnen, de $q\sqrt{n}$ -methode. In Tabel 3-1 zijn de gebruikte tapeenheden (TE) voor koud- en warmwater per tappunt aangegeven. Hierbij is aangenomen dat de douches in de appartementen met een spaardouchekop zijn uitgerust.

In Tabel 5-3 en Figuur 5-2 zijn de uitkomsten van de $q\sqrt{n}$ -methode weergegeven. De $q\sqrt{n}$ -methode leidt voor woontoren II tot een grote overschatting van MMV_{koud} (ongeveer 100%). Dit is een factor 1,6 groter dan de MMV_{koud} berekend met de rekenregels. De MMV_{warm} wordt met 63% overschat, vergelijkbaar met de rekenregels. Als echter in de appartementen een standaarddouche wordt aangenomen (met $TE=4$), dan wordt de overschatting door de $q\sqrt{n}$ -methode nog groter (120% voor MMV_{koud} en 116% voor MMV_{warm}).

In Tabel 5-4 zijn de consequenties te zien voor de keuze van de leidingdiameters. De nieuwe rekenregels leiden tot kleinere diameters dan de $q\sqrt{n}$ -methode. De diameters op basis van de rekenregels zijn gelijk of groter dan de diameters die volgen uit de gemeten MMV . Dit betekent dat ze toereikend zijn voor de daadwerkelijke watervraag en dus voldoen aan de comforteis van de gebruikers.

Tabel 5-4 Keuze van de diameter van bestaande koperen leidingen voor de distributie van koud of warm water op basis van de gemeten MMV (d_{meting}), op basis van de rekenregels gebaseerd op SIMDEUM ($d_{rekenregel}$) en op basis van de oude richtlijn, de $q\sqrt{n}$ -methode ($d_{oude richtlijn}$) voor woontoren II

aantal app.	leiding voor	keuze leidingdiameter [mm]		
		d_{meting}	$d_{rekenregel}$	$d_{oude richtlijn}$
99	koud water	42	42	54
	warm water	28	35	35

5.6.2 Warmwaterverbruik en consequenties voor ontwerp warmwaterbereider

Voor het warmwaterverbruik bestonden tot nu toe geen richtlijnen. De inzichten in het warmwaterverbruik met de rekenregels zijn hierdoor een enorme winst. Het ontwerp voor een warmwaterbereider op basis van de rekenregels is vergeleken met het ontwerp op basis van het gemeten warmwaterverbruik en met het ontwerp dat voorgesteld is door een fabrikant op basis van de eigenschappen van de aanwezige appartementen (Tabel 5-5). De kentallen voor het warmwaterverbruik berekend met de rekenregels resulteren in kleinere dimensies van de warmwaterbereider dan het voorstel van de fabrikant. In dit geval is dit zichtbaar in een kleiner benodigd vermogen. Ze zijn vergelijkbaar met de dimensies en het vermogen dat volgt uit het daadwerkelijke warmwaterverbruik, afgeleid uit de metingen. Dat betekent dat de zuinigere ontwerpen op basis van de rekenregels voldoen aan de gewenste comforteis van de gebruikers.

Tabel 5-5 Dimensies van een warmwaterbereider voor woontoren II, uitgedrukt in volume van het voorraadoat en het benodigde vermogen in kW op basis van het gemeten warmwaterverbruik, op basis van de kentallen van de rekenregels en het voorstel van een fabrikant.

woontoren II	dimensies op basis van metingen		dimensies op basis van rekenregels		voorstel fabrikant	
	volume [l]	vermogen [kW]	volume [l]	vermogen [kW]	volume [l]	vermogen [kW]
99 appartementen	500	40	500	60	500	110

6 Vertaling naar ISSO

6.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken zijn de basis en de uitkomsten van de rekenregels voor woontorens getoetst aan metingen van het waterverbruik in twee woontorens op secondebasis. Voordat de rekenregels door installateurs als ontwerpreekenregels gebruikt kunnen worden via ISSO-handleidingen is een procedure nodig, die de rekenregels omzetten in ontwerpreekenregels. In dit hoofdstuk worden eerst de uitgangspunten van de rekenregels beschreven en de bijbehorende algemene/unanieme aanpak voor de toepassing van de rekenregels. Binnen de aanpak wordt de minimale eenheid vastgesteld waarboven de rekenregels toegepast mogen worden. Vervolgens wordt een veiligheidsmarge voorgesteld, zodat ontwerprichtlijnen ontstaan. De rekenregels zijn berekend met standaard uitgangspunten als 10°C voor koud water en 60°C voor de gemiddelde circulatietemperatuur van het warme water. Bij alternatieve technieken voor het opwarmen van het water kunnen lagere circulatietemperaturen toegestaan zijn. Tot slot wordt daarom in dit hoofdstuk een omrekeningtool beschreven om de berekende warmwaterhoeveelheden bij 60°C om te rekenen naar de corresponderende hoeveelheden, voor andere insteltemperaturen van de warmtapwaterbereider. Uitgangspunt voor koud water blijft 10°C als minimale temperatuur.

6.2 Uitgangspunten van de rekenregels en unanieme aanpak voor toepassing rekenregels

6.2.1 Unanieme aanpak rekenregels

De rekenregels zijn gebaseerd op SIMDEUM. SIMDEUM berekent het waterverbruik op basis van gegevens over de leidingwaterinstallatie en op basis van het gedrag van de aanwezige gebruikers. Hierdoor kan een woning met dezelfde tapeenheden een ander waterverbruik hebben bij de aanwezigheid van andere gebruikers: een woning met een familie heeft een ander waterverbruik dan dezelfde woning met een senior. De ontwikkeling van de rekenregels is gebaseerd op gestandaardiseerde appartementtypen. De gestandaardiseerde appartementtypen worden gesimuleerd met SIMDEUM en leiden tot rekenregels voor het waterverbruik. Dit betekent dat de gelijktijdigheid daadwerkelijk wordt gesimuleerd en is meegenomen in de rekenregels. Er wordt rekening gehouden met het feit dat de maximale verbruiken in verschillende woningen op verschillende tijdstippen plaatsvinden. Als de appartementen in het te beschouwen appartementengebouw voldoen aan de randvoorwaarden van de gestandaardiseerde appartementtypen beschreven in hoofdstuk 2 kunnen de rekenregels gebruikt worden om het waterverbruik te berekenen.

Het is belangrijk om te benadrukken dat de rekenregels automatisch rekening houden met gebruikers en de gelijktijdigheid. Bovendien hebben de rekenregels op basis van SIMDEUM een theoretische basis en zijn ze getoetst aan metingen. Dit is in grote tegenstelling met de bestaande $q\sqrt{n}$ -methode of $q\sqrt{\sum TE}$ -methode, die geen theoretische basis heeft en die niet getoetst is aan metingen.

De rekenregels geven een goede voorspelling van het waterverbruik vanaf een bepaalde waarde voor n , het aantal appartementen. De *algemene aanpak* van de rekenregels is: toepassing van de rekenregels tot aan een bepaalde waarde voor n , beneden deze waarde geldt de standaardisatie niet en dus moet beneden deze waarde het waterverbruik op een andere manier uitgerekend worden.

Beneden deze waarde geldt logisch nadenken: hoe groot is de kans dat de aanwezige tappunten gelijktijdig gebruikt worden? Het antwoord op deze vraag bepaalt een factor f , waarvoor geldt:

$$f \cdot q \cdot \sqrt{\sum TE} < q \cdot \sum TE, \text{ waarin } f \text{ is een toeslagfactor.} \quad (7)$$

waarin:

TE = aantal tappunten

q = 0,083 [1/s]

De keuze voor de toeslagfactor is afhankelijk van de verwachte gelijktijdigheid en comfort. De rekenregels geven hierover geen inzicht. De waarde voor de toeslagfactor moet dus vastgesteld/gekozen worden door de installateur of adviseur op basis van overwegingen tav gewenste gelijktijdigheid en comfort.

De verbruiken van bijzondere installaties, zoals luchtbevochtiging, koeltorens, brandslanghaspels, nood- en oogdouches en verbruik voor Legionellapreventie zijn niet in de uitkomsten van de rekenregels opgenomen. Indien nodig moeten de berekende kentallen verhoogd worden.

6.2.2 Unanieme aanpak voor woontorens: de waarde voor n

In de unanieme aanpak voor het gebruik van de rekenregels voor het waterverbruik in woontorens moet een keuze gemaakt worden voor de waarde van n , het aantal appartementen waarboven de rekenregels toegepast kunnen worden. Uit de ontwikkeling van de rekenregels voor de woontorens (Pieterse-Quirijns, 2009) blijkt dat de relaties bij lage aantallen van appartementen een relatief grote afwijking kunnen vertonen ten opzichte van het gesimuleerde waterverbruik door SIMDEUM. Met name de schatting van de warmwaterverbruiken door de "gefite" relaties is onnauwkeurig bij kleine aantallen appartementen. Als het aantal appartementen toeneemt, neemt het relatieve verschil sterk af en is voor alle waterverbruikgrootheden kleiner dan 5%. Op basis hiervan is $n > 5$ een verantwoorde keuze voor het gebruik van de rekenregels.

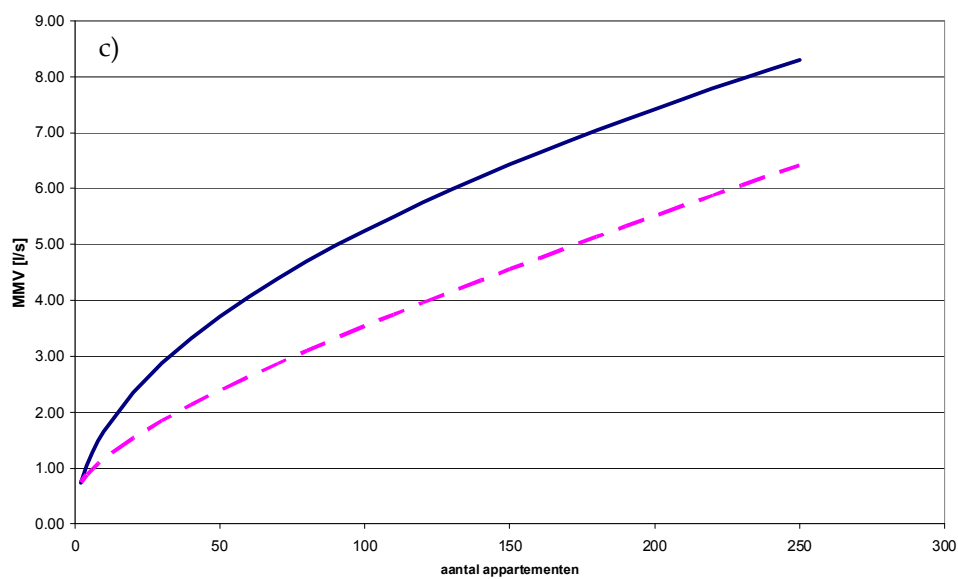
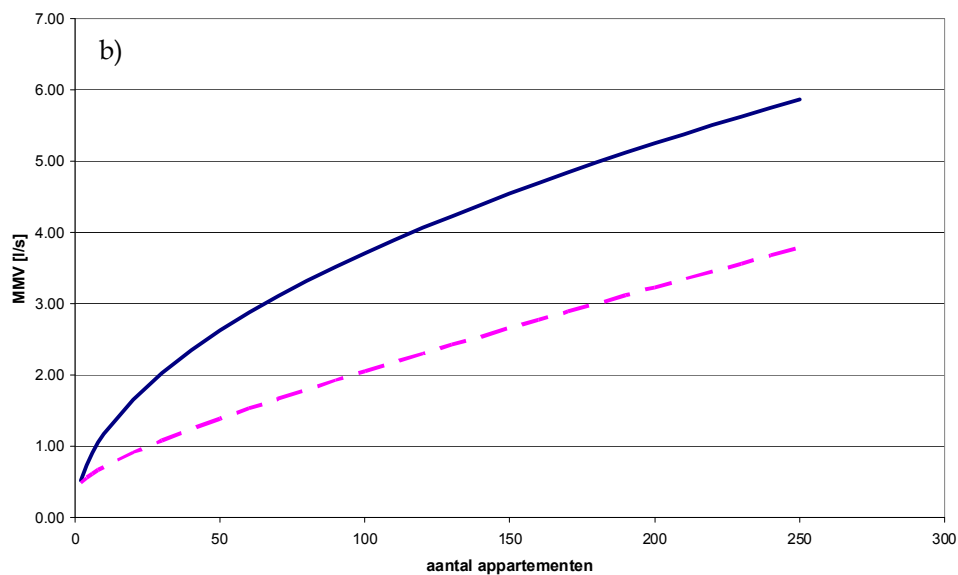
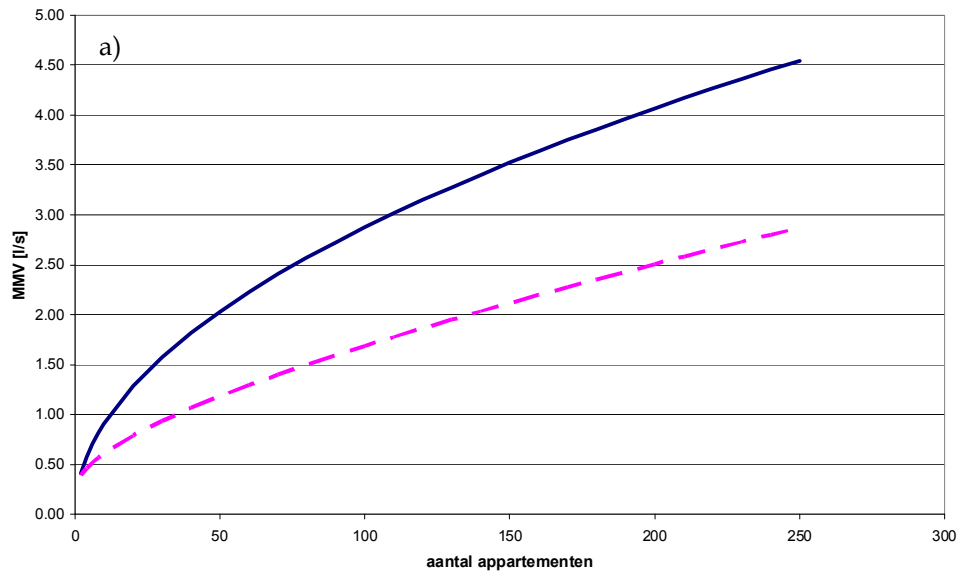
Echter de waarde van $n > 5$ is geen praktische keuze. In de praktijk is een waarde van 1 beter toepasbaar en eenduidiger. Dit betekent namelijk dat de rekenregels kunnen worden toegepast voor het berekenen van het waterverbruik van meer dan één appartement. Voor het berekenen van MMV_{koud} binnen een appartement wordt dan de bestaande $q\sqrt{\Sigma TE}$ -methode gebruikt (toeslagfactor $f=1$). Omdat voor $n \geq 1$ geldt dat er voldaan wordt aan de standaardisatie van de appartementtypen kan $n \geq 1$ toegepast worden. Bovendien blijkt dat de $q\sqrt{\Sigma TE}$ -methode al bij deze waarde van n een overschatting van MMV_{koud} geeft (Figuur 6-1).

De rekenregels voor de woontorens zijn opgesteld op basis van simulaties van het waterverbruik tot 250 appartementen van elk type. Dit betekent dat in theorie de rekenregels kunnen worden toegepast voor woontorens met maximaal 250 appartementen. Boven de 250 appartementen mogen de rekenregels ook toegepast worden, omdat uit simulaties van straten en wijken blijkt dat de relatie zich doorzet (Blokker, 2006). Bovendien wordt collectief warm water niet voor meer dan 250 woningen aangelegd in een streng. Vaak worden dan meerdere strengen toegepast.

De aanpak en de waarde voor n is een principekeuze: vanaf dit punt zijn de rekenregels betrouwbaar. Bovendien zijn de uitgangspunten, namelijk het meenemen van de invloed van variabele gebruikers en de mogelijkheid van gelijktijdig gebruik van tappunten, anders dan de $q\sqrt{\Sigma TE}$ -methode, die alleen naar de tapeenheden kijkt. Het is daarom niet juist om de uitkomsten van de rekenregels één op één te vertalen naar een overeenkomstige waarde van een aantal tapeenheden volgens de $q\sqrt{\Sigma TE}$ -methode.

Samenvattend geldt:

voor $n \geq 1$: rekenregels voor waterverbruik woontorens
voor $n < 1$: $MMV = f \cdot q\sqrt{\Sigma TE}$ met $f = 1$



Figuur 6-1 vergelijking van uitkomsten van de rekenregel voor MMV_{koud} (- -) met $q\sqrt{\Sigma TE}$ methode (-) voor a) studio, b) standaard driekamerappartementen en c) luxe vierkamerappartementen

6.3 Voorstel van veiligheidsmarge voor rekenregels woontorens

De waarde voor de veiligheidsmarge is gekozen op basis van de vergelijking van de uitkomsten van de rekenregels met kentallen afgeleid uit de metingen. Uit Tabel 4-4 en Tabel 5-3 blijkt dat de rekenregels een marge vertonen ten opzichte van de metingen. Omdat het gemeten patroon over de dag voor koud- en warmwater ook goed door SIMDEUM voorspeld worden (Figuur 4-1 en Figuur 5-1), is een veiligheidsmarge niet nodig voor de rekenregels van woontorens.

veiligheidsfactor = 1
ontwerprekenregel = rekenregels

6.4 Omrekenool voor andere insteltemperaturen van de warmwaterbereider

6.4.1 Noodzaak voor omrekenool

De rekenregels voor woontorens zijn opgesteld op basis van standaarduitgangspunten als 10°C voor koud water en 60°C voor de gemiddelde circulatietemperatuur van het warme water, overeenkomstig ISSO-55. Bij alternatieve technieken voor het opwarmen van het water kunnen lagere circulatietemperaturen toegestaan zijn. Daarnaast is het mogelijk dat de gemiddelde circulatietemperatuur in werkelijkheid hoger is dan 60°C. De vraag is of het mogelijk is om de gebruikte warmwaterhoeveelheden bij andere circulatietemperaturen te berekenen op basis van de uitkomsten van de rekenregels.

6.4.2 Opstellen omrekenformule naar andere insteltemperaturen

Voor het berekenen van de temperatuur van mengwater geldt de volgende formule:

$$T_{meng} = \frac{m_k \cdot T_k + m_w \cdot T_w}{m_k + m_w} \quad (8)$$

waarin:

T_{meng}	=	temperatuur van mengwater
T_k	=	temperatuur van koud water
T_w	=	temperatuur van warm water (gemiddelde circulatie temperatuur)
m_k	=	hoeveelheid koud water
m_w	=	hoeveelheid warm water
m_{meng}	=	hoeveelheid water met temperatuur $m_{meng} = m_k + m_w$

Met deze formule kan per tappunt berekend worden hoeveel koud- en warmwater van een bepaalde temperatuur nodig is om de gewenste hoeveelheid warmwater van de gewenste mengtemperatuur te krijgen.

Deze formule kan gebruikt worden om de berekende kentallen voor warmwaterverbruik bij 10°C en 60°C om te rekenen naar de kentallen bij een andere circulatietemperatuur, als aangenomen wordt dat de gewenste mengtemperatuur, de benodigde hoeveelheid water met deze mengtemperatuur en de uitgangstemperatuur voor koud water hetzelfde blijft:

$$m_{w2} = \frac{T_{w1} - T_{k1}}{T_{w2} - T_{k2}} \cdot m_{w1} \quad (9)$$

met als voorwaarden: $T_{meng1} = T_{meng2}$ en $m_{meng} = m_{k1} + m_{w1} = m_{k2} + m_{w2}$ en $T_{k1} = T_{k2} = T_k$

waarin

T_{k1}	=	temperatuur van koud water in situatie 1
T_{k2}	=	temperatuur van koud water in situatie 2

T_{w1}	=	temperatuur van warm water (gemiddelde circulatie temperatuur) in situatie 1
T_{w2}	=	temperatuur van warm water (gemiddelde circulatie temperatuur) in situatie 2
m_{w1}	=	hoeveelheid warm water in situatie 1
m_{w2}	=	hoeveelheid warm water in situatie 2

Deze omrekenformule is toegepast om de kentallen voor warm water bij 10°C en 60°C (situatie 1) om te rekenen naar de kentallen voor warm water bij andere temperaturen (situatie 2):

$$kental_{w2} = \frac{T_{w1} - T_k}{T_{w2} - T_k} \cdot kental_{w1} \quad (10)$$

6.4.3 Toetsen van omrekenformule naar andere insteltemperaturen

De omrekenformule geldt bij gelijkblijvende totale watervraag en dezelfde mengtemperatuur. De mengtemperatuur kan echter verschillen per tappunt. Hierdoor hoeft deze voorwaarde niet voor een heel gebouw te gelden. In huishoudens wordt het grootste deel van het warm water verbruikt door de douche. Bij benadering wordt hierdoor aan de voorwaarde van een zelfde mengtemperatuur voldaan.

Om de toepasbaarheid van de omrekenformule te testen en de afwijking door de gemaakte aannames te onderzoeken is voor twee standaardappartementtypes, namelijk een studio en een luxe driekamerappartement 160m², het koud- en warmwaterverbruik gesimuleerd van 200 woningen bij variërende uitgangstemperaturen voor warm water: 45°C, 50°C, 60°C, 65°C en 70°C.

De toetsing vindt als volgt plaats:

- 1) uit 100 simulaties worden de kentallen afgeleid voor warm water, namelijk MMV_{warm} en MWW bij verschillende tijdseenheden
- 2) de kentallen voor warmwaterverbruik worden bij andere temperaturen ($T_{k2} = 10^\circ\text{C}$ en T_{w2}) met de omrekenformule berekend vanuit de kentallen bij $T_{k1} = 10^\circ\text{C}$ en $T_{w1} = 60^\circ\text{C}$
- 3) de kentallen, die met de omrekenformule berekend zijn worden vergeleken met de berekende kentallen uit de gesimuleerde patronen. De relatieve afwijking, gemaakt door de toepassing van de omrekenformule wordt berekend als:

$$r\Delta = \frac{X_{omrekenformule} - X_{SIMDEUM}}{X_{SIMDEUM}} \cdot 100\% \quad (11)$$

In Tabel 6-1 zijn de verschillende kentallen voor het warmwaterverbruik weergegeven bij andere uitgangstemperaturen dan 60°C voor 200 studio's en 200 driekamerappartementen van 160m². De kentallen berekend uit simulaties met SIMDEUM bij de andere warmwatertemperaturen geven een correcte weergave van het warmwaterverbruik. In SIMDEUM is immers per tappunt de gewenste temperatuur meegenomen, waardoor de aanname van dezelfde mengtemperatuur niet gemaakt hoeft te worden. In Tabel 6-2 is de afwijking van de omrekenformule ten opzichte van de simulaties met SIMDEUM te zien.

De toepassing van de omrekenformule op de uitkomsten van de rekenregel leidt voor het appartementtype studio bij de kentallen op korte tijdschaal (MMV_{warm} en MWW₁₀) tot een afwijking van maximaal 30% in enkele gevallen. Voor de andere kentallen is de gemiddelde absolute afwijking kleiner dan 6%. Voor het appartementtype driekamerappartement van 160m² is de afwijking kleiner. Dit komt door het feit dat in dit appartementtype de douches zijn voorzien van luxere douchekoppen, waardoor de bijdrage van de douches in het warmwaterverbruik groter is en dus beter voldaan wordt aan de aannames voor de omrekenformule. In dit appartementtype leidt de omrekenformule soms tot een onderschatting van het warmwaterverbruik, tot maximaal 9%. Een onderschatting zou kunnen leiden tot een te krappe dimensionering. Echter omdat uit de metingen blijkt dat de rekenregels een hoger warmwaterverbruik voorspellen (Tabel 4-4 en Tabel 5-3), leidt dit niet tot problemen.

De omrekenformule kan gebruikt worden om de uitkomsten van de rekenregels voor warm water om te rekenen naar een andere uitgangstemperatuur. Voor standaardappartementtypes kunnen de kentallen

op de kleinere tijdschalen afwijken tot 30%, bij andere kentallen en luxere appartementtypes is de afwijking kleiner.

Tabel 6-1 Kentallen voor warmwaterverbruik bij andere uitgangstemperaturen, berekend uit simulaties met SIMDEUM bij de nieuwe uitgangstemperatuur en berekend met de omrekenformule vanuit de kentallen bij 10°C en 60°C, voor 200 studio's en 200 driekamerappartementen van 160m²

uitgangs-temperatuur		kentallen voor warmwaterverbruik bij uitgangstemperatuur									
		berekend uit nieuwe simulaties met SIMDEUM					berekend met de omrekenformule vanuit kentallen bij 10°C en 60°C				
T_{koud}	T_{warm}	MMV _{warm}	MWW ₁₀	MWW ₆₀	MWW ₁₂₀	MWW _{dag}	MMV _{warm}	MWW ₁₀	MWW ₆₀	MWW ₁₂₀	MWW _{dag}
studio											
10	45	1,86	624,61	2220,60	3637,18	14117,11	2,18	801,32	2599,02	3991,69	15105,19
10	50	1,58	602,41	2214,02	3586,15	12536,76	1,90	701,16	2274,14	3492,73	13217,04
10	60	1,52	560,93	1819,31	2794,19	10573,63	1,52	560,93	1819,31	2794,19	10573,63
10	65	1,21	385,42	1455,94	2471,77	9456,06	1,38	509,93	1653,92	2540,17	9612,39
10	70	1,20	387,31	1456,12	2349,19	8778,10	1,27	467,44	1516,10	2328,49	8811,36
driekamerappartement 160 m ²											
10	45	3,76	1745,14	6906,49	10799,71	42439,94	4,03	1852,57	6326,77	10175,03	43155,23
10	50	3,12	1366,21	5741,17	8965,30	37122,64	3,53	1621,00	5535,93	8903,15	37760,82
10	60	2,82	1296,80	4428,74	7122,52	30208,66	2,82	1296,80	4428,74	7122,52	30208,66
10	65	2,48	1121,46	4387,27	6895,66	26982,18	2,56	1178,91	4026,13	6475,02	27462,42
10	70	2,44	1073,36	4052,44	6050,76	25324,03	2,35	1080,67	3690,62	5935,44	25173,88

Tabel 6-2 Relatieve afwijking van de kentallen voor warmwaterverbruik bij andere uitgangstemperaturen tussen de kentallen berekend met de omrekenformule en berekend uit simulaties met SIMDEUM bij de nieuwe uitgangstemperatuur, voor 200 studio's en 200 driekamerappartementen van 160m²

uitgangs-temperatuur		relatieve afwijking van kental berekend met omrekenformule tov kental berekend met SIMDEUM				
T_{koud}	T_{warm}	MMV _{warm}	MMW ₁₀	MMW ₆₀	MMW ₁₂₀	MMW _{dag}
studio						
10	45	17%	28%	17%	10%	7%
10	50	21%	16%	3%	-3%	5%
10	60	0%	0%	0%	0%	0%
10	65	14%	32%	14%	3%	2%
10	70	6%	21%	4%	-1%	0%
driekamerappartement 160 m²						
10	45	7%	6%	-8%	-6%	2%
10	50	13%	19%	-4%	-1%	2%
10	60	0%	0%	0%	0%	0%
10	65	3%	5%	-8%	-6%	2%
10	70	-4%	1%	-9%	-2%	-1%

7 Toepassing rekenregels op woontorens in België

7.1 Inleiding

In België is op secondebasis het waterverbruik van een aantal appartementgebouwen gemeten. Van drie appartementen is het koudwaterverbruik gemeten, in één appartement alleen het warmwaterverbruik. In Bleys e.a. (2012) zijn de resultaten beschreven. In dit hoofdstuk wordt de bruikbaarheid van de rekenregels voor woontorens getoetst aan deze metingen. De rekenregels voor woontorens worden gebruikt om het waterverbruik in deze gebouwen te voorspellen en te vergelijken met de metingen.

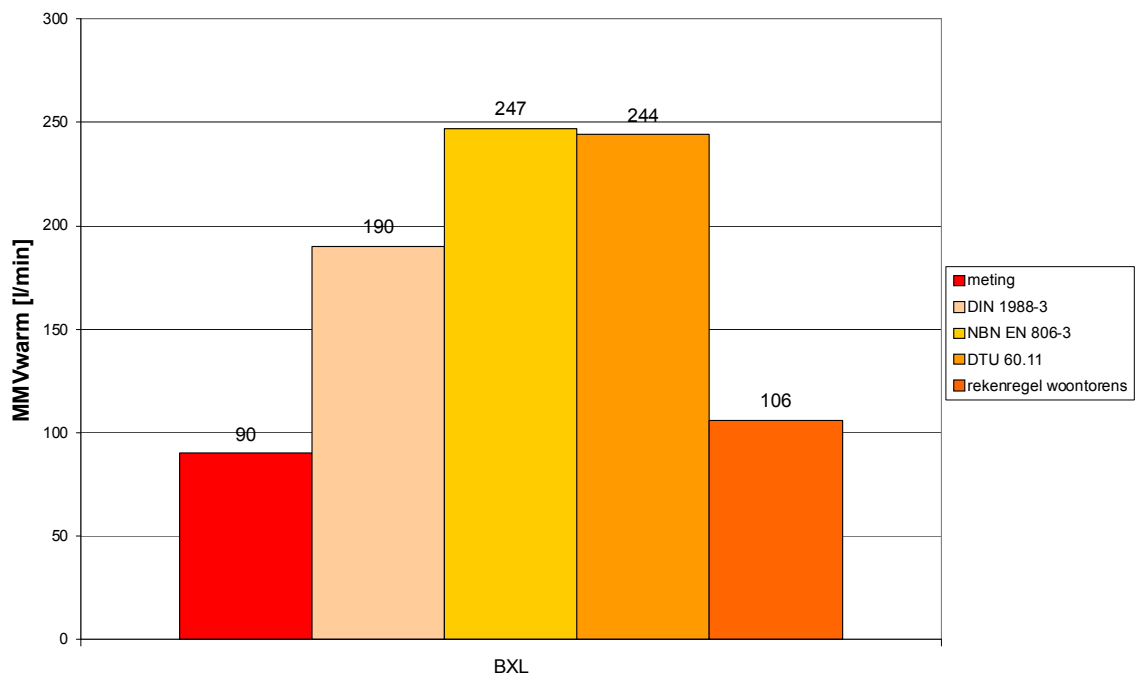
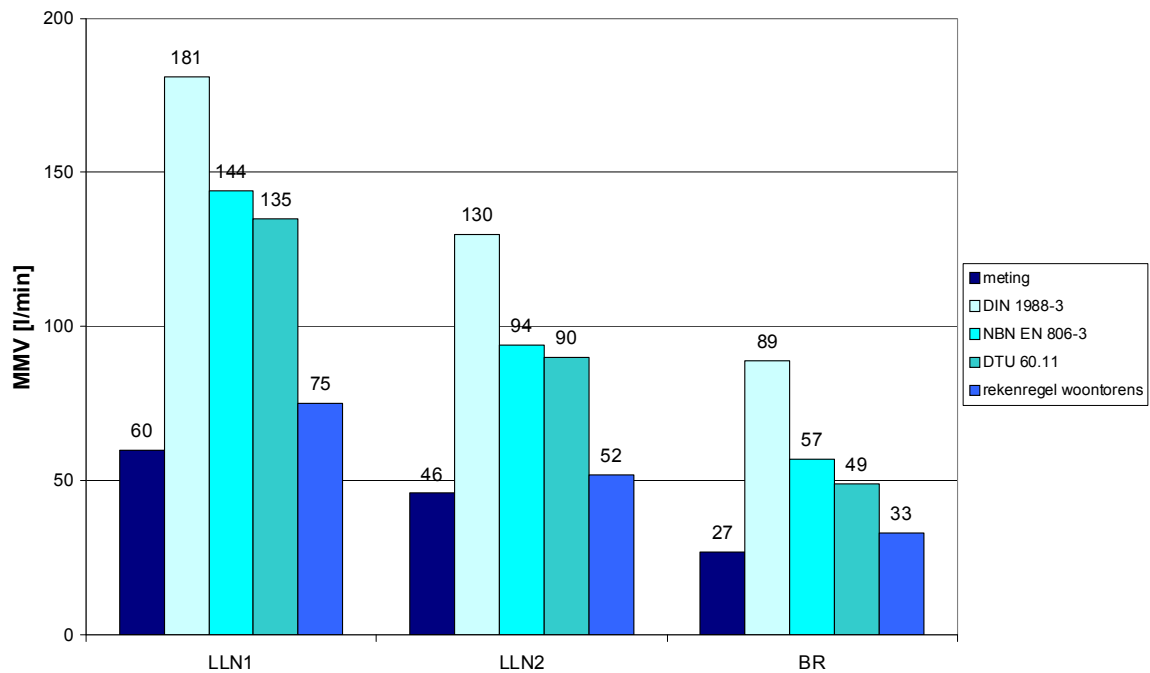
7.2 Toetsing rekenregels woontorens met appartementgebouwen in België

Voor ieder appartementgebouw is op basis van de gegeven beschrijving vanuit België een keuze voor de invulling van de rekenregels gemaakt. In Tabel 7-1 is de keuze weergegeven en de bijbehorende resultaten van de rekenregels, samen met de gemeten waarde van het kental.

Uit de tabel blijkt dat de rekenregels voor woontorens de maximum moment volumestroom voor zowel koud- als warmwater goed voorspelt voor de vier verschillende appartementgebouwen. Figuur 7-1 toont de uitkomsten van een aantal richtlijnen uit Bleys e.a. (2012) samen met de uitkomsten van de rekenregels. De richtlijnen betreffen de Duitse DIN 1988-3, de Europese EN 806-3 en de Franse DTU 60.11. De figuur laat duidelijk zien, dat de nieuwe rekenregels op basis van SIMDEUM een aanzienlijke verbetering van de berekende MMV geeft ten opzichte van de berekening door bestaande richtlijnen.

Tabel 7-1 Toepassing van de rekenregels voor vier appartementgebouwen in België: beschrijving, invoer rekenregels, gemeten kental voor koud of warm water en de uitkomsten van de rekenregels

Appartementgebouw			koud of warm water	MMV [l/min]	
code	Beschrijving	Keuze invoer rekenregel		Meting	Rekenregel (afwijking tov meting [%])
LLN1	43 studio's + 13 appartementen 2 kamer, standaard - veel studenten	56 studio's	koud	60	75 (25%)
LLN2	13 appartementen 2 kamer, standaard + 3 appartementen driekamer - studenten en jonge gezinnen	13 studio, 3 driekamerapp 120 m ²	koud	46	52 (13%)
BR	7 appartementen 2 kamer, standaard - redelijk veel senior	7 seniorenappartementen	koud	27	33 (22%)
BXL	48 appartementen 4-kamer, lux en 76 appartementen 3-kamer - gemengde bewoners	48 vierkamer luxe en 76 driekamerapp 120 m ² (standaard)	warm	90	106 (18%)



Figuur 7-1 Gemeten en berekende MMV met verschillende richtlijnen voor koud water (boven) en warm water (beneden), uit Bleys e.a. (2012) aangevuld met uitkomsten van de rekenregels voor woontorens.

8 Conclusies, samenvatting en aanbevelingen

8.1 Conclusies en samenvatting

De rekenregels voor woontorens zijn gebaseerd op SIMDEUM®, waardoor ze een theoretische achtergrond hebben. Puur op basis van kennis van gebruikers (aantal en waterverbruikend gedrag) en tappunten (aantal en specifieke eigenschappen) wordt het koud- en warmwaterverbruik berekend gedurende de dag. Gebaseerd op deze afnamepatronen zijn rekenregels ontwikkeld voor kentallen voor het koud- en warmwaterverbruik, waarmee leidingwaterinstallaties ontworpen kunnen worden. Door de theoretische achtergrond kunnen wijzigingen of aanpassingen in appartementen ten opzichte van de gestandaardiseerde appartementtypologieën meegenomen worden in de uitkomsten van de rekenregels. Afwijkingen ten opzichte van metingen kunnen verklaard en uitgelegd worden.

De rekenregels voor woontorens zijn gevalideerd met metingen in twee woontorens van het koud- en warmwaterverbruik op secondebasis. Deze woontorens verschillen in karakter (type appartementen, type bewoners) en in omvang. In totaal is het waterverbruik gemeten op 6 punten voor koud water en op 4 punten voor het warm water. De validaties laten het volgende zien:

- 1) de basis van de rekenregels is betrouwbaar.
De door SIMDEUM gesimuleerde dagelijkse patronen van een woontoren met standaardappartementen geven een goede beschrijving van de gemeten patronen van beide woontorens. Voor zeer verschillende typen van woontorens wordt op basis van de theoretische achtergrond een goede voorspelling gegeven van het verbruik van koud en warm water gedurende de gehele dag. Dit bevestigt de basis van de rekenregels.
- 2) de voorspellingen van de rekenregels liggen dichterbij de metingen dan de bestaande richtlijnen.
De kentallen voor koud- en warmwaterverbruik berekend met de rekenregels dichtbij de metingen liggen. Het warmwaterverbruik wordt overschat met gemiddeld 40%. De overschatting is groot bij de kleine tijdschalen (MMV_{warm} en $MWW10$). De uitkomsten van de huidige ISSO-richtlijnen voor MMV zijn een factor 1,2 tot 1,6 groter dan de kentallen berekend met de rekenregels.
- 3) de rekenregels leiden tot realistische leidingwaterinstallaties, die aansluiten bij het daadwerkelijk waterverbruik en die bovendien zuiniger zijn.
De realistische voorspellingen door de rekenregels leiden tot een beter ontwerp van de leidingwaterinstallatie, doordat de uitkomsten goed aansluiten bij het daadwerkelijk waterverbruik. De nieuwe rekenregels leiden tot kleinere diameters dan de huidige $q\sqrt{n}$ -methode, vooral voor de warmwaterleidingen. De leidingen zijn toereikend voor de daadwerkelijke watervraag en voldoen dus aan de comforteis van de gebruikers.
- 4) Voor het eerst is er door de rekenregels inzicht in het warmwaterverbruik in appartementgebouwen.
Dit inzicht leidt voor beide woontorens tot een zuiniger ontwerp van de warmwaterbereider. De inhoud of het vermogen bedraagt de helft van de dimensies voorgesteld door een fabrikant. De dimensies die volgen uit de kentallen van de rekenregels voldoen aan de comforteis van de gebruikers.

De rekenregels zijn omgezet in ontwerprekenregels, die opgenomen kunnen worden in de herziene handleiding van ISSO-55. Op basis van de validatieresultaten is het niet nodig om een extra veiligheidsmarge voor elk kental op te nemen in de ontwerprekenregels in ISSO-55. De uiteindelijke ontwerprekenregels voor woontorens zijn weergegeven in bijlage III en verwerkt in het bijbehorende Excelbestand: KWR_2013_ontwerprekenregels_woontoren.

De ontwerprichtlijnen in de ISSO-55 handleiding zijn gebaseerd op de uitgangstemperaturen van 10°C voor koud water en 60°C voor warmwater. Met een omrekenformule kunnen de kentallen voor warmwater omgerekend worden naar andere uitgangstemperaturen van het warm water, variërend van 45°C tot 70°C. Dit leidt tot een afwijking van gemiddeld 6%. Bij de warmwaterverbruiken in korte

tijdperiodes (1 seconde en 10 minuten) is de afwijking met de omrekenformule hoger, tot maximaal 30%.

De ontwerprekenregels zijn ook toepasbaar voor het berekenen van het waterverbruik in appartementgebouwen in België en leiden tot een aanzienlijk betere voorspelling dan bestaande internationale richtlijnen. De voorspellingen van MMV_{koud} met bestaande richtlijnen zijn een factor 1,5 tot 2,7 groter dan de voorspelling door de ontwerprekenregels. Voor MMV_{warm} is deze factor 1,8 tot 2,3.

8.2 Aanbevelingen

De eerste aanbeveling is om de huidige richtlijnen in de ISSO-55 handleiding te vervangen door de ontwerprekenregels voor woontorens. De ontwerprekenregels kunnen worden toegepast voor het berekenen van het waterverbruik van meer dan één appartement. Voor het berekenen van MMV_{koud} binnen een appartement wordt dan de bestaande $q\sqrt{\Sigma TE}$ -methode gebruikt (toeslagfactor $f=1$). Het dient benadrukt te worden dat "standaard situaties" zoals gedefinieerd in de zes appartementtypologieën van de ontwerprekenregels in de praktijk niet bestaan. Dit betekent dat men goed moet blijven nadenken bij het ontwerpen en het toepassen van de ontwerprekenregels daarbij. Overwegingen staan beschreven in hoofdstuk 2.

De rekenregels zijn door hun theoretische achtergrond op te stellen zonder metingen nodig te hebben. Metingen van het waterverbruik van meer woontorens kunnen wel leiden tot een extra toetsing en bevestiging van de betrouwbaarheid van de rekenregels.

De rekenregels leveren een bijdrage aan het optimaliseren van het energiegebruik en het ontwerp van hygiënische installaties. Omdat in de toekomst een steeds groter aandeel van het energieverbruik afkomstig is van het warmwaterverbruik, zullen de rekenregels met inzicht in warmwaterverbruik leiden tot energiewinst. De bijdrage van de rekenregels aan betrouwbare leidingwaterinstallaties geeft de belangrijkste aanbeveling, namelijk om de rekenregels toe te passen in de ontwerpen in de praktijk.

In tegenstelling tot de huidige $q\sqrt{\Sigma TE}$ -methode, is in de rekenregels de invloed van de gebruikers en hun waterverbruikend gedrag meegenomen. Dit betekent dat de uitkomst onderhevig is aan veranderingen in het aantal gebruikers en hun gedrag. Culturele veranderingen en aanpassingen in gewoontes, zoals bijvoorbeeld een lagere frequentie van het douchegebruik, zuiniger wassen etc. leiden tot een verandering in het waterverbruik. Een aanbeveling is om binnen de vijfjaarlijkse cyclus van de herziening van de ISSO-handleidingen de uitgangspunten van de rekenregels na te gaan en indien nodig de rekenregels aan te passen. Tevens wordt aanbevolen om deze aanbeveling in de herziene versie van ISSO-55 op te nemen.

Referenties

- Beverloo, H. (2011). *Protocollen voor meetmiddelen*. Nieuwegein: KWR, WR 2011.002.
- Bleys, B., P. Van den Bossche en X. Kuborn (2012). Measurements of water consumption in apartment buildings. *Water Supply and Drainage for Buildings CIBW62 symposium Edinburgh, United Kingdom*.
- Blokker, E.J.M. (2006). *Modelleren van afnamepatronen. Beschrijving en validatie van het simulatiemodel SIMDEUM*. Nieuwegein: KIWA, BTO 2006.010.
- Blokker, E.J.M. (2007). *Rekenregels voor dimensionering van leidingwaterinstallaties. Bepalen van maximum volumestroom en warmwaterverbruik met SIMDEUM*. Nieuwegein: KWR, KWR 06.104.
- Pieterse-Quirijns, E.J. (2008). *Rekenregels voor waterverbruik in woontorens*. Nieuwegein: KWR, KWR 08-089.

www.kwrwater.nl/SIMDEUM

I Leidingwaterinstallatie appartementen in woontoren I

San. Toestel	wc	fontein	wastafel	douche	bad	aanrecht	wasmachine	vaatwasser
Type Appartement								
A-01a	1	1						
A-01b								
A-02a	1	1						
A-02b								
A-02c	1		2	1		1	1	1
A-11a	1	1						
A-11b								
B-01a	1	1	1	1		1	1	1
B-02a	2	2				2	1	1
D-01	2	1	1	1	1	1	1	1
D-02	2	1	1	1	1	1	1	1
D-03	2	1	1	1	1	1	1	1
D-04a	2	1	1	1	1	1	1	1
D-11	2	1	1	1	1	1	1	1
D-15a	2	1	1	1	1	1	1	1
F-01	1	1	2	1		1	1	1
F-11	1	1	2	1		1	1	1
G-01	1	1	2	1		1	1	1
G01a	1	1	2	1		1	1	1
K-01	1	1	1	1		1	1	1
K-11w	1	1	1	1		1	1	1
L-01a	2	1	1	1	1	1	1	1
L-01b	1		2	1	1			
L-02a	2	1	1	1		1	1	1
L-02b	1		2	1	1			
L-03a	2	1	1	1		1	1	1
L-03b	1		2	1	1			
L-11a	2	1	1	1		1	1	1
L-11b	1		2	1	1			
L-13a	2	1	1	1		1	1	1
L-13b	1		2	1	1			
M-01	2	1	1	1	1	1	1	1
M-02	1	1	1	1	1	1	1	1
M-03	2	1	1	1	1	1	1	1
M-04a	2	1	1	1	1	1	1	1
M-05	2	1	1	1	1	1	1	1
M-06a	2	1	1	1	1	1	1	1
M-11	2	1	1	1	1	1	1	1
M-12	1	1	1	1	1	1	1	1
M-13	2	1	1	1	1	1	1	1
M-14a	2	1	1	1	1	1	1	1
M-15	2	1	1	1	1	1	1	1
M-16a	2	1	1	1	1	1	1	1
N-01a	1	1				1		1
N-01b	1	1	1	1	1		1	
N-02a	1	1				1		1
N-02b	1	1	1	1	1		1	
N-11a	1	1				1		1
N-11b	1	1	1	1	1		1	
N-12a	1	1				1		1
N-12b	1	1	1	1	1		1	

San. Toestel	wc	fontein	wastafel	douche	bad	aanrecht	wasmachine	vaatwasser
Type Appartement								
O-01a	1	1				1		1
O-01b	1	1	2	1			1	
O-02a	1	1				1		1
O-02b	1	1	2	1			1	
O-11a	1	1				1		1
O-11b	1	1	2	1			1	
O-12a	1	1				1		1
O-12b	1	1	2	1			1	
P-01a	1	1				1		1
P-01b	1		1	1	1		1	
P-02a	1	1				1		1
P-02b	1		1	1	1		1	
P-11a	1	1				1		1
P-11b	1		1	1	1		1	
P-12a	1	1				1		1
P-12b	1		1	1	1		1	
R-01	1	1	1	1	1	1	1	1
R-02	1	1	1	1	1	1	1	1
R-11	1	1	1	1	1	1	1	1
R-13	1	1	1	1	1	1	1	1
R-14a	1	1	1	1			1	
R-14b	1		2		1	1	1	
T-01	1	1	1	1		1	1	1
T-02	1	1	1	1		1	1	1
T-11	1	1	1	1		1	1	1
T-13	1	1	1	1		1	1	1
T-14a	1	1					1	
T-14b	1		2		1	1		1
U-01	1	1	1	1	1	1	1	1
U-11	1	1	1	1	1	1	1	1
V-01	2	1	1	1	1	1	1	1
V-02	1	1	2	1	1	1	1	1
V-03	1	1	2	1	1	1	1	1
V-11	2	1	1	1	1	1	1	1
W-01a	1	1				1		1
W-01b	1	1	2	1	1		1	
Y-01	2	2	1	1	1	1	1	1

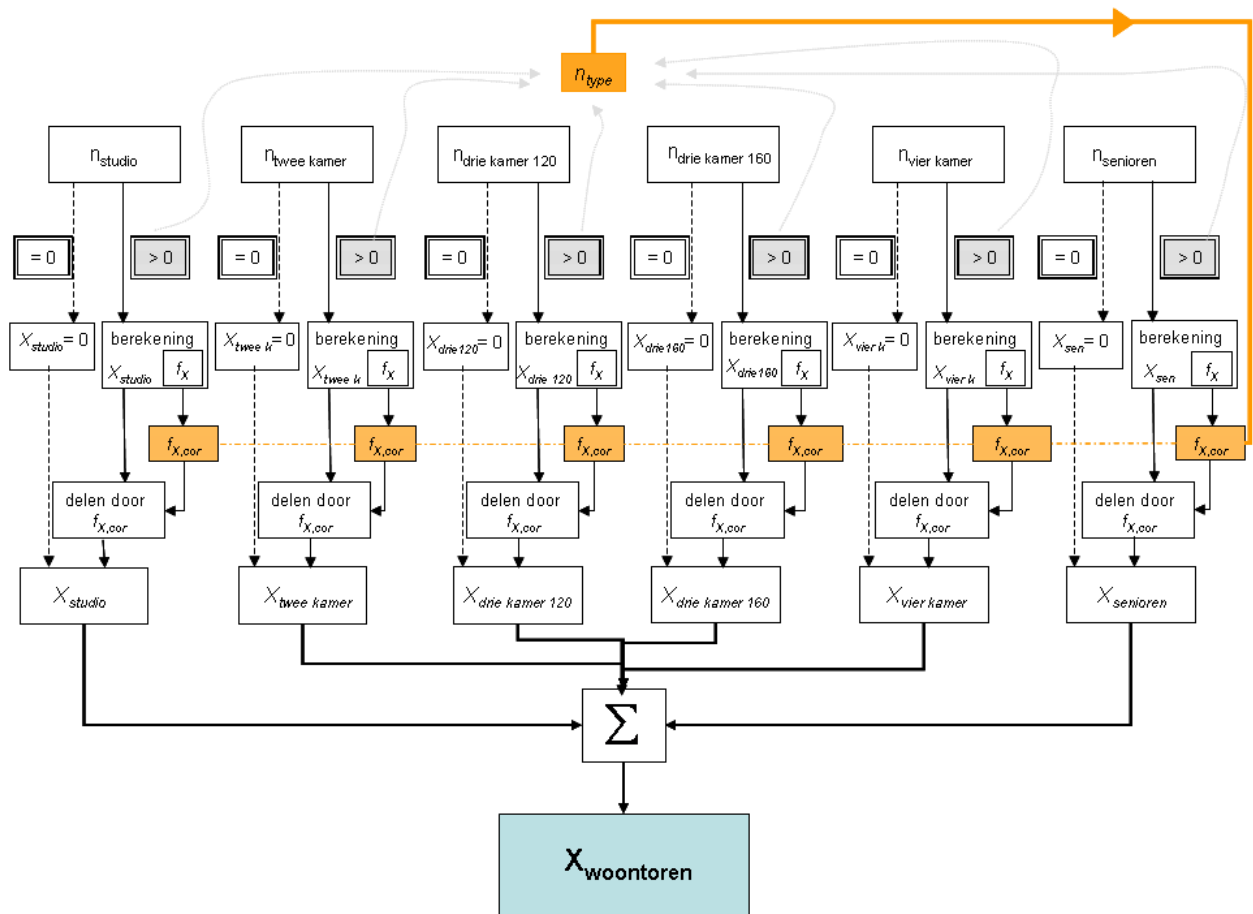
II Resultaten van rekenregels voor woontoren I bij invuloptie 2

aantal app.	kental		meting	rekenregel SIMDEUM		q√n	
				kental	afwijking tov meting [%]	kental	afwijking tov meting [%]
24	MMV_koud	[l/s]	0,99	1,4	45	1,97	100
59	MMV koud	[l/s]	1,89	2,1	9	3,12	65
	MMV warm	[l/s]	0,75	1,2	55	1,65	120
	MWW in 10 min.	[l]	284,44	484,7	70		
	MWW in 60 min.	[l]	1195,96	1421,2	19		
	MWW in 120 min.	[l]	1933,55	1998,5	3		
	MWW in een dag	[l]	5954,16	5988,1	1		
68	MMV koud	[l/s]	2,23	2,2	-2	3,38	51
	MMV warm	[l/s]	0,93	1,2	32	1,80	93
	MWW in 10 min.	[l]	316,06	516,5	63		
	MWW in 60 min.	[l]	1211,68	1547,4	28		
	MWW in 120 min.	[l]	1864,18	2215,0	19		
	MWW in een dag	[l]	4900,00	6782,0	38		
86	MMV koud	[l/s]	2,32	2,3	-1	3,51	51
	MMV warm	[l/s]	0,82	1,3	56	1,79	118
	MWW in 10 min.	[l]	318,69	519,3	63		
	MWW in 60 min.	[l]	1254,14	1580,8	26		
	MWW in 120 min.	[l]	2142,67	2257,7	5		
	MWW in een dag	[l]	6913,75	6943,9	0		
213	MMV koud	[l/s]	4,40	4,2	-6	5,78	31

III Ontwerprekenregels voor woontorens

III.1 Inleiding

De ontwerprekenregels voor woontorens worden gevormd door een procedure, die voor elke willekeurige woontoren bestaande uit verschillende type appartementen en verschillende aantallen appartementen, de kentallen voor het waterverbruik berekenen. De procedure bestaat uit vijf stappen en is weergegeven in Figuur III-1. Na de beschrijving van de procedure, wordt een rekenvoorbeeld gegeven. Het rekenvoorbeeld geldt ter illustratie van de procedure. In het bijbehorende Excelbestand met de ontwerprekenregels KWR_2013_ontwerprekenregels_woontoren hoeft de gebruiker alleen het aantal appartementen per appartementtype in te voeren. De bijbehorende kentallen van het waterverbruik worden vervolgens automatisch berekend.



Figuur III-1: Schematische weergave van ontwerprekenregels voor de berekening van het waterverbruik van een woontoren, waarbij X staat voor een willekeurige grootheid voor het uitdrukken van het waterverbruik (MMV_{koud} , MMV_{warm} , $MWW10$, $MWW60$, $MWW120$ of $MWWdag$).

III.2 Beschrijving van de procedure van de ontwerprekenregels voor woontorens

stap 1: Bereken per appartementtype elk kental van het waterverbruik

Bepaal in de woontoren welke appartementtypen aanwezig zijn en het aantal appartementen van elk type (n). Bereken voor elk appartementtype, de kentallen van het waterverbruik voor het gewenste aantal n met de formules in Tabel III-1.

Tabel III-1: De relaties voor het voorspellen van het waterverbruik (MMV_{koud} , MMV_{warm} , $MWW10$, $MWW60$, $MWW120$, $MWWdag$) in elk type appartement als functie van het aantal appartementen n van het type (behorend bij stap 1 van de procedure): studio, luxe tweekamerappartement, driekamerappartement (120 m²), driekamerappartement (160 m²), luxe vierkamerappartement of seniorenappartement.

type appartement	relatie voor het waterverbruik als functie van aantal appartementen van het type (n)						
studio	$MMV_{koud} =$	0,23	+	0,11	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,0037 $\cdot n$ [l/s]
	$MMV_{warm} =$	0,27	+	0,037	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,0036 $\cdot n$ [l/s]
	$MWW10 =$	78,8	+	6,99	$\cdot\sqrt{n}$	+	1,59 $\cdot n$ [l]
	$MWW60 =$	71,3	+	33,6	$\cdot\sqrt{n}$	+	6,20 $\cdot n$ [l]
	$MWW120 =$	61,5	+	48,2	$\cdot\sqrt{n}$	+	10,70 $\cdot n$ [l]
	$MWWdag =$	100,3	+	63,4	$\cdot\sqrt{n}$	+	47,05 $\cdot n$ [l]
luxe tweekamerappartement	$MMV_{koud} =$	0,58	+	0,15	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,010 $\cdot n$ [l/s]
	$MMV_{warm} =$	0,27	+	0,11	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,0033 $\cdot n$ [l/s]
	$MWW10 =$	127,3	+	39,7	$\cdot\sqrt{n}$	+	1,62 $\cdot n$ [l]
	$MWW60 =$	243,0	+	67,9	$\cdot\sqrt{n}$	+	12,8 $\cdot n$ [l]
	$MWW120 =$	203,7	+	88,3	$\cdot\sqrt{n}$	+	23,8 $\cdot n$ [l]
	$MWWdag =$	104,2	+	168,0	$\cdot\sqrt{n}$	+	94,6 $\cdot n$ [l]
driekamerappartement 120 m ²	$MMV_{koud} =$	0,35	+	0,090	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,0080 $\cdot n$ [l/s]
	$MMV_{warm} =$	0,25	+	0,052	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,0034 $\cdot n$ [l/s]
	$MWW10 =$	75,2	+	8,81	$\cdot\sqrt{n}$	+	2,46 $\cdot n$ [l]
	$MWW60 =$	20,4	+	59,6	$\cdot\sqrt{n}$	+	7,70 $\cdot n$ [l]
	$MWW120 =$	63,7	+	58,8	$\cdot\sqrt{n}$	+	15,2 $\cdot n$ [l]
	$MWWdag =$	96,3	+	74,4	$\cdot\sqrt{n}$	+	80,1 $\cdot n$ [l]
driekamerappartement 160 m ²	$MMV_{koud} =$	0,56	+	0,17	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,013 $\cdot n$ [l/s]
	$MMV_{warm} =$	0,32	+	0,092	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,0064 $\cdot n$ [l/s]
	$MWW10 =$	162,4	+	27,9	$\cdot\sqrt{n}$	+	3,58 $\cdot n$ [l]
	$MWW60 =$	306,8	+	55,8	$\cdot\sqrt{n}$	+	18,4 $\cdot n$ [l]
	$MWW120 =$	286,8	+	76,2	$\cdot\sqrt{n}$	+	31,9 $\cdot n$ [l]
	$MWWdag =$	211,3	+	164,9	$\cdot\sqrt{n}$	+	144,8 $\cdot n$ [l]
luxe vierkamerappartement	$MMV_{koud} =$	0,45	+	0,19	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,012 $\cdot n$ [l/s]
	$MMV_{warm} =$	0,35	+	0,079	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,0068 $\cdot n$ [l/s]
	$MWW10 =$	161,9	+	24,6	$\cdot\sqrt{n}$	+	3,79 $\cdot n$ [l]
	$MWW60 =$	288,0	+	69,8	$\cdot\sqrt{n}$	+	18,6 $\cdot n$ [l]
	$MWW120 =$	177,4	+	141,8	$\cdot\sqrt{n}$	+	29,2 $\cdot n$ [l]
	$MWWdag =$	490,0	+	110,2	$\cdot\sqrt{n}$	+	162,9 $\cdot n$ [l]
seniorenappartement	$MMV_{koud} =$	0,33	+	0,064	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,0070 $\cdot n$ [l/s]
	$MMV_{warm} =$	0,23	+	0,052	$\cdot\sqrt{n}$	+	0,0026 $\cdot n$ [l/s]
	$MWW10 =$	60,6	+	10,7	$\cdot\sqrt{n}$	+	1,10 $\cdot n$ [l]
	$MWW60 =$	5,30	+	54,4	$\cdot\sqrt{n}$	+	3,88 $\cdot n$ [l]
	$MWW120 =$	-0,39	+	68,9	$\cdot\sqrt{n}$	+	7,92 $\cdot n$ [l]
	$MWWdag =$	43,3	+	69,9	$\cdot\sqrt{n}$	+	47,6 $\cdot n$ [l]

stap 2: Bereken per appartementtype de correctiefactor f_X voor elk kental van het waterverbruik

Als in een woontoren meerdere woningtypologieën aanwezig zijn, moet de MMV en de MWW worden bepaald voor een combinatie van verschillende appartementen. Hiervoor mogen de resultaten van de individuele typen uit stap 1 niet zomaar worden opgeteld. Doordat niet alle bewoners in alle appartementen gelijktijdig een maximaal watergebruik zullen hebben, zal het totale maximale verbruik van meerdere appartementen lager zijn dan de som van de maximale verbruiken van elk appartement afzonderlijk. Correctiefactoren zijn nodig die de overschatting compenseren.

De formules voor het berekenen van de correctiefactoren voor de verschillende kentallen van het waterverbruik staan beschreven in Tabel III-2.

Tabel III-2: De relaties voor het berekenen van de correctiefactor f_X voor elk kental van het waterverbruik, voor een woontoren als functie van het aantal appartementen van een type (n)

kental waterverbruik	correctiefactor
MMV _{koud}	$f_X = 3,96 \cdot (n)^{-0,17}$
MMV _{warm}	$f_X = 4,38 \cdot (n)^{-0,17}$
MWW ₁₀	$f_X = 4,23 \cdot (n)^{-0,20}$
MWW ₆₀	$f_X = 2,70 \cdot (n)^{-0,16}$
MWW ₁₂₀	$f_X = 2,41 \cdot (n)^{-0,15}$
MWW _{dag}	$f_X = 1,65 \cdot (n)^{-0,09}$

stap 3: Corrigeer per appartementtype de correctiefactor f_X voor het aantal verschillende type appartementen die aanwezig is in de woontoren (n_{type}): $f_{X,cor}$

De correctiefactor van stap 2 geldt alleen als er van elke woningtypologie appartementen aanwezig zijn in de woontoren. Als minder types in een woontoren aanwezig zijn, zal de correctiefactor lager zijn. De correctiefactor moet daarom worden gecorrigeerd voor het aantal verschillende woningtypologieën in de woontoren:

$$f_{X,cor} = (0,2 \cdot f_X - 0,2) \cdot n_{type} + 1,2 - 0,2 \cdot f_X$$

waarin:

$f_{X,cor}$ = voor het aantal aanwezige woningtypologieën in de woontoren gecorrigeerde correctiefactor voor een bepaalde grootheid van het waterverbruik (MMV_{koud}, MMV_{warm}, MWW₁₀, MWW₆₀, MWW₁₂₀ of MWW_{dag})

f_X = correctiefactor voor een bepaalde grootheid van het waterverbruik (MMV_{koud}, MMV_{warm}, MWW₁₀, MWW₆₀, MWW₁₂₀ of MWW_{dag})

n_{type} = aantal verschillende woningtypologieën in de woontoren

stap 4: Corrigeer per appartementtype elk kental van het waterverbruik

Corrigeer de berekende kentallen van het waterverbruik uit stap 1, door de uitkomsten te delen door de correctiefactoren $f_{X,cor}$ uit stap 3.

stap 5: Bereken het waterverbruik van de gehele woontoren door de gecorrigeerde kentallen per appartementtype bij elkaar op te tellen

De kentallen van het waterverbruik voor de gehele woontoren, wordt vervolgens berekend door de gecorrigeerde kentallen uit stap 4 van elk appartementtype bij elkaar op te tellen.

III.3 Rekenvoorbeeld voor berekenen waterverbruik woontoren

Een appartementengebouw of woontoren is als volgt samengesteld:

appartementtype	afkorting in berekening	aantal
Studio's	stud	24
Luxe tweekamerappartementen	tweek	140
Luxe driekamerappartementen 160 m ²	driek	20
Luxe vierkamerappartement	vierk	4

De berekening van de kentallen van het waterverbruik voor de gehele woontoren is geïllustreerd in onderstaande tabel:

	aantal (<i>n</i>)	stap 1: kental type appartement	stap 2: f_X	stap 3: $f_{X, cor}$ $n_{type} = 4$	stap 4: gecorrigeerd kental	stap 5: kental woontoren
MMV_{koud} [l/s]						
stud	24	0,850	2,29	1,77	0,479	
tweek	140	3,72	1,69	1,41	2,63	
driek	20	1,59	2,36	1,82	0,874	
vierk	4	0,878	3,12	2,27	0,387	
						4,37
MMV_{warm} [l/s]						
stud	24	0,541	2,53	1,92	0,282	
tweek	140	1,99	1,87	1,52	1,30	
driek	20	0,864	2,61	1,97	0,439	
vierk	4	0,535	3,45	2,47	2,17	
						2,24
MWW10 [l]						
stud	24	151,3	2,22	1,73	87,4	
tweek	140	824,3	1,55	1,33	620,4	
driek	20	359,0	2,30	1,78	201,7	
vierk	4	226,2	3,19	2,32	97,7	
						1007,2
MWW60 [l]						
stud	24	384,5	1,63	1,38	279,4	
tweek	140	2836,7	1,23	1,14	2494,6	
driek	20	924,6	1,67	1,40	658,1	
vierk	4	502,0	2,16	1,70	295,5	
						3727,6
MWW120 [l]						
stud	24	554,7	1,51	1,30	425,2	
tweek	140	4573,8	1,16	1,10	4170,5	
driek	20	1265,1	1,55	1,33	951,6	
vierk	4	577,7	1,97	1,58	365,7	
						5913,1
MWWdag [l]						
stud	24	1540,1	1,22	1,13	1359,4	
tweek	140	15333,6	1,03	1,02	15023,6	
driek	20	3844,8	1,24	1,15	3356,1	
vierk	4	1361,8	1,45	1,27	1074,1	
						20813,2

