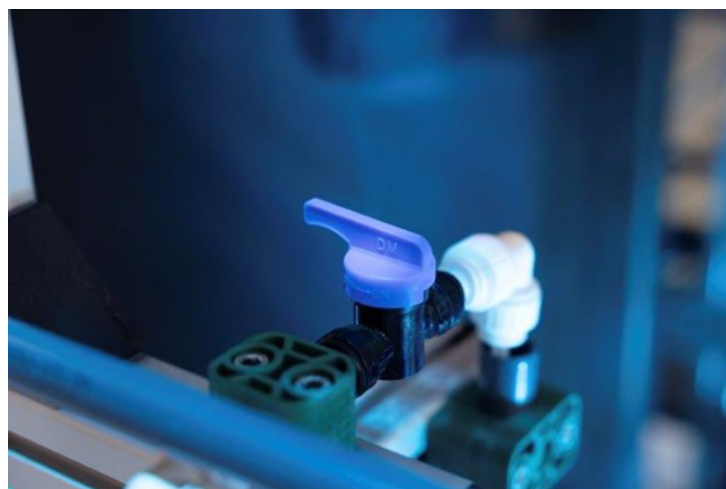




Bedrijfstakonderzoek
BTO 2024.058 | Mei 2024

Lood uit messing onderdelen en loodsoldeer



Colofon

Lood uit messing onderdelen en loodsoldeer

BTO 2024.058 | Mei 2024

Dit onderzoek is onderdeel van het collectieve Bedrijfstakonderzoek van KWR, de waterbedrijven en Vewin.

Opdrachtnummer

404300/077

Projectmanager

I. (Ina) Vertommen MSc (404300/077)

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Distributie

Auteurs

dr. ir. A. (Amitosh) Dash, A. (Aulia) Galama-Tirtamarina MSc, M. (Marco) Dignum (Waternet), N. (Nathasja) ten Kate (Evides), R. (Rob) van der Leer (Evides)

Tekstredactie

dr. ir. H.J. (Henk) Krajenbrink

Kwaliteitsborgers

dr. ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker (404300/077)

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.

Een jaar na publicatie is het openbaar.

Keywords

Lood, Messing, Loodsoldeer, HomeWaterLab, EPANET, Loodafgifte

Jaar van publicatie
2024

Meer informatie

dr. ir. A. (Amitosh) Dash

T +31 (0)30 60 69 696
E amitosh.dash@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

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

KWR

Mei 2024 ©

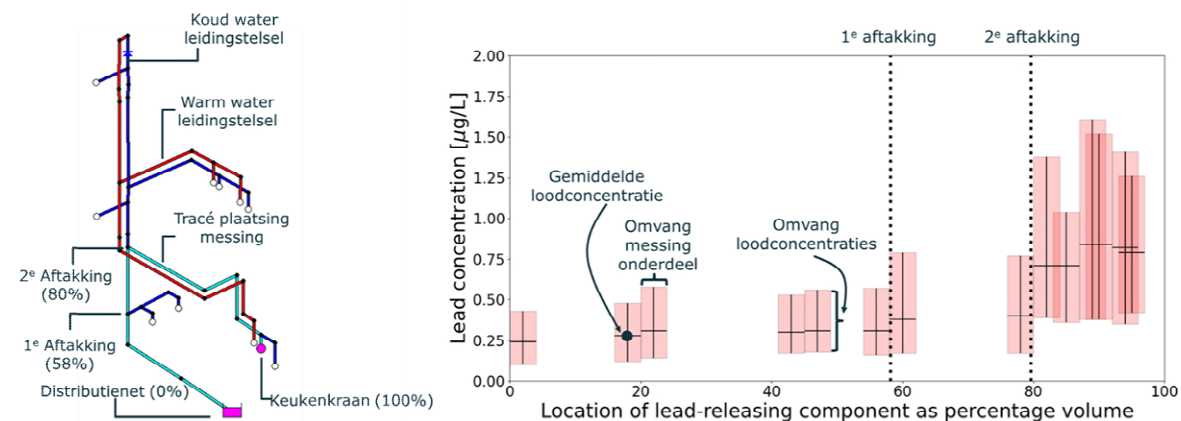
Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen,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

Managementsamenvatting

Profielbemonstering helpt messing op te sporen; volgens gevalideerd model geeft vooral messing in laatste aftakkingen drinkwaterinstallaties risico op normoverschrijding

Auteurs: Amitosh Dash, Aulia Galama-Tirtamarina, Marco Dignum (Waternet), Nathasja ten Kate (Evides), Rob van der Leer (Evides).

De norm voor lood in drinkwater is aangescherpt, waardoor loodafgevende onderdelen als messing en loodsoldeer meer aandacht verdienen. Inzichten vanuit modellering, laboratoriumproeven en praktijkmetingen zijn samengebracht om de loodproblematiek beter te begrijpen en passende vervolgstappen te formuleren. In deze studie hebben we een modelleringskader gevalideerd met behulp van experimenten in een proefopstelling, het HomeWaterLab. Het gevalideerde model is gebruikt om verschillende scenario's na te bootsen. Het blijkt dat messing in de watermeter en de dienstkraan gemiddeld niet leiden tot normoverschrijding, maar dat er wel incidentele overschrijdingen van de norm plaatsvinden. Er is vastgesteld dat de aanwezigheid van messing in de laatste aftakking van de drinkwaterinstallatie tot hoge loodconcentraties aan de kraan leiden en ook tot frequentere incidentele overschrijdingen (vergeleken met messing in de aansluitleiding). Bij een incidentele overschrijding is nader onderzoek nodig, bijvoorbeeld via profielbemonstering (langdurig doorspoelen → langdurige stagnatie → reeks monsters verzamelen). De sterktes en kwetsbaarheden van profielbemonstering voor het lokaliseren van loodafgevende onderdelen zijn vastgesteld en deze inzichten zijn vertaald naar richtlijnen om profielbemonsteringen goed uit te voeren en de resultaten beter te duiden.



Hoe geïsoleerder het loodafgevende onderdeel in de vertakte drinkwaterinstallatie, hoe hoger de loodconcentratie aan de kraan (langere stilstand-periodes en lagere kansen tot wegspoeling wegens verbruik elders). Links: Drinkwaterinstallatie waarbij een klein messing onderdeel is geïntroduceerd. (Rechts) Invloed locatie messing onderdeel op loodconcentratie aan de keukenkraan.

Belang: Strengere norm voor lood in drinkwater leidt tot aandacht voor messing en loodsoldeer

In de EU Drinkwaterrichtlijn is de norm voor lood in drinkwater aangescherpt. De drinkwatersector wil weten of messing onderdelen en loodsoldeer in koperen leidingen een risico vormen voor het overschrijden van deze nieuwe norm. Zo ja, dan hebben drinkwaterbedrijven een grote opgave aan het saneren van watermeters, dienstkranen en

koperen aansluitleidingen met loodsoldeer. In de praktijk wordt de norm getoetst met Random Day Time of RDT-bemonstering: een norm voor een gemiddelde wekelijkse blootstelling die op basis van een momentopname wordt beoordeeld. Bemonsteren op het niveau van individuele woningen heeft daarbij weinig betekenis. Bij een incidentele overschrijding van RDT is nader onderzoek nodig. Recent heeft de drinkwatersector

hiervoor een geharmoniseerd meetprotocol gedefinieerd met als essentiële component profielbemonstering (langdurig doorspoelen → langdurige stagnatie → reeks monsters verzamelen).

Aanpak: Model valideren, aanscherpen en toepassen

Modellering biedt een makkelijke en goedkope manier om tal van relevante scenario's te bestuderen. Om enkele modelaannames te toetsen en aan te scherpen in het door KWR ontwikkelde modelleringskader, is een gedegen validatie-exercitie gedaan:

- Proeven met diverse loodafgevende onderdelen om loodafgifte als functie van stagnatieduur te kwantificeren.
- Een loden stuk leiding is gemonteerd in het HomeWaterLab (een opstelling die de drinkwaterinstallatie in een woning nabootst). Daarna zijn de gemiddelde loodconcentraties aan de kraan gedurende een week gemeten met proportionele bemonstering.
- Simulaties van een model van het HomeWaterLab zijn gedraaid op een één-op-één manier. De berekende (model) en gemeten (laboratoriumproef) loodconcentraties zijn met elkaar vergeleken.

Modellering heeft eerder aangetoond dat profielbemonstering robuust is. De robuustheid is verder onderzocht door middel van proeven in het HomeWaterLab en praktijkmetingen (bij particulieren en locaties waar veel kinderen verblijven).

Resultaten: Gevalideerde model gebruikt voor inzicht in effect van messing onderdelen

De berekende en gemeten loodconcentraties hebben dezelfde orde van grootte, wat leidt tot de conclusie dat het modelleringskader betrouwbaar en geschikt is voor het modelleren van opgelost lood in diverse scenario's in drinkwaterinstallaties. Op basis van de simulaties blijkt dat de aanwezigheid van messing in de watermeter of dienstkraan gemiddeld niet tot overschrijdingen van de norm leidt, maar er

kunnen wel incidenteel overschrijdingen worden gevonden bij RDT-bemonstering. Er is vastgesteld dat de aanwezigheid van messing in de laatste aftakking van de drinkwaterinstallatie tot hoge loodconcentraties aan de kraan kan leiden en ook tot frequentere incidentele overschrijdingen (vaker dan bij messing in de aansluitleiding).

Profielbemonstering geeft veel informatie over de locatie van loodafgevende onderdelen, een aspect dat niet eerder in de praktijk was getoetst. Laboratoriumproeven in het HomeWaterLab en praktijkervaring bij woningen hebben enkele kwetsbaarheden van profielbemonstering blootgelegd, die met een aangescherpt meetprotocol kunnen worden ondervangen.

Toepassing: Pas het model toe op meer scenario's en op andere metalen

Incidentele overschrijding van de norm tijdens reguliere monitoring kan aanleiding zijn voor de uitvoering van profielbemonstering. Aanbevolen wordt om de profielbemonstering volgens de aangescherpte richtlijnen uit te voeren.

Messing ontbreekt op de aangepaste EU positieve lijst voor materialen die in contact mogen komen met drinkwater. Ons onderzoek laat zien dat bestaande watermeters met messing voldoen aan de aangescherpte norm. Wanneer in de toekomst de norm verder wordt aangescherpt, kan messing in watermeters wel tot overschrijding van de norm voor lood gaan leiden.

Aanbevolen wordt om nader vervolgonderzoek te doen naar een aantal nog niet opgehelderde aspecten en effecten, zoals van loodmofverbindingen in gietijzerleidingen, de kwaliteit van soldering en portiekwoningen (waar het drinkwaterbedrijf alsnog verantwoordelijk is voor achter de muur verborgen leidingen).

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Lood uit messing onderdelen en loodsoldeer* (BTO 2024.058).

Inhoud

Colofon	2
<i>Managementsamenvatting</i>	3
Inhoud	5
1 Inleiding: leiden messing en loodsoldeer tot een normoverschrijding?	8
1.1 Lood (in drinkwater) is onwenselijk	8
1.2 Aanpak van onderzoek	11
1.3 Leeswijzer van rapport	12
2 Kalibratiemetingen voor loodafgifte	13
2.1 Beschrijving van loodafgifte diffusiemodel	13
2.2 Keuzes van loodafgevende onderdelen	13
2.3 In-situ of Ex-situ kalibratie?	14
2.4 Uitvoering van meetcampagne	16
2.5 Resultaten van laboratoriumanalyse	16
2.5.1 Blanco drinkwater	16
2.5.2 Loodafgevende onderdelen	18
2.5.3 Metingen door Evides en Waternet	18
2.5.4 Keuze van loodafgevende onderdeel voor in-situ metingen in het HomeWaterLab	20
3 Metingen in het HomeWaterLab	22
3.1 HomeWaterLab – een onderzoeksomgeving voor de drinkwaterinstallatie in woningen	22
3.2 Bemonstering voor lood: de eerste toepassing van de <i>HomeWaterLab</i>	23
3.3 Profielbemonstering	25
3.3.1 Voorbereiding en uitvoering	25
3.3.2 Resultaten – effect van monstervolume en volgorde experimenten	26
3.3.3 Resultaten – blanco-meting	28
3.3.4 Belangrijkste bevindingen van de profielbemonsteringproeven	29
3.4 Proportionele bemonstering	30
3.4.1 Analyse van modelresultaten van voorgaand project ten behoeve van ontwerpen van experimenten	30
3.4.2 Voorbereiding en uitvoering	31

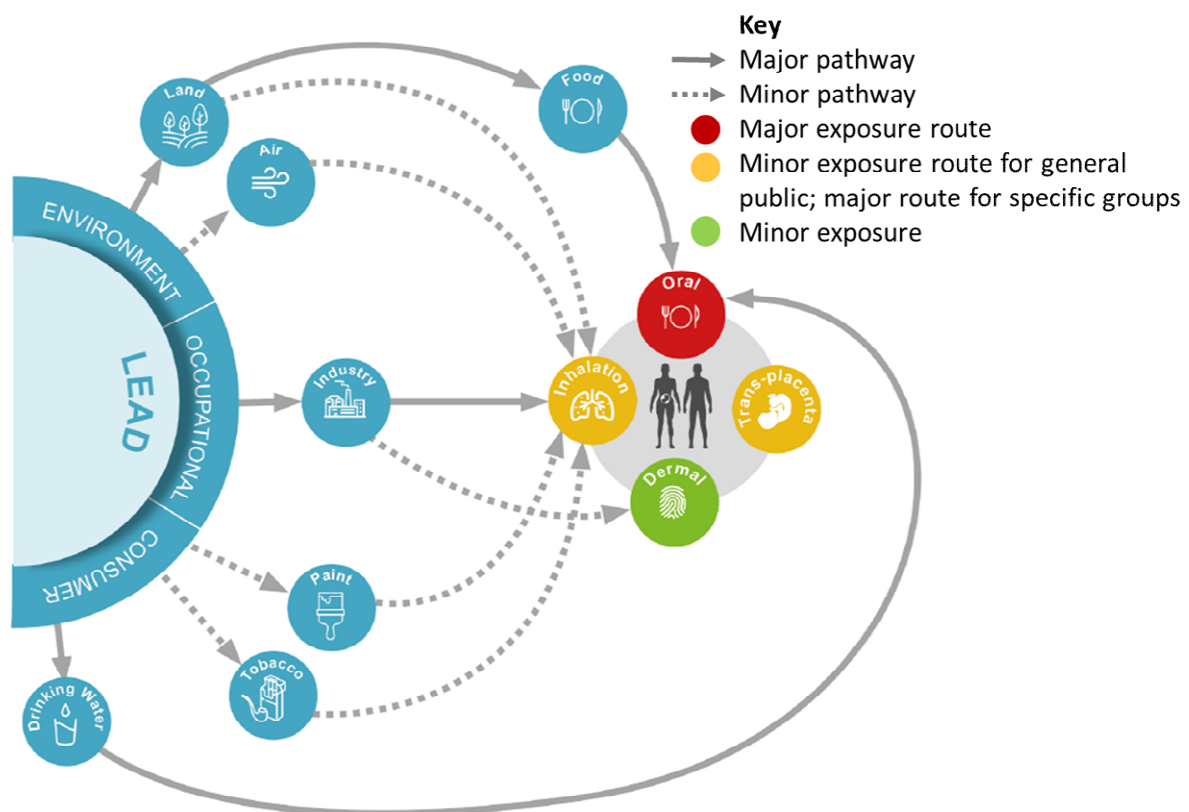
3.4.3	Resultaten - gemiddelde loodconcentraties in monsters verzameld gedurende één week	32
3.5	Lood in het HomeWaterLab na afloop van alle experimenten	34
4	Validatie modelleringskader: een-op-een vergelijking tussen simulaties en experimenten in het HomeWaterLab	36
4.1	Kader en componenten van numerieke simulaties	36
4.2	Workaround: Temporele vertraging en vraagvermindering om korte leidingen tegen te gaan	37
4.3	Resultaten van simulaties van het HomeWaterLab en vergelijking met concentraties gemeten tijdens proportionele bemonstering	38
4.4	Discussie: geldigheid van modelleringskader	40
5	Toepassing van het modelleringskader op overige scenario's	42
5.1	Typische scenario's – dienstkraan, watermeter, keukenkraan, loodsoldeer	42
5.1.1	Messing onderdelen	42
5.1.2	Loodsoldeer	43
5.2	Invloed locatie loodafgevend onderdeel – constante evenwichtsconcentratie en tijdschaal voor oplossing	44
5.2.1	Groot stuk messing van 160 ml tussen distributienet en keukenkraan	44
5.2.2	Klein stuk messing van 16 ml bij de keukenkraan	46
5.3	Invloed van variatie in loodafgifte-eigenschappen	46
5.4	Invloed van variatie in woninggeometrie	46
5.5	Gestapelde bouw	47
5.6	Kinderopvanglocaties	48
6	Praktijkervaringen door drinkwaterbedrijven met het landelijke geharmoniseerde meetprotocol voor lood	51
6.1	Het landelijk geharmoniseerde meetprotocol voor het bepalen van loodafgifte in binneninstallaties	51
6.2	Wat is profielbemonstering?	52
6.3	Algemene ervaring met het geharmoniseerde meetprotocol	53
6.4	Stappenplan voor optimale uitvoering van profielbemonstering	54
7	Conclusies en mogelijke vervolgstappen	56
7.1	Conclusies	56
7.2	Discussie	57
7.2.1	Vervangingsbeleid	57
7.2.2	Uitbreiden van scenariostudies	57
7.2.3	Toetsing van de norm	57

7.2.4	Verband met positieve lijsten	58
7.2.5	Breder onderzoek naar drinkwaterinstallaties	58
7.3	Aanbevelingen	59
7.3.1	Uitbreiden van validatie en scenariostudies	59
7.3.2	Breder onderzoek naar drinkwaterinstallaties	59
7.3.3	Lood in het distributienet	59
7.4	Bedrijfsparagraaf	60
I	Bijlage – Loodonderzoek in Nederland	64
II	Bijlage – Logbladje voor kalibratiemetingen en procedure	68
III	Bijlage – Kalibratiemetingen log	71
IV	Bijlage – Kalibratie metingen labanalyse	77
V	Bijlage – Pilot uitlogging lood uit watermeters (Nathasja ten Kate en Rob van der Leer)	80
VI	Bijlage – Pilot loodafgifte uit messing (Marco Dignum)	87
VII	Bijlage – Logblad voor profielbemonstering	95
VIII	Bijlage – Profielbemonstering log	96
IX	Bijlage – Profielbemonstering metingen labanalyse	98
X	Bijlage – Overige analyses profielbemonstering	100
XI	Bijlage – Voorbeeld van een acceptatietest	106
XII	Bijlage – Praktische leerpunten van de voorbereiding en uitvoering van meetcampagne in het HomeWaterLab	110
XIII	Bijlage – Vertalen van SIMDEUM-patronen naar input HomeWaterLab	118
XIV	Bijlage – Logblad voor proportionele bemonstering	120
XV	Bijlage – Proportionele bemonstering log	121
XVI	Bijlage – Proportionele bemonstering metingen labanalyse	123
XVII	Bijlage – Aanpassing hydraulisch model HomeWaterLab ten behoeve van validatie	124
XVIII	Bijlage – Scripts die als hulpmiddelen dienen voor het opstellen van simulaties	127
XIX	Bijlage – Teken drinkwaterinstallaties op basis van layout woningen op Funda	130
XX	Bijlage – Korte uitleg uitgebreide vragenlijst voor betere duiding geharmoniseerde meetprotocol	148
XXI	Bijlage – Vragenlijst voor betere duiding van geharmoniseerde meetprotocol (ingevuld voorbeeld)	150
XXII	Bijlage – Resultaten uitproberen geharmoniseerde meetprotocol door drinkwaterbedrijven	160
XXIII	Bijlage – Profielbemonstering bij kindlocaties	173
XXIV	Bijlage – Volledige verzameling van profielbemonstering resultaten bij kindlocaties	176

1 Inleiding: leiden messing en loodsoldeer tot een normoverschrijding?

1.1 Lood (in drinkwater) is onwenselijk

Lood is een onwenselijk materiaal waaraan mensen via meerdere bronnen en routes blootgesteld kunnen worden. In Figuur 1 is een schematisch overzicht opgenomen van de bronnen en routes. Lood bevindt zich in het milieu, werkomgeving en consumentenproducten. Mensen kunnen lood binnenkrijgen via de lucht (inademen), de huid (dermaal) en de mond (oraal). Een route van hoge blootstelling aan lood is via consumptie van drinkwater.



Figuur 1: De verschillende manieren waarop mensen aan lood blootgesteld kunnen worden. Drinkwater is een bron van hoge blootstelling aan lood [1].

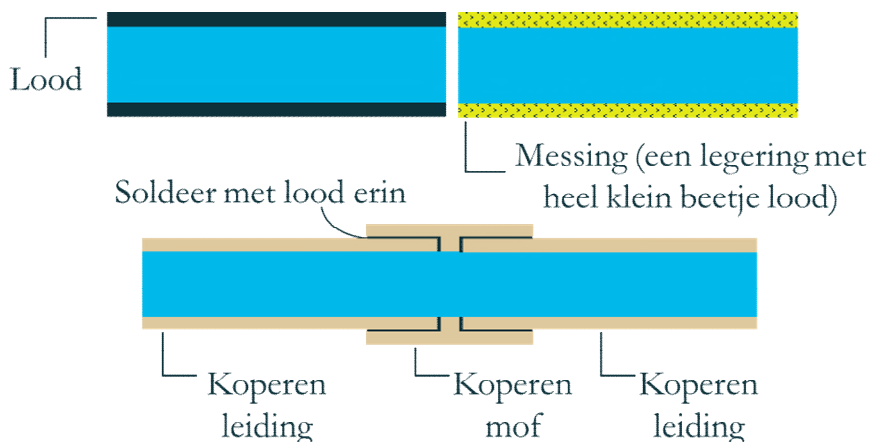
De Europese Unie heeft in januari 2021 een aangescherpte drinkwaterrichtlijn (Europese wet voor drinkwater) ingevoerd. Vanaf 12 januari 2023 moeten de lidstaten van de EU de richtlijn vertalen naar nationale wetten. Voor lood betekent het dat de norm in drinkwater wordt aangescherpt van 10 naar 5 µg/L. Volgens de EU drinkwaterrichtlijn, die in werking is getreden op 12-01-2021, moet de loodconcentratie uiterlijk vanaf 12-01-2036 voldoen aan de waarde van 5 µg/l. Tot die tijd is de Europese norm 10 µg/l, maar moeten de drinkwaterbedrijven wel hun best doen om later aan de norm van 5 µg/l te voldoen. Echter, Nederland loopt daarop vooruit en heeft in het drinkwaterbesluit per 12-01-2023 direct de 5 µg/l norm geïmplementeerd.

Verder moeten de lidstaten een generieke analyse opstellen van de mogelijke risico's, monitoring opzetten en maatregelen nemen waar dat nodig is. De monitoring mag beperkt zijn tot gebouwen met publieke functie waar kwetsbare groepen verblijven [2]. Op basis hiervan zijn in Nederland acht clusters opgericht, elk verantwoordelijk

voor een bepaald thema. In de clusters werken de ministeries samen met verschillende organisaties, zoals drinkwaterbedrijven, gemeenten en provincies. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat werkt samen met RIVM aan deze onderwerpen. In Bijlage I wordt een beknopt overzicht gegeven van loodonderzoek in Nederland.

Volgens de laatste inventarisatie van het loden leidingbestand [3] zijn er in 2023 vijf loden distributieleidingen met een totaal lengte van 19 m gevonden. Er resteren nog 636 delen van distributieleidingen met een totale lengte van circa 4493 m die een aanvullende beoordeling nodig hebben om lood uit te sluiten. Verder moeten de drinkwaterbedrijven in 2023 actie ondernemen om 434 bekende loden aansluitleidingen te verwijderen. Er resteren nog circa 3703 aansluitleidingen die beoordeeld moeten worden om de aanwezigheid van lood uit te sluiten.

Drinkwaterbedrijven hebben een verantwoordelijkheid om loden leidingen in hun assets uit te sluiten. Naast loden leidingen zijn er nog andere loodhoudende onderdelen die onder de assets van drinkwaterbedrijven vallen, zoals koperen (aansluit)leidingen met loodsoldeer en messing appendages (bijvoorbeeld, in watermeter en dienstkraan). De onderdelen zijn in Figuur 2 weergegeven. Bij een loden leiding komt de gehele loden binnenwand in aanraking met drinkwater. Messing is een legering van meerdere metalen waarin een kleine hoeveelheid lood aanwezig is (typisch tussen 0,5-3,5%) die aan het water afgegeven kan worden. Een ander voorbeeld van loodhoudende onderdelen is loodsoldeer die vroeger werd gebruikt om koperen leidingen aan elkaar te hechten in een koperen mof. De oppervlakte soldeer die in aanraking met drinkwater komt is gering. Messing en loodsoldeer vormen “de laatste loodjes” vanwege de kleine hoeveelheden (qua loodpercentages of oppervlakte dat in contact komt met water). Echter, deze onderdelen komen veel voor en mochten deze leiden tot normoverschrijding, dan moeten de drinkwaterbedrijven zich voorbereiden op een grootschalige saneringsprogramma gericht op koperen leidingen met loodsoldeer en messing appendages.



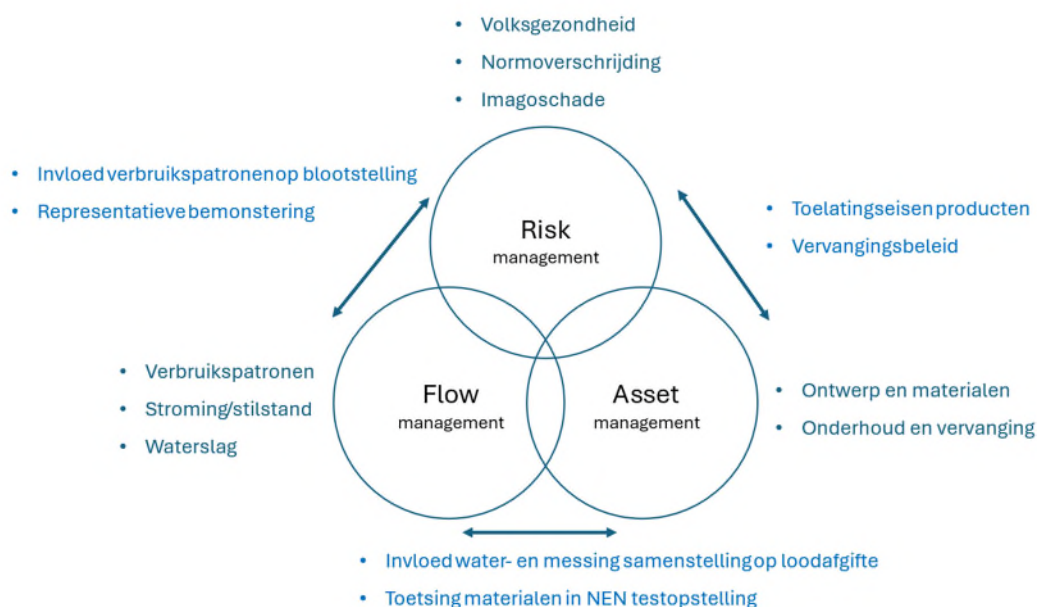
Figuur 2: Schematische weergave van loodhoudende onderdelen. (Linksboven) Loden leiding (Rechtsboven) Messing (Onder) Koperen leiding met loodsoldeer.

Een ingewikkeld aspect hierbij is dat een drinkwaterbedrijf niet alleen verantwoordelijk is voor de drinkwaterkwaliteit aan het leverpunt (watermeter). Vanuit een maatschappelijk belang voor de volksgezondheid zijn ze ook verantwoordelijk voor de kwaliteit bij tappunten. De complexiteit zit hem in het feit dat de drinkwaterinstallatie onder verantwoordelijkheid van het pandeigenaar valt. Daarnaast is elke drinkwaterinstallatie anders. Als gevolg hiervan vormen drinkwaterinstallaties een blinde vlek voor drinkwaterbedrijven. Dit is een uitdaging voor de zorgplicht van het drinkwaterbedrijf omdat er nog veel mis kan gaan in het laatste stuk van waterlevering. De installatie zou zelf loodafgevende onderdelen kunnen bevatten (historische keuze inzake leidingmateriaal of producten die aangesloten zijn aan de drinkwaterinstallatie). Dit wordt verergerd door het optreden van langdurige stagnaties in de drinkwaterinstallatie (in tegenstelling tot het distributienet) waardoor meer lood aan het water wordt afgegeven.

Het perspectief van een drinkwaterbedrijf (Waternet) is in Figuur 3 weergegeven. Aan het begin van het project heeft Waternet een poging gedaan de vele onderzoeksvragen te ontrafelen. Als uitgangspunt zijn daarbij drie pijlers van de drinkwatervoorziening gebruikt.

1. Het beheer van waterstromen (flow management) betekent zorgen voor de juiste hoeveelheid water op de juiste plek op de juiste tijd. Op het niveau van huishoudens wordt de stromingssnelheid vooral bepaald door verbruikspatronen, daar heeft het drinkwaterbedrijf weinig invloed op. Voor loodafgifte is stroming dan wel stilstand bepalend. Ook waterslag kan bijdragen doordat loodhoudende deeltjes loskomen, maar dit is vanwege de complexiteit niet meegenomen in het onderzoek.
2. Het op tijd onderhouden, renoveren en vervangen van de onderdelen van het distributienet (asset management) is bepalend voor de aanwezigheid van loodhoudende materialen. Lood is een metaal dat gemakkelijk vervormt, wat een gunstige eigenschap is voor waterdichte montage. Lood is daarom in het verleden veelvuldig toegepast.
3. Het beheersen van risico's (risk management) is een belangrijke taak van het drinkwaterbedrijf. De volksgezondheid staat centraal bij het terugdringen van lood in het drinkwaterdistributienet. In recente jaren zijn zowel de waterkwaliteitsnormen als de toelatingseisen voor materialen in contact met drinkwater aangescherpt. Ook het consumentenvertrouwen speelt een belangrijke rol; de aanwezigheid van loden leidingen heeft in Amsterdam geleid tot imagoschade.

De onderzoeksvragen kunnen nu ingedeeld worden op basis van de samenhang tussen de drie pijlers. Het gezamenlijk bedrijfstakonderzoek richt zich op de (modellering van de) invloed van verbruikspatronen op de gemiddelde blootstelling en op de representatieve bemonstering in de praktijk. Binnen Waternet is de invloed van de samenstelling van het drinkwater en de samenstelling van verschillende messingtypen op loodafgifte onderzocht. Dit onderzoek kan helpen om in de toekomst beter voorbereid te zijn op de vervangingsopgave, zodat lood op de lange termijn volledig uitgefaseerd wordt.

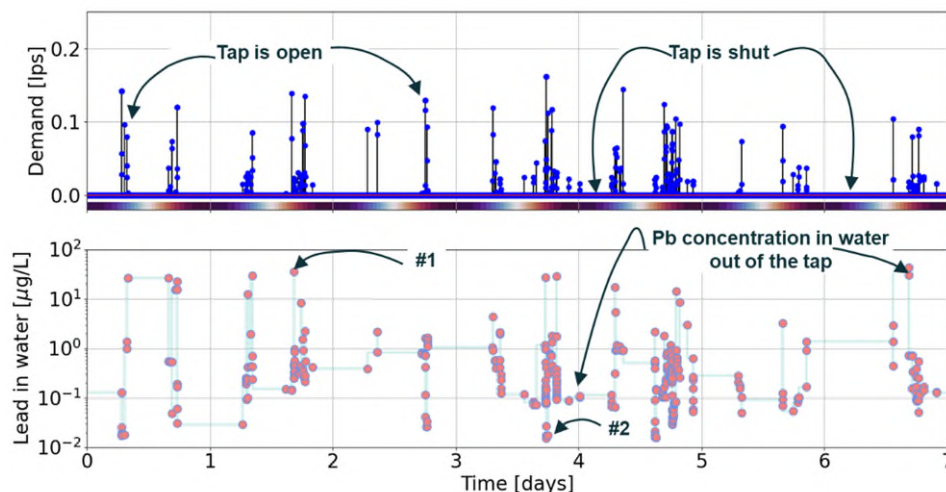


Figuur 3: Perspectieven van een drinkwaterbedrijf (Waternet) rondom het vraagstuk van lood in drinkwater.

De hoofdvraag van dit onderzoek is: *“Vormen koperen leidingen met loodsoldeer en messing onderdelen een risico voor normoverschrijding? Kan deze vraag worden beantwoord met een gevalideerd model? Hoe kunnen problematische onderdelen aangepakt worden?”*.

1.2 Aanpak van onderzoek

De uitdrukking ‘meten is weten’ wordt vaak gebruikt om te benadrukken dat metingen inzichten geven in de werkelijkheid waarmee bepaalde hypothesen bevestigd of ontkracht kunnen worden. Een nadeel van metingen, vooral in de context van lood, is dat de concentratie aan de kraan sterk kan variëren in een gemiddelde week. Ter illustratie wordt verwezen naar de resultaten van een modelleringsstudie in Figuur 4. De concentratie aan de kraan kan zo laag als 0,02 $\mu\text{g/L}$ zijn maar ook zo hoog als 40 $\mu\text{g/L}$. Dit heeft te maken met de stochastische aard van waterverbruik (het is niet mogelijk om waterverbruik op elk moment te voorspellen, maar de statistieken wel): de twee concentratiewaardes zijn momentopnames. Echter is de gemiddelde concentratie gedurende de week van belang, wat bijvoorbeeld 2 $\mu\text{g/L}$ zou kunnen zijn (andere ordegrootte dan momentopnames). Het meten van gemiddelde loodconcentraties aan de kraan vergt grote inspanningen en kosten en kan als omslachtig ervaren worden door bewoners [4]. Om deze uitdaging te vermijden is er gekozen voor het gebruik maken van een reeds ontworpen modelleringskader [5, 6]. Dit modelleringskader beschrijft de onderliggende mechanismen in detail (stochastische waterverbruik, drinkwaterinstallatie geometrie, loodafgifte eigenschappen) en leidt tot beter onderbouwde resultaten.



Figuur 4: Uitdaging voor het duiden van gemeten loodconcentraties aan de kraan. Deze plaatjes zijn gemaakt op basis van modelleringsresultaten. In de loop van een dag gaat een kraan regelmatig open en dicht. Dit geldt ook voor de overige verbruikspunten in een pand. Deze variatie in combinatie met de dynamiek van loodafgifte (hoeveelheid lood afgegeven tijdens een bepaalde stilstandduur) leidt tot variatie in de loodconcentraties aan de kraan. Bij meetmoment 1 (plaatje onderaan) is de concentratie aan de kraan 40 $\mu\text{g/L}$ en bij meetmoment 2 is het 0,02 $\mu\text{g/L}$. De gemiddelde loodconcentratie aan de kraan gedurende een week is ongeveer 2 $\mu\text{g/L}$.

Het huidige onderzoek is een vervolg op een onderzoek uit 2021 [5]. Daarin is het modelleringskader van dit onderzoek voor het eerst opgezet en gebruikt om te laten zien dat RDT-monsters en stagnatiemonsters geen relatie hebben met de gemiddelde wekelijkse loodiname. Het heeft de meerwaarde aangetoond van modellering in aanvulling op metingen. Dit modelleringskader is ook gebruikt om de invloed van watervraag en watersamenstelling op blootstelling aan te tonen [7]. De loodiname is verder gebruikt als input voor het IEUBK model [8] (IEUBK = Integrated exposure uptake biokinetic) om concentraties in het bloed te voorspellen. Daarnaast is de output van dit modelleringskader ook gebruikt als input voor een ‘less-than-lifetime’ risicobeoordeling [9]. Het modelleringskader is uitgebreid en breder toegepast waarin onder andere profielbemonstering is beoordeeld [6, 10].

Het ontworpen modelleringskader is echter nooit gevalideerd. De validatie is gedaan aan de hand van proeven om eigenschappen van loodafgifte te bepalen in een krachtige proefopstelling, het HomeWaterLab [11]. De metingen voor loodafgifte in dit onderzoek zijn aangevuld met onafhankelijke meetcampagnes uitgevoerd door drinkwaterbedrijven zelf.

In een apart traject buiten dit project is een geharmoniseerd meetprotocol ontworpen [12], waarvan de zogenaamde profielbemonsteringmethodiek een belangrijke component is [6, 10]. De profielbemonsteringmethodiek is beoordeeld op basis van proeven in het HomeWaterLab en metingen in de praktijk. Kortom, om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, is het probleem vanuit verschillende invalshoeken benaderd – modellering, laboratoriumproeven en praktijkmetingen.

1.3 Leeswijzer van rapport

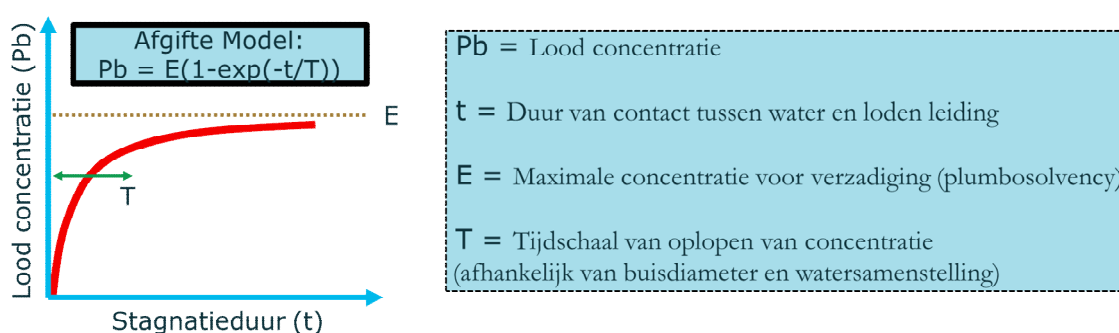
- In dit hoofdstuk is de hoofdvraag achter het onderzoek geïntroduceerd en het plan van aanpak kort toegelicht.
- In hoofdstuk 2 zijn eigenschappen bepaald van loodafgifte vanuit een aantal loodafgevende onderdelen, aangeleverd door drinkwaterbedrijven (kort stuk loden leiding, koperen leiding met loodsoldeer en watermeter met messingonderdelen). Daarnaast zijn de metingen voor loodafgifte vanuit messing bij twee drinkwaterbedrijven (Evides en Waternet) samengevat. Deze resultaten bieden inzichten in onder andere de concentraties die in het water komen tijdens stagnatieperiodes.
- In hoofdstuk 3 zijn alle resultaten vanuit de experimenten in het HomeWaterLab samengevat – zowel profielbemonstering als proportionele bemonstering. Deze resultaten bieden belangrijke informatie voor het valideren van het modelleringskader (proportionele bemonstering) en het duiden van profielbemonsteringmetingen in de praktijk (profielbemonstering).
- In hoofdstuk 4 is een één-op-één vergelijking tussen de proportionele-bemonstering-experimenten en een model van het HomeWaterLab gedaan. Op basis van de resultaten is er een uitspraak gedaan over de betrouwbaarheid van het modelleringskader.
- In hoofdstuk 5 zijn een aantal casestudies uitgevoerd om typische loodconcentraties te berekenen en de gevoeligheid van het scenario aan te tonen.
- In hoofdstuk 6 zijn de bevindingen van de praktijkmetingen met behulp van profielbemonstering samengevat. Op basis van de opgedane ervaring zijn een aantal richtlijnen geformuleerd.
- In hoofdstuk 7 zijn de conclusies van deze studie samengevat en zijn suggesties voor vervolgstudies gedaan.

Het rapport is in het Nederlands opgesteld, maar veel grafieken hebben Engelse tekst. Afhankelijk van de gebruikte taal is de decimale punt of met ‘.’ of met ‘,’ weergegeven. In die gevallen worden de grafieken in het bijschrift in het Nederlands uitgelegd. De foto op de voorpagina van een proportionele bemonsteringkraan is gemaakt door Herbert Wiggerman in opdracht van Techniek Nederland.

2 Kalibratiemetingen voor loodafgifte

2.1 Beschrijving van loodafgifte diffusiemodel

Een essentieel onderdeel van de validatie is een één-op-één vergelijking tussen experimenten en modelleren. Een van de belangrijkste inputparameters voor de loodafgiftemodellering is de relatie van afgifte en stagnatieduur¹. Dit bepaalt de concentratie van opgelost lood in het water nadat er continu contact is geweest tussen een loodhoudende wand en stilstaand water. Een voorbeeldgrafiek wordt in Figuur 5 getoond en de benodigde parameters worden toegelicht.



Figuur 5: Illustratie uitkomst van loodafgifte met stagnatieduur. Water staat stil in een loodafgevende onderdeel.

De kalibratiemeting² wordt met twee parameters gekarakteriseerd: maximaal bereikbare concentratie (ook evenwichtsconcentratie of lood oplossend vermogen genoemd) en een tijdschaal waarmee de concentratie oploopt (tijdens contact met een loodafgevende oppervlakte). De tijdschaal van oplopen van loodconcentratie in een cilinder kan met de volgende vergelijking beschreven worden: $T = DE/4M$. De $D/4$ is de verhouding tussen de inhoud en oppervlakte van een cilinder waar D de diameter van de buis is. De term M is de snelheid van afgifte (typische eenheid is $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$). Na het verlopen van tijd T wordt ongeveer 63% van de evenwichtsconcentratie bereikt.

Beide parameters (E , T) zijn afhankelijk van meerdere factoren zoals samenstelling van het loodafgevende materiaal, temperatuur en watersamenstelling (pH, waterstofcarbonaat, chloride, sulfaat). Dus naast het natuurkundige aspect van de diffusie van lood vanuit de wand naar de bulk spelen ook scheikundige aspecten een rol in de snelheid van afgifte en oplossend vermogen.

2.2 Keuzes van loodafgevende onderdelen

Een van de vragen die de waterbedrijven graag willen kunnen beantwoorden is hoeveel lood wordt afgegeven door de verschillende onderdelen. In overleg met deelnemende drinkwaterbedrijven zijn watermeters, koperen leidingen met loodsoldeer, en messing onderdelen uitgekozen.

De watermeter valt onder de verantwoordelijkheid van de drinkwaterbedrijven en bevat typisch een aantal messing onderdelen. Bij testen uitgevoerd door Oasen en Vitens werden bovendien hoge concentraties lood aangetroffen. Nieuwere watermeters geven vaak meer lood af waarom vaak een doorspoeladvies voor een aantal maanden wordt gegeven aan bewoners van woningen met nieuwe watermeters. Loodsoldeer heeft tot nu toe weinig aandacht

¹ Deze worden ook 'migratietesten' genoemd.

² Let op: De kalibratiemeting die hieronder uitgelegd wordt spitst zich vooral toe op opgelost lood. Loden deeltjes kunnen ook afgegeven worden waardoor de gemeten lood concentraties omhoog kunnen schieten. Het is belangrijk om zich hiervan bewust te zijn.

gekregen vanwege de verwachting dat er weinig lood afgegeven zal worden. Zowel Waternet als Evides besteedt aandacht aan respectievelijk messing en messing houdende watermeters.

Afhankelijk van hoeveel lood de bovengenoemde onderdelen afgeven, bestaat het risico dat een normoverschrijding van de wekelijkse inname optreedt. Omdat in Nederland miljoenen leidingen met loodsoldeer en watermeters met messing aanwezig zijn, zal het een grote onderneming worden om ze allemaal op te sporen en te vervangen. Daarnaast is er onduidelijkheid over in hoeverre loden leidingen en overige loodhoudende onderdelen in contact met drinkwater komen in de drinkwaterinstallatie.

De drinkwaterbedrijven zijn vooral geïnteresseerd in loodafgevende onderdelen die al langdurig in gebruik zijn (en dus weinig lood meer afgeven). Vanuit het oogpunt van het onderzoek en beoogde validatie is het belangrijk dat de onderzochte loodafgevende onderdelen juist veel lood afgeven, zodat het gemeten kan worden, ook na verdunning (in het HomeWaterLab).

Uiteindelijk werden drie proefstukken geselecteerd (geleverd door drie drinkwaterbedrijven):

- Een korte loden leiding (Vitens)
- Een koperen leiding met loodsoldeer (Dunea)
- Een meteropstelling met CW217D³ messing onderdelen (Oasen)



Figuur 6: Foto's van de drie geselecteerde lood afgevende onderdelen. (Links) Korte loden leiding (Rechts boven) koperen leiding met loodsoldeer (Rechts onder) Watermeter met loodhoudende kraan

Figuur 6 toont de proefstukken. De loden leiding is vrij kort en heeft hoogstwaarschijnlijk in een muur gezeten. De loden leiding en koperen leiding met loodsoldeer zijn oud en gebruikt. De watermeter is vrij nieuw zodat loodconcentraties gemeten kunnen worden ondanks verdunning in de HomeWaterLab-opstelling, mocht het getest worden. Het bestuderen van messing onderdelen kon niet in deze campagne meegenomen worden als losse meting. Aangezien er messing onderdelen in de watermeteropstelling zelf zitten is er wel een indicatie van afgifte.

2.3 In-situ of Ex-situ kalibratie?

De kalibratie kan op twee manieren worden uitgevoerd:

- In-situ kalibratie: kalibratie in het HomeWaterLab of een overige pipe rig⁴
- Ex-situ kalibratie: kalibratie los van de binneninstallatie-opstelling

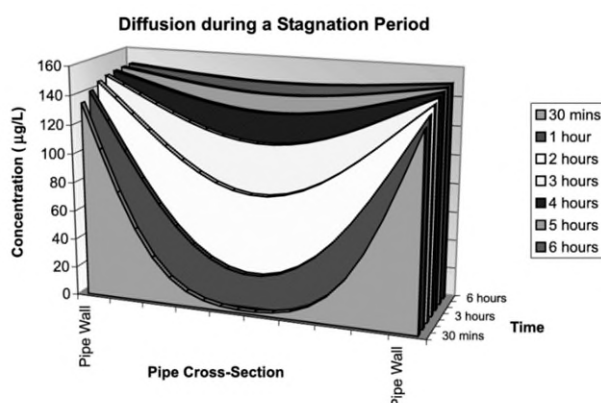
In-situ metingen worden vaak gebruikt [13, 14] en zijn een goede manier om de metingen in een omgeving uit te voeren die lijkt op de werkelijkheid. Een uitdaging die hierbij hoort is de procedure van monsternamen en de

³ Dit is bevestigd na correspondentie via e-mail met de producent. Tijdens het uitvoeren van dit onderzoek is CW217 de standaard keuze voor messing in meteropstellingen

⁴ In NEN-EN 15664-1 wordt uitgebreid uitgelegd hoe metaalafgifte het best beoordeeld kan worden. Vanuit wetenschappelijk oogpunt biedt zo'n benadering de beste manier om loodafgifte te bestuderen. Het bouwen van een dergelijke proefopstelling valt echter buiten de scope van het huidige project.

interpretatie daarvan. Zo is bij de uitvoering van een dergelijke test [13] beschreven: “De bemonstering van de proefbuizen vond plaats door verdringing van het ‘stagnatiewater’ met vers water uit de aanvoerleiding. Omdat de snelheid van het water in het midden van de buis groter is dan de wand, treedt bij het verdringen menging op van het inkomende en stagnerende water. Dit kan de resultaten beïnvloeden. Om dit te voorkomen, is bij de monsternamen minimaal het laatste kwart van de buisinhoud onbenut gelaten. Laboratoriumproeven met een kleurstof hebben aangetoond, dat deze marge onder de gegeven proefomstandigheden ruim voldoende is. Voorts is een voorloop van 50 à 100 ml niet opgevangen.” In een andere studie is het volgende beschreven [14]: “Water samples were collected from a sample port directly after the LSL⁵ (...) A 125-mL sample was collected after purging 60 mL to waste in order to capture a volume in the middle of the LSL.”

Beide bovengenoemde studies maken zich zorgen over de concentratiegradiënt in de lengterichting van de leiding. Naast een concentratiegradiënt in de lengterichting, zal er ook een gradiënt in de radiale richting aanwezig zijn. Er is theoretisch aangetoond hoe het concentratieprofiel van opgelost lood in de doorsnede van een buis zich zal ontwikkelen in de tijd [15], zie Figuur 7. Loodafgifte begint bij de wand en het lood verspreidt zich door diffusie over de hele doorsnede; het duurt enige tijd (zes uur in Figuur 7) voordat opgelost lood homogeen in de doorsnede aanwezig is. Tot dat moment zijn de loodconcentraties hoger aan de wand dan bij de middellijn. Kortom, er is sprake van een radiaal profiel van opgelost lood. Dat betekent dat als er een monster van de wand afgenomen wordt, er onzekerheden kunnen zijn over de precieze concentratie.



Figuur 7: Radiale diffusie van opgelost lood in de tijd [15].

Omdat een ex-situ meting de bezwaren van het radiale profiel niet heeft, is er voor een ex-situ kalibratie gekozen. De algemene procedure houdt in dat water in het loodafgevend onderdeel langdurig stilstaat. Daarna wordt de hele inhoud in een aparte fles opgevangen. Zo'n ex-situ metingen heeft een paar voordelen:

- De proefopstelling is makkelijker dan bij een in-situ meting waarbij de meetapparatuur in een bestaand leidingsysteem moet worden gemonteerd.
- De losse stukken kunnen makkelijk in een temperatuur-gereguleerde kast gelegd worden.
- De watersamenstelling kan makkelijker gevarieerd worden in vergelijking met een in-situ meting.

Een nadeel van een ex-situ meting is de mogelijke afwijking van de werkelijkheid door de kans op aanwezigheid van lucht. Zo kan door de aanwezigheid van lucht het kalk-koolzuurevenwicht verstoord worden, wat de concentratie waterstofcarbonaat in het water beïnvloedt. De verandering in waterstofcarbonaat kan invloed hebben op het proces van loodafgifte. Daarnaast kan bij een ex-situ kalibratie het afgegeven lood niet diffunderen in de lengterichting, hetgeen in werkelijkheid wel voorkomt.

Uiteindelijk is er voor een ex-situ kalibratie gekozen, zodat de kalibratiemetingen uitgevoerd konden worden voordat het HomeWaterLab in gebruik was.

⁵ LSL = Lead Service Line (Ioden aansluitleiding)

2.4 Uitvoering van meetcampagne

De volgende stagnatieperiodes (alle tijdstippen in uur) zijn gehanteerd: 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4, 6, 12-15, 24, 48. Veel metingen met kortere stagnatieperiode zijn nodig, om het oplopen van loodconcentraties goed te kunnen volgen. De langste stagnatieperiodes (1-2 dagen) zijn bedoeld om de waarde van evenwichtsconcentratie te benaderen. De meting van “12-15” uur is een meting gedurende de nacht, waarbij het vanuit een praktisch oogpunt niet mogelijk was om het precieze moment van monstername vast te stellen.

De focus van dit project ligt op het valideren van modellering aan de hand van experimenten. Met het model kan (momenteel) alleen opgelost lood worden gesimuleerd – dat wil zeggen, geen deeltjes. Deeltjes kunnen echter hogere concentraties lood veroorzaken. Daarom werd er ook voor na de stagnatieperiodes van 2, 4, en 12 uur bemonsterd voor totaal lood (optelsom van opgeloste lood én deeltjes).

Om contact met lucht tegen te gaan, is besloten om de drie stukken met PVC-onderdelen af te doppen⁶. Bij de watermeter is alleen één eind afgedopt en de andere zou met een afsluiter afgesloten kunnen worden. De inhoud van de onderdelen (na afdopping) zijn: ~58 ml (korte loden leiding), ~296 ml (koperen leiding met loodsoldeer), ~187 ml (watermeter). Zie Tabel 1. Dit is genoeg voor het minimaal benodigde volume voor analyse van lood bij het laboratorium (25 ml). De bemonstering vond plaats in het technische laboratorium van KWR. De afgenomen monsters zijn geanalyseerd door het laboratorium bij KWR. De zuurgraad⁷ is gemonitord⁸. Tijdens de metingen zijn de onderdelen in een broedrooster geplaatst om een temperatuur gereguleerde omgeving te creëren (20 °C in de huidige experimenten). De foto's in Figuur 8 tonen een paar handelingen uit de meetcampagne. In Bijlage II is een uitgebreide beschrijving van de meetcampagne en de procedure opgenomen.

2.5 Resultaten van laboratoriumanalyse

Zevenenvijftig monsters zijn geanalyseerd (53 voor lood en 4 voor waterstofcarbonaat). In Bijlage III en Bijlage IV zijn respectievelijk de laboratoriumexperimenten en resultaten gedocumenteerd.

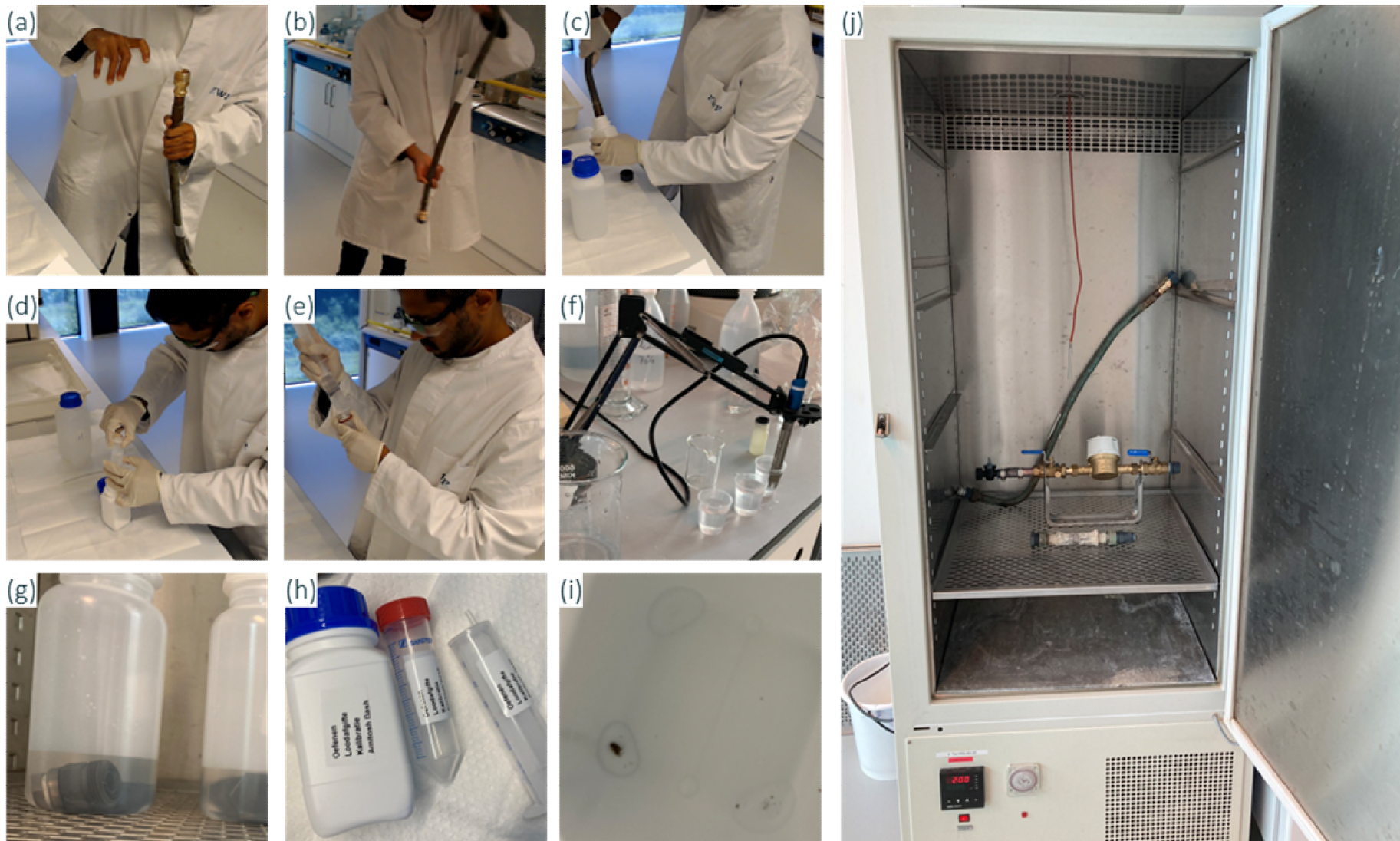
2.5.1 Blanco drinkwater

Er lijkt weinig fluctuatie te zijn in het waterstofcarbonaatgehalte tijdens de meetcampagne. Tussen januari en maart 2022 werden bij het uitgaande reinwater in Nieuwegein waterstofcarbonaat waardes tussen 146-227 mg/L gemeten. De waardes tijdens de meetcampagne liggen tussen 175-180 mg/L. De beperkte variatie komt mogelijk doordat de metingen in twee achtereenvolgende weken uitgevoerd werden. Er is weinig lood aangetroffen in het drinkwater dat verzameld werd (≤ 0.55 µg/L).

⁶ Bij KWR was er de mogelijkheid om gebruik te maken van messing, RVS, en PVC. PVC werd gekozen in de veronderstelling dat dit materiaal de minste kans heeft zelf lood af te geven. Op een later moment werd bekend dat in het verleden lood-stabilisatoren aan PVC drinkwaterleidingmateriaal toegevoegd werden. Sinds het begin van deze eeuw mogen deze lood-stabilisatoren niet meer toegevoegd worden aan drinkwaterleidingen. De kans is dus gering dat de gebruikte PVC-afdopping lood afgeeft, maar dat moet bevestigd worden. Voor toekomstig onderzoek moet er rekening worden gehouden dat bij de werkplaats bij KWR ook Teflon dopjes geproduceerd kunnen worden die inert zijn.

⁷ De zuurgraad (pH) zou met zoutzuur of natroloog respectievelijk kunnen worden verlaagd of verhoogd. Chloride kan ook gebruikt worden maar dat zou corrosief kunnen zijn en de loodafgifte kunnen beïnvloeden. Een nadeel van het variëren van de pH is dat het de formatie van de deklaag aan de wand kan beïnvloeden en kan zodoende de interpretatie van de resultaten bemoeilijken.

⁸ Men moet zich ervan bewust zijn dat de resultaten zullen gelden voor de interactie tussen het materiaal en het lokale drinkwater en niet universeel geldig zijn. In tabel 1 van NEN-EN 15664-2 zijn eigenschappen van drie type “test waters” samenvat – “very hard neutral water”, “soft water weakly acidic”, en “soft water alkaline”.



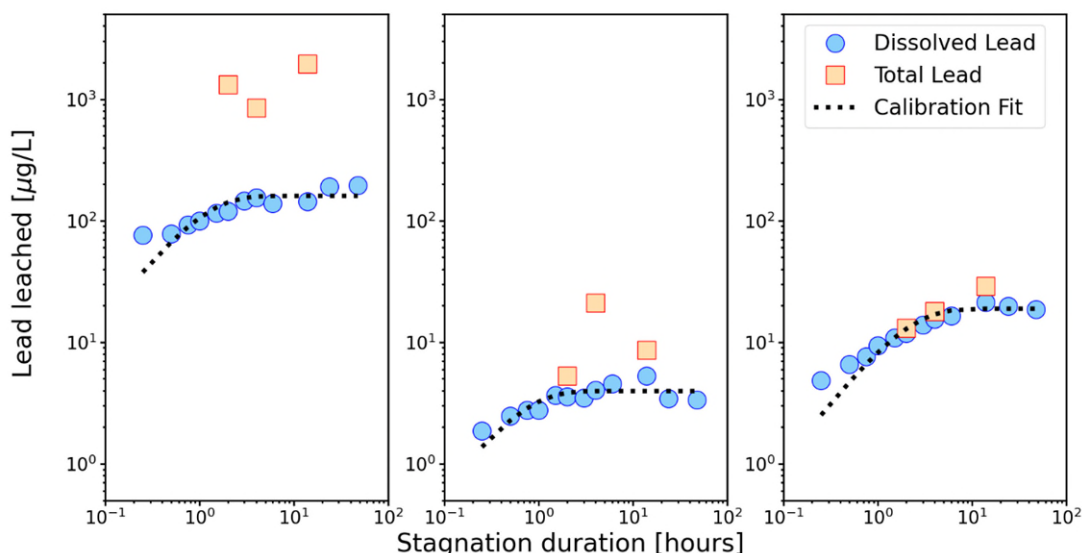
Figuur 8: (a) Inschenken van drinkwater in onderdeel (b) Langzaam draaien van onderdeel om water erin te mengen voordat het uitgieten wordt (c) Uitgieten van drinkwater in klein flesje (d) Invullen van spuit (e) Invullen van polypropelyne buis van spuit door filter (f) pH metingen (g) Onderdompelen van PVC afdoppingen (h) Kleine fles, polypropelyne buis, spuit met etiket (i) Aanwezigheid van deeltjes in monster (j) Plaatsen van loodafgevende onderdelen in broedrooster.

2.5.2 Loodafgeevende onderdelen

De resultaten voor de drie loodafgeevende onderdelen zijn in Figuur 9 weergegeven. Voor elk onderdeel is een kalibratiecurve gefit om de eigenschappen van loodafgifte af te leiden. Voor de afzonderlijke onderdelen zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- Bij de loden leiding loopt de opgeloste loodconcentratie op tot 200 $\mu\text{g/L}$ in 24 uur. Opgeloste loodconcentraties van 150 $\mu\text{g/L}$ worden al na 3 uur bereikt. De kalibratiecurve past goed bij de gemeten datapunten behalve voor de langste stagnatieperiodes, waardoor de precieze waarde van maximale concentratie voor verzadiging (E) onduidelijk is. De totale loodconcentraties (inclusief deeltjes) zijn in de ordegrootte van 1000 $\mu\text{g/L}$ en er is geen trend in de drie metingen als functie van stagnatieduur.
- Bij de koperen leiding met loodsoldeer lopen de opgeloste loodconcentraties op tot ongeveer 5 $\mu\text{g/L}$, hoewel er bij de metingen na 24 en 48 uur stagnatie iets lagere concentraties zijn gemeten. De totale loodconcentraties zijn altijd iets hoger dan de bijbehorende opgeloste concentraties. Alleen na 4 uur stagnatie is de totale loodconcentratie veel hoger (20 $\mu\text{g/L}$). De aangetroffen concentraties zijn lager dan bij de loden leiding, omdat slechts een klein deel van de oppervlakte loodhoudend is. De rest van de leiding speelt een rol in de verdunning.
- Bij de metingen bij de meteropstelling lopen de opgeloste loodconcentraties op tot 20 $\mu\text{g/L}$ en de kalibratiecurve is behoorlijk goed. Voor de totale loodconcentraties zijn de waarden redelijk dicht bij de waarden voor opgeloste concentraties, behalve bij de nachtelijke meting (12-15 uur). De gemeten concentraties zijn lager dan bij de loden leiding, omdat het onderdeel van messing is, dat alleen maar een klein beetje lood bevat.

In Figuur 9 zijn de resultaten van de drie loodafgeevende onderdelen naast elkaar weergegeven. Dit toont duidelijk de verschillen in de ordegrootte van afgegeven lood door de verschillende onderdelen. Bij alle onderdelen is er een kalibratiecurve door de meetpunten heen gefit waarmee de parameters voor loodafgifte afgeleid kunnen worden. De resultaten hiervan zijn in Tabel 1 samenvat. De waarden hierin zullen als input dienen voor de modelstudies (hoofdstuk 4).



Figuur 9: Afgegeven lood als functie van stilstand duur voor (links) loden stuk, (midden) koperen leiding met loodsoldeer, (rechts) watermeter. Zie Tabel 1.

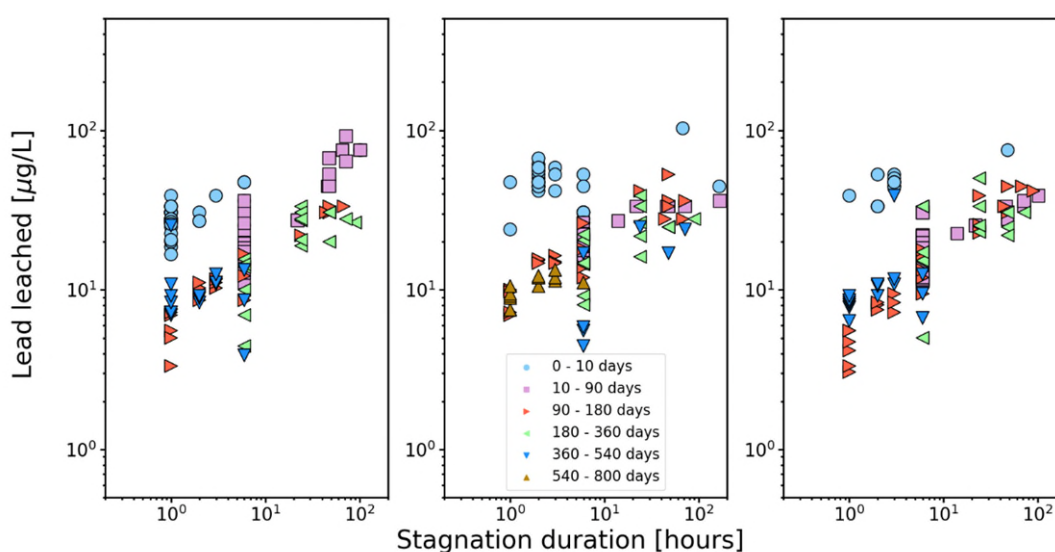
2.5.3 Metingen door Evides en Waternet

Naast het onderzoek bij KWR hebben enkele drinkwaterbedrijven ook hun eigen onderzoek verricht om loodafgifte vanuit messing en watermeters te bepalen. In dit hoofdstuk worden de bevindingen van deze proeven samengevat. Uitgebreide overzichten zijn in Bijlage V en Bijlage VI te vinden.

Evides

Bij drinkwaterbedrijf Evides zijn proeven met vijf verschillende watermeters gedaan (drie voor particuliere klanten en twee voor commerciële klanten). De aanleiding van het onderzoek was om een recente aanbesteding van watermeters met loodarm messing te beoordelen, vooral wat betreft de mate van afgegeven lood. Hieronder worden de resultaten van de watermeters van particulieren beschreven.

Er zijn curves door de gemeten datapunten getrokken om de evenwichtsconcentratie en afgiftesnelheid te bepalen, waarvan de resultaten in Tabel 1 zijn samengevat. Bij alle drie combinaties (watermeter + drinkwater) is er een soortgelijke evenwichtsconcentratie in de buurt van 25 $\mu\text{g/l}$. Twee hebben soortgelijke loodafgiftesnelheden terwijl bij de derde de snelheid een factor twee lager is. Dit toont aan dat watermeters van dezelfde constructie afwijkende afgifte-eigenschappen kunnen hebben.



Figuur 10: Loodafgifte als functie van watervolume door een watermeter geschikt voor een particuliere consument (kleuren van de bollen). Het aantal dagen vertegenwoordigt de doorgestroomde hoeveelheid water op basis van 120 liter per dag (waterverbruik door één persoon). De drie assen vertegenwoordigen drie aparte watermeters. Resultaten uit proeven uitgevoerd door Evides.

De testen werden maandenlang uitgevoerd met regelmatige monsternamen na een bepaalde stagnatieperiode. Tussen de bemonstering en de volgende stagnatieperiode is de opstelling gespoeld met water op basis van waterverbruik door één persoon (120 liter per dag). De resultaten van de loodafgifte zijn in Figuur 10 weergegeven. Daarin is te zien hoe de loodconcentraties variëren met stagnatieduur en hoeveelheid doorstroomd water. Ook na doorspoelen na effectief één jaar zijn loodconcentraties van ruim 5 $\mu\text{g/l}$ aangetroffen na korte stagnatieperiodes. De resultaten in Figuur 10 tonen hogere concentraties dan in de figuren in Bijlage V te zien zijn, doordat voor het effect van verdunning is gecorrigeerd.

Waternet

Bij Waternet zijn proeven uitgevoerd, gericht op de rol van puntstukken van verschillende messing types op loodafgifte. Vier verschillende messing types zijn onder de loep genomen: CW614, CW617, CW602 en CW724R. Proeven zijn op twee productielocaties uitgevoerd (Weesperkarspel en Leiduin) en bij elke locatie zijn er twee strengen van elk materiaal onderzocht. Dit zorgt voor variaties in drinkwatersamenstelling en een duplo uitvoering.

De testen zijn maandenlang uitgevoerd met nieuwe puntstukken. Bij deze opstelling is een dagelijks waterverbruik van 125 liter per dag als dagpatroon toegepast die automatisch plaatsvindt. Twee type proeven zijn uitgevoerd. Het eerste type proef is een meting van loodconcentraties als functie van stagnatieperiode (de verzadigingscurves). In Figuur 11 ziet men ook de gefitte verzadigingscurves. De samenvatting van deze parameters vindt men in Tabel 1. Daarbij is er geen onderscheid gemaakt tussen water van Weesperkarspel en Leiduin. Met uitzondering van CW602

lijkt 16 uur stilstand genoeg voor het bereiken van een evenwichtigheidsconcentratie. De evenwichtigheidsconcentraties voor CW617 en CW614 zijn ongeveer 10 µg/l. Deze waarde voor CW724R, waarin bijna geen lood wordt gebruikt (<0,2% massagewicht), is veel lager. Daarentegen zijn de aangetroffen loodconcentraties bij CW602 veel hoger dan CW614 en CW617, hoewel alle drie de messingtypes soortgelijke gehalten lood bevatten. De loodafgiftemetingen van CW617 bij Waternet tonen lagere concentraties en de afgiftesnelheid is ook lager dan de waardes aangetroffen bij KWR en Evides.

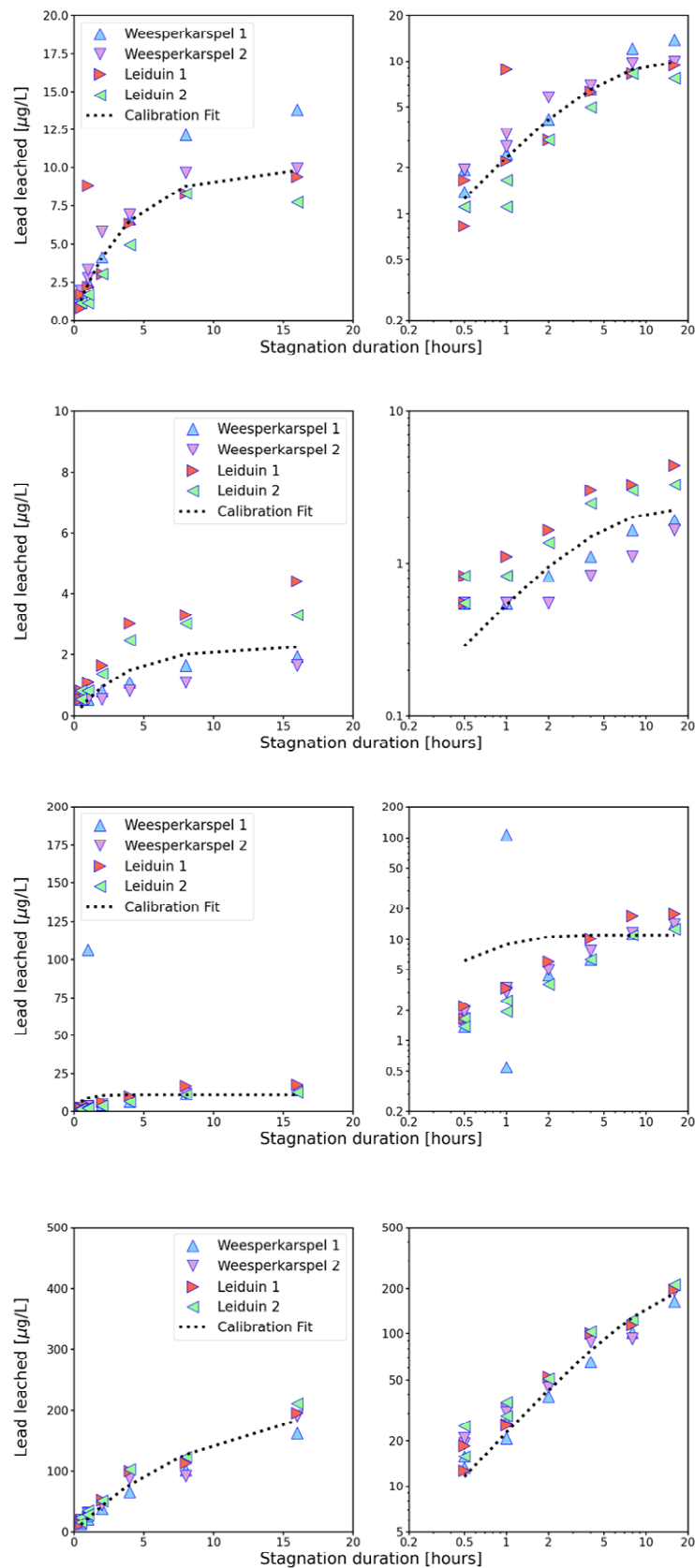
Er zijn nog meer proeven gedaan, onder andere om te kijken welke loodconcentraties er worden aangetroffen na langdurige stagnaties ook na maanden waterverbruik. Uit de testen blijkt dat enkel CW724R voldoende lage concentraties geeft ten opzichte van de aangescherpte norm.

2.5.4 Keuze van loodafgevende onderdeel voor in-situ metingen in het HomeWaterLab

Bij KWR-onderzoek zijn drie loodafgevende onderdelen getest: een kort loden stuk leiding, een koperen leiding met loodsoldeer, een meteropstelling met CW217D messing onderdelen. Een van deze drie stukken kon worden gebruikt om in de HomeWaterLab-opstelling te monteren voor vervolgmetingen. De keuze is gebaseerd op het doel om metingen te doen om een model te valideren en niet om een uitspraak te doen over overschrijding van de nieuwe aangescherpte norm. Daarom is het belangrijk dat het gekozen stuk een voldoende hoge loodconcentratie afgeeft en dat een voldoende groot volume water blootgesteld wordt aan loodafgevende leidingmateriaal wordt zodat zelfs na een sterke verdunning de concentraties meetbaar blijven. Daarom is er gekozen voor het monteren van het loden stuk leiding in het HomeWaterLab.

Tabel 1: Eigenschappen van loodafgifte voor verschillende onderdelen op basis van vergelijking weergegeven in Figuur 5. Namen van instellingen geven aan waar de metingen zijn uitgevoerd.

	Diameter (D) en Volume onderdeel	Maximale opgeloste lood- concentratie (E)	Snelheid van loodafgifte (M)	Tijdschaal voor oplossing ($T = DE/(4M)$)
Modellering aannames in Fase I van project (KWR)	32 mm en 804 ml	110 µg/L	0,115 µg/(m ² ·s)	2,13 uur
Loden stuk (KWR)	18,2 mm en 58 ml	160,5 µg/L	0,216 µg/(m ² ·s)	0,94 uur
Koperen leiding met loodsoldeer (KWR)	19,0 mm en 296 ml	4,3 µg/L	0,0086 µg/(m ² ·s)	0,66 uur
Meteropstelling met CW217D messing (KWR)	18,7 mm en 187 ml	19,3 µg/L	0,014 µg/(m ² ·s)	1,77 uur
CW617N-A (Evides)	15 mm en 90 ml	26,7 µg/L	0,040 µg/(m ² ·s)	0,70 uur
CW617N-B (Evides)	15 mm en 90 ml	27,7 µg/L	0,040 µg/(m ² ·s)	0,72 uur
CW617N-C (Evides)	15 mm en 90 ml	25,4 µg/L	0,017 µg/(m ² ·s)	1,52 uur
CW614 (Waternet)	24 mm en 29 ml	11,0 µg/L	0,011 µg/(m ² ·s)	0,62 uur
CW617 (Waternet)	24 mm en 29 ml	9,9 µg/L	0,0016 µg/(m ² ·s)	3,74 uur
CW602 (Waternet)	24 mm en 29 ml	223,7 µg/L	0,014 µg/(m ² ·s)	9,44 uur
CW724R (Waternet)	24 mm en 29 ml	2,2 µg/L	0,00036 µg/(m ² ·s)	3,73 uur



Figuur 11: Verzadigingscurves voor verschillende soorten messing gemeten bij Waternet. Van boven naar beneden zijn de volgende messingsoorten weergegeven: CW617, CW724R, CW614, CW602. De linker grafiek bevat de resultaten op een lineaire schaal en aan de rechter grafiek op een logaritmische schaal.

3 Metingen in het HomeWaterLab

In de aanloop van dit project is bij KWR een proefopstelling ontworpen en opgebouwd, genaamd HomeWaterLab [11]. De tekst in secties 3.1 en 3.2 is eerder verschenen in een vakbladartikel [16] over de eerste toepassing van de opstelling, het project over loodafgifte en blootstelling.

3.1 HomeWaterLab – een onderzoeksomgeving voor de drinkwaterinstallatie in woningen

De drinkwaterinstallatie is een blinde vlek voor drinkwaterbedrijven. Er is recentelijk een oproep gedaan om meer aandacht aan de drinkwaterinstallaties te besteden [17]. Vanwege het brede scala van vraagstukken rondom drinkwaterinstallaties had KWR de wens om een meetopstelling te bouwen die een woning kan nabootsen en makkelijk toegankelijk is. Lood in drinkwater is niet het enige aspect van de drinkwaterinstallatie waarmee Nederlandse drinkwaterbedrijven worstelen. Andere vraagstukken zijn microbiologische veiligheid, temperatuur, waterbesparingsstrategieën, en het testen van nieuwe technologieën of producten.

De meetopstelling is gerealiseerd en is *HomeWaterLab* genoemd. Deze unieke opstelling biedt een onderzoeksomgeving om vraagstukken rondom drinkwaterinstallaties te beantwoorden, zonder klanten lastig te vallen.

Het *HomeWaterLab* heeft de volgende eigenschappen:

- Ontwerp is gebaseerd op een drinkwaterinstallatie voor een gangbaar Nederlands huishouden.
- Horizontale configuratie in plaats van verticale maakt de opstelling compacter. Dit is een pragmatische keuze om een hoge opstelling te vermijden. Omdat het een druk-gedreven installatie is, is de invloed van de hoogte gering.
- Leidingen zijn uitgevoerd met realistische lengtes en diameters. Alle leidingen hebben een binnendiameter van 13 mm (in de praktijk variëren die van ca. 10 tot 20 mm).
- Leidingen zijn van PVC-U gemaakt, wat een gangbaar materiaal is voor Nederlandse drinkwaterinstallaties (maar zeker niet het meest gebruikt). Dit was een bewuste keuze omdat het inert is voor microbiologische nagroei.
- Elf verbruikspunten (aangedreven door solenoid valves) zijn aanwezig. Zeven zijn binair van aard, dat wil zeggen dat ze of aan of uit kunnen staan, waarbij de aan/uit-stand in de tijd kan worden geschakeld. De andere vier zijn regelbaar waarbij gewenste volumestromen aangegeven kunnen worden en kunnen variëren over de tijd.
- Aanwezigheid van een boiler om warm water te kunnen voorzien. Drie verbruikspunten kunnen warm water krijgen.
- Aanwezigheid van een voordrukpomp en buffervat om drukschommelingen in de drinkwaterinstallatie van KWR (wegens waterverbruik bij een andere proefinstallatie) te vermijden.
- Koppeling met een besturingssysteem is aanwezig. Hiermee kunnen tijdsafhankelijke verbruikspatronen makkelijk aan de elf verbruikspunten toegewezen worden. Experimenten kunnen langdurig en automatisch gedraaid worden.
- In de opstelling zijn druk-, temperatuur- en volumestroomsensoren aanwezig. Tijdens metingen worden ze elke seconde ingelezen en de gelogde data kan makkelijk geëxporteerd worden voor nadere analyse.
- Leidingen zijn toegankelijk waardoor sensoren of bijzondere inzetstukken gemonteerd kunnen worden.

Het *HomeWaterLab* is niet de eerste drinkwaterinstallatie meetopstelling in zijn soort. De opstelling bij KWR is geïnspireerd op een opstelling die eerder bij de TU Delft is gebouwd [18] en later ontmanteld. Eigenlijk waren er twee

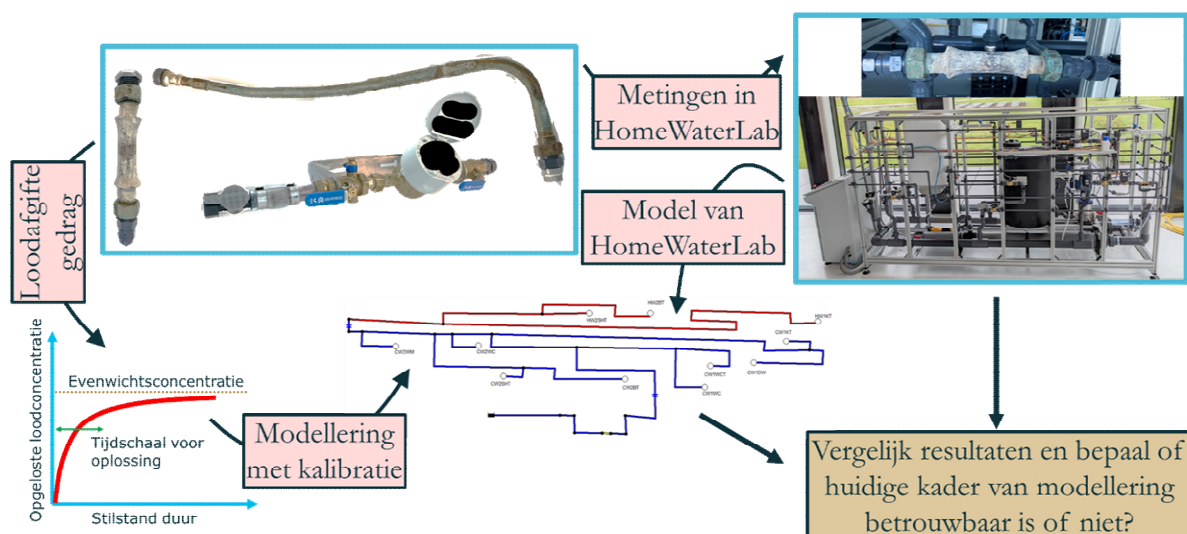
opstellingen bij de TU Delft gebouwd: de eerste gebaseerd op een woninggeometrie en de tweede als een verlenging van de eerste met extra leidingwerk om huishoudelijke sprinklers te accommoderen. De grootste verschillen van de opstelling bij TU Delft in tegenstelling tot *HomeWaterLab* zijn (i) de verticale configuratie (ii) de aanwezigheid van watermeters, (iii) de aanwezigheid van enkel binaire tappunten en (iv) het gebruik van koperen leidingen met binnendiameter 13 mm of 19,8 mm.

Bij de Environmental Protection Agency (EPA) in de Verenigde Staten bestaat er ook een *Home Plumbing Simulator*. Deze opstelling is een full-scale systeem in plaats van de compacte *HomeWaterLab*. Er zijn een echte douche, wasmachine, toilet en kranen ingebouwd. Hier wordt van koperen leidingen gebruik gemaakt. Het is onduidelijk of de opstelling automatisch gedraaid kan worden omdat het systeem alleen op werkdagen doorgespoeld wordt [19]. Deze opstelling wordt vooral gebruikt voor onderzoek naar lood, koper en legionella. Naast de *Home Plumbing Simulator* heeft de EPA ook de *Water Security Test Bed Research* en *Test & Evaluation Facility Research*. Deze twee opstellingen maken ook gebruik van echte toestellen en zijn gebouwd om decontaminatie-strategieën te bestuderen.

3.2 Bemonstering voor lood: de eerste toepassing van de *HomeWaterLab*

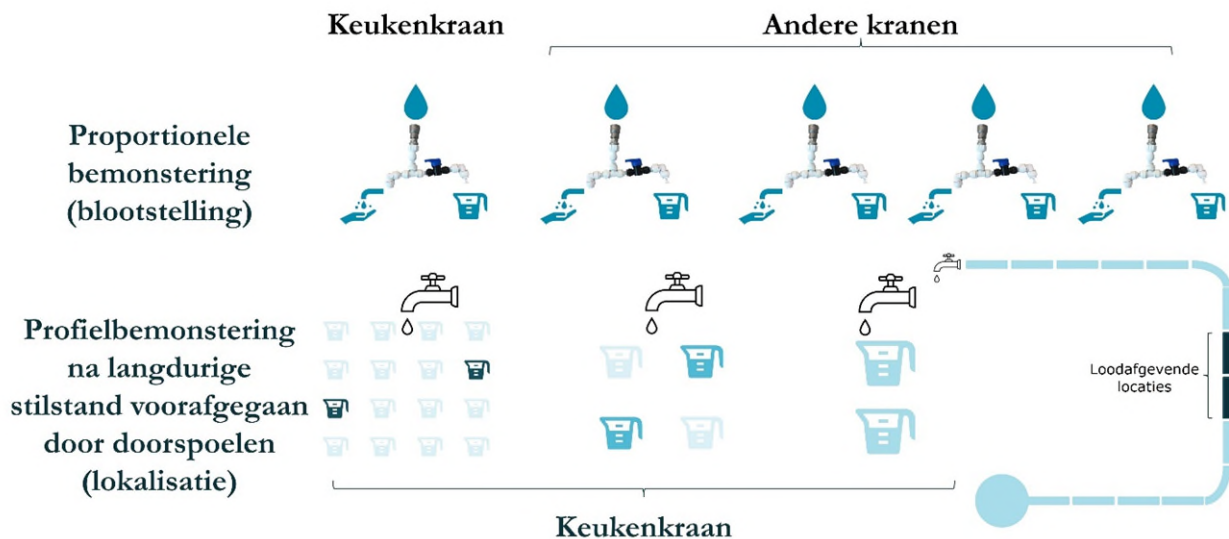
De eerste testen bij het *HomeWaterLab* zullen aan loodafgifte-metingen gewijd worden. Het plan is in Figuur 12 schematisch weergegeven en ziet er als volgt uit:

1. Drie uit het veld genomen loodafgevend onderdelen (een kort loden stuk, koperen leiding met loodsoldeer, watermeter met messing onderdelen) zijn onderzocht op de hoeveelheid afgegeven lood (zowel opgelost en deeltjes) als functie van stilstand-duur. Deze testen zijn buiten de *HomeWaterLab*-opstelling uitgevoerd. De resultaten hiervan dienen als input voor de modellering (maximale loodconcentratie en tijdschaal voor oplossing).
2. Het loden stuk is aan de ingang van de opstelling gemonteerd. Door de juiste verbruikspatronen aan de verbruikspunten toe te voegen, zullen twee type bemonstering uitgevoerd worden. De verzamelde monsters zullen door het laboratorium geanalyseerd worden.
3. Een hydraulisch model van de opstelling met dezelfde verbruikspunten en -patronen als tijdens de metingen wordt bij de modellering gebruikt. Er worden op deze manier kunstmatige monsters verzameld.
4. De resultaten van de monsters verzameld tijdens experimenten en berekeningen zullen met elkaar vergeleken worden. De mate van overeenkomst bepaalt de betrouwbaarheid van het model.



Figuur 12: Plan van aanpak om het model voor loodconcentraties aan de kraan met metingen te valideren.

In de opstelling worden twee type bemonsteringsstrategieën toegepast die in Figuur 13 weergegeven zijn. De twee methodes worden “proportionele bemonstering” en “profielbemonstering” genoemd.



Figuur 13: Bemonsteringsstrategieën. (Boven) proportionele bemonstering (Beneden) profielbemonstering. Proportionele bemonstering geeft inzichten over gemiddelde loodconcentraties. Profielbemonstering geeft inzichten over locatie van loodafgifte en is gevoelig aan inhoud van monster.

Voor de proportionele bemonstering geldt:

- Doel: Met deze test bepaalt men de gemiddelde loodconcentratie aan de kraan over de periode waarin een monster verzameld wordt.
- Aanpak: Hiervoor wordt er van een bijzondere appendage gebruik gemaakt, de zogenaamde proportionele bemonsteringskraan [20]. Deze kraan heeft één invoer en twee afvoeren (één groot, één klein). Water komt bij de invoer binnen. Ongeveer 95% van het water wordt dan door de grote afvoer weggespoeld naar de uitvoer van het *HomeWaterLab*. De resterende 5% wordt door de kleine afvoer in een monsterfles verzameld. Hierdoor hoeft maar een paar liter voor een monster verzameld te worden.
- Testen: Bij vijf verbruikspunten (de vier regelbare tappunten en één binair tappunt) zijn vijf appendages gemonteerd. Bij elke appendage zal er één monster verzameld worden. Bij het *HomeWaterLab* worden er vijf experimenten uitgevoerd, die elk een week zullen lopen. Elke week zal zijn eigen unieke SIMDEUM-verbruikspatroon op alle verbruikspunten krijgen. In totaal, zullen er vijfentwintig monsters verzameld worden. Elke monster zal zowel op opgelost als totaal lood geanalyseerd worden.
- Toegevoegde waarde: De opgeloste loodconcentraties aangetroffen in deze testen zullen direct vergeleken worden met de uitkomsten van de modellen. Hiermee zal er bepaald worden of de uitkomsten van de modellering stevig genoeg zijn om een uitspraak over de rol van loodsoldeer en messing te doen.
- Handelingsperspectief: Leiden loodsoldeer en messing onderdelen tot een overschrijding aan de aangescherpte norm?

Voor de profielbemonstering geldt:

- Doel: Met deze test bepaalt men waar er lood afgegeven wordt.
- Aanpak: Bij deze test wordt er geen gebruik van SIMDEUM gemaakt. Eerst worden alle tappunten doorgespoeld waardoor achtergrondconcentratie lood verdwijnt. Hierna zal de fase van langdurige stilstand beginnen, dat wil zeggen dat voor zes à acht uur er geen verbruik van de opstelling is. Vervolgens zal er bij de keukenkraan een reeks monsters verzameld worden. Elke monster zal dezelfde inhoud hebben.
- Testen: Er zullen meerdere reeksen verzameld worden, met elke reeks zijn eigen monstervolume. Bijvoorbeeld, 1 monster van 2000 milliliter, 2 monsters van 1000 milliliter, 8 monsters van 250 milliliter, 20 monsters van 100 milliliter. Elke monster zal zowel op opgelost als totaal lood geanalyseerd worden.

- Toegevoegde waarde: Met zulke testen kunnen we zien dat grotere monsters in profielbemonstering kwetsbaar zijn voor het effect van verdunning. Bovendien kunnen we het effect van dispersie in de resultaten zien.
- Handelingsperspectief: Waar zit het loodaafgevend onderdeel zodat het verwijderd kan worden?

Met deze testen zal de onderzoeker ook de praktische aspecten rondom het gebruik maken van het *HomeWaterLab* leren kennen. Deze ervaring is een basis voor toekomstige meetcampagnes in de opstelling.

3.3 Profielbemonstering

3.3.1 Voorbereiding en uitvoering

Het loden stuk is aan de ingang van de opstelling gemonteerd en de bemonstering is bij de keukenkraan voor koud water uitgevoerd. Het ingeschatte volume tussen de bron van lood en de kraan is tussen 1450 en 1500 ml. Het loden stuk zelf heeft een volume van 58 ml. Vanuit theoretisch oogpunt (propstroming) moet het monstervolume kleiner dan 58 ml zijn. Bijvoorbeeld bij een monstervolume van 25 ml betekent dit dat minstens twee monsters een verhoogde loodconcentratie zullen hebben. Om een totaal volume van 2000 ml te tappen zou dit echter ook betekenen dat er 80 monsters van 25 ml nodig zijn, wat te duur is.

Proeven van profielbemonstering zijn in juni-juli 2023 uitgevoerd. In Figuur 14 ziet men de tijdslijn voor het uitvoeren van deze metingen. De metingen zijn zo kort mogelijk na elkaar uitgevoerd om praktische redenen. De volgende proeven zijn uitgevoerd:

1. Blanco meting (250 ml × 8 monsters)
2. 100 ml × 20 monsters
3. 250 ml × 8 monsters – twee volumestromen (3 l/min en 1 l/min)
4. 500 ml × 4 monsters
5. 1000 ml × 2 monsters
6. 2000 ml × 1 monster

Ma	Di	Wo	Do	Vr	Za	Zo
				Blanco		
250 × 8 (Turb)	250 × 8 (Lam)	100 × 20 (Turb)		500 × 4 (Turb)		
	1000 × 2 (Turb)	2000 × 1 (Turb)				

Figuur 14: Tijdslijn voor het uitvoeren van profielbemonsteringproeven.

Bij alle proeven is de ingestelde volumestroom aan de kraan standaard ingesteld op 3 l/min. De enige afwijking is een aparte proef voor de reeks met 8 monsters (van 250 ml), waar een extra proef met een lagere volumestroom (van 1 l/min) is uitgetest. Voor een leiding met een binnendiameter van 13 mm wordt het Reynoldsgetal⁹ ~4900 (turbulente stroming) als de volumestroom 3 l/min is. Bij een volumestroom van 1 l/min is het Reynoldsgetal ~1650 (laminaire stroming). Een blanco proef is uitgevoerd om uit te zoeken wat de rol van de opstelling zelf is in het afgeven van lood (PVC-leidingen en messing kranen). De variaties in monstervolumes zijn uitgevoerd om uit te zoeken wat het effect van verdunning is. Voor de reeks met acht monsters is eveneens een variatie in de stroming aangebracht om te kijken naar het stromingsregime.

⁹ Het Reynoldsgetal is een getal waarmee een uitspraak gedaan kan worden over het type stroming. Wiskundig is de Reynoldsgetal in een buis gelijk aan $\text{massadichtheid} \times \text{diameter} \times \text{snelheid} \div \text{viscositeit}$. Bij stroming in een buis wijst een Reynoldsgetal <2300 op laminaire en een Reynoldsgetal >2300 op turbulente stroming.

Een aantal stappen van de monsternamen is in Figuur 15 in foto's weergegeven. Het stappenplan is in Bijlage VII toegelicht. Samengevat wordt voor elke reeks een doorspoelactie uitgevoerd (alle kranen langdurig doorspoelen¹⁰). Vervolgens vindt er een stilstand periode van ± 6 uur plaats. Als voorbereiding zijn alle flessen en bemonsteringsbuizen op de juiste manier vooraf geëtiketteerd. Bij het HomeWaterLab is er na de langdurige stilstand een programma gedraaid waarmee de juiste reeks automatisch gedraaid wordt. De bemonstering vindt bij de keukenkraan plaats, aan het einde van de proportionele bemonsteringkraan waarvan water afgevoerd wordt. Tussen twee monsters komt de stroming tijdelijk tot stilstand, zodat de fles netjes afgedopt kan worden¹¹. Volgens het geharmoniseerde meetprotocol is het echter de bedoeling om de kraan altijd open te houden. Het regelmatig openen en dicht doen van de kraan zou ook waterslag kunnen veroorzaken en het is niet duidelijk in hoeverre het een effect heeft gehad op de waargenomen resultaten. Tijdens deze test stond de boiler aan, maar er is geen bemonstering bij de warmwatertoestellen gedaan.



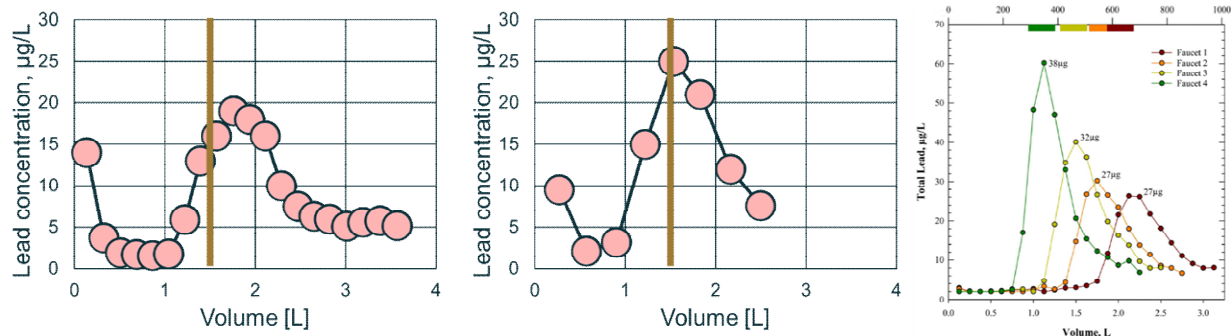
Figuur 15: (Linksboven) Flessen dicht bij de kraan geplaatst in de juiste volgorde (Boven, midden) Voorbereiding van de in te leveren PPE-buizen (Rechtsboven) De in te leveren PPE-buizen na bemonstering (Onder) Nemen van een monster tijdens profielbemonstering.

3.3.2 Resultaten – effect van monstervolume en volgorde experimenten

Alle resultaten zijn in Bijlage VIII en Bijlage IX gedocumenteerd. Tijdens de proeven is de imperfecte aansturing van het HomeWaterLab ook duidelijk geworden, vooral bij kortstondige waterverbruik. De aansturing van het HomeWaterLab werkt met een Excelbestand met daarin de gewenste volumestroom wordt geprobeerd te bereiken. Echter gebeurt het vaak dat het uitgestroomde volume water afwijkt van het verwachte volume. De mate van afwijking is kleiner met toenemende monstergrootte. Deze is verder in Bijlage X gerapporteerd. In Figuur 16 ziet men een paar voorbeelden van gemeten profielen waarbij de correcte volumes zijn gebruikt. Hier is de overeenkomst tussen de piek in het profiel en de locatie van het loden stuk duidelijk. Dit toont aan dat het belangrijk is om zich ervan bewust te blijven dat het HomeWaterLab anders kan draaien dan is geprogrammeerd. Een andere waarneming op basis van Figuur 16 is dat het gemeten profiel een bepaalde breedte heeft en dat het lood niet geconcentreerd is in één monster. Soortgelijke profielen zijn in andere proefopstellingen ook gemeten. Dit komt hoogstwaarschijnlijk door dispersie waardoor opgeloste stof zich in de lengte verspreidt. Dit geeft aan dat de aanname van propstrooming beperkt bruikbaar is bij waterkwaliteitsberekeningen [14].

¹⁰ Tijdens deze testen zijn alle kranen tegelijkertijd bediend, maar wegens beperkte pompcapaciteit vond er wellicht niet bij alle kranen een doorspoeling plaats. Het zou beter geweest zijn om alle kranen een voor een door te spoelen.

¹¹ Voor de proef met 20 monsters in het profiel is een langere pauze tussen de 10^e en 11^e monster gehanteerd, zodat er genoeg tijd is voor een soepele uitvoering van de monsterneming.

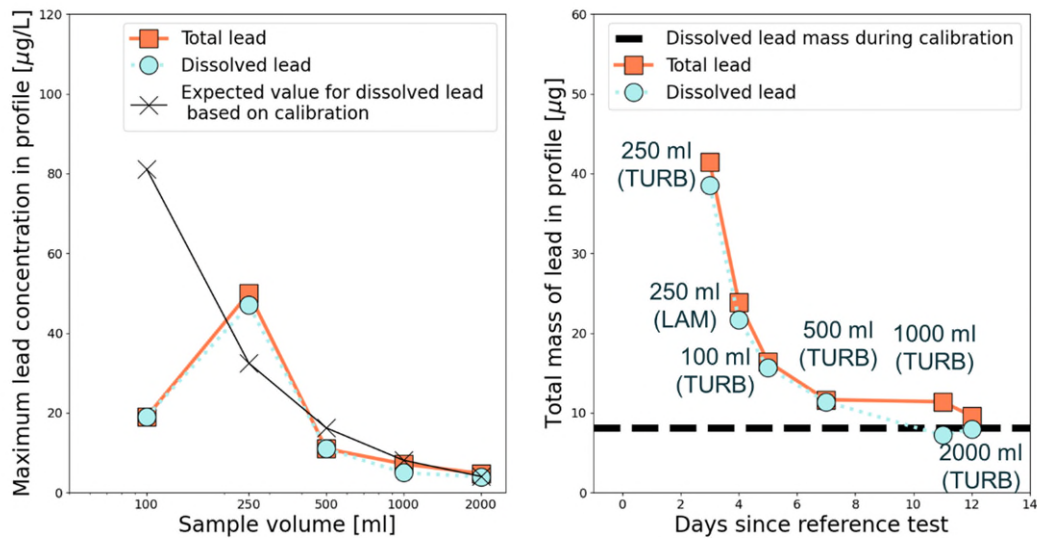


Figuur 16: (Links) Profiel loodconcentraties gemeten voor de meting met 100 ml (TURB). De bruine lijn is de locatie van het loden stuk leiding. Bij deze grafiek is er gecorrigeerd voor de invloed van afwijkende volume water uitgestroomd ten opzichte van verwachting. (Midden) Dezelfde maar voor de meting 250 ml (LAM). (Rechts) Metingen profielbemonstering in Home Plumbing Simulator (proefopstelling in de VS). De gekleurde vierkanten aan de bovenkant wijzen de locaties aan van de gemonteerde loden aansluitleiding in hun opstelling [19].

Een reden voor het uitvoeren van een reeks met verschillende monstervolumes was om naar de invloed van monstervolume op de aangetroffen piekconcentraties te kijken (een groter volume zou tot verdunning en dus lagere piekconcentraties moeten leiden zoals geschetst in Figuur 13). In het linker plaatje in Figuur 17 is te zien dat dit beeld slechts deels is waargenomen (met de grote uitzondering van de reeksen met 100 ml en 250 ml). De waarden zijn ook vergeleken met de piekconcentraties verwacht op basis van de kalibratie. Tijdens de kalibratiemetingen is een concentratie opgelost lood van 140 µg/L aangetroffen (zie Bijlage IV). Deze concentratie geldt voor het stuk met inhoud van 58 ml. Bij een monster van 100 ml zou er een verdunningsfactor van $100/58 = 1,7$ gelden en zou de verwachte piekconcentratie voor een reeks met monstervolumes van 100 ml dus $140/1,7 = 81,2$ µg/L bedragen. Deze waarden zijn met de zwarte kruisjes aan de linkerkant van Figuur 17 aangegeven. Bij de experimenten van 500 ml, 1000 ml en 2000 ml liggen de piekconcentraties dicht bij de verwachte waarden. Dat is geen verrassing omdat het aantal monsters klein is (dus minder kans op verspreiding van lood in monsters die geen maximale concentratie hebben). Dit is het duidelijkst aangetoond in het voorbeeld van 100 ml waarin de maximale concentratie in het profiel vier keer zo laag is als de verwachte waarde. Dit illustreert nogmaals dat de aanname van propstroming maar beperkt geldt. Het is onduidelijk wat de rol van het regelmatig open en dicht doen van de kraan is op de verspreiding van het opgeloste lood.

Bij de monstervolumes van 250 ml is waargenomen dat de piekconcentraties hoger zijn dan de verwachte trend (een groter volume zou tot verdunning en dus lagere piekconcentraties moeten leiden). Om dat uit te zoeken is er verder gekeken naar de volgorde van de experimenten en de totale massa afgegeven lood daarin. De resultaten zijn aan de rechterkant van Figuur 17 weergegeven. Op dag 0 is de blanco-meting uitgevoerd. Het is duidelijk dat de totale massa afgegeven lood hoger is in de eerste dagen en snel daalt in de dagen daarop. Blijkbaar heeft het vooraf doorspoelen van de opstelling, vlak voor het aftrappen van de langdurige stagnatie, relatief weinig invloed.

Een mogelijke verklaring hiervoor is als volgt. Tot en met dag 3, dat wil zeggen drie dagen na de blanco-meting, heeft het loden stuk geen contact met water gehad. Wellicht heeft zich in deze langdurige periode een deklaag met hoge loodconcentraties gevormd, die tijdens de monsternamen voor een hogere loodafgifte zorgt totdat een stabiele waarde wordt bereikt. Achteraf gezien zouden de metingen voorafgegaan moeten worden door een langdurige doorspoelactie (gedurende enkele dagen) om een stabiele loodafgifte vanuit het loden stuk te krijgen.



Figuur 17: (Links) Maximale loodconcentratie aangetroffen in het profiel met turbulente stroming. Zwarte lijn is de verwachting op basis van de concentratie gemeten tijdens kalibratie voor een stilstand van ~6 uur. (Rechts) Totaal lood aangetroffen in de monsters na uitvoeren van blanco proef. Zwarte gestippelde lijn is de totale massa opgelost lood afgegeven tijdens kalibratie voor een stilstand van ~6 uur. Bij deze grafieken is er geen correctie uitgevoerd voor afwijking in hoeveelheid uitgestroomde water vanuit het HomeWaterLab (bijvoorbeeld, als 150 ml drinkwater uitstroomt terwijl 100 ml is voorgeprogrammeerd).

3.3.3 Resultaten – blanco-meting

Voorafgaand aan de profielbemonsteringen is ook een blanco-meting gedaan om te meten welke loodconcentraties vanuit de opstelling zelf afgegeven worden. Tijdens het uitvoeren van de blanco-meting (dag 0 aan de rechterkant van Figuur 17) is er geen water door het loden stuk gestroomd.

Het HomeWaterLab heeft twee type flowmeters: globale en lokale. Een globale flowmeter meet de volumestroom voor het systeem of een groot deel daarvan. Er zijn twee globale flowmeters in het HomeWaterLab, voor koud en warm water¹². Een lokale flowmeter meet de volumestroom bij een kraan. In het HomeWaterLab zijn vier lokale flowmeters, bij de vier regelbare tappunten (keuken – koud en warm, douche – koud en warm). Deze flowmeters worden gebruikt om de regelbare kranen¹³ aan te sturen.

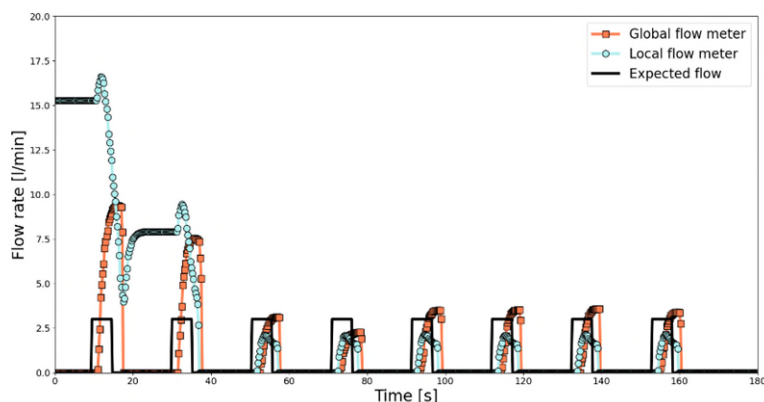
De debieten gemeten tijdens de blanco-meting zijn in Figuur 18 weergegeven. De zwarte lijnen tonen de gewenste volumestromen (acht pulsen met een volumestroom van 3 l/min). In Figuur 18 ziet men ook de volumestromen gemeten door de globale flowmeter voor koud water en de lokale flowmeter voor koud water bij de keuken. Wat opvalt is dat de volumestroom van de lokale flowmeter in het begin van de meting al 15 l/min is. Dit leidt echter niet tot stroming in de opstelling, wat duidelijk volgt uit de meting door de globale flowmeter waar de volumestroom aan het begin nul is¹⁴. Echter, zodra de kraan open moet gaan, speelt de afwijking bij de lokale flowmeter een versturende rol. Bij de eerste twee pulsen is het bereikte debiet in het systeem veel hoger dan de gewenste waarde (5-10 l/min in plaats van 3 l/min). Vanaf de derde puls is de situatie hersteld. In werkelijkheid is er bij de eerst twee monsters te veel water uitgestroomd (veel meer dan de inhoud van de monsterfles), waardoor er water is verspild. Dit probleem met de aansturing is tijdens deze proef ontdekt. Tijdens het uitvoeren van de acceptatietest gaf deze lokale flowmeter geen output en is dit probleem niet opgemerkt [11].

¹² De flowmeter voor koud water meet de totale volumestroom tijdens verbruik bij zowel de koudwater- als warmwaterkranen.

¹³ Een regelbare kraan heeft twee kleppen, een binaire en een variabele. De binaire klep gaat alleen open of dicht. De variabele klep opent geleidelijk totdat de gewenste volumestroom is bereikt. De mate van opening van de variabele klep is aangestuurd op basis van de waarde gemeten door de lokale flowmeter.

¹⁴ Er is geen stroming omdat de binaire klep nog niet open is.

Ondanks de verspilling heeft het eerste monster een loodconcentratie van $8,5 \mu\text{g/L}$, wat een indicatie is voor de belangrijke rol van de messing kraan (zie Figuur 19). Dit is verder bevestigd in Figuur 16 waar een verhoogde loodconcentratie in het eerste monster van de reeks is gemeten. Dit resultaat betekent ook dat het uitvoeren van een-op-een simulaties een uitdaging is, omdat de loodafgifte-eigenschappen van de messing kranen anders zijn dan die van het loden stuk. Daarbij is het modelleren van twee verschillende typen loodafgifte tegelijkertijd momenteel nog niet mogelijk. De andere monsters hebben een loodconcentratie tussen $0,6\text{--}1 \mu\text{g/L}$.



Figuur 18: Gewenste (zwarte lijn) en gemeten debieten (rode en blauwe lijnen) voor de blanco-meting.



Figuur 19: Voorbeeld van een regelbare kraan met drie componenten: een lokale flowmeter (links), een variabele klep (midden) en een binaire klep (rechts). De bijbehorende onderdelen zijn van messing. Foto is gemaakt door Herbert Wiggerman in opdracht van Techniek Nederland.

3.3.4 Belangrijkste bevindingen van de profielbemonsteringproeven

De belangrijkste bevindingen van de profielbemonsteringproeven zijn hieronder samengevat:

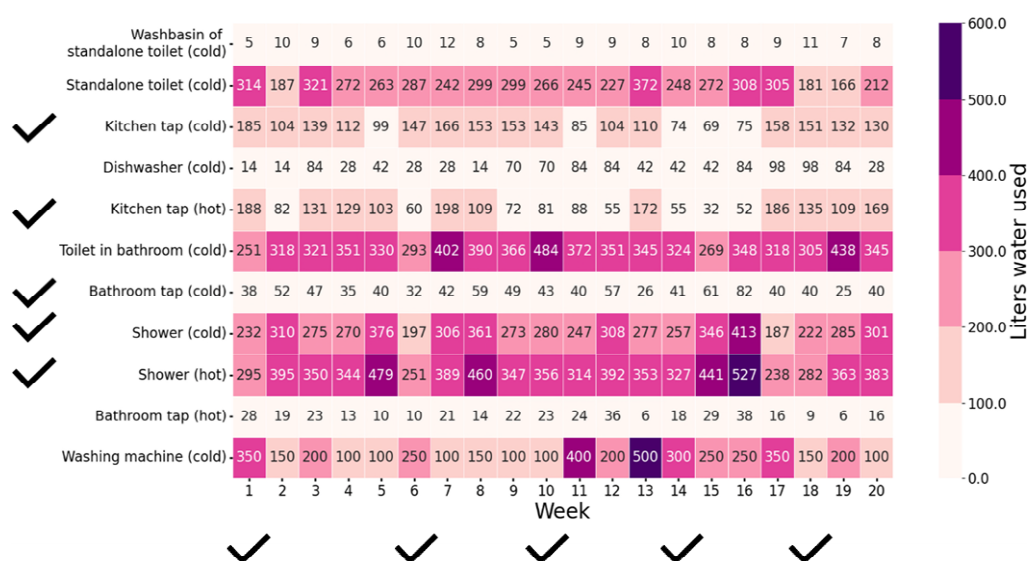
- Deze proeven kunnen makkelijk op het HomeWaterLab uitgevoerd worden. Door de imperfecte aansturing van het HomeWaterLab kunnen monstervolumes afwijken van de verwachtingen, waar men mee op moet letten tijdens het duiden van resultaten. De uitkomsten waren positief, wat betreft de detectie van de loodafgevendende onderdelen. In de toekomst zouden ook andere loodafgevendende onderdelen getest kunnen worden, om de grenzen van de toepassing van profielbemonstering in een gecontroleerde omgeving te onderzoeken.
- Bij profielbemonstering moet men zich bewust zijn van de invloed van het snelheidsprofiel. Het leidt tot een breedte in de piek waarmee er een onzekerheid in de precieze locatie van het loden onderdeel kan ontstaan.
- Er is aangetoond dat een groter volume van de monsters leidt tot verdunning en lagere piekconcentraties, hetgeen de besluitvorming kan beïnvloeden.

- Het stromingsregiem (laminaire vs. turbulent) lijkt geen invloed te hebben op de locatie van de piek (zie Bijlage X).
- De kranen van het HomeWaterLab zijn van messing gemaakt en geven lood af. Bovendien bevinden deze messingstukken zeer dicht bij de bemonsteringslocatie en dus alle lood afgegeven tijdens stilstand zal tijdens de proportionele bemonstering in het monster belanden. Hiermee moet bij de validatie rekening worden gehouden.
- Het functioneren van het HomeWaterLab kent een paar uitdagingen in het goed uitvoeren van experimenten. De instantane waarde van de volumestroom kan afwijken van de gewenste waarde. Dit roept de vraag welk waarde van volumestroom voor de modellering gebruikt moet worden: de gewenste volumestroom of de daadwerkelijk opgetreden volumestroom. Idealiter zou dit de gerealiseerde volumestroom zijn, maar dat is lastig te extraheren uit de geregistreerde data.

3.4 Proportionele bemonstering

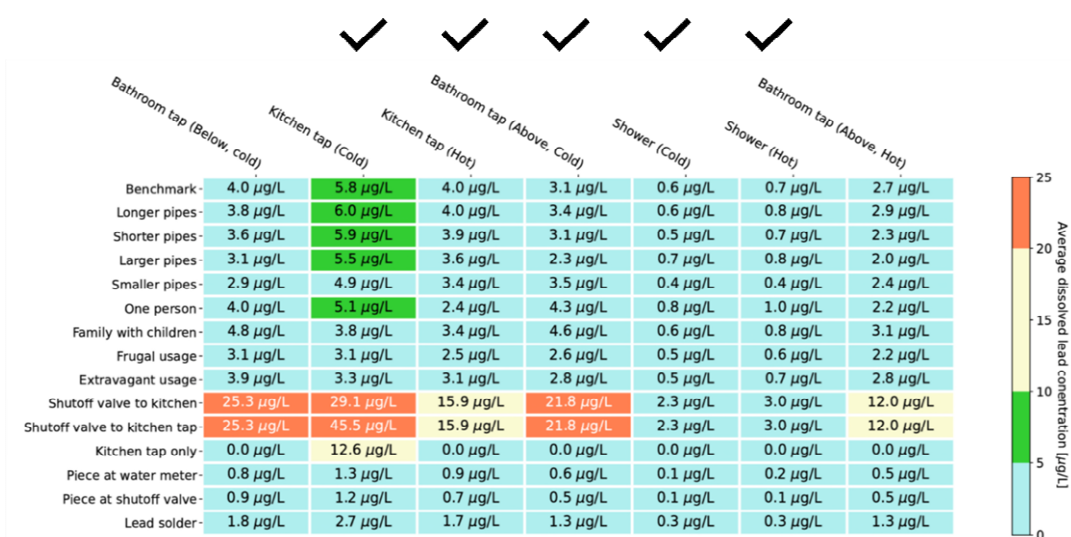
3.4.1 Analyse van modelresultaten van voorgaand project ten behoeve van ontwerpen van experimenten

In een voorgaand project is er een uitgebreide gevoeligheidsanalyse uitgevoerd van de modellering van loodafgifte en gemiddelde loodconcentraties aan de kraan [10]. Het basisscenario daarin beschouwt een huis dat door een huishouden van twee volwassenen wordt bewoond. De layout van het huis is anders dan het HomeWaterLab. SIMDEUM-patronen voor 20 afzonderlijke weken zijn gemaakt voor dit huishouden. Het totale waterverbruik bij elke kraan in elke week is in Figuur 20 weergegeven. Resultaten van de simulaties van het voorgaande project in de vorm van gemiddelde loodconcentraties aan diverse kranen (gemiddeld over 20 weken voor bepaalde loodafgifte eigenschappen) zijn in Figuur 21 weergegeven.



Figuur 20: Totaal waterverbruik in liters bij elke kraan in 20 afzonderlijke weken van SIMDEUM-patronen voor een typisch Nederlands huishouden met twee volwassenen. De vinken bij de rijen duiden de locaties aan waar proportionele monsternamenkranen zijn gemonteerd en de vinken onder de kolommen duiden de weken aan die gekozen zijn voor de experimenten met een duur van één week.

Deze twee grafieken (Figuur 20 en Figuur 21) zijn gebruikt om de locaties te kiezen van de vijf proportionele monsternamenkranen. De vier verbruikspunten met regelbare kranen in het HomeWaterLab (beide keukenkranen en beide douches) zijn gekozen. Dit zijn de plekken waar de hoogste kans op blootstelling aan lood bestaat (inslikken (ingestie) of contact met de huid (dermaal)). Daarnaast is ook besloten om een proportionele monsternamenkraan bij de badkamerkraan voor koud water te monteren.



Figuur 21: Gemiddelde loodconcentraties aan verschillende kranen (gemiddeld over 20 weken van SIMDEUM-verbruikspatronen) voor een reeks scenario's [10]. De regels zijn de diverse scenario's. De vinken tonen de gekozen locaties van de proportionele monsternamen kranen.

Op basis van Figuur 20 kan verwacht worden dat het volume van monsters verzameld bij de douche het hoogst is, gevolgd door de keukenkraan en de badkamerkraan. Op basis van Figuur 21 kan verwacht worden dat de hoogste loodconcentraties aan de keukenkraan voor koud water aangetroffen zullen worden, terwijl de concentraties bij de douche relatief lager zijn.

Naar verwachting zijn vijf weken van experimenten een acceptabele balans tussen praktische haalbaarheid en de benodigde data voor validatiedoeleinden (25 datapunten). De weken 1, 6, 10, 14, 18 zijn gekozen omdat zij een goede spreiding in waterverbruik bij de keukenkraan dekken. Achteraf gezien zou het wellicht beter geweest zijn om de resultaten van de modellering van het HomeWaterLab als basis te gebruiken om de weken te kiezen waarin experimenten interessant zijn.

3.4.2 Voorbereiding en uitvoering

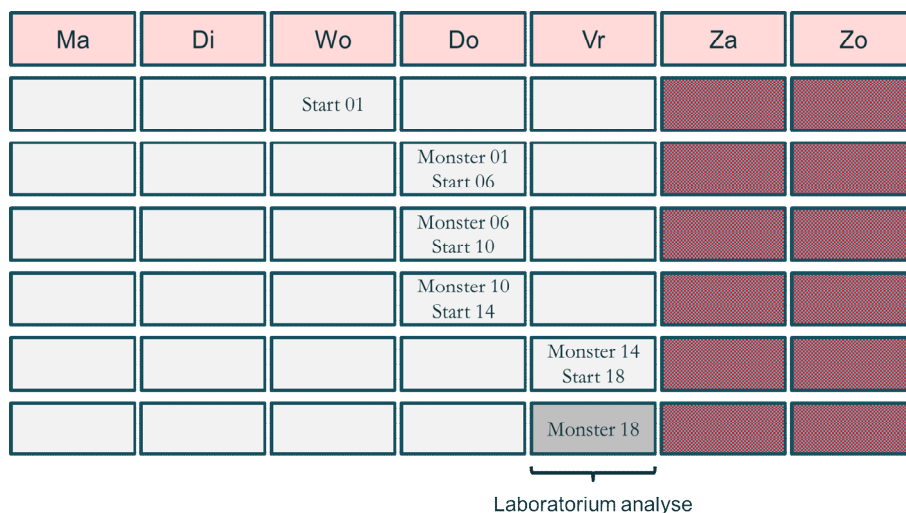
Voor het begin van de metingen zijn een paar dingen uitgeprobeerd, zoals het herhalen van de acceptatietest [11], waarvan een voorbeeld in Bijlage XI te vinden is, en het draaien van de opstelling gedurende één week om te checken dat alles zonder problemen draait. Tijdens de voorbereiding en uitvoering zijn een hoop uitdagingen naar voren gekomen die in Bijlage XII beschreven zijn. De uitslagen van deze preliminaire proeven helpen met het beoordelen of het verstandig is om de reeks proportionele bemonsteringsproeven te starten of niet. Als onderdeel van de voorbereiding zijn ook SIMDEUM-patronen bestemd voor het HomeWaterLab aangemaakt, waarvan het proces in Bijlage XIII is uitgelegd.

Vijf proportionele monsternamenkranen zijn vooraf geselecteerd en op vijf monsternamenpunten geplaatst zoals eerder beschreven. Een reeks metingen is vervolgens in januari 2024 gestart. De tijdlijn voor het uitvoeren van de metingen is opgenomen in Figuur 22. Metingen zijn gedurende vijf weken uitgevoerd met SIMDEUM-patronen 01, 06, 10, 14, 18. Vlak voor het begin van een experiment met proportionele monsternamen worden alle kranen een voor een gedurende twee minuten op maximaal volume doorgespoeld. De wijze van uitvoering van de metingen is in Bijlage XIV beschreven.

Bij proportionele bemonstering wordt een monster gedurende een week verzameld. Jerrycans met een volume van 25 l zijn gebruikt. Vastgesteld is dat het waterverbruik bij de douche op basis van de SIMDEUM-patronen tot 500 liter in een week oplopen. Met een aanname dat 5% van het water door de proportionele monsternamenkraan heen stroomt, betekent dit dat tot 25 liter kan worden bemonsterd gedurende een week. Er is vooraf geen zuur in de jerrycans toegevoegd. Zo worden deeltjes niet opgelost maar blijven ze intact. De periode tussen het begin van het verzamelen van het eerste monster en de laboratoriumanalyse is 36 dagen, terwijl de periode tussen het einde van

het verzamelen van het eerste monster en laboratoriumanalyse 28 dagen bedraagt. Het zou dus kunnen dat de resultaten van de eerste week minder betrouwbaar zijn.

De ervaringen in de eerste weken tonen aan dat er behoefte is aan een nadere beschouwing van de prestatie van de proportionele monsternamekraan. In de toekomst moet vooraf bij elke monsternamekraan een proef worden gedaan om te bepalen wat de volumestroom bij de monsternamekraan is als functie van de volumestroom bij het verbruikspunt. Dit kan heel makkelijk gedaan worden door een vaste volumestroom bij het verbruikspunt in te stellen en het uitstroomvolume bij de monsternamekraan te bepalen met behulp van een maatbeker.



Figuur 22: Tijdlijn van het uitvoeren van experimenten met proportionele bemonstering. De cijfers vertegenwoordigen de weeknummers van de vijf gekozen SIMDEUM-patronen.

In Figuur 23 ziet men de hoeveelheid water die is verzameld in vergelijking met het waterverbruik dat is berekend door SIMDEUM. Voor de keukenkranen (zowel warm als koud) en de badkamerkraan is de vergelijking voor alle vijf meetweken gedaan. In het algemeen ziet men dat een stijging in waterverbruik voorgespeeld door SIMDEUM overeenkomt met een stijging in water verzameld tijdens bemonstering. Voor de douchekranen zijn de resultaten slechts voor de laatste twee meetweken weergegeven (gezien de problemen in bemonstering tijdens de eerste drie weken).

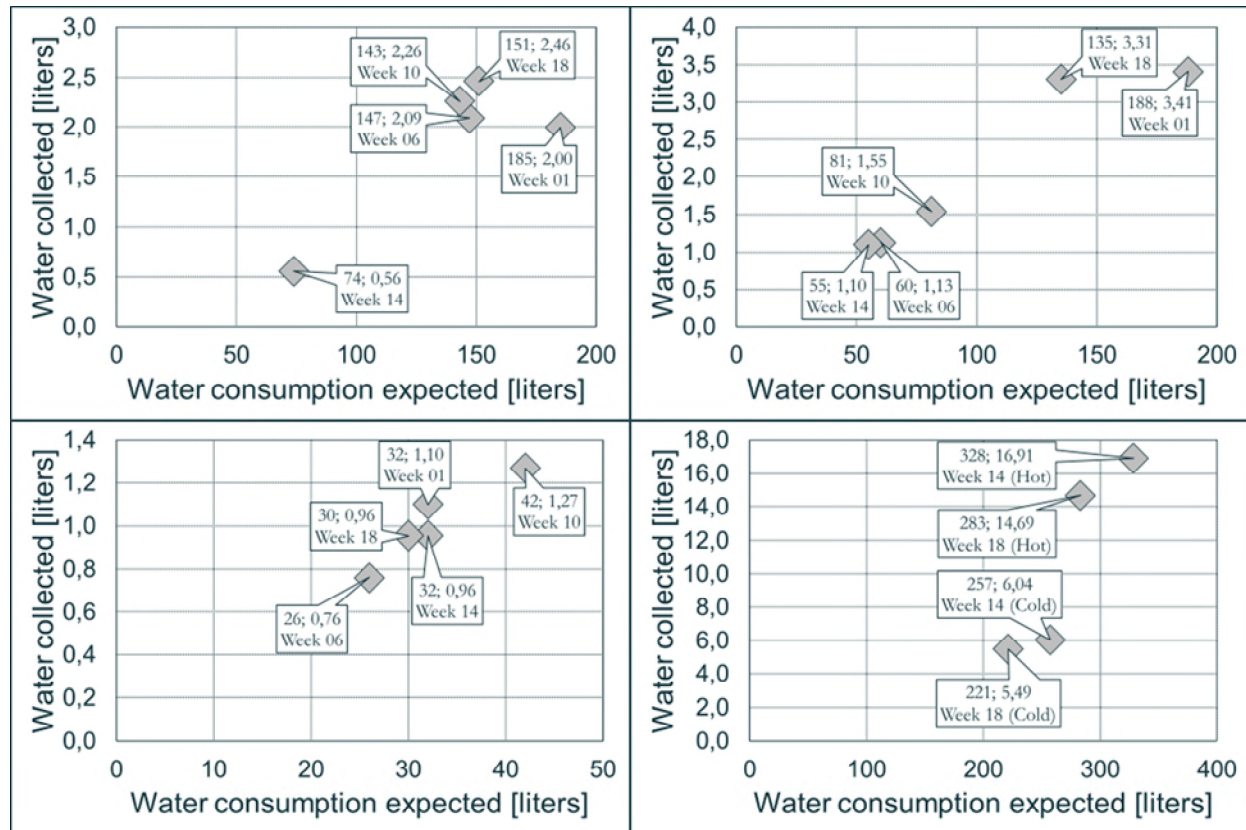
Na de bemonstering in de jerrycan gedurende een week is een kleiner monster verzameld voor de laboratoriumanalyse, zowel met als zonder filter, voor respectievelijk opgelost en totaal lood. Alle gebeurtenissen tijdens de metingen zijn in Bijlage XV uitgelegd.

3.4.3 Resultaten - gemiddelde loodconcentraties in monsters verzameld gedurende één week

De monsters zijn vervolgens geanalyseerd en de resultaten zijn in Tabel 2 en Bijlage XVI weergegeven. De volgende resultaten kunnen worden afgeleid:

- In alle gevallen zijn de loodconcentraties lager dan 2 µg/L.
- De concentraties zijn het hoogst bij de keukenkraan, wat overeenkomt met de trend weergegeven in Figuur 21.
- De concentraties bij de douche zijn meestal het laagst, wat eveneens overeenkomt met de trend zichtbaar in Figuur 21.
- De concentraties bij de badkamerkraan zijn van dezelfde orde grootte als de concentraties bij de douche. Dit wijkt af van de waarnemingen in Figuur 21.
- De totale loodconcentratie is 10-50% hoger dan de opgeloste loodconcentratie.

Omdat de gemeten loodconcentraties lager dan 2 µg/L zijn kan worden geconcludeerd dat experimenten met de koperen leiding met loodsoldeer of de watermeter (geanalyseerd door KWR) tot nog lagere concentraties zouden hebben geleid, aangezien ze lagere maximale opgeloste loodconcentraties en lagere snelheden van afgifte hebben (veel kleinere oppervlakte), zie Tabel 1.



Figuur 23: Hoeveelheid water die is opgevangen in jerrycans in vergelijking met het verwachte waterverbruik op basis van SIMDEUM. Linksboven – keukenkraan (koud water), Rechtsboven – keukenkraan (warm water), Linksonder – badkamerkraan (koud water), Rechtsonder – douchekranen (koud en warm water). Alle grafieken (behalve de douchekranen) bevatten vijf punten die bij de vijf weken van de experimenten horen. Bij de douchekranen zijn alleen de laatste twee weken weergegeven (vanwege het instellen van een reduceerkraan zoals in Bijlage XV en Bijlage XII is uitgelegd).

Tabel 2: Loodconcentraties in µg/L gemeten tijdens de experimenten met proportionele bemonstering als functie van bemonsteringslocatie en weeknummer van SIMDEUM-patronen. Een lege cel betekent dat er geen monster is geanalyseerd. (Boven) Totaal lood (Onder) Opgeloste lood.

Kraan ↓ / SIMDEUM-patroon week →	1	6	10	14	18
Keukenkraan (warm water)	1,2	1,8	0,72	1,8	1
Keukenkraan (koud water)	1,3	1,4	1,4	1	0,76
Badkamerkraan (koud water)	0,63	0,65	0,5	0,46	0,51
Douche (warm water)		0,56	0,54	0,57	0,49
Douche (koud water)			0,61	0,66	0,59

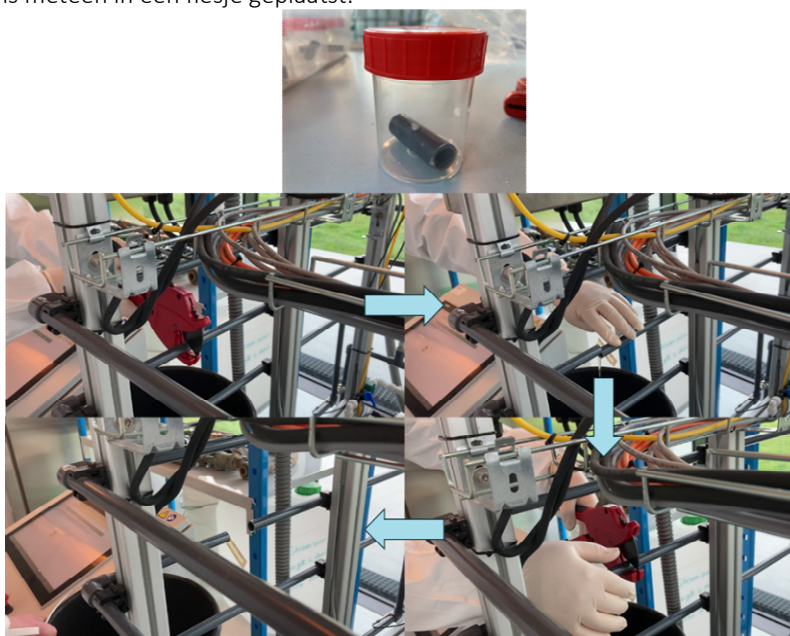
Kraan ↓ / SIMDEUM-patroon week →	1	6	10	14	18
Keukenkraan (warm water)	0,99	1,6	0,62	1,6	0,84
Keukenkraan (koud water)	1,2	0,94	1,2	0,91	0,67
Badkamerkraan (koud water)	0,5	0,47	0,43	0,4	0,44
Douche (warm water)		0,4	0,46	0,47	0,4
Douche (koud water)			0,52	0,55	0,49

3.5 Lood in het HomeWaterLab na afloop van alle experimenten

Na afloop van alle experimenten was de vraag of zich een laagje lood op de wanden van de PVC-leidingen van de opstelling had gevormd of niet. Om dit te onderzoeken zijn stukken leiding uit de opstelling geknipt. Een monster van de biofilm op de leidingwand is door het microbiologische laboratorium bij KWR opgewerkt en vervolgens door het chemische laboratorium op totaal lood geanalyseerd (dus zonder filtratie).

De monstername is als volgt gedaan (zie Figuur 24):

1. Voor monstername bij de proefstukken is de opstelling een aantal dagen gedraaid op basis van SIMDEUM-patronen.
2. Negen interessante locaties zijn geïdentificeerd en gemarkeerd.
3. Bij de geïdentificeerde locaties is met behulp van een buisknipper een knip gemaakt, waardoor water geleidelijk uitstroomt.
4. Hierna is een tweede knip gemaakt, waarna het tussenliggende stuk buis is verwijderd. De buisstukken hebben lengtes van 4 à 6 cm.
5. Het stuk is meteen in een flesje geplaatst.



Figuur 24: Voorbeeld van hoe een proefstuk is verzameld voor het opwerken van een loodmonster uit de biofilm.

Er zijn drie stukken nabij de instroompunt, drie stukken nabij de keukenkraan voor koud water en drie stukken daartussen bemonsterd. Het eerste proefstuk ligt ca. 50 cm bovenstrooms van het loden stuk, het tweede ligt ca. 20 cm voorbij het loden stuk. Het derde stuk is het enige dat uit een verticale leiding is gehaald. Bij het verzamelen van het tweede proefstuk (dicht bij het loden stuk, op een lage locatie) stroomde er continu water uit met hoge snelheid (zie Figuur 25). De oorzaak hiervan is wellicht de hoge druk die was opgebouwd in het buffervat. Dit is ter plekke opgelost door het afdichten via een driewegklep, maar het is niet bekend hoe de snelle uitstroming de resultaten heeft beïnvloed.

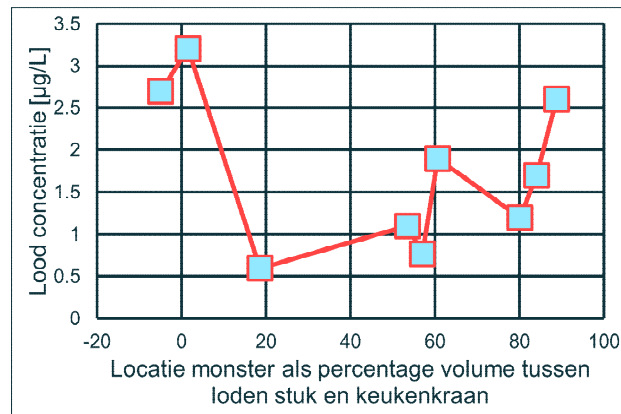
De loodconcentraties aangetroffen in de biofilm van deze negen proefstukken zijn in Figuur 26 weergegeven. De locatie van de proefstukken is uitgedrukt in percentage volume tussen het loden stuk (0%) en de keukenkraan voor koud water (100%). De volgende waarnemingen zijn gedaan:

- Lood bevindt zich nu overal in de HomeWaterLab-opstelling, zelfs bovenstrooms van het loden stuk.
- De hoogste concentraties (bijna 3 $\mu\text{g/L}$) zijn aangetroffen nabij het loden stuk.
- De laagste concentratie is gevonden bij het derde proefstuk, het enige verticaal georiënteerde proefstuk. Tussen het 4^e en het 9^e proefstuk stijgt de loodconcentratie geleidelijk van $\sim 1 \mu\text{g/L}$ naar $\sim 2,5 \mu\text{g/L}$.



Figuur 25: Snelle en continu uitstroming van water tijdens het uitsnijden van het proefstuk bij de tweede locatie.

Deze resultaten laten zien dat als er eenmaal een loden stuk in een installatie aanwezig is kan er vervolgens nog lood aangetroffen kan worden door middel van lood die in de biofilm is geplakt. Hoe dit mechanisme precies werkt is onduidelijk. Daarnaast is het ook onduidelijk of het lood in de biofilm in het water los kan komen (bijvoorbeeld tijdens bemonstering). Mocht het lood loskomen dan kan het ook de duiding van profielbemonstering verstoren. Kortom, dit is nog een aspect dat het loodverhaal beïnvloedt.



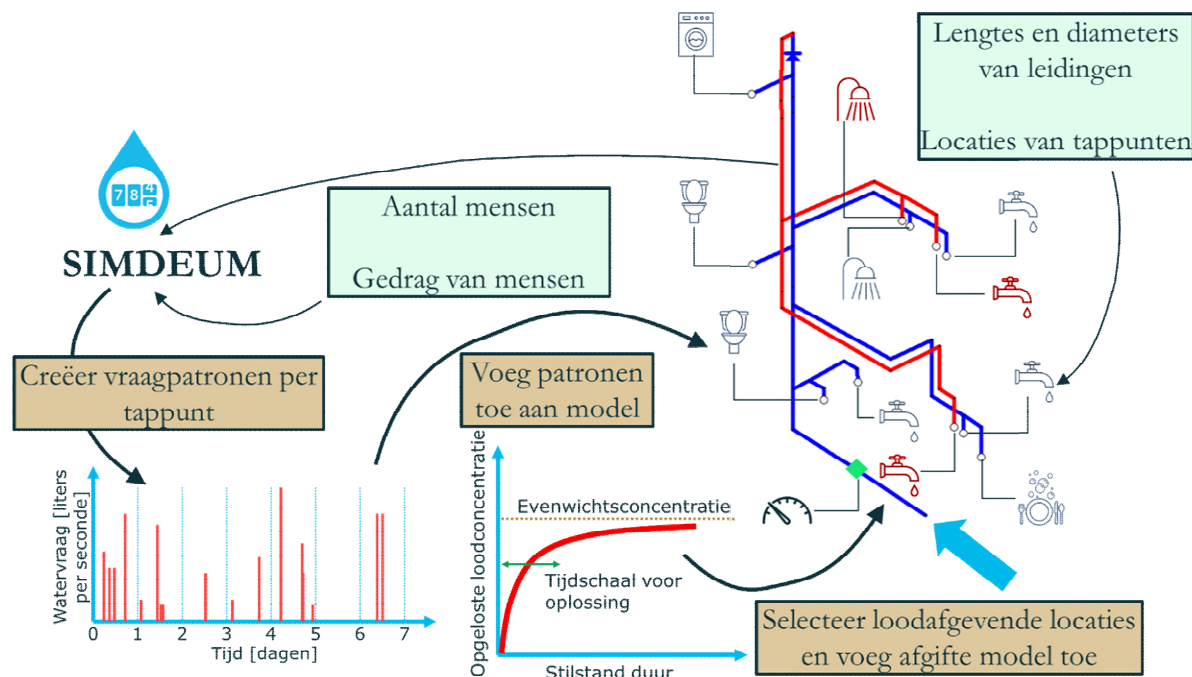
Figuur 26: Loodconcentraties getroffen in de biofilm van de negen verzamelde proefstukken. De locatie van de monsters is uitgedrukt in percentage volume tussen het loden stuk (0%) en de keukenkraan voor koud water (100%).

4 Validatie modelleringskader: een-op-een vergelijking tussen simulaties en experimenten in het HomeWaterLab

4.1 Kader en componenten van numerieke simulaties

Het kader en de diverse componenten van numerieke simulaties worden in Figuur 27 weergegeven. Het startpunt van de simulaties is de definitie van een drinkwaterinstallatie. Hiervoor moeten de lengtes en diameters van de leidingen en de verbruikspunten worden gedefinieerd. Informatie over de verbruikspunten, samen met de samenstelling van het huishouden (aantal volwassenen en kinderen, houding ten opzichte van watergebruik) worden ingevoerd in SIMDEUM [21, 22], een stochastisch model voor de vraag naar drinkwater. Dit programma genereert realistische waterconsumptiepatronen op elk gebruikspunt. Deze gegenereerde vraagpatronen worden vervolgens toegevoegd aan het EPANET-model.

Het laatste aspect van de modellering betreft de selectie van loodafgevende leidingen/componenten in de installatie. Deze componenten worden geacht opgelost lood af te geven aan het water volgens een loodafgiftemodel. In EPANET maken we gebruik van een eerste orde verzadigingsgroeimodel voor de bulkreactie [14]. Het loodafgiftemodel wordt beschreven door de vergelijking $\frac{dC}{dt} = \frac{4M}{DE}(E - C)$. Hierin wordt de toename van de opgeloste loodconcentratie, C , in de tijd, t , bepaald door de pijpdiameter, D , de oplossnelheid, M , en de evenwichtsloodconcentratie of plumbosolvency, E . De oplossing van deze differentiaalvergelijking is $C = E(1 - e^{-t/T})$, waarbij $T = \frac{DE}{4M}$. De parameter T geeft aan hoe snel de evenwichtsloodconcentratie wordt bereikt. Om nauwkeurig te zijn, is het model voor het oplossen van lood afhankelijk van de verhouding tussen het oppervlak en het volume (gerelateerd aan de hydraulische diameter). In het geval van een cilindrische pijp wordt dit gereduceerd tot $4/D$.



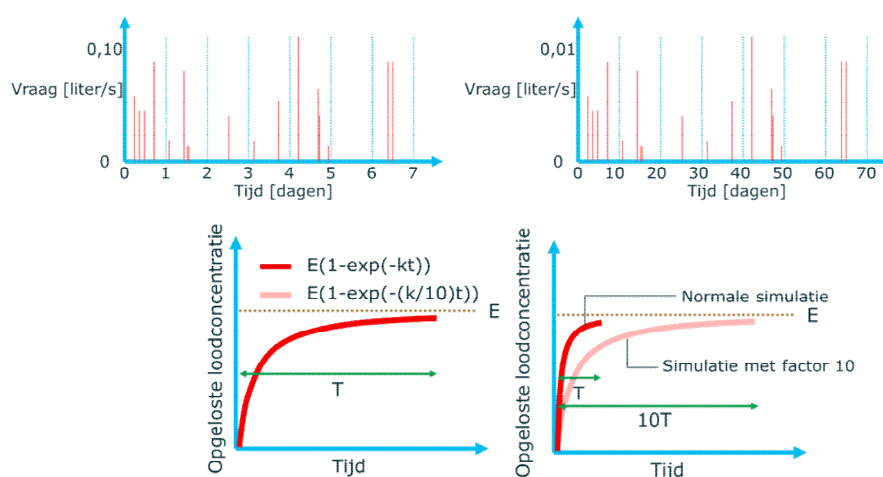
Figuur 27: Verschillende componenten waarmee het modelleringskader is samen gesteld.

4.2 Workaround: Temporele vertraging en vraagvermindering om korte leidingen tegen te gaan

Het modelleringskader omvat twee type simulaties: hydraulische (druk, volumestroom) en waterkwaliteit (loodconcentratie). Vanuit het perspectief van hydraulica kunnen de simulaties over een langere periode van EPANET worden gezien als een samenstelling van meerdere hydraulische simulaties op meerdere tijdstippen (een film maken met meerdere foto's). Dat wil zeggen dat de uitkomsten op een bepaald tijdstip niet afhankelijk zijn van de geschiedenis. Dit geldt echter niet voor waterkwaliteitssimulaties. De waterkwaliteitsberekening op een bepaald tijdstip is afhankelijk van wat ervoor is gebeurd. Daarom is het gebruikelijk dat de tijdstap voor waterkwaliteitsberekening veel kleiner is dan de hydraulische tijdstap. Als de tijdstap voor de waterkwaliteitsberekeningen groter is dan de tijd die nodig is voor de advectie van water door een pijp, zullen fouten in de massabalans resulteren in onnauwkeurige waterkwaliteitsvoorspellingen [23].

Deze onnauwkeurigheid is zeer relevant voor simulaties in drinkwaterinstallaties waar de leidingen veel korter zijn dan distributienetwerken en de maximale verplaatsing (maximale snelheid $\times$ 1 seconde) vergelijkbaar zijn met de leidinglengtes. Onnauwkeurige voorspellingen van de waterkwaliteit als gevolg van massa-onevenwichtsfouten zijn geïllustreerd voor EPANET 2.0 [23]. In EPANET 2.2 (uitgebracht in 2020) zijn de massabalansfouten kleiner. Tijdstappen in EPANET mogen echter alleen long integers zijn en kunnen dus niet kleiner zijn dan 1 seconde [24].

Om problemen¹⁵ die hieruit zouden kunnen voortvloeien op te lossen, is een workaround bedacht. Als eerste stap worden alle relevante tijdschalen voor de simulaties (duur en hydraulica, patroon, rapportagetijdstappen) met een bepaalde factor verhoogd. De uitzondering is de tijdstap voor kwaliteitsberekening die op 1 seconde wordt gehouden (laagst mogelijke waarde). We noemen dit temporele vertraging. De volgende stap is vraagvermindering, waarbij de watervraag bij elk gebruik met dezelfde factorwaarde wordt verminderd om waterverbruik gedurende de simulatie gelijk te houden. Deze oplossing zal naar verwachting problemen veroorzaken in de hydraulica wanneer de Reynoldsgetallen worden gevarieerd (variatie in snelheden maar niet in leidingdiameters). In ieder geval is het doel van deze workaround om fouten te verminderen die zouden kunnen ontstaan in de waterkwaliteitssimulaties. De opname van deze workaround vereist ook een overeenkomstige wijziging in het model voor het oplossen van lood. Aangezien temporele vertraging een belangrijk aspect is van de workaround, moet dit ook worden toegepast op het model voor loodoplossing. Daarom verlagen we de parameter T met dezelfde factor. Dit is in Figuur 28 geïllustreerd.

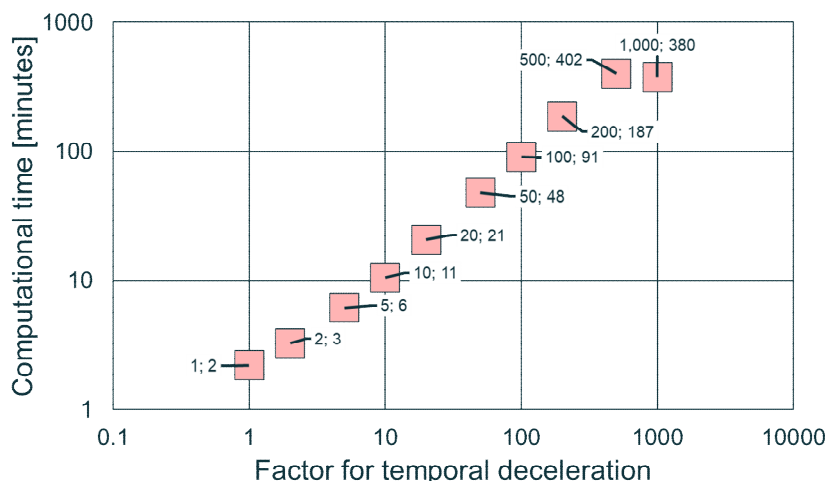


Figuur 28: Invloed van toepassen van een workaround met een factor tien. (Boven) De watervraag wordt met de factorwaarde verminderd terwijl alle tijden met diezelfde factor vertraagd worden. (Beneden) Aanpassen van loodafgiftemodel door verlengzamen van tijdschaal voor oplossing met de factorwaarde.

¹⁵ Het is wenselijk dat aan de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) conditie wordt voldaan. Dit houdt in dat de verplaatsing van een pakketje water binnen de tijdstap van de simulatie kleiner is dan het kortste stuk leiding. Dit betekent dat de snelheid in de leiding laag genoeg dient te zijn.

Een nadeel van deze workaround is dat de rekentijd enorm toeneemt. In de huidige simulaties zijn de chemische reacties in kwestie relatief eenvoudig en kunnen ze direct in EPANET geïmplementeerd worden. Als er echter complexere reacties bij betrokken zijn (zoals in de temperatuurmodellering), zouden de simulaties moeten worden uitgevoerd op EPANET-MSX, waarin simulaties om te beginnen langer duren.

Er is eerder gekeken naar de invloed van het toepassen van een factorwaarde op waterkwaliteitsberekening [10]. Het toepassen van de workaround leidt tot een verbetering in het berekenen van verblijftijden (voor een factor 10). In de huidige studies zijn de volgende factors onderzocht: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000. De rekentijden nemen exponentieel toe als functie van de gekozen factorwaarde zoals te zien in Figuur 29.



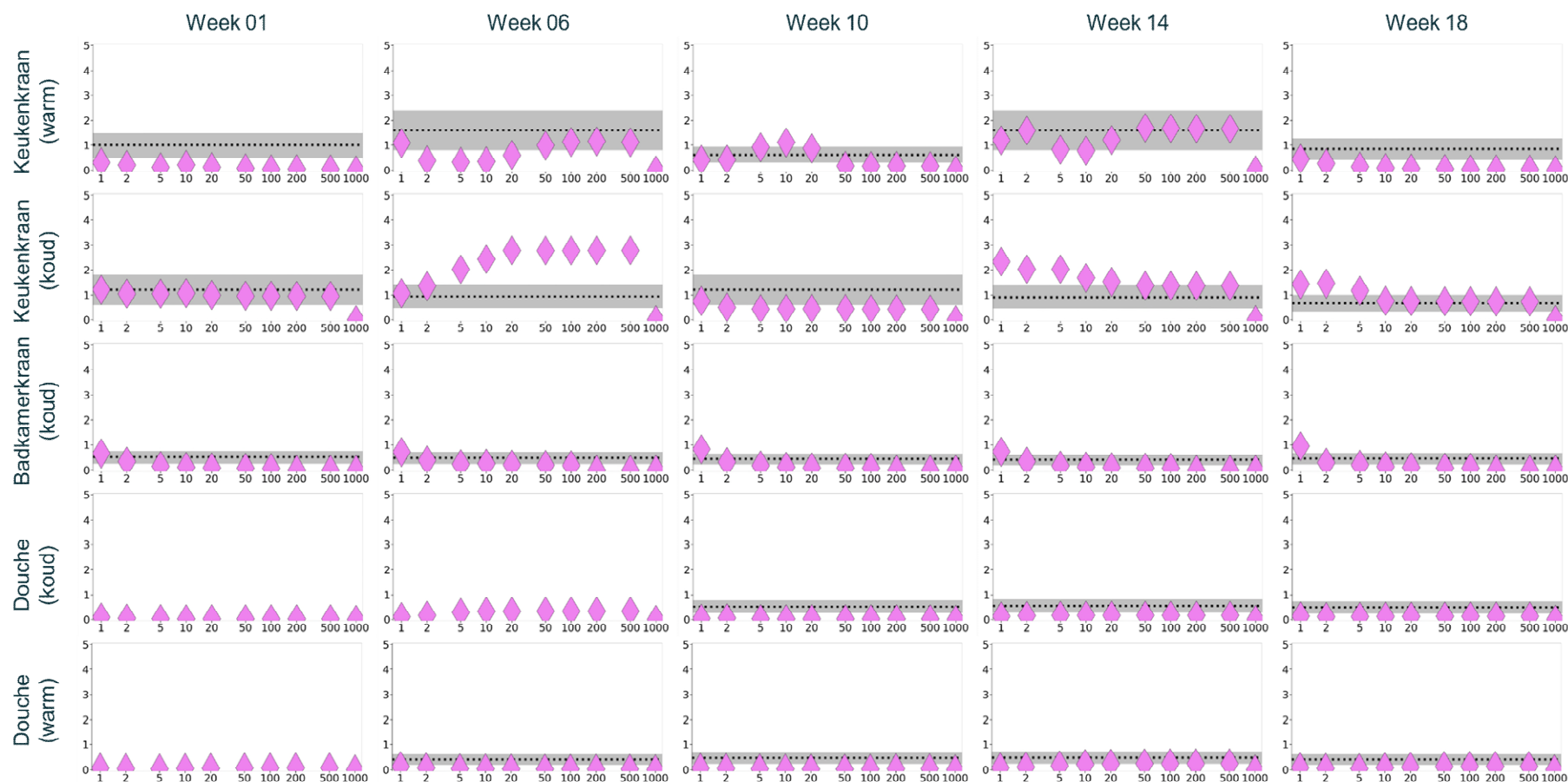
Figuur 29: Rekentijd voor het uitvoeren van loodafgifte simulaties in het HomeWaterLab (twintig simulaties met unieke verbruikspatronen) als functie van de gekozen factor. De cijfers op de grafiek “x; y” betekenen: simulaties met een factorwaarde van x kost y minuten rekentijd.

4.3 Resultaten van simulaties van het HomeWaterLab en vergelijking met concentraties gemeten tijdens proportionele bemonstering

Het HomeWaterLab is gesimuleerd met behulp van het modelleringskader (zie Figuur 27), de definitieve tekening van de installatie en de eerder gemeten waarden van loodafgifte (Tabel 2). De benodigde stappen om een definitieve tekening van het HomeWaterLab aan te maken zijn in Bijlage XVII uitgelegd. Daarnaast zijn een aantal scripts nodig om de simulaties op te stellen (om een vergelijking met de HomeWaterLab metingen te kunnen maken). Deze zijn in Bijlage XVIII beschreven. De simulaties zijn voor twintig unieke verbruikspatronen gedraaid met een variatie in factoren voor de workaround.

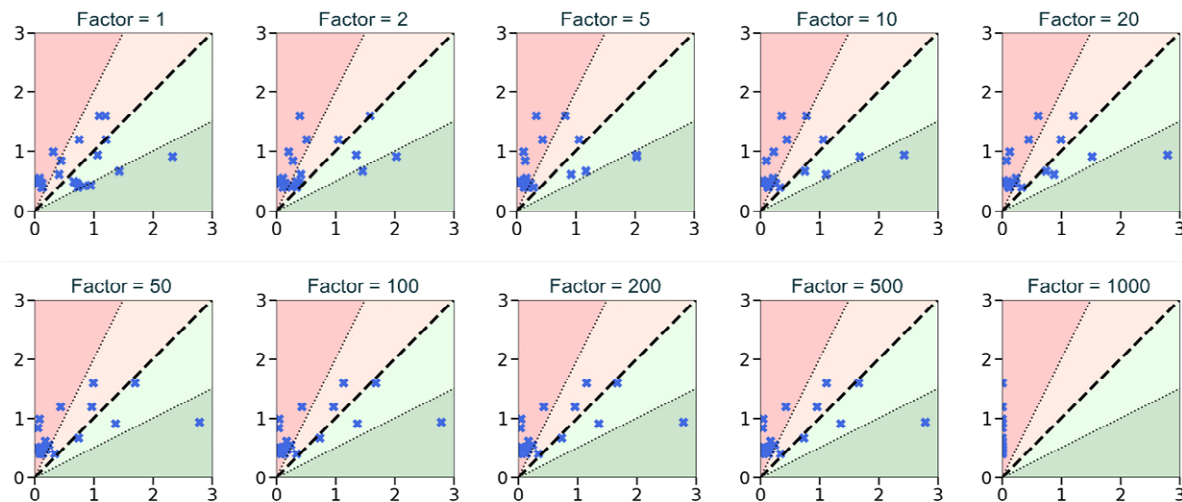
De uitkomsten van de simulaties zijn in Figuur 30 en Figuur 31 weergegeven. In Figuur 30 ziet men hoe de gesimuleerde loodconcentraties aan de kraan variëren met de factorwaarde. In het algemeen is het duidelijk dat de resultaten in dezelfde orde grootte vallen onafhankelijk van de keuzen van de factorwaarde, kraanlocatie en week met unieke waterverbruikspatronen. Net zoals bij de experimenten liggen al de loodconcentraties onder de 5 µg/L. Een interessante waarneming is het effect van de factorwaarde op het eindresultaat. In sommige situaties neemt de loodconcentratie af met toenemende factorwaarde (bijvoorbeeld, keukenkraan voor koud water en week 14), terwijl in andere situaties het gedrag wisselt (keukenkraan voor warmwater en week 14). In alle situaties leidt het kiezen van een factorwaarde van 1000 tot een loodconcentratie van nul. Een mogelijke reden hiervoor is dat de watervraag met een waarde 1000 wordt verminderd, wat kan leiden tot verwaarloosbare waarden van watervraag.

Vervolgens wordt er in Figuur 31 getoond hoe voor alle kranen de gesimuleerde loodconcentraties zich verhouden tot de gemeten loodconcentraties. Hoe meer punten dicht bij de diagonale zwarte stippellijn, hoe beter het resultaat van het model (met de aanname dat de gemeten waarden niet beïnvloed zijn door de prestatie van de monsternamekraan). We kijken naar het aantal kruisen die in de lichtrode en de lichtgroene vakken vallen. Op basis



Figuur 30: Effect van factor (horizontale assen) op de berekende waarde van loodconcentratie in $\mu\text{g/L}$ aan de kraan (verticale assen). Elke grafiek hoort bij een combinatie van een kraan (gevarieerd in verticale richting) en een bepaalde week van verbruikspatronen (gevarieerd in horizontale richting). De paarse diamanten zijn waardes berekend via simulaties. De zwarte stippellijnen zijn de waardes gemeten tijdens de proportionele bemonsteringproeven in het HomeWaterLab en de $\pm 50\%$ waarde wordt met de grijze band weergegeven.

hiervan blijkt een factorwaarde van 1 het beste resultaat te geven. Dit is enigszins verrassend, want de aanname voor het toepassen van hogere factorwaardes was dat dit tot nauwkeurigere kwaliteitsberekeningen zou leiden. Voor alle factorwaardes is er een cluster van kruizen in het donkerrode vak die bij de douches hoort waarbij er regelmatig lagere waardes in de modellering ten opzichte van de metingen worden waargenomen. Er zijn ook simulaties gedaan waarin de diffusivity en quality tolerance zijn aangepast, maar ze blijken geringe invloed op de resultaten te hebben.



Figuur 31: Vergelijking tussen gemodelleerde loodconcentraties (horizontale as) en loodconcentraties gemeten tijdens proportionele bemonstering (verticale as). De blauwe kruizen horen bij een combinatie van een kraan en een week van verbruikspatronen (bijvoorbeeld, één kruis is voor warme douchewater van week 10, een ander kruis is voor koud keukenwater voor week 18, enzovoort). Alle waardes in $\mu\text{g/L}$. De zwarte stippellijn is de locatie waar de gemodelleerde en gemeten concentraties gelijk zijn. In het rode vak worden concentraties onderschat door het model. In het groene vak worden concentraties overschat door het model. De vakken met lichtere versies van rood/groen vertegenwoordigen een afwijking van $\pm 50\%$ tussen de gesimuleerde en gemeten waardes. De tien grafieken horen bij tien verschillende waardes van de factor.

4.4 Discussie: geldigheid van modelleringskader

De hele exercitie van experimenten en modellering is gedaan om vast te stellen of het opgestelde modelleringskader acceptabele resultaten geeft. Op basis van de eerste testen kan worden geconcludeerd dat het modelleringskader voldoende goed presteert in het berekenen van gemiddelde opgeloste loodconcentraties aan de kraan. De proportionele bemonsteringsproeven en modellering leveren loodconcentraties van dezelfde orde grootte op met dezelfde conclusie, namelijk dat de gemiddelde loodconcentratie aan de kraan lager dan $5 \mu\text{g/L}$ is.

Er zijn tekortkomingen in zowel de modellering als de uitgevoerde experimenten die de conclusies kunnen hebben beïnvloed:

- In de profielbemonsteringsproeven is waargenomen dat de piekconcentraties eerder in de reeks verschijnen dan verwacht. Dit komt doordat het snelheidsprofiel geen propstroming is. De variatie in het snelheidsprofiel leidt ook tot het verschijnsel van dispersie dat niet is meegenomen in de berekeningen. Verbeteringen in de onderliggende EPANET-simulator kunnen leiden tot nauwkeurigere modelresultaten [14, 25].
- De prestatie van de proportionele bemonsteringsproeven is niet vooraf getest. Het beter begrijpen van de werking zal helpen om de simulaties anders op te stellen. In de huidige simulaties dragen alle momenten van waterverbruik bij de gemiddelde loodconcentratie, maar het zou kunnen dat tijdens de experimenten alleen volumestromen hoger dan een bepaald debiet (bijvoorbeeld 3 l/min) hebben bijgedragen aan het bemonsterde water. Daarnaast is er niet gecheckt of het HomeWaterLab gedraaid heeft zoals geprogrammeerd en of er veel afwijkingen hebben plaatsgevonden (bijvoorbeeld of een kraan daadwerkelijk 3 l/min zoals verwacht op basis van het verbruikspatroon).

- Voor het uitvoeren van de kalibratiemetingen zijn onderdelen langdurig in droge condities gehouden. Dit zou invloed kunnen hebben op de wijze van veroudering van de deklagen die aan de wand gevormd worden.
- De kalibratiemetingen zijn in juli 2022 uitgevoerd met drinkwater, terwijl de proportionele bemonsteringproeven in januari 2024 zijn uitgevoerd met bedrijfswater. In de tussentijd is het loden stuk voor een groot deel buiten bedrijf geweest zonder contact met water (totdat de profielbemonsteringproeven in juli 2023 zijn uitgevoerd). Dit kan leiden tot verschillende loodafgifte eigenschappen tijdens kalibratie en experimenten in het HomeWaterLab.
- Achteraf gezien zou het beter geweest zijn om twee à drie monsters per jerrycan te laten analyseren (dus duplo/triplo).
- Het gebruik van EPANET voor berekeningen in de drinkwaterinstallatie is discutabel. EPANET is niet ontworpen voor drinkwaterinstallaties met lage volumestromen in korte leidingen [26]. In het huidige onderzoek is daarom een workaround toegepast.
- Een kleine tekortkoming van het modelleren van het loodafgiftemodel als een bulkreactie in plaats van een wandreactie is dat het effect van wandruwheid niet eenvoudig kan worden meegenomen. Deze keuze moest worden gemaakt omdat EPANET geen eerste orde verzadigingsgroeimodellen voor wandreacties faciliteert. EPANET heeft ingebouwde methoden om het effect van wandruwheid op de wandreactiesnelheid mee te nemen. Hoewel we de resultaten hier niet presenteren, hebben we wel gecontroleerd dat de EPANET bulkreactie-aanpak vergelijkbare resultaten geeft als EPANET-MSX met een wandreactie. Omdat simulaties met MSX veel langzamer zijn, zijn deze niet verder gebruikt.
- Deeltjes zijn in dit onderzoek niet gemodelleerd. Er is tijdens de kalibratiemetingen waargenomen dat het loden stuk dikwijls deeltjes afgeeft, zelfs in zeer hoge concentraties (bijvoorbeeld, tien keer zo hoge concentraties). Tijdens de proportionele bemonstering en profielbemonstering zijn zulke verhogingen niet waargenomen (totaalconcentraties 20% hoger dan opgeloste concentraties). Dit geeft aan dat het modelleren van deeltjes niet altijd nodig is. Bovendien houden we geen rekening met de extra invloed van stroomsnelheid op mechanische degradatie van de wand die mogelijk de massaoverdracht van opgelost lood kunnen versnellen [27].
- Het effect van messing kranen en overige kunststof materialen in de bemonsteringsstukken op de resultaten van proportionele bemonstering zijn kwantitatief onbekend. Die zijn of verwaarloosbaar of verhogen de waarde (lichtrode vak) en ze leiden niet tot lagere waarden.
- Na afloop van de meetcampagnes is geconstateerd dat lood zich ook in de biofilm bevindt. Het is onduidelijk of dit ook een aandeel heeft in de concentraties die zijn gemeten tijdens de proportionele bemonstering.
- Het HomeWaterLab heeft meerdere bochten en T-stukken die allemaal een grote invloed zullen hebben op drukverliezen en mogelijk op de verspreiding van lood in het leidingstelsel (bijvoorbeeld door wervelingen na de appendages). In de modellering is geen rekening gehouden met dit effect. Wel is de inhoud van deze appendages meegenomen, wat relevant is in het huidige kader met een propstroming.
- De vergelijking is gedaan met slechts één loodafgevend onderdeel dat is gemonteerd op één locatie. Om de onderbouwing van de validatie te versterken kunnen er meer proeven worden gedaan waarbij of stukken die meer lood afgeven of langere stukken worden gebruikt. Een alternatief is om hetzelfde stuk dicht bij de keukenkraan te plaatsen. Dit zal leiden tot hogere gemiddelde loodconcentraties aan de keukenkraan (van andere ordegroottes). Als de modellering dezelfde ordegroottes loodconcentraties berekent, zal dit de onderbouwing van het modelleringskader versterken.

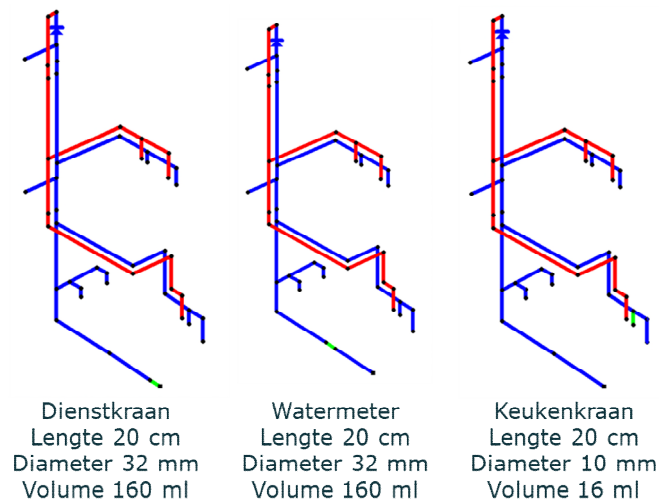
5 Toepassing van het modelleringskader op overige scenario's

In het vorige hoofdstuk is de geldigheid van het modelleringskader onderzocht en bediscussieerd. Geconcludeerd is dat de waarde van de factor de berekende concentraties aan de kraan beïnvloedt. In de studie van overige scenario's wordt de numerieke waarde van de factor bepaald op basis van het CFL-criterium, dat wil zeggen de tijdstap na correctie kleiner zou moeten zijn dan de lengte van het kortste leidingstuk gedeeld door de maximale snelheid in de installatie. Als een conservatieve keuze wordt de factor 20 gebruikt in de simulaties in dit hoofdstuk. Een samenvatting van alle simulaties (behalve van sectie 5.2.1) zijn in Tabel 3 te vinden. Daarin wordt vooral de loodconcentratie aan de keukenkraan voor koud water beschouwd.

5.1 Typische scenario's – dienstkraan, watermeter, keukenkraan, loodsoldeer

5.1.1 Messing onderdelen

Eerst worden een aantal typische scenario's beschouwd. Drie typische situaties waarin messing voorkomt zijn in Figuur 32 weergegeven: messing in de dienstkraan, in de watermeter of in de keukenkraan. Van deze drie zijn de eerste twee in eigendom van een drinkwaterbedrijf. In alle drie situaties is de lengte van het loodafgevend onderdeel gelijk aan 20 cm. Bij de dienstkraan en watermeter zijn de diameters van de leiding 32 mm, bij de keukenkraan is de diameter 10 mm. Dit leidt tot zeer grote verschillen in het volume water dat met lood verontreinigd wordt – 160 ml bij de dienstkraan en watermeter en 16 ml bij de keukenkraan.



Figuur 32: Schets van de drinkwaterinstallatie met de locatie van het loodafgevend messing onderdeel (in groen) en zijn eigenschappen.

De eigenschappen van loodafgifte zijn bepaald op basis van de CW617-metingen die zijn gedaan bij KWR, of op basis van de CW602-metingen die zijn gedaan bij Waternet. Soortgelijke simulaties zijn in een eerdere fase gedraaid [6] maar de loodafgifte-eigenschappen waren typisch voor een loden stuk en niet voor een messing appendage. Beide kalibratiemetingen hebben uiteenlopende evenwichtsconcentratie (verschil van ruim factor 10) maar gelijke snelheden voor loodafgifte. Als gevolg daarvan hebben ze ook uiteenlopende tijdschalen voor afgifte (diameterafhankelijk).

De resultaten van de simulaties met typische messing onderdelen zijn in Tabel 3 samengevat. Voor de scenario's van dienstkraan en watermeter liggen de gemiddelde loodconcentraties aan de keukenkraan ruim onder de norm.

Daarnaast, in ongeveer 0,5-1% van de tijdstippen waarop de kraan geopend is¹⁶, is de loodconcentratie aan de kraan hoger dan of 2,5 µg/L of 5,0 µg/L. De loodconcentratie aan de keukenkraan blijkt minder gevoelig te zijn voor het type messing in de dienstkraan/watermeter. De situatie is behoorlijk anders als hetzelfde type messing bij de keukenkraan aanwezig is. Ook met een veel kleiner volume water waaraan lood afgegeven is (16 ml in tegenstelling met 160 ml bij vorige simulaties), zijn de berekende loodconcentraties flink hoger. Voor CW617 is de gemiddelde loodconcentratie ongeveer 2 µg/L, terwijl met CW602 de waarde ongeveer 7 µg/L is (dus boven de norm). In beide situaties zijn er tussen 15 à 25% tijdstippen met concentraties boven de 2,5 µg/L of 5,0 µg/L.

Deze berekeningen laten goed zien hoe belangrijk het is om te weten waar een loodafgevend onderdeel zich bevindt ten opzichte van de keukenkraan in het bepalen van de mate van blootstelling. Dit is een prima toepassing voor de profielbemonsteringmethodiek die in het volgende hoofdstuk geëvalueerd wordt. Vanuit het perspectief van een drinkwaterbedrijf betekent dit dat een messing onderdeel in de aansluitleiding wellicht een geringer risico vormt dan een soortgelijk onderdeel in de drinkwaterinstallatie.

5.1.2 Loodsoldeer

Naast de simulaties van de invloed van messing onderdelen, zijn er simulaties voorbereid met loodsoldeer, die nog niet zijn gedraaid. Daarmee is er vooral nagedacht over hoe loodsoldeer in het modelleringskader geïntegreerd kan worden. In een eerdere fase van dit project is loodsoldeer gesimuleerd, waarbij afgifte-eigenschappen van een loden stuk zijn gebruikt en had een soldering met een lengte van 20 cm, wat niet realistisch is. Volgens inschatting van een ervaren monteur komt er gemiddeld 1 soldering per meter koperen aansluitleiding voor. Het contactoppervlak is dan naar schatting 0,5 – 1 cm in doorsnede [28]. Daarnaast zijn er andere factoren die invloed zouden kunnen hebben. Een voorbeeld is de kwaliteit van de soldering (veel of weinig doorgevoerd soldeer aan de binnenkant van de leiding). Voorbeelden van de kwaliteit van de soldering zijn in Figuur 33 weergegeven. Bij een slechtere kwaliteit is er een groter oppervlakte lood in contact met drinkwater met scherven die kunnen afbreken. Het aanlegjaar van de aansluiting maakt ook uit, want hoe eerder de leiding is aangelegd, hoe hoger het loodgehalte in het loodsoldeer. Bij bepaalde locaties is er sprake van 'eigen aanvoerleiding' (deel van de aansluitleiding op particuliere grond) waar de kwaliteit van de soldering doorgaans slechter is.

Nog een uitdaging is hoe de resultaten van de kalibratiemetingen van loodafgifte vertaald moeten worden tijdens het opstellen van de simulaties. Het onderzochte proefstuk tijdens de kalibratiemetingen is een koperen leiding. Vermoed wordt dat er vier solderingen zijn (de totale lengte soldering is geschat op 1 cm × 4 = 4 cm). De totale lengte van het proefstuk is 90 cm. De evenwichtsconcentratie ingeschat voor dit proefstuk is 4,3 µg/L. Door het corrigeren van de verdunning door het koperen onderdeel van het proefstuk kan een evenwichtsconcentratie van 96,8 µg/L in de simulaties gebruikt worden. De tijdschaal van loodafgifte wordt niet aangepast en blijft alsnog 0,66 uur. Hierdoor verandert wel de snelheid van loodafgifte naar 0,1936 µg/(m²·s).

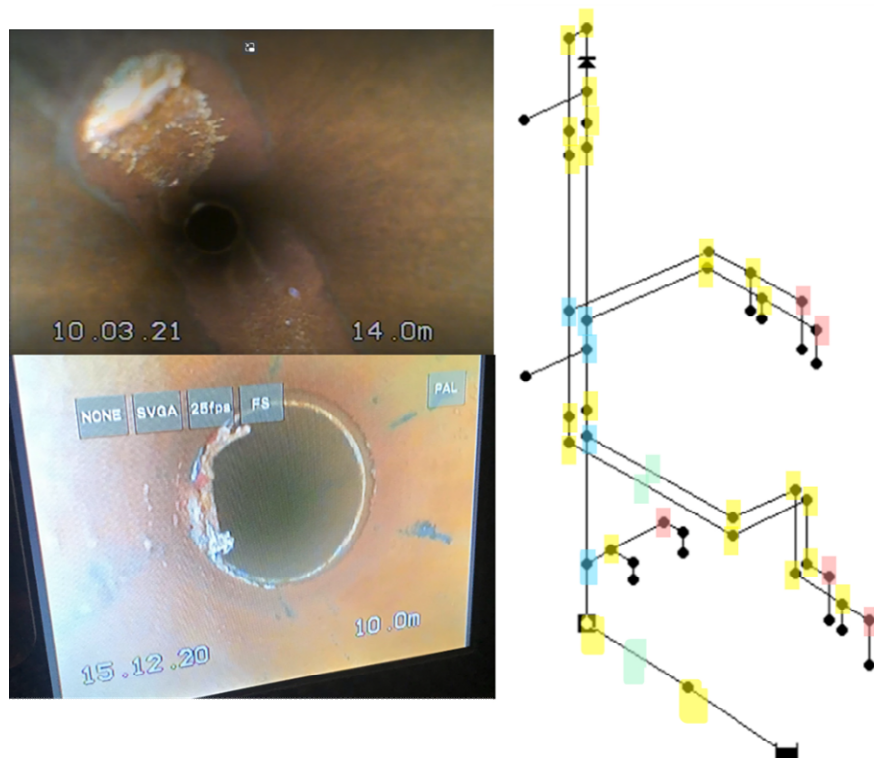
Een mogelijke manier om loodsoldeer in de simulaties mee te nemen is in Figuur 33 te zien. Daarin is de drinkwaterinstallatie weergegeven met verschillende kleuren in de achtergrond. Er zijn vier kleuren en elke kleur vereist een bijbehorende actie in het aanpassen van de geometrie van de drinkwaterinstallatie.

- De rode kleuren geven verbruikspunten aan. De leidingen bovenstrooms hiervan moet in tweeën gesplitst worden waarbij het benedenstroomse deel een lengte van 1 cm heeft.
- De gele kleuren geven knooppunten aan. Hierbij moeten leidingen aan beide richtingen van het knooppunt in tweeën gesplitst worden. De lengte van het stuk in contact met het knooppunt zou een lengte van 1 cm moeten hebben.
- De groene kleuren duiden langere leidingen aan (minstens twee meter lang). Deze buizen moeten symmetrisch in drieën gesplitst worden waardoor het stuk in het midden een lengte van 2 cm krijgt.

¹⁶ Het gaat alleen om de tijdstippen waarop de kraan geopend is. Tijdstippen waarop de kraan dicht is, tellen niet mee. De invloed van de volumestroom is ook niet meegenomen.

- De blauwe kleuren geven knooppunten met drie of meer leidingen aan. Hierbij moeten alle leidingen die in contact staan met het knooppunt in tweeën worden gesplitst zodat er een leiding van 1 cm in contact met het knooppunt komt.

Hiermee kan de drinkwaterinstallatie aangepast worden om loodsoldeer te accommoderen. Omdat de leidingen in de drinkwaterinstallatie uiteenlopende diameters hebben zal de tijdschaal van oplossing bij het soldeer deels afhankelijk zijn van de lokale diameter.



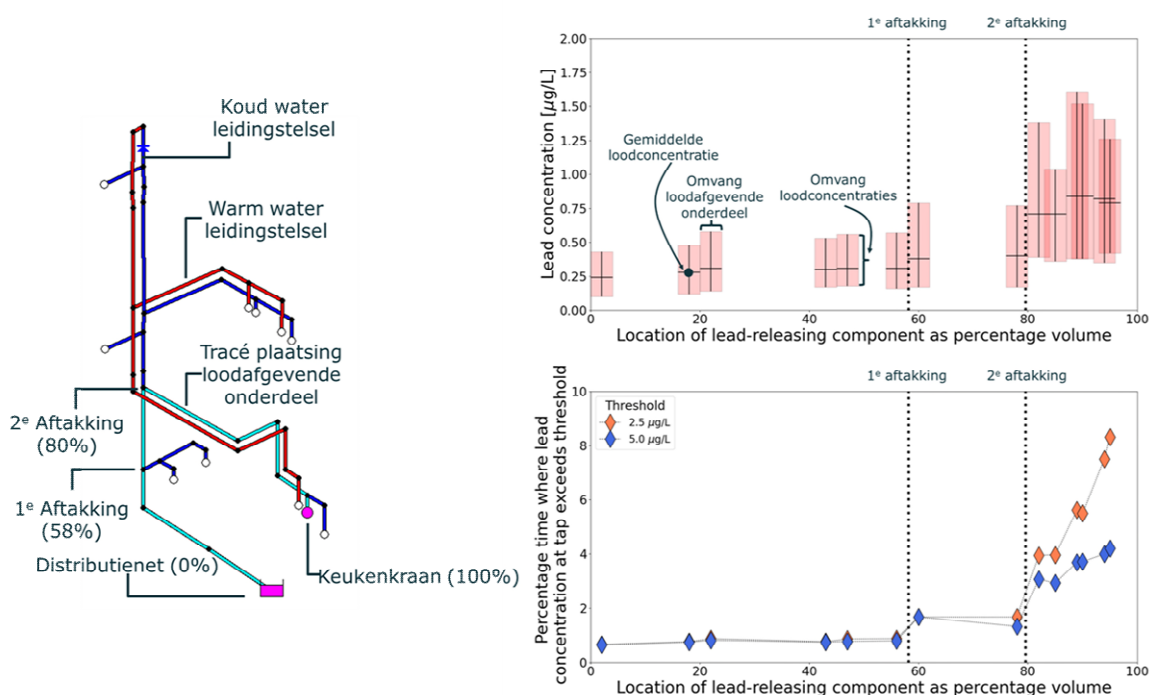
Figuur 33: (Linksboven) Voorbeeld van loodsoldeer van goede kwaliteit. (Linksonder) Voorbeeld van loodsoldeer van slechte kwaliteit. (Rechts) Voorstel voor hoe loodsoldeer in het modelleringskader geïntroduceerd zouden kunnen worden. De betekenis van de diverse kleuren zijn in de tekst uitgelegd.

5.2 Invloed locatie loodafgevend onderdeel – constante evenwichtsconcentratie en tijdschaal voor oplossing

5.2.1 Groot stuk messing van 160 ml tussen distributienet en keukenkraan

Een reeks simulaties zijn uitgevoerd waarin de locatie van een loodafgevend onderdeel is gevarieerd. Er zijn negen leidingen tussen het distributienet en de keukenkraan met uiteenlopende diameters en lengtes zoals te zien in Figuur 34. Het totale volume water tussen het distributienet en de keukenkraan is 3958 ml. De loodhoudende onderdelen hebben een volume van 160 ml (4% van 3958 ml) en de stukken zijn gemonteerd aan de bovenstroomse kant of aan de benedenstroomse kant van bestaande leidingen in de drinkwaterinstallatie. De eerste zeven leidingen hebben een inhoud van >160 ml en zijn gebruikt voor het toevoegen van een loodafgevend onderdeel van 160 ml. Dit leidt tot veertien scenario's waarin de locatie van het loodafgevend onderdeel is gevarieerd¹⁷. De laatste twee leidingen dicht bij de keukenkraan zijn niet meegenomen in dit scenario omdat ze een volume kleiner dan 160 ml hebben. De lengte van het loodafgevend onderdeel is afhankelijk van de diameter van het onderdeel om ervoor te zorgen dat het volume altijd 160 ml is.

¹⁷ De rol van de splitsing van leidingen op de waterkwaliteitsberekeningen is niet onderzocht.



Figuur 34: (Links) Schets van de drinkwaterinstallatie en uitleg van het tracé waaraan een loodafgevend onderdeel van 160 ml is toegevoegd. (Rechtsboven) Invloed van de locatie van het loodafgevend onderdeel op loodconcentraties aan de keukenkraan, gebaseerd op 20 weken van unieke verbruikspatronen. (Rechtsonder) Percentage tijd dat de loodconcentratie aan de keukenkraan hoger dan 2,5 µg/L of 5,0 µg/L is.

Bij deze simulaties zijn de eigenschappen van loodafgiftemetingen van de watermeter bij KWR gebruikt met een evenwichtsconcentratie van 19,3 µg/L. Er zijn twee mogelijkheden: (i) houd afgiftesnelheid (M) constant of (ii) houd tijdschaal (T) voor oplossing constant. De tijdschaal is gerelateerd aan de evenwichtigheidsconcentratie, de snelheid van afgifte en de diameter van de leiding (D) volgens de vergelijking $T = DE/4M$. De drinkwaterinstallatie omvat verschillende diameters. Om de invloed van het samenspel tussen de temporele variabiliteit van loodafgifte en temporele variabiliteit van waterverbruik zoveel mogelijk te reduceren is ervoor gekozen om de tijdschalen gelijk te houden (1,79 uur). Dat wil zeggen, de afgifte-snelheid is een functie van leidingdiameter in deze scenario's. Een grotere leidingdiameter wordt gecombineerd met een hogere afgifte-snelheid, zodat de tijdschaal gelijk gehouden kan worden. Bijvoorbeeld, bij een leiding met diameter van 32 mm wordt de afgiftesnelheid 0,0239 µg/(m²·s) en bij een leiding met diameter van 13 mm wordt de afgiftesnelheid 0,0097 µg/(m²·s).

Er zijn twee aftakkingen, de eerste bij een volume van 58% en de tweede bij een volume van 80%. Lood afgegeven vóór de eerste vertakking bereikt alle verbruikspunten. Lood afgegeven tussen de eerste en de tweede vertakking bereikt alle verbruikspunten behalve de twee vóór de eerste vertakking. Lood dat wordt afgegeven voorbij de tweede vertakking kan enkel twee verbruikspunten bereiken.

De resultaten van de simulaties zijn in Figuur 34 weergegeven. Het is duidelijk dat hoe korter de afstand van de kraan tot het loodafgevend onderdeel, des te hoger de loodconcentratie aan de kraan. De invloed van de aftakkingen blijkt echter groter dan de invloed van het volumepercentage. De aanwezigheid van een loodafgevend onderdeel na de tweede aftakking leidt tot een plotselinge stijging in loodconcentraties aan de kraan, doordat het afgegeven lood een gering aantal verbruikslocaties kan bereiken en de stagnatieperiodes langer worden. Dit is ook te zien in de percentage tijdstippen¹⁸ waarop de concentratie aan de kraan hoger is dan of 2,5 µg/L of 5,0 µg/L. Tot de tweede aftakking is er weinig verschil tussen overschrijdingen van 2,5 µg/L of 5,0 µg/L – wellicht doordat de overschrijdingen als gevolg van langdurige stagnaties plaatsvinden waarbij de concentraties sowieso hoger worden dan 5,0 µg/L. Na

¹⁸ Hierbij is er geen rekening mee gehouden met het volume van het waterverbruik op het tijdstip. De tijdstippen van 10 seconden hebben zodoende uiteenlopende watervolumes. Dit is tegengesteld aan RDT waarbij een vast volume van 1 liter wordt aangehouden.

de tweede vertakking zijn er grotere verschillen in het percentage tijdstippen waarop overschrijdingen van 2,5 µg/L of 5,0 µg/L plaatsvinden, doordat nu de kortstondige stagnaties ook een rol spelen.

5.2.2 Klein stuk messing van 16 ml bij de keukenkraan

Naast de voorgaande simulaties zijn er twee andere simulaties gedraaid waarbij de loodafgifte-eigenschappen gelijk zijn gehouden (evenwichtsconcentratie van 19,3 µg/L en oplossingstijdschaal van 1,79 uur). De loodafgevende locaties liggen nu echter vlak bij de keukenkraan (warm of koud) en de loodafgevende onderdelen hebben een inhoud van 16 ml (10 keer zo klein als de stukken in de vorige paragraaf). Als het stuk enkel bij de keukenkraan voor koud water aanwezig is, zijn de minimale, gemiddelde en maximale loodconcentraties aan de keukenkraan voor koud water respectievelijk 1,09 µg/L, 1,57 µg/L en 2,38 µg/L. Als het stuk enkel bij de keukenkraan voor warm water aanwezig is, zijn de minimale, gemiddelde en maximale loodconcentraties aan de keukenkraan voor warm water respectievelijk 0,94 µg/L, 1,81 µg/L en 2,99 µg/L. Deze concentraties zijn niet direct vergelijkbaar met de concentraties berekend in de vorige paragraaf omdat het gaat om loodafgevende onderdelen met verschillende volumes (16 ml vs 160 ml). Niettemin laat dit zien dat ondanks de kleine hoeveelheid water die besmet wordt, de loodconcentratie aan de kraan flink hoger is. Dit zou te maken kunnen hebben met de hoeveelheid water die verbruikt wordt wanneer de kraan open gaat.

5.3 Invloed van variatie in loodafgifte-eigenschappen

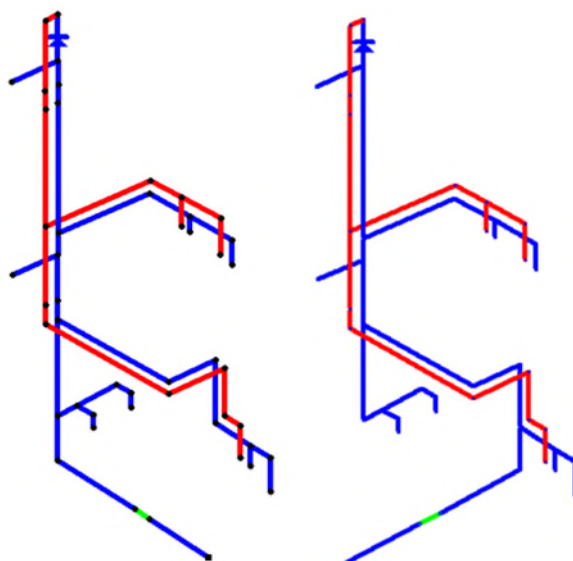
In een eerdere studie [5] is geconcludeerd dat een verhoging in evenwichtsconcentratie met een factor 'X' leidt tot een verhoging in de loodconcentratie aan de kraan met een factor 'X'. Dit was gebaseerd op simulaties waarin de evenwichtsconcentratie werd gevarieerd terwijl de tijdschaal voor oplossing constant werd gehouden. In de huidige studie is dit aspect opnieuw getoetst. Dit wordt gedaan met behulp van drie simulaties.

- i. In de eerste simulatie wordt een bepaalde waarde voor de evenwichtsconcentratie, afgiftesnelheid en tijdschaal gekozen.
- ii. In de tweede simulatie wordt de evenwichtsconcentratie flink verhoogd met een factor 11,6 en wordt de tijdschaal constant gehouden. Dit betekent een verhoging in de afgiftesnelheid met een factor 11,6.
- iii. In de derde simulatie wordt de evenwichtsconcentratie flink verhoogd met een factor 11,6 en wordt de afgiftesnelheid constant gehouden. Dit betekent een verhoging van de oplossingstijdschaal met een factor 11,6.

Het aanpassen van evenwichtsconcentratie bij het constant houden van de tijdschaal voor oplossing blijkt een lineair verband te hebben met de concentratie aan de kraan. Dat wil zeggen, een verhoging in evenwichtsconcentratie met een factor 'X' leidt tot een verhoging in de loodconcentratie aan de kraan met een factor 'X'. Dit geldt echter niet als de evenwichtsconcentratie wordt aangepast terwijl de afgiftesnelheid constant wordt gehouden. Dit komt wellicht doordat het transport van lood door het stelsel wordt bepaald door de temporele relaties tussen waterverbruik en loodafgifte.

5.4 Invloed van variatie in woninggeometrie

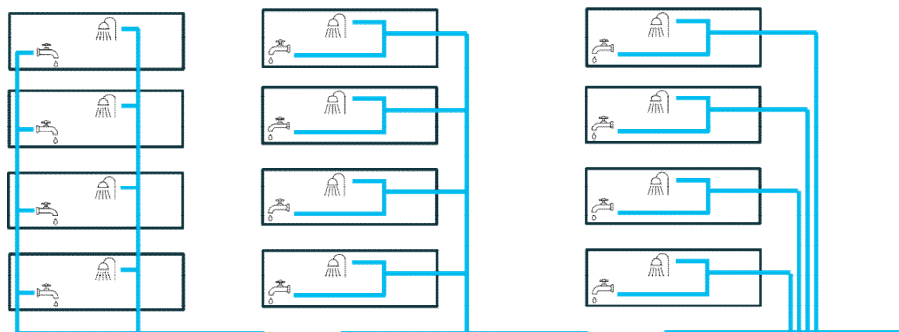
Als een laatste scenariostudie is er gekeken naar de invloed van de ruimtelijke eigenschappen van de woning op de loodconcentraties aan de kraan. Elke woning is uniek en hoe de installatie in elkaar zit zal uiteraard effect hebben op het transport van lood door de woning. In Figuur 35 zijn twee voorbeelden weergegeven. We beperken ons tot een kleine variatie van de locatie waar de aansluitleiding de woning binnenkomt en het watervolume tussen de locatie van binnenkomst en de keukenkraan. Daarna wordt de simulatie gedraaid alsof messing CW602 in de watermeter aanwezig is. Specifiek voor deze twee voorbeelden is er waargenomen dat de geometrie weinig invloed heeft op de loodconcentraties aan de kraan. Niettemin is het noodzakelijk om dit verder te onderzoeken bij situaties waar er flinke verschillen in de layout van de woning is (bijvoorbeeld, wasmachine in de keuken). Een werkwijze voor het tekenen van installaties op basis van Funda is in Bijlage XIX uitgelegd.



Figuur 35: Voorbeelden van simulaties met variatie in de layout van de aansluitleiding ten opzichte van de keukenkraan.

5.5 Gestapelde bouw

De voorgaande voorbeelden gaan over eengezinswoningen. Gestapelde bouw of portiekwoningen komen vaker voor in Nederlandse steden. De situatie kan bovendien per stad verschillen zoals geschetst in Figuur 36. Deze situaties zijn interessant omdat afhankelijk van het gebouw de verantwoordelijkheid van het drinkwaterbedrijf tot diep in het pand kan reiken (bijvoorbeeld als de watermeter in de badkamer is geplaatst). In zo'n geval kunnen er nog loden leidingen achter de muren verborgen zitten die nog niet zijn geïdentificeerd/gesaneerd.



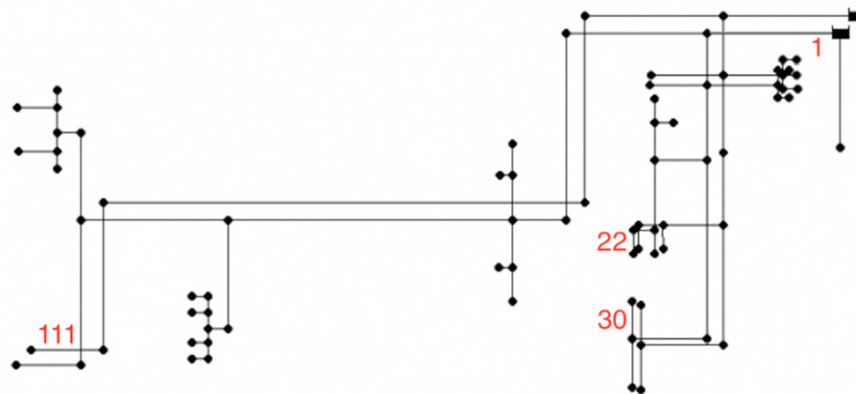
Figuur 36: Voorbeelden van verschillende types gestapelde bouw. (Links) Amsterdamse situatie (Midden) Rotterdamse situatie (Rechts) Haagse situatie.

In de Amsterdamse situatie is er sprake van een aansluitleiding en aparte stijgleidingen per verbruikspunt in de woningen. De keukenkraan van een woning is bijvoorbeeld verbonden aan de keukenkraan van de bovenbuur en benedenbuur. Dit betekent dat de stroming in de leidingen ook wordt bepaald door het gedrag van de burens. Dit zal uiteraard invloed hebben op blootstelling aan lood. In een dergelijke situatie wordt het interessant om te bestuderen of blootstelling aan lood verandert als de burens met vakantie gaan (dus minder waterverbruik, langere periodes van stilstand). Een dergelijke opbouw van de drinkwaterinstallatie is ook een reden waarom het niet zinvol is om per woning een watermeter te hebben. In de Rotterdamse situatie is er sprake van een stijgleiding die naar alle woningen toe gaat, waarbij elke woning zijn eigen aftakking voor alle verbruikspunten heeft. In deze situatie wordt het mogelijk om elke woning met een watermeter te voorzien. De Haagse situatie lijkt op de Rotterdamse situatie behalve dat elke woning zijn eigen stijgleiding heeft.

5.6 Kinderopvanglocaties

Buiten dit project om heeft een stagiair stappen gezet om kinderopvanglocaties na te bootsen in een soortgelijk modelleringskader [29]. Er zijn interviews gehouden bij kinderopvanglocaties om het waterverbruikspatroon beter te kennen leren. Een opvallend kenmerk van het waterverbruik is een continu gebruik van wasmachines gedurende een dag. In Figuur 37 is een schets van de drinkwaterinstallatie opgenomen, waarin een aantal leidingen als loodafgevend zijn gedefinieerd. Het leidingstelsel voor koud en warm water zijn niet met elkaar verbonden. Op basis van de simulaties zijn er loodconcentraties aan de kraan berekend. Deze waarden zijn vervolgens vertaald naar loodniveaus in het bloed van de kinderen met behulp van een IEUBK-model.

Ondanks een hoog waterverbruik, met veel minder stagnatietijd dan in woningen, werden loodconcentraties gesimuleerd die boven de norm kwamen in bepaalde situaties. Dit suggereert dat wanneer er lood aangetroffen wordt in een dergelijke locatie, het belangrijk is om dit zo spoedig mogelijk te verwijderen; een doorstroomadvies is dan niet zinvol. Dit moet verder worden onderzocht.



Figuur 37: Schets van de drinkwaterinstallatie van een kinderopvang [29]. De genummerde leidingen zijn de locaties waar loodafgevende leidingen in de simulaties zijn geplaatst.

Tabel 3: Samenvatting van simulaties beschreven in dit hoofdstuk. Gele rijen horen bij 5.1, groene bij 5.2.2, blauwe bij 5.3 en rode bij 5.4. De concentraties en overschrijdingen horen bij de keukenkraan voor koud water behalve scenario “Keukenkraan warm water CW617 – (13 mm, 16 ml)”. De gebruikte numerieke factor in de berekeningen met de workaround is 20.

Scenario	Maximale concentratie opgelost lood (E)	Snelheid van loodafgifte (M)	Tijdschaal voor oplossing (T = DE/(4M))	Minimale loodconcentratie aan de kraan gedurende een week	Gemiddelde loodconcentratie aan de kraan gedurende twintig weken	Maximale loodconcentratie aan de kraan gedurende een week	Percentage tijdstippen met overschrijding 2,5 µg/L	Percentage tijdstippen met overschrijding 5,0 µg/L
Dienstkraan CW617 – (32 mm, 160 ml)	19,3 µg/L	0,014 µg/(m²·s)	3,03 uur	0,07 µg/L	0,17 µg/L	0,38 µg/L	0,37%	0,35%
Dienstkraan CW602 – (32 mm, 160 ml)	223,7 µg/L	0,014 µg/(m²·s)	16,15 uur	0,07 µg/L	0,23 µg/L	0,59 µg/L	0,62%	0,62%
Watermeter CW617 – (32 mm, 160 ml)	19,3 µg/L	0,014 µg/(m²·s)	3,03 uur	0,08 µg/L	0,20 µg/L	0,39 µg/L	0,60%	0,55%
Watermeter CW602 – (32 mm, 160 ml)	223,7 µg/L	0,014 µg/(m²·s)	16,15 uur	0,10 µg/L	0,28 µg/L	0,61 µg/L	0,75%	0,75%
Keukenkraan CW617 – (10 mm, 16 ml)	19,3 µg/L	0,014 µg/(m²·s)	0,95 uur	1,46 µg/L	2,02 µg/L	3,14 µg/L	23,15%	17,93%
Keukenkraan CW602 – (10 mm, 16 ml)	223,7 µg/L	0,014 µg/(m²·s)	5,05 uur	4,19 µg/L	6,76 µg/L	10,60 µg/L	23,50%	19,00%
Loodsoldeer – (variërende diameters, 1-2 cm lang, 81 instanties in installatie)	96,7 µg/L	0,1936 µg/(m²·s)	Diameter afhankelijk	Niet gedraaid	Niet gedraaid	Niet gedraaid	Niet gedraaid	Niet gedraaid

Scenario	Maximale concentratie opgelost lood (E)	Snelheid van loodafgifte (M)	Tijdschaal voor oplossing ($T = DE/(4M)$)	Minimale loodconcentratie aan de kraan gedurende een week	Gemiddelde loodconcentratie aan de kraan gedurende twintig weken	Maximale loodconcentratie aan de kraan gedurende een week	Percentage tijdstippen met overschrijding 2,5 µg/L	Percentage tijdstippen met overschrijding 5,0 µg/L
Keukenkraan koud water CW617 – (10 mm, 16 ml)	19,3 µg/L	0,0075 µg/(m ² ·s)	1,79 uur	1,09 µg/L	1,57 µg/L	2,38 µg/L	19,15%	12,79%
Keukenkraan warm water CW617 – (13 mm, 16 ml)	19,3 µg/L	0,0097 µg/(m ² ·s)	1,79 uur	0,94 µg/L	1,81 µg/L	2,99 µg/L	19,69%	17,56%
Watermeter CW617 – (32 mm, 160 ml)	19,3 µg/L	0,014 µg/(m ² ·s)	3,03 uur	0,08 µg/L	0,20 µg/L	0,39 µg/L	0,60%	0,55%
Watermeter verander E, constant T – (32 mm, 160 ml)	223,7 µg/L	0,162 µg/(m ² ·s)	3,03 uur	0,60 µg/L	2,26 µg/L	4,03 µg/L	3,95%	3,84%
Watermeter verander E, constant M – (32 mm, 160 ml)	223,7 µg/L	0,014 µg/(m ² ·s)	35,12 uur	0,10 µg/L	0,28 µg/L	0,61 µg/L	0,75%	0,75%
Watermeter CW617 in woning – (32 mm, 160 ml)	19,3 µg/L	0,014 µg/(m ² ·s)	3,03 uur	0,08 µg/L	0,20 µg/L	0,39 µg/L	0,60%	0,55%
Watermeter CW617 in woning met kleine variatie – (32 mm, 160 ml)	19,3 µg/L	0,014 µg/(m ² ·s)	3,03 uur	0,09 µg/L	0,19 µg/L	0,35 µg/L	0,73%	0,70%

6 Praktijkervaringen door drinkwaterbedrijven met het landelijke geharmoniseerde meetprotocol voor lood

6.1 Het landelijk geharmoniseerde meetprotocol voor het bepalen van loodafgifte in binneninstallaties

In een traject parallel aan van het huidige onderzoek hebben drinkwaterbedrijven, Vewin, RIVM, KWR en Sensileau gezamenlijk gewerkt om een nieuw meetprotocol op te stellen. De uitkomsten van die samenwerking zijn beschreven in een rapport van Sensileau B.V. [12]. De cursieve tekst hieronder is gebaseerd op de samenvatting van dat rapport.

In aanvulling op de wettelijk verplichte toepassing van RDT-bemonstering voor lood in distributiegebieden is er behoefte aan een geharmoniseerde bemonsteringsstrategie voor lood in aansluitleidingen en binneninstallaties. Deze meetstrategie dient praktisch toepasbaar te zijn, geschikt voor het doel van de bemonstering, en de kosten moeten in verhouding staan tot de verkregen waterkwaliteitsinformatie.

Er zijn vier specifieke doelen van loodbemonstering gedefinieerd, elk met twee subdoelen:

- 1. Vaststellen of lood aanwezig is;*
- 2. Vaststellen waar lood zich bevindt;*
- 3. Inschatten van het blootstellingsrisico;*
- 4. Advisering.*

Per subdoelstelling zijn één of meerdere bemonsteringsstrategieën mogelijk. De bemonstering bestaat uit twee series, waarbij voor sommige doelstellingen alleen de eerste serie volstaat, terwijl voor andere beide series nodig zijn. Serie 1 wordt gebruikt om de aanwezigheid van lood vast te stellen dan wel te bevestigen, of om loden componenten in een installatie te lokaliseren. Serie 2 wordt als aanvulling op Serie 1 toegepast om de noodzaak voor een tijdelijk doorstroomadvies vast te stellen, of om de consument gerust te stellen door te laten zien dat doorstromen voor (eerste) gebruik de loodconcentratie (drastisch) omlaag kan brengen.

Serie 1 wordt genomen na langdurige stagnatie (6-8 uur), en omvat een monstervolume van in totaal 3 liter. De bemonstering kan volgens één van vier opties worden uitgevoerd:

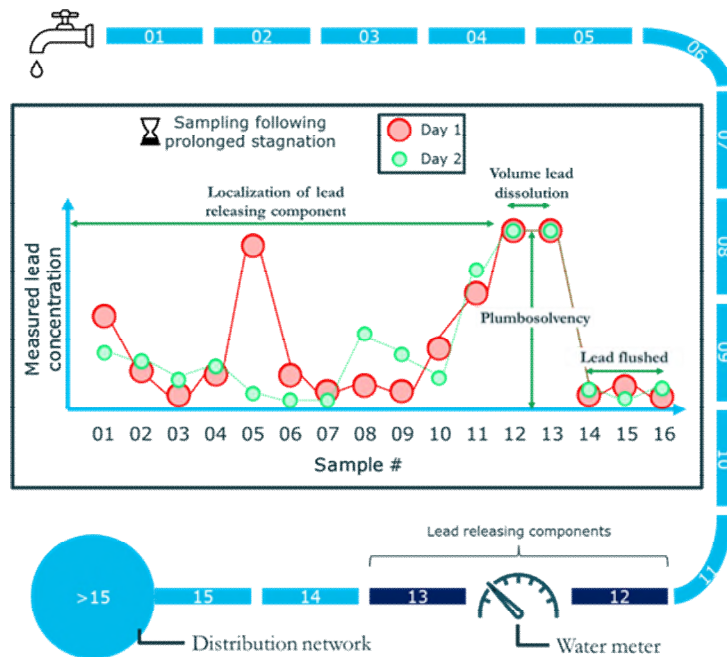
- 1. 1 monster van 3L;*
- 2. 3 monsters van 1 L;*
- 3. 12 monsters van 250 mL;*
- 4. Ander klein flesvolume, waarbij minimaal 10 flessen en in totaal 3 L worden bemonsterd.*

Serie 2 wordt genomen bij normaal watergebruik, en omvat een monstervolume van 3 maal 1 liter. De bemonstering wordt iedere 2 uur, over een periode van 4 uur, uitgevoerd, bijvoorbeeld om 10:00, 12:00 en 14:00. Deze aanpak benadert de RDT-bemonsteringsmethode, zij het dat specifieke tijdsintervallen tussen monsters worden gekozen.

Voor iedere combinatie van doelstelling en bemonsteringsstrategie zijn mogelijke uitkomsten, conclusies en een handelingsperspectief gedefinieerd.

6.2 Wat is profielbemonstering?

Profielbemonstering is een bemonsteringstechniek waarmee informatie over de locatie van loodafgevend onderdelen kan worden achterhaald. Bij KWR-onderzoek is deze techniek voor het eerst ontwikkeld en uitgetoetst in een eerder project. De conceptuele uitleg van profielbemonstering hieronder in Figuur 38 is ontleend aan voorgaand onderzoek [10].



Figuur 38: Schematische weergave van het meetprincipe van profielbemonstering en welke informatie ermee kan worden verzameld.

In Figuur 38 wordt de drinkwaterinstallatie tussen het distributienet en de monsternamelocatie getoond. Voor de watermeter ligt de aansluitleiding. De drinkwaterinstallatie is ingedeeld in blokjes waarvan de volumes gelijk zijn aan het volume van het monster dat na een langdurige stilstand genomen moet worden. Er kan veel informatie uit de profielen gehaald worden door de profielbemonstering op twee dagen uit te voeren. Op de eerste dag krijgt men een indicatie van mogelijke locaties van loodafgevend onderdelen. De tweede meting helpt met het onderscheiden van true en false positives in het interpreteren van resultaten profielbemonstering (true positive = locaties aangewezen door profielbemonstering wel locaties zijn waar er loodafgifte plaatsvindt, false positive = locaties aangewezen door profielbemonstering wel locaties zijn waar er geen loodafgifte plaatsvindt). Zo is monster 5 van de eerste dag een false positive omdat monster 5 van de tweede dag geen hoge concentratie heeft. Monsters 12 en 13 zijn true positives en horen bij het loodafgevend onderdeel. Monsters 12 en 13 worden vervolgens als piek geïdentificeerd. De monsters na de piek zullen geen opgelost lood meer hebben omdat al het lood al weggespoeld is. Op basis van de piek kan de volgende informatie uitgehaald worden op basis waarvan er vervolgacties bepaald worden.

Hieronder wordt de waarde van de piek uitgelegd:

- **Locatie van de piek:** Als een tekening van de drinkwaterinstallatie beschikbaar is, kan er met behulp van de locatie van de piek en monstervolume geschat worden waar het lood vandaan komt. Op basis van de locatie kan worden bepaald of de pandeigenaar of het drinkwaterbedrijf verantwoordelijk is voor het saneren van het loodhoudend onderdeel. Hoe verder benedenstrooms de locatie van de piek, hoe lager de blootstelling voor de bewoners omdat het afgegeven lood door de hele drinkwaterinstallatie wordt verspreid (inclusief tappunten waaruit geen consumptie is zoals WC en wasmachine).
- **Breedte van de piek:** Het totale volume van de piek (oppervlakte onder de grafiek) zegt iets over de ernst van de situatie. Hoe smaller de piek, hoe lager de blootstelling.

- Hoogte van de piek: Dit bevat informatie over de evenwichtsconcentratie. Hoe lager de piek, hoe lager de blootstelling.

Het achterliggende principe is als volgt:

- De bemonstering is voorafgegaan door een langdurige periode van stilstand. Dit zorgt ervoor dat gedurende de stilstand lood in het water terechtkomt en zelfs de evenwichtsconcentratie bereikt. Op deze manier kan een beter onderscheid worden gemaakt tussen loodafgevende locaties en niet-loodafgevende locaties.
- In profielbemonstering wordt een reeks monsters achter elkaar verzameld. Aan de hand van welke monsters verhoogde loodconcentraties hebben (de pieken in het profiel), kan berekend worden waar de loodafgifte mogelijk plaatsvindt. Hiervoor is het belangrijk om de dimensies van het leidingstelsel zo goed mogelijk te kennen (lengtes, binnendiameters, volume appendages).
- Door het aan kunnen wijzen van de mogelijke locatie van loodafgifte kan er bepaald worden in welke domein het loodafgevende onderdeel ligt (bijvoorbeeld, keuken, woning, aansluitleiding, distributieleiding). Dit helpt bij het bepalen van wie verantwoordelijk is voor het saneren van het loodafgevende onderdeel (pandeigenaar of drinkwaterbedrijf).
- Alhoewel het in het vorige project niet is onderzocht, wordt verwacht dat het doorspoelen van het leidingstelsel voorafgaand aan de periode van stilstand zal helpen bij het verwijderen van het achtergrondgehalte aan lood. Deze spoeling zorgt voor een beter duiding van de resultaten van de profielbemonstering.
- In het vorige onderzoek is ervan uitgegaan dat er een propstroming in het leidingstelsel plaatsvindt. Dit is gedaan omwille van de beperking in de rekenmethodes van het toen gebruikte modelleringsprogramma. De profielbemonsteringsexperimenten in het HomeWaterLab hebben laten zien dat het profiel wel een bepaalde breedte kan verkrijgen, hoogstwaarschijnlijk door dispersie [14].

6.3 Algemene ervaring met het geharmoniseerde meetprotocol

Als onderdeel van dit onderzoek is profielbemonstering door vier drinkwaterbedrijven uitgetoetst. Dit is in twee formaten gedaan:

- Er zijn metingen bij particulieren gedaan door vier drinkwaterbedrijven met behulp van een vragenlijst. Deze uitgebreide vragenlijst is aangemaakt om het proces van bemonstering en metadata rondom de meting in kaart te brengen. De redenen waarom bepaalde elementen in deze vragenlijst zijn opgenomen is in Bijlage XX uitgelegd. Een ingevuld voorbeeld van de vragenlijst zelf staat in Bijlage XXI. Alle resultaten zijn in Bijlage XXII gedocumenteerd.
- Een drinkwaterbedrijf heeft tientallen profielbemonstering metingen bij kindlocaties gedaan. De belangrijkste waarnemingen en alle metingen zijn in Bijlage XXIII en Bijlage XXIV respectievelijk gedocumenteerd.

De tien voorbeelden van metingen bij particulieren laten zien hoeveel inspanningen er nodig zijn om profielbemonstering goed te kunnen uitvoeren. Als alles netjes wordt uitgevoerd dan helpt de bemonstering in het aanwijzen van mogelijke loodafgevende locaties en is robuust/haalbaar (zie voorbeeld 07 in Bijlage XXII). Maar als er dingen tijdens de uitvoering misgaan, blijven er alsnog vragen over de uitkomsten van de bemonstering (zie voorbeeld 09 in Bijlage XXII). De tientallen metingen bij de kindlocaties helpen met het vormen van een statistisch beeld van waar de loodafgevende onderdelen liggen. Deze ervaringen tezamen zijn ook aanleiding geweest voor het voorstellen van richtlijnen die in de volgende sectie zijn beschreven.

Op 19 oktober 2023 is er een workshop gehouden om onder andere verder te discussiëren over het geharmoniseerde meetprotocol. De tekst hieronder is gebaseerd op de notulen van de vergadering [30]. Ervaringen over het meetprotocol zijn gedeeld. Bij een aantal bedrijven is geen ervaring opgedaan vooral omdat er te weinig overschrijdingen tijdens de RDT-metingen zijn vastgesteld. Drinkwaterbedrijf Evides werkt samen met de gemeente

Rotterdam om het protocol uit te voeren (bijvoorbeeld bij kindlocaties of gastgezinnen). Hierbij is het belangrijk om te beseffen dat het protocol geen antwoord geeft op de vraag of de concentraties aan de wet voldoen. Het protocol kan wel bevestigen of het drinkwaterbedrijf water zonder lood levert of niet. Specifiek advies opstellen is lastig, behalve advies met betrekking tot de hoeveelheid die moet worden doorgespoeld voordat water kan wordt gebruikt. De frequentie waarmee doorspoeling plaats moet vinden kan afhangen van de piekconcentraties aangetroffen in het profiel op basis van een bepaald monstervolume. In het algemeen wordt het protocol als nuttig gezien door zowel de drinkwaterbedrijven als RIVM en is geadviseerd om ermee door te gaan.

6.4 Stappenplan voor optimale uitvoering van profielbemonstering

De praktijkervaringen met profielbemonstering tonen aan dat het een veelbelovend middel kan zijn in het opsporen van loodafgevende onderdelen. Om er in praktijk optimaal van te profiteren is het noodzakelijk dat de techniek op de juiste manier wordt uitgevoerd. Hieronder worden een aantal algemene aanbevelingen gedaan op basis van het voorstel voor het geharmoniseerde meetprotocol [12] en de opgedane ervaring.

- **Bepalen van geometrie en belangrijke overgangen:** Vergaar zoveel mogelijk informatie over de drinkwaterinstallatie van de woning – denk aan geometrie en materialen. Hiertoe behoort informatie zoals lengtes, diameters, materialen, inbouwjaren, merken van leidingen en kranen in de drinkwaterinstallatie. Daarnaast moet informatie over de aansluitleiding, watermeter, dienstkraan en distributieleiding vergaard worden (lengtes, diameters, materiaal, jaar van aanleg). Hoe meer en nauwkeuriger informatie er beschikbaar is, des te betere duiding van de resultaten van de profielbemonstering. Met deze informatie kunnen belangrijke overgangen (bijvoorbeeld in materialen of verantwoordelijkheden) bepaald worden.
- **Bepalen van volumes van de domeinen en optimale monstervolumes:** De overgangen splitsen het traject van het leidingwerk in verschillende domeinen. Stel bij elk domein vast wat het bijbehorende volume¹⁹ is en of daar grote onzekerheden in zitten. Kies voor elk domein een geschikt monstervolume – het liefst minstens drie monsters per domein, maar in ieder geval zeker één die exclusief bij het domein hoort. Het is geen probleem als het profiel wordt vastgesteld op basis van monsters met uiteenlopende volumes, omdat dit nog steeds kan helpen met het lokaliseren van loodafgevende locaties, en het vaststellen bij welk domein het hoort.
- **Rol van klant in succesvolle uitvoering:** Benadruk in de communicatie met de klant voorafgaand aan de metingen de noodzaak van een doorspoelactie bij de keukenkraan om ervoor te zorgen dat het reeds aanwezige lood uit het te bemonsteren leidingstelsel wordt verwijderd. Maak de klant ervan bewust dat als er water is verbruikt, de locatie van het loodafgevende onderdeel mogelijk te ver benedenstrooms wordt vastgesteld. Dit vergroot de kans dat de bewoner wordt geadviseerd om acties te nemen. Het is gewenst dat het laatste verbruikspunt voorafgaand aan de langdurige stagnatie de keukenkraan zelf is. Dit zal ervoor zorgen dat de stagnatieduur bij de hele binneninstallatie en de aansluitleiding hetzelfde is. Stel bij aankomst bij de klant vast dat er geen water is verbruikt na aanvang van de stagnatieperiode, omdat dit de betekenis van de resultaten kan beïnvloeden. Als er vastgesteld is dat er water is verbruikt, is het verstandiger om de afspraak te verzetten in plaats van door te gaan.
- **Rol van monsternemer in succesvolle uitvoering:** Schrijf in de instructie dat er bij de uitvoering van de bemonstering op dat de perlator niet verwijderd wordt. Daarnaast is het noodzakelijk dat er geringe verspilling plaatsvindt tijdens de bemonstering. Het is goed om de bewoner te vragen of de kraan stroef is. Het beste is om het monster op een lage volumestroom af te nemen – het is niet nodig om het debiet te optimaliseren. Dit betekent dat de tijd die nodig is om grote monsterflessen te vullen langer wordt. Het is de bedoeling dat tussen de monsters door de kraan openblijft. Het vergt enige oefening van de monsternemer om monsterflessen te wisselen zonder verspilling. Voor kwaliteitscontrole kan een lekbak in de gootsteen geplaatst worden om de hoeveelheid waterverlies te meten.

¹⁹ Let op dat de binnendiameter wordt gebruikt tijdens het berekenen van de volumes.

- **Opdracht voor laboratorium voor een succesvolle uitvoering:** Het is belangrijk dat alle monsters in het lab worden geanalyseerd zodat een lokale stijging in loodconcentratie niet gemist wordt. Om kosten te besparen is het beter om grotere monsters af te nemen, waarbij men zich bewust moet zijn dat er verdunning plaatsvindt. Bespreek vooraf in de communicatie met het laboratorium ook de detectiegrens van de meting, zeker als grote monstervolumes zullen afgenomen worden. Dit is vooral belangrijk als de eisen streng zijn (zie voorbeeld aan het einde van deze lijst).
- **Lokaliseren van loodafgevende locatie(s):** Maak ten behoeve van de lokalisatie van de bron van loodafgifte een grafiek van de loodconcentratie uitgezet tegen het afgenomen volume (in plaats van monsternummer). Onderscheid daarbij de verschillende domeinen (zoals in de voorbeelden in Bijlage XXII). Maak met behulp van het profiel een eerste inschatting van de locatie van de loodafgifte en koppel dit aan een domein (bijvoorbeeld binneninstallatie of aansluitleiding of distributieleiding). Een voorbeeld: stel dat hoge concentraties aangetroffen zijn tussen X_1 en X_2 liter. Als er Y liter water is verspild tijdens de bemonstering, tel dit op bij de mogelijke locatie, dat wil zeggen dat de hoge concentraties tussen (X_1+Y) en (X_2+Y) liter liggen. Stel dat deze piek in domein A valt. Vermenigvuldig vervolgens de volumes met 1,3, dat wil zeggen dat de hoge concentraties tussen $(X_1+Y) \times 1,3$ en $(X_2+Y) \times 1,3$ liter liggen. Vallen deze volumes ook onder domein A? Zo ja, dan is er grote kans dat de loodafgifte bij domein A plaatsvindt. Zo niet, dan is er een inspectie nodig of een tweede monsternamen met fijnere volumes bij de twijfellocaties.
- **Herhalingsmeting:** Als een profielbemonstering voor een tweede keer wordt uitgevoerd op dezelfde locatie, probeer ervoor te zorgen dat de omstandigheden gelijk zijn aan de eerste reeks metingen (bijvoorbeeld dezelfde stagnatieperiode).
- **Advies op basis van het gemeten profiel:** Drinkwaterbedrijven hebben normen voor concentraties die aangeven of al dan niet actie moet worden ondernomen. Het is belangrijk dat een drinkwaterbedrijf zich bewust blijft van het belang van het monstervolume. Op landelijk niveau wordt RDT uitgevoerd met monstervolumes van 1 liter. Een mogelijke formulering is "Bij het aantreffen van loodconcentratie van $X \mu\text{g/l}$ of meer in een monstervolume van $Y \text{ l}$ ". Hierbij moet het drinkwaterbedrijf letten op verdunning en de detectiegrens van het meetapparaat. Een voorbeeld is "Bij het aantreffen van loodconcentratie van $2 \mu\text{g/l}$ of meer in een monstervolume van 1 l , moet er verder onderzoek worden gedaan". Als er bij een locatie bemonsterd wordt met een zeer lange aansluitleiding, kan het gebeuren dat een drinkwaterbedrijf voor een monstervolume van 5 l kiest. Dan moet de formulering aangepast worden naar "Bij het aantreffen van loodconcentratie van $2 \div 5 = 0,4 \mu\text{g/l}$ of meer in een monstervolume van $1 \times 5 = 5 \text{ l}$, moet er verder onderzoek worden gedaan". Hierbij is het belangrijk dat de detectiegrens van het meetapparaat lager is dan $0,4 \mu\text{g/l}$. De vervolgactie of advies kan afhangen van de hoogte van de concentraties en locatie van de loodafgevende onderdelen.

Aanbevolen wordt na het opdoen van meer ervaring de handvatten verder aan te scherpen. Profielbemonstering is toekomstbestendig met verdere aanscherpingen in de wet. Als de norm in de toekomst verder omlaag wordt gebracht (bijvoorbeeld van $5 \mu\text{g/l}$ naar $2 \mu\text{g/l}$), kan profielbemonstering nog steeds gebruikt worden om loodafgevende locaties aan te wijzen (met steeds kleinere monstervolumes). Bovendien kan deze techniek ook gebruikt worden voor het detecteren van afgifte van andere stoffen in het drinkwater vanuit de drinkwaterinstallatie.

7 Conclusies en mogelijke vervolgstappen

7.1 Conclusies

Aan het begin van het onderzoek is de volgende hoofdvraag gesteld: *“Vormen koperen leidingen met loodsoldeer en messing onderdelen een risico voor normoverschrijding? Kan deze vraag worden beantwoord met een gevalideerd model? Hoe kunnen problematische onderdelen aangepakt worden?”*. Samengevat, zijn de antwoorden als volgt. Kleine messing onderdelen met de in het onderzoek bepaalde afgifte-eigenschappen leiden tot een hogere kans op normoverschrijding (zowel incidenteel als op wekelijks niveau) als ze zich in de laatste, geïsoleerde takken van de installatie bevinden. Dezelfde type messing in de aansluitleiding vormt een laag risico op normoverschrijding. Deze vraag is beantwoord met behulp van een model, dat gevalideerd is met behulp van experimenten in het HomeWaterLab. Het model is nog niet toegepast op loodsoldeer. De problematische onderdelen kunnen met behulp van profielbemonstering geïdentificeerd worden. De effectiviteit van de profielbemonstering is getoetst in zowel laboratoriumproeven als praktijkcasussen.

Het eerst deel van het onderzoek spitste zich toe op het valideren van het bestaande modelleringskader met behulp van een-op-een-experimenten (hoofdstukken 2, 3 en 4). Hiervoor zijn de loodafgifte-eigenschappen van diverse loodafgevende onderdelen bepaald. Drie proefstukken zijn onderzocht: een stuk loden leiding, een koperen leiding met loodsoldeer en een watermeter met messing onderdelen. Het loden stuk is vervolgens in het HomeWaterLab (een opstelling die de drinkwaterinstallatie in een woning nabootst) gemonteerd. Experimenten met proportionele bemonstering hebben gegevens over wekelijkse gemiddelde loodconcentraties aan een kraan opgeleverd van vijf weken. Er zijn vervolgens simulaties gedraaid met een model van het HomeWaterLab (met de integratie van loodafgifte-eigenschappen die in een eerder stadium zijn gemeten). Op basis van deze validatie is vastgesteld dat het model en de experimenten resulteren in loodconcentraties van dezelfde ordegrootte. Ondanks dat er meerdere bronnen van onzekerheid blijven, kan worden geconcludeerd dat het modelleringskader goed genoeg is om ondersteuning te bieden bij besluitvorming (wordt de norm overschreden en moet een drinkwaterbedrijf maatregelen nemen).

Vervolgens is het model toegepast om een beperkt aantal scenario's te beoordelen waarin loodafgevende onderdelen een verhoogd risico opleveren (hoofdstuk 5). Op basis van de simulaties kan worden geconcludeerd dat korte stukken messing in de aansluitleiding niet tot een overschrijding van de norm leiden (wekelijkse inname), alhoewel er tijdens RDT-bemonstering incidenteel hoge loodconcentraties aangetroffen kunnen worden. Er is aangetoond dat de aanwezigheid van messing in de laatste aftakking (vooral dicht bij het verbruikspunt) tot een aanzienlijk hogere blootstelling leidt. De verantwoordelijke (in dit geval de pandeigenaar, niet het drinkwaterbedrijf) moet maatregelen treffen.

Een verhoogde loodconcentratie tijdens een RDT-meting kan tot zorgen bij de pandbewoners leiden zodat verder onderzoek soms nodig is. In een apart traject is een geharmoniseerd meetprotocol ontwikkeld, waarvan de zogenaamde profielbemonsteringmethodiek een belangrijke component is (langdurig doorspoelen gevolgd door langdurige stagnatie gevolgd door een reeks monsters verzamelen). Dit protocol is in een eerdere modelleerstudie robuust gebleken. De robuustheid is verder getoetst door middel van laboratoriumproeven in het HomeWaterLab en praktijkmetingen bij klanten. Dit heeft veel informatie opgeleverd over de kwetsbaarheden die de robuustheid van profielbemonstering kunnen ondermijnen. Aan de hand van deze kwetsbaarheden, zijn richtlijnen opgesteld die door drinkwaterbedrijven en laboratoria gebruikt kunnen worden om profielbemonstering ten volle te kunnen benutten.

Dit onderzoek toont duidelijk de meerwaarde van meerdere vormen van onderzoek (modellering, laboratoriumproeven, praktijkmetingen) in het beantwoorden van een vraag. Modellering geeft een goede omgeving waarin alles bekend is maar heeft het nadeel dat er vaak versimpelingen/aannames erachter liggen. Praktijkmetingen geven een beeld van de werkelijkheid maar duiding wordt lastig wegens bronnen van onzekerheden. Laboratoriumproeven geven een balans tussen modellering en praktijkmetingen (qua voor- en nadelen). Het wordt aanbevolen om vraagstukken met zo een breed mogelijke blik aan te vliegen en waar nodig in te zoomen. Dit helpt een completer beeld van de situatie te krijgen.

7.2 Discussie

7.2.1 Vervangingsbeleid

Dit onderzoek is destijds gestart om besluitvorming bij drinkwaterbedrijven te ondersteunen – vooral ten aanzien van de vraag of messing onderdelen (in dienstkransen/watermeters) of koperen leidingen met loodsoldeer gesaneerd moeten worden of niet. Lood is een zeer zorgwekkende stof en aanwezigheid daarvan kan leiden tot gezondheidsrisico, dat het drinkwaterbedrijf wil voorkomen, ook als de oorzaak in de drinkwaterinstallatie ligt. Dit onderzoek is een proactieve stap van de drinkwatersector.

Het huidige onderzoek geeft input voor het formuleren van vervangingsbeleid van messing onderdelen en loodsoldeer. Het model laat zien dat aanwezigheid van korte messing onderdelen in de aansluitleiding hoogstwaarschijnlijk niet tot overschrijdingen van de norm van 5 µg/L zullen leiden. Dit betekent dat drinkwaterbedrijven momenteel niet meteen een saneringsbeleid hoeven op te stellen voor messing onderdelen in de aansluitleiding. De invloed van messing bij de laatste aftakking in de drinkwaterinstallatie is wel groot. De drinkwatersector heeft een rol in eindgebruikers te wijzen op materiaalkeuzes in de drinkwaterinstallatie.

7.2.2 Uitbreiden van scenariostudies

Er is ook de wens naar voren gekomen om een combinatie van verschillende loodafgevendende onderdelen in dezelfde simulatie te modelleren (bijvoorbeeld, een combinatie van messing in de watermeter en loodsoldeer in de aansluitleiding). Dat blijkt echter niet mogelijk te zijn als onderdeel van het huidige modelleringskader waarin EPANET de kern is. Bij EPANET kan slechts één waarde voor de evenwichtsconcentratie gedefinieerd worden. Mocht het in de toekomst nodig zijn om zulke simulaties op te stellen, dan zal het nodig zijn om een geschikte workaround te bedenken. In het huidige kader is het wel mogelijk om combinaties van dezelfde afgifte-eigenschappen te simuleren (bijvoorbeeld, CW602 in zowel watermeter als keukenkraan).

7.2.3 Toetsing van de norm

Ook als messing in de aansluitleiding niet tot normoverschrijding op een wekelijkse gemiddelde leidt, is er nog een kans van 0,5-1% dat er een overschrijding tijdens de RDT (incidenteel) gemeten wordt. Zo'n overschrijding zal tot nader onderzoek leiden, vooral naar de bron van de overschrijding en wie ervoor verantwoordelijk is (drinkwaterbedrijf of pandeigenaar). Daarbij is de profielbemonsteringmethodiek een nuttig middel om de locatie van het loodafgevendende onderdeel in te schatten. Dit onderzoek laat zien dat ook profielbemonstering zorgvuldige uitvoering/interpretatie nodig heeft. Mocht het geharmoniseerde meetprotocol als standaard worden opgelegd (bijvoorbeeld door de ministeries IenW/BZK of RIVM) dan is het belangrijk om regelmatig (eens in de een à twee jaar) op basis van praktijkkennis en ervaring het protocol aan te scherpen.

Het is onmogelijk dat elk pakketje/druppeltje water aan de loodnorm voldoet wanneer het drinkwater tussen bron en tap met lood in aanraking komt. Vanuit het gezondheidsperspectief maakt het geen verschil of dagelijks 2 liter water wordt gedronken met een vaste loodconcentratie van 1 µg/L, of dagelijks 1,8 liter met een concentratie van 0,1 µg/L plus 0,2 liter met een concentratie van 9,1 µg/L. Tijdens monsternamen kan echter toevallig de hoge concentratie worden gemeten. De kans is niet zo groot bij RDT en proportionele monsternamen, omdat daar grote volumes worden bemonsterd (1 L bij RDT, en maximaal 5 L bij proportionele monsternamen), maar wanneer bij

profielbemonstering kleinere volumes worden bemonsterd is de kans op hoge concentraties groter. Er is nu geen norm voor profielbemonstering. Mogelijk leidt dit wel tot onduidelijkheid bij bewoners. Het wordt aanbevolen om in het protocol van profielbemonstering aandacht aan te besteden. Het is niet ondenkbaar dat de norm voor blootstelling aan lood in de toekomst verder wordt aangescherpt. Verwacht wordt dat de kennis en bevindingen van dit project in de toekomst relevant blijven.

7.2.4 Verband met positieve lijsten

Er worden Europese positieve lijsten opgesteld voor toegestane materialen die in contact komen met drinkwater [31]. Op deze lijsten staan uitgangsstoffen, samenstellingen of bestanddelen die mogen worden gebruikt bij de vervaardiging van materialen, of producten die in contact komen met water bestemd voor menselijke consumptie. Stakeholders zijn geïdentificeerd per type materiaal (organisch, metallisch, cementhoudend, anorganisch), waarna contact met ze is opgenomen [31]. Voor metallische materialen is er contact opgenomen met fabrikanten en gebruikers van halffabrikaten, en fabrikanten van staal/ijzerproducten, titanium en titaanlegeringen. Metalen kunnen via de volgende onderdelen in contact met drinkwater komen: (i) Buizen (ii) Fittings en appendages in drinkwaterinstallaties (iii) Componenten van ii waarbij de optelsom van contactoppervlakte <10% is (iv) Fittings en appendages in distributieleidingen of zuiveringsinstallaties met permanente doorstroming (v) Componenten van fittings en appendages van iv.

De aanpassingen in de Europese positieve lijst, parallel aan de dit onderzoek opgesteld, is een goede aanvulling op de bevindingen van dit rapport. De lijst met toegestane stoffen zal drinkwaterbedrijven helpen met het aanpassen van hun inkoopbeleid en keuzes voor nieuwe installaties (watermeters, dienstkranen, ...). Alhoewel er een overgangstermijn is om te voldoen aan de lijst, zijn er al Nederlandse drinkwaterbedrijven die overstappen naar komposiet watermeters (van kunststof). Deze overstap zal mogelijk vragen oproepen over de aanwezigheid van microplastics/nanoplastics/bisphenol-A en hun relatieve bijdrage ten opzichte van achtergrondconcentraties. Hier kan het opgestelde modelleringskader ook behulpzaam zijn. Het is belangrijk dat de drinkwatersector beloftes van de leveranciers en/of aanwezigheid van certificering kritisch blijft beoordelen.

7.2.5 Breder onderzoek naar drinkwaterinstallaties

Omdat de verantwoordelijkheid voor drinkwaterlevering officieel bij het leveringspunt stopt, is er relatief weinig kennis opgebouwd over drinkwaterkwaliteitsveranderingen na het leveringspunt (dat wil zeggen in de drinkwaterinstallatie). Om een holistische benadering van dit vraagstuk te bevorderen, is in de VS een brede samenwerking aangegaan (inclusief onderzoekers van KWR) waarmee over de huidige stand van kennis over drinkwaterinstallaties een boek is gepubliceerd [32].

Eén hoofdstuk in dat boek is gewijd aan modellering van drinkwaterinstallaties in brede zin. In dat hoofdstuk zijn onderwerpen voor toekomstig onderzoek geïdentificeerd, waarvan er een aantal hieronder worden genoemd. De eerste is *“Refinement of the stochastic representation of fixture level demands. Incorporation of stochastic demand routines directly into modeling software.”* Het modelleringskader uit de huidige studie is vooral uniek door de integratie van SIMDEUM, waardoor het stochastische aspect van het waterverbruik kan worden meegenomen. Een ander genoemd onderwerp is *“Studies to verify/validate hydraulic and water quality premise plumbing models for a range of building types, sizes, plumbing configurations, and operations.”* In dit onderzoek is slechts één type drinkwaterinstallatie onderzocht met behulp van het HomeWaterLab. Hoewel in dit onderzoek een aantal processen niet zijn onderzocht (o.a. deeltjes, dispersie in modellering, rol van bochten, rol van drinkwatersamenstelling), is het huidige onderzoek wetenschappelijk van belang.

7.3 Aanbevelingen

7.3.1 Uitbreiden van validatie en scenariostudies

In deze studie is er een reeks experimenten gedaan om het modelleringskader te valideren. Op basis van deze metingen is er vertrouwen in het modelleringskader gewonnen – de gemeten en gemodelleerde concentraties zijn in dezelfde orde grootte. Meer experimenten zijn nodig om deze voorlopige conclusie te versterken. Dit kan bijvoorbeeld door middel van proportionele monsternamen experimenten waarbij het stuk lood dicht bij de kraan wordt gemonteerd waardoor hogere gemiddelde concentraties aangetroffen worden. De validatie wordt versterkt als bij zo'n geval ook de gemodelleerde concentraties in dezelfde orde grootte zijn als de gemeten concentraties.

Een probleem met het huidige modelleringskader betreft de ondergrens van de tijdstap (1 seconde). Hiervoor is een workaround verzonnen in de vorm van een factor (verlangzamen tijd en verhogen watervraag met een bepaalde factor). De gekozen waarde voor de factor heeft invloed op de berekende loodconcentraties. Het is de moeite waard om hierin verder te duiken om de berekening beter te begrijpen. Een mogelijke aanpak is het bestuderen van simulaties van profielbemonstering, het splitsen van lange leidingen in kortere stukken en de invloed van de factor erop.

In dit project zijn er geen simulaties met loodsoldeer gedraaid. De volgende vragen over de risico's van loodsoldeer staan nog open: (i) Is er een kritische aantal solderingen of meters koperen leidingen waarbij we ons zorgen moeten maken? (ii) Zijn er aanzienlijke verschillen in de kwaliteit van solderingen en kunnen we een endoscoop inschakelen om dit te achterhalen? (iii) Onder welke omstandigheden geven slecht gesoldeerde verbindingen looddeeltjes af? (iv) Welke loodaftgift kan verwacht worden van de solderingen in de aansluitleiding ten opzichte van de solderingen in de drinkwaterinstallatie?

Het modelleringskader kan voor andere toxische materialen worden toegepast, bijvoorbeeld Cadmium en Chroom (VI), stoffen die allebei aandacht in het PARC-project krijgen [33]. Daarnaast is het mogelijk om een generiek computermodel voor metalenblootstelling openbaar te maken.

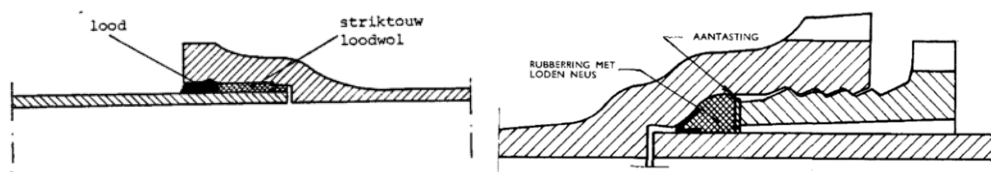
7.3.2 Breder onderzoek naar drinkwaterinstallaties

Een onderwerp voor toekomstig onderzoek geïdentificeerd voor modellering van drinkwaterinstallaties [32] is *“Establishment of a library of representative premise plumbing designs for both residential and commercial venues.”* In de VS bestaan er al referentiewoningen [34] en er zijn recentelijk zelfs drinkwaterinstallaties voor een aantal van die woningen getekend [35]. Het opstellen van een catalogus van drinkwaterinstallaties zal van groot belang zijn voor vraagstukken die aangepakt worden met behulp van modellering. Het zal helpen om conclusies breder te kunnen trekken dan één type woning en stappen te maken in het inschatten van risico's op een landelijke schaal. Het is dus aanbevolen om referentiewoningen en referentie drinkwaterinstallaties voor Nederland op te stellen waarmee modelleringsstudies op een bredere schaal toegepast kan worden.

7.3.3 Lood in het distributienet

Alhoewel in dit project lood in messing en loodsoldeer zijn belicht, zijn er wellicht een paar “laatste loodjes” onderbelicht gebleven, zoals de loodmofverbinding die vaak wordt toegepast in gietijzeren en stalen leidingen (Figuur 39, [36]). Er kan direct contact zijn tussen drinkwater en loodwol (dichtingsmateriaal dat uit strengen gedraaide dunne looddraden bestaat). Nog een voorbeeld is de aanwezigheid van rubberringen met een loden neus. Als een rubberring wordt aangetast, bestaat de kans dat drinkwater in direct contact komt met een loodhoudend materiaal. Daarnaast is er in een “voorbeeld van keuringseisen voor rubberringen op styreen-butadieenbasis voor komeetkoppelingen in waterleidingen” [37] als functionele eis geschreven: “De ring mag geen stoffen aan het water afstaan in een zodanige hoeveelheid, dat smaakbezwaren of gevaar voor de gezondheid ontstaan. Bij de onder B-a beschreven proef mag de in oplossing gegane hoeveelheid lood niet meer dan 1 mg/l bedragen.” Het wordt aanbevolen om deze aspecten nader te onderzoeken. Allereerst door het drinkwaterbedrijf zelf om erachter te

komen welke elementen in het leidingnet lood afgeven. In het huidige onderzoek heeft een drinkwaterbedrijf bij bemonstering van leidingen van grijs gietijzer aanzienlijke loodconcentraties aangetroffen. Daarnaast is waargenomen dat de hoogste concentraties bij de oudste gietijzeren leidingen voorkomen. Bij vervangingen van grijs gietijzeren leidingen, wordt aanbevolen om vooraf een bemonstering voor loodconcentraties te doen en achteraf een exit onderzoek uit te voeren naar de verbindingen en de conditie van het loodstriktouw. Zulke proeven kunnen bijdragen aan het bepalen of de saneringssnelheid van gietijzeren leidingen moet worden aangepast.



Figuur 39: Voorbeelden van manieren waarop lood in het drinkwaterleidingnet kan verschijnen. (Links) Loodmofverbinding in gietijzeren/stalen leiding [36]. (Rechts) Aantaste ring in schroefmof-verbinding [37].

7.4 Bedrijfsparagraaf

[Deze alinea's komen van de hand van projectgroepleden die betrokken waren bij het voorliggende onderzoek. Namens de drinkwaterbedrijven reflecteren zij hier op de vraag: welk belang kan de uitkomst van het onderzoek dienen en welke vervolgstappen qua onderzoek en implementatie zouden daartoe moeten worden gezet?]

Waternet (Marco Dignum):

Het Europese beleid is er op gericht om loodhoudend messing op de lange termijn uit te faseren, dit onderzoek helpt met het bepalen het benodigde tempo van het vervangingsbeleid. De belangrijkste conclusie van dit onderzoek voor de praktijk is dat het risico op normoverschrijdingen door messing onderdelen in de aansluitleiding laag is. Voor watermeters geldt een technische levensduur van 15 jaar. Deze zijn gemakkelijk toegankelijk en uitwisselbaar door toepassing van de geïntegreerde watermeter aansluitunit (watermeterbeugel). Het vervangingsbeleid kan worden gericht op de keuze van materiaaleigenschappen in de aanbestedingsprocedure voor nieuwe watermeters. Dienstkranen zijn veel moeilijker toegankelijk, de vervanging heeft meer impact omdat de drinkwaterlevering tijdelijk moet worden afgesloten. Mogelijk kan op basis van dit onderzoek worden besloten dat voor dienstkranen geen actief saneringsbeleid nodig is. De uitkomsten van dit onderzoek helpen bij de interpretatie van afwijkende loodconcentraties, bijvoorbeeld bij de RDT-bemonstering en metingen door klanten zelf. De saturatie-index van het drinkwater wordt uit voorzorg gestuurd op +0,35. Vanwege problemen met kalkafzetting zou een verlaging van de SI gunstig zijn. In het huidige onderzoek zijn geen waterkwaliteitsaspecten gemodelleerd, dit zou een aanvulling kunne zijn in de toekomst.

Dunea (Dennis Gardien):

Dit belangrijke onderzoek toont aan we als drinkwaterbedrijven kritisch moeten blijven kijken naar de invloed van loodafluggende onderdelen in ons leidingnet. Hoewel messing watermeters niet direct leiden tot een overschrijding van de loodnorm, hebben we bij Dunea toch besloten om tijdens de aanbesteding voor nieuwe watermeters te focussen op watermeters met een behuizing van composiet i.p.v. messing. Dit is omdat we vinden dat iedere vorm van loodaflgifte ongewenst is en dat we ernaar moeten streven dit zoveel mogelijk te voorkomen. Daarnaast blijven we ook aandacht houden voor andere vormen van loodaflgifte door bijvoorbeeld loodsoldeer en loodverbindingen in oude delen van ons leidingnet. Het tijdens dit project opgeleverde instrumentarium zal ons hier zeker bij gaan helpen.

Referenties

- [1] T. Szigeti en R. Kakucs, „Substance Report: Lead,” HBM4EU, 2022.
- [2] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, *Implemetatie Drinkwaterrichtlijn*, 2023.
- [3] A. Galama-Tirtamarina, „KWR 2023.119 Monitoren loden leidingbestand Nederland: Voortgang verwijderen loden leidingen door de Nederlandse drinkwaterbedrijven najaar 2023,” KWR Water Research Institute, Nieuwegein, 2023.
- [4] T. van den Hoven, P. Buijs, P. Jackson, S. Miller, M. Gardner, P. Leroy, J. Baron, A. Boireau, J. Cordonnier, I. Wagner, H. Marecos do Monte, M. Benoliel, I. Papadopoulos en P. Quevauviller, *Developing a new protocol for the monitoring of lead in drinking water*, European Commission Directorate General XII - Science, Research and Development, 1999.
- [5] M. Blokker, „KWR 2021.004 Wanneer wordt de loodnorm in een woning overschreden? Feiten en cijfers: Modelleren loodblootstelling aan de keukenkraan,” KWR Water Research Institute, 2021.
- [6] A. Dash, J. van Steen en M. Blokker, „KWR 2022.075 Monsternamenameprotocollen om lood binnenhuis op te sporen: een modelmatige aanpak,” KWR Water Research Institute, 2022.
- [7] F. Hatam, M. Blokker, E. Doré en P. Michèle, „Reduction in water consumption in premise plumbing systems: Impacts on lead concentration under different water qualities,” *Science of the Total Environment*, vol. 879, p. 162975, 2023.
- [8] United States Environmental Protection Agency, *Lead at Superfund Sites: Software and Users' Manuals*.
- [9] S. Majid, R. Hoondert, A. Reus, M. Blokker, A. Dash, D. Duarte, M. Yanagihara en T. Pronk, „BTO 2024.025 Three new methods for refining risk characterization of chemicals in water,” KWR Water Research Institute, 2024.
- [10] A. Dash, J. van Steen en M. Blokker, „Robustness of profile sampling in detecting dissolved lead in household drinking water,” in *2nd International Joint Conference on Water Distribution Systems Analysis & Computing and Control in the Water Industry*, Valencie (Spain), 2022.
- [11] J. van Summeren en A. Dash, „KWR 2023.016 HomeWaterLab - ontwerp en bouw proefopstelling drinkwaterinstallatie,” KWR Water Research Institute, Nieuwegein, 2023.
- [12] C. Carpentier, „Harmonisatie van een bemonsteringsprotocol voor het bepalen van loodafgifte in binneninstallaties,” Sensileau B.V., 2022.
- [13] T. J. J. van den Hoven, „Mededeling nr. 96 Het loodgehalte van drinkwater: Een schatting per voorzieningsgebied op basis van de loden buizenproef,” Keuringsinstituut voor waterleidingartikelen kiwa n.v., 1986.
- [14] J. B. Burkhardt, H. Woo, J. Mason, F. Shang, S. Triantafyllidou, M. R. Schock, D. Lytle en R. Murray, „Framework for modeling lead in premise plumbing systems using EPANET,” *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 146, nr. 12, p. 04020094, 2020.
- [15] D. van der Leer, N. P. Weatherill, R. J. Sharp en C. R. Hayes, „Modelling the diffusion of lead into drinking water,” *Applied Mathematical Modelling*, vol. 26, pp. 681-699, 2002.
- [16] A. Dash, J. Summeren en E. Blokker, „Beter begrip van de laatste loodjes met het HomeWaterLab,” *TVVL Magazine*, vol. 5, pp. 12-15, 2023.
- [17] M. Blokker, „BTO 2021.057 Trendalert - Toenemende aandacht voor de drinkwaterinstallatie,” KWR Water Research Institute, 2021.
- [18] L. Zlatanović, *Fire sprinklers and water quality in domestic drinking water systems - a novel approach to improve public safety in homes*, Doctoral thesis, Delft University of Technology, 2017.

- [19] R. Achtemeier, M. Tang, H. Ryu, L. Boczek, D. Williams, C. Muhlen, M. Urbanic, A. Paul, M. Pinelli, E. Crockett, P. Woodruff en D. Lytle, „Full scale home plumbing system pilot plant,” in *Small systems drinking water workshop*, Covington, Kentucky, 2022.
- [20] N. Slaats en I. Vertommen, „KWR 2020.097 Proportionele bemonstering voor het meten van lood in drinkwater - handleiding,” KWR Water Research Institute, 2020.
- [21] E. J. M. Blokker, J. H. G. Vreeburg en J. C. van Dijk, „Simulating residential water demand with a stochastic end-use model,” *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 19, nr. 1, pp. 19-26, 2010.
- [22] M. Blokker, C. Agudelo-Vera, A. Moerman, P. van Thienen en I. Pieterse-Quirijns, „Review of applications for SIMDEUM, a stochastic drinking water demand model with a small temporal and spatial scale,” *Drinking Water Engineering and Science*, vol. 10, nr. 1, pp. 1-12, 2017.
- [23] M. Davis, R. Janke en T. Taxon, „Mass imbalances in EPANET water-quality simulations,” *Drinking Water Engineering and Science*, vol. 11, nr. 1, pp. 25-47, 2018.
- [24] *Persoonlijke communicatie met Juneseok Lee, Jonathan Burkhardt, Feng Shang*, 2021.
- [25] F. Shang, H. Woo, J. B. Burkhardt en R. Murray, „Lagrangian method to model advection-dispersion-reaction transport in drinking water pipe networks,” *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 147, nr. 9, p. 04021057, 2021.
- [26] *Persoonlijke communicatie met Mark Morley*, 2023.
- [27] Y. Xie, Dissolution, formation, and transformation of the lead corrosion product PbO₂: Rates and mechanisms of reactions that control lead release in drinking water distribution systems., PhD thesis, Washington University in St. Louis, 2010.
- [28] *Persoonlijke communicatie met Dennis Gardien*, 2022.
- [29] A. Orth, „Modelling exposure patterns to Lead in Dutch nurseries for children aged 0-4 using hydraulic and water demand modelling,” Utrecht University, 2023.
- [30] C. Carpentier, „Notities discussie loodworkshop - 19 Oktober 2023,” 2023.
- [31] M. P. Calasso, A. Dawson en N. Sims, „Information gathering on the relevance of the EUPLs under Article 11 of the Drinking Water Directive to potential future applicants of the review programme of 2025-2040,” WSP Environment & Infrastructure Solutions GmbH, 2023.
- [32] J. Lee, J. B. Burkhardt, S. Buchberger, W. Grayman, T. Haxton, R. Janke, R. Murray en W. E. Platten III, *Premise Plumbing Modeling*, Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2023.
- [33] „PARC,” [Online]. Available: <https://www.eu-parc.eu/>.
- [34] A. Persily, A. Musser en D. Leber, „NISTIR 7330 A collection of homes to represent the U.S. housing stock,” National Institute of Standards and Technology, 2006.
- [35] S. Zimmerman en A. Persily, „NIST TN 2266 Plumbing system models for a set of reference buildings,” National Institute of Standards and Technology, 2023.
- [36] „5.3.1 Verbindingen in gietijzeren leidingen,” in *Hoge Waterleiding Techniek - Distributie*, pp. 103-105.
- [37] Keuringsinstituut voor waterleidingartikelen KIWA N.V., „Aantasting van rubberringen voor waterleidingbuizen,” 1961.
- [38] A. Hulsmann, „Waterkwaliteit aan het leveringspunt en aan het tappunt,” Kiwa N.V., 1985.
- [39] P. Slaats, H. Brink en T. van den Hoven, „Effectiviteit van het VEWIN-doorstroomadvies voor verlaging van het loodgehalte in drinkwater,” Kiwa N.V., 1995.
- [40] P. Slaats en G. Ekkers, „SWE 98.007 Loodsoldeer legt het loodje: vergelijking kwaliteit soldeerverbindingen,” Kiwa N.V., 1998.
- [41] P. Slaats, „Vergelijking materialen binnenleidingen,” Kiwa N.V., 1996.
- [42] M. van Eekeren, „SWI 94.118 Metaalafgifte in huishoudelijke warmwatertoestellen,” Kiwa N.V., 1988.

- [43] H. Brink en H. van der Jagt, „KOA 98.074 Long term leaching of lead from unplasticized PVC pipes for potable water,” Kiwa NV, Research & Consultancy, 1998.
- [44] P. Slaats, „Looddeeltjes in drinkwater bij consument WOG,” Kiwa N.V., 1997.
- [45] T. van den Hoven en N. Slaats, „Lead Monitoring,” in *Analytical Methods for Drinking Water: Advances in Sampling and Analysis*, P. Quevauviller en K. C. Thompson, Red., John Wiley & Sons, Ltd, 2006, pp. 63-113.
- [46] CRECEP, KIWA, LHRSP, DVGW/TZW, WRc, Co-normative research on test methods for materials in contact with drinking water: Metallic materials, 1999.
- [47] P. Slaats, M. Meerkkerk en C. Hofman-Caris, „KWR 2013.069 Conditionering: de optimale samenstelling van drinkwater; Kiwa-Mededeling 100 - Update 2013,” KWR Watercycle Research Institute, 2013.
- [48] „NEN-EN-ISO 5667-3 Water-Monsterneming-Deel 3: Conservering en behandeling van watermonsters,” 2018.
- [49] „NEN-EN 12873-1 Invloed van materialen op water bestemd voor menselijke consumptie - Invloed ten gevolge van migratie - Deel 1: Beproevingmethode voor fabrieksmatig vervaardigde producten, gemaakt van of bevattend organische of glasachtige (porselein/email,” 2014.
- [50] N. Slaats, M. Blokker en A. Versteegh, „Eerste inventarisatie van gemeten concentraties lood, koper, nikkel en chroom in drinkwater,” H2O, 2008.
- [51] N. Slaats, M. Blokker en A. Versteegh, „Lood, koper en nikkel in het Nederlandse drinkwater aan de tap,” H2O, 2014.
- [52] S. Wuijts, P. Slaats, J. Versteegh en M. Meerkkerk, „Drinkwaterkwaliteit in nieuwbouwwoningen,” RIVM, Bilthoven, 2008.
- [53] Inspectie Leefomgeving en Transport, „Drinkwaterkwaliteit 2022,” Inspectie Leefomgeving en Transport, Den Haag, 2023.
- [54] M. Edwards, „Fetal death and reduced birth rates associated with exposure to lead-contaminated drinking water,” *Environmental Science & Technology*, vol. 48, pp. 739-746, 2014.
- [55] M. Edwards en S. Triantafyllidou, „Chloride-to-sulfate mass ratio and lead leaching to water,” *Journal American Water Works Association*, vol. 99, pp. 96-109, 2007.
- [56] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, „Wettelijke eisen aan drinkwater”.
- [57] J. Eggels, F. Unger, M. Weiss, J. Westerweel, R. Adrian, R. Friedrich en F. Nieuwstadt, „Fully developed turbulent pipe flow: a comparison between direct numerical simulation and experiment,” *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 268, pp. 175-210, 1994.

I Bijlage – Loodonderzoek in Nederland

Er zijn meerdere voorbeelden van onderzoek in de Nederlandse drinkwatersector waarbij naar lood in het drinkwater is gekeken. Een aantal voorbeelden worden hier genoemd. Het overzicht is beperkt tot onderzoek waarbij KWR of voorganger Kiwa betrokken is geweest. Hierbij moet worden vermeld dat de meeste van deze onderzoeken praktisch van aard zijn. Er is veel meer onderzoek in de internationale literatuur dat niet in dit hoofdstuk is opgenomen.

I.I Ontwikkelingen in Nederland in de jaren '80 – toespitsing op fundamenteel begrip

In 1985 waren de drinkwaterbedrijven goed op de hoogte van de waterkwaliteit bij het pompstation, maar was er weinig kennis over het juridische punt van levering en aan de tappunten. Dit was aanleiding voor een breed onderzoek naar de parameters die invloed hebben op de waterkwaliteit [38]. Er is gekeken naar loodconcentraties in loodpercelen en koperpercelen (zowel dienstleiding als binnenleidingen van respectievelijk lood en koper). Er is waargenomen dat de belangrijkste veranderingen van de waterkwaliteit vlak voor en vlak na het punt van levering plaatsvinden. In dit onderzoek is ook benadrukt dat monsternamen aan de hoofdkraan niet betrouwbaar is en dat het beter is om monsternamen uit te voeren bij een normaal gebruikt tappunt.

In 1986 [13] is uitgebreid gekeken naar loodafgifte als functie van stilstandduur en waterkwaliteitseigenschappen (pH, CO_2/CO_3 , HCO_3 , O_2 , Pb, Cu, Elektrisch geleidingsvermogen, temperatuur). Hiervoor zijn loden buizenproefopstellingen aangemaakt die aangesloten zijn aan transportleidingen. Een empirische correlatie is vastgesteld tussen plateauwaarde voor loodafgifte en andere parameters: $\text{Pb}_{\text{max}} [\mu\text{g/L}] = -141 \times \text{pH} + 12 \times T[^\circ\text{C}] + 1135$. Deze relatie geldt voor pH tussen 7,1-8,7, TAC ($=\text{CO}_3+\text{HCO}_3+\text{CO}_2$) tussen 1,2-6,5 mMol/L, O_2 tussen 5,6-10,5 mg/L, Cl tussen 15-166 mg/L, SO_4 tussen 0-190 mg/L en temperaturen tussen 7-20 °C.

Daarnaast is er gekeken naar de relatie tussen het evenwichtsconcentratie en het loodgehalte aan de tapkraan. Door middel van een empirische relatie wordt er gesuggereerd dat het mogelijk is om loodblootstelling via drinkwater in te schatten met behulp van proeven. De resultaten uit dit onderzoek ondersteunen het gebruik van een diffusiemodel om loodafgifte te modelleren.

I.II Ontwikkelingen in Nederland in de jaren '90 – aanpassen aan verscherpte norm

In 1994 heeft VEWIN een advies voor doorstroming uitgebracht met de verklaring “De VEWIN adviseert om in woningen met loden dienst- en/of binnen-leidingen de kraan eerst 1 à 2 minuten te doorstromen bij het tappen van drinkwater voor consumptie door jonge kinderen (tot zes jaar) en zwangere vrouwen”. Er is onderzocht of dit doorspoeladvies tot concentraties lager dan 10 $\mu\text{g/L}$ leidt [39]. Er is aangetoond dat doorstromen kan leiden tot 50% verlaging in loodgehalte, maar geen garantie biedt op een loodgehalte lager dan 10 $\mu\text{g/L}$.

In 1995 is de richtwaarde voor het loodgehalte in drinkwater aangescherpt van 50 naar 10 $\mu\text{g/L}$. Dit heeft geleid tot het verbod op het gebruik van loodhoudend soldeer bij de aanleg van drinkwaterinstallaties. Alternatieven voor tin-loodsoldeer waren tin-zilver en tin-koper. Echter was er twijfel over het toepassen van de alternatieven vooral ten aanzien van de kwaliteit (vertrouwen in sterkte op de lange termijn). Na proeven is geconcludeerd dat de alternatieven kwalitatief ten minste gelijkwaardig zijn aan verbindingen gemaakt met tin-loodsoldeer [40]. In het onderzoek is ook gekeken naar ‘spleetvorming’ en ‘eilandvorming’ die bepaald worden door vloeimiddelen en vakmanschap van de installateur. Alhoewel deze aspecten invloed zullen hebben op de sterkte van de verbinding is het onduidelijk of het ook invloed heeft op loodafgifte.

In 1996 is er een samenvatting van de toenmalige kennis over de materialen in drinkwaterinstallaties opgesteld [41]. Messing wordt vaak als fitting-materiaal gebruikt voor leidingmaterialen zoals koper, PE-X, PP-R, PB. Migratieproeven zijn gebruikt om metaalafgifte van warmwatertoestellen te bepalen [42]. Er is vastgesteld dat lood onwenselijk hoge concentraties kan bereiken binnen korte tijd bij bepaalde watertypen. Doorstroomtoestellen bleken meer lood af te geven dan voorraadtoestellen (vanwege hogere verhouding tussen contactoppervlakte en inhoud).

Voorafgaand aan de invoering van de lagere norm (10 µg/L) voor loodgehalte in drinkwater is in 1998 onderzoek verricht naar afgifte van lood vanuit PVC-buizen waarin loodzouten als stabilisatoren zijn gebruikt [43]. Er is geconcludeerd dat loodafgifte van PVC-U buizen met de tijd afneemt tot waardes onder de detectiegrenzen. Dit is ook bevestigd via proeven bij buisstukken die jaren in bedrijf zijn geweest. Het bleek dat loodafgifte begint bij de aanwezigheid van loodzouten bij de buiswand. Nadat ze verwijderd zijn, worden ze niet meer vervangen door loodzouten binnen de buiswand.

Bij één pand werden zeer hoge loodconcentraties aangetroffen (550 µg/L direct na de watermeter en 5200 µg/L aan de tapkraan). Daarnaast werden loden deeltjes en loden strips gezien tijdens een inspectie van de aansluiting. Ook na het vervangen van de watermeter, dienstkraan, en een deel van de dienstleiding zijn er hoge concentraties bij de kraan getroffen (8 µg/L direct na de watermeter en 50 µg/L aan de tapkraan). Er zijn filters geplaatst op de watermeter en er is onderzoek gedaan naar de herkomst van looddeeltjes. Er is grondig onderzocht in de omgeving om uit te sluiten dat het aangeleverde distributiewater lood bevatte. Er is geconstateerd dat een deel van de niet gesaneerde SLA-aansluitleiding de bron van lood is geweest [44]. Dit is een voorbeeld van een concrete casestudie en een diagnose van een probleemsituatie.

I.III Samenwerking op Europees niveau

In een brede Europese samenwerking is er gewerkt aan het ontwikkelen en toepassen van bemonsteringmethoden [4, 45]. Om de inname bij de consument te meten moet gebruik worden gemaakt van een proportionele bemonsteringkraan. Deze bemonsteringmethodiek is echter omslachtig en niet geschikt voor routinecontroles. Daarom zijn andere bemonsteringsmethodieken uitgeprobeerd zoals:

- (i) volledige doorspoeling voorafgaand aan de bemonstering
- (ii) random day time (RDT),
- (iii) bemonstering na een vaste stagnatieperiode voorafgegaan door doorspoelen
- (iv) first draw (bemonstering na een stagnatieperiode die lang genoeg is zodat een evenwichtighedsconcentratie is bereikt)
- (v) lodenbuizenproef (bemonstering na stagnatie gedurende 24 uur bij een proefopstelling bij de zuiveringslocatie).

Geen van de bemonsteringmethodieken werd goed genoeg bevonden om aan alle belangrijke criteria zoals representativiteit, reproduceerbaarheid en bruikbaarheid te voldoen. De resultaten van de aanvullende bemonsteringsmethodieken zijn vergeleken met de uitkomsten uit proportionele bemonstering (ground truth) om hun effectiviteit te beoordelen. Het volgende is waargenomen: RDT en bemonstering na 30 minuten stilstand voorafgegaan door doorspoelen identificeert probleempercelen goed, geeft de beste correlatie met de resultaten van proportionele bemonstering en geeft een goede inschatting van gemiddelde concentraties in een gebied terwijl volledige doorspoeling voorafgaand aan de bemonstering leidt tot waardes lager dan het gemiddelde. RDT is minder reproduceerbaar dan bemonstering na 30 minuten stilstand voorafgegaan door doorspoelen. RDT en bemonstering voorafgegaan door volledige doorspoeling zijn de goedkoopste methoden. Bemonstering na 30 minuten stilstand en proportionele bemonstering zijn respectievelijk twee en drie keer zo duur. De praktische toepasbaarheid van RDT en bemonstering na volledige doorspoeling zijn goed, die van bemonstering na 30 minuten voorafgegaan door doorspoelen is matig, en die van proportionele bemonstering slecht. Op basis van het onderzoek zijn aanbevelingen

gedaan voor hoe bemonstering het beste kan worden gedaan om lood in drinkwater te monitoren (gericht op drinkwaterkwaliteit in een voorzieningsgebied en geen individuele woning).

In een andere brede Europese samenwerking [46] is gekeken naar het ontwikkelen van testmethoden voor metallische materialen in contact met drinkwater met behulp van zowel 'sit and soak' testen (afgifte als gevolg van het onderdompelen van een proefstuk in water) als 'pipe rig' testen (monteren van materiaal in buisvorm in een proefopstelling). Hoewel 'sit and soak' testen nuttig zijn voor het bepalen van de migratiemechanismen, kunnen ze niet gebruikt worden om vervuiling in echte drinkwaterinstallaties te voorspellen. Een 'pipe rig' test geeft een betere weergave van de werkelijkheid, maar is wel duurder.

I.IV Conditionering van drinkwater

De empirische relatie voor evenwichtsconcentratie vormde de basis voor aanbevelingen voor hoe water geconditioneerd moet worden [47]. Er is geconcludeerd dat bij aanwezigheid van loden leidingen een loodconcentratie lager dan 10 µg/L niet kan worden gegarandeerd. Om loodafgifte te beperken is aanbevolen om de pH zo hoog mogelijk in te stellen. Er is ook gekeken naar loodafgifte door koperlegeringen, waarbij is opgemerkt dat loodafgifte door koperlegeringen sterk tijdsafhankelijk is – hogere afgifte in de eerste twee maanden gevolgd door een afname. Er zijn geen aanbevelingen gedaan voor het conditioneren van watersamenstelling voor koperlegeringen in contact met drinkwater. Inmiddels bestaan er normen voor hoe water bemonsterd moet worden [48] en hoe migratieproeven uitgevoerd kunnen worden [49].

I.V Uitkomsten bredere meetprogramma's

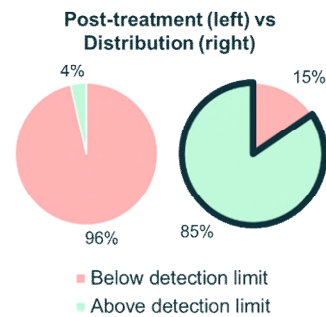
In 2008 is er gekeken naar de resultaten van de Random Day Time bemonstering [50]. Ongeveer 2,4% van de metingen hadden een concentratie boven de toenmalige norm van 10 µg/L. De mediaan was 0,5 µg/L, de 5 percentiel en 95 percentiel waren 0,5 en 4,9 µg/L respectievelijk. Er is ook geredeneerd dat het begrip 'Random Day Time' niet werkelijk willekeurig is omdat de monsterneming vaak vóór 12 uur plaatsvindt en dat een aantal bedrijven vaste monsternamenpunten door de jaren heen hebben gehanteerd. Een aantal jaar later is er weer een soortgelijke analyse gedaan, vooral om te bekijken of er een relatie is tussen metaalconcentraties aan de tap en de watersamenstelling op het pompstation [51]. Voor lood is er geen relatie gevonden.

RIVM heeft onderzoek verricht naar waterkwaliteit aan de kraan bij enkele nieuwbouwwoningen [52], onder andere gericht op lood. In vrijwel alle onderzochte nieuwbouwwoningen werden verhoogde loodgehalten aangetroffen. Omdat de kwaliteit van het drinkwater aan de tap niet voldeed aan het Waterbesluit, is vastgesteld dat de onderzochte woningen niet konden worden opgeleverd. Dit heeft geleid tot het doorstroomadvies in de eerste maanden na oplevering. Er is aanbevolen om kranen en dergelijke te voorzien van een Kiwa-ATA certificaat.

Recentelijk is er gekeken naar het aantal overschrijdingen van loodconcentraties aan de kraan [53]. In een wettelijk meetprogramma (goedgekeurd door ILT) is gekeken naar de jaargemiddelde loodconcentratie per distributiegebied volgens de 'Random Day Time' (RDT) methode. De Inspectierichtlijn Harmonisatie Meetprogramma Drinkwaterkwaliteit van VROM stelt dat de gemiddelde concentratie van het aantal genomen monsters per jaar per distributiegebied aangeeft of voor het betreffende gebied aan de norm wordt voldaan. Bij deze RDT-metingen in 2022 zijn bij slechts twee gebieden overschrijdingen geconstateerd wegens uitschieters bij een monster. Ook voor individuele waarnemingen van lood in distributiegebieden gerapporteerd voor 2014-2022 geldt dat het percentage waarnemingen > 5 µg/L varieert tussen 1,2 en 2,7%, terwijl de percentage waarnemingen > 10 µg/L varieert tussen 0,7 en 1,5%. In de studie worden drie soorten potentieel gevoelige locaties voor lood genoemd: kindgebonden locaties (scholen, kinderdagverblijven), nieuwbouw, en bestaande bouw van vóór 1960.

Daarnaast is de REWAB-dataset (REWAB = Registratie Waterkwaliteitsgegevens Bedrijven) geanalyseerd om te kijken naar maximale concentraties gevonden tijdens metingen. De resultaten zijn in Figuur 40 weergegeven. Te zien is dat

loodconcentraties bij de productielocatie vaak onder de detectiegrens van het meetapparaat liggen, terwijl dit bij metingen aan de kraan juist omgekeerd is. Dit toont aan dat lood tijdens het leveringsproces in het drinkwater terechtkomt.



Figuur 40: Verschil tussen gemeten loodconcentraties bij productielocaties (linker diagram) en aan de kraan bij consumenten (rechter diagram) toont aan dat lood tijdens het distributieproces in het drinkwater terechtkomt. Er is alleen gekeken naar de overschrijding van de detectielimiet van het meetapparaat.

II Bijlage – Logbladje voor kalibratiemetingen en procedure

Type onderdeel en beoogde stilstaand duur:

Datum, tijd invullen en uitgieten:

Afwijkingen in het uitvoeren van het protocol:

- ☐ Lab-jas en veiligheidsbrillen aan
- ☐ Haal drinkwater in twee grote flessen (flessen hergebruiken)
Vergeet niet hoofdkraan dicht te draaien
- ☐ **Schud langzaam** door het onderdeel een paar keer rustig te draaien (niet hard schudden)
- ☐ **Nieuwe** handschoenen aan
- ☐ Leeg de gevulde onderdeel of in een **nieuwe** kleine fles (om later te bemonsteren) of in een groot jerrycan (om weg te gooien)
Noteer tijd uitgieten
Vergeet niet dop van kleine fles dicht te draaien
- ☐ Gooi oude handschoenen weg; **nieuwe** handschoenen aan
Vul drinkwater in en spoel onderdeel door een paar keer rustig te draaien
- ☐ Gooi water in groot jerrycan
- ☐ Schenk drinkwater in tot aan de rand, tik een paar keer om getrapte luchtbellens te laten ontsnappen, afdoppen en afsluiten
Noteer tijd invullen
- ☐ Als een nieuwe meting uitgevoerd moet worden, transporteer onderdeel naar broedrooster en leg het zorgvuldig
- ☐ Als er bemonsterd moet worden, print etiket met “Lood (met/zonder filter); Type onderdeel; Stilstand duur; Datum; Tijd van legen; Amitosh Dash”
- ☐ Ga terug naar lab, gooi oude handschoenen weg en doe **nieuwe** handschoenen aan
- ☐ **Fles goed schudden**
- ☐ Neem een **nieuw** spuit en zuig 25+ ml van monster water
- ☐ Doe **nieuwe** 0.45 micrometer filter aan en spoel filter met 1-5 ml
- ☐ (Met filter meting) Neem **nieuwe** PPE buis en leeg spuit erin (wees geduldig), dop het af, plak etiket;
- ☐ (Zonder filter meting – als nodig is) **Schud fles**; Neem **nieuwe** PPE buis en schenk van kleine fles in; dop het af; plak etiket;
- ☐ Gooi rest van het monster water weg in groot jerrycan en gooi fles, spuit, filter weg
- ☐ Ga naar beneden met resterende drinkwater, (kalibreer pH meter,) meet en **noteer pH en temperatuur**
- ☐ Laat onderdelen in broedkoolrooster stilstaan voor gewenste duur en breng ze naar technische laboratorium nadat het voorbij is
- ☐ Aan het eind van de dag, lever monster buizen in, **vergeet blanco meting niet**, stuur email naar Nanda, digitaliseer log

Voorbereiding:

1. Voor de meetcampagne werden alle onderdelen gevuld met drinkwater en in de broedrooster achtergelaten.
2. Aan het begin van de werkdag wordt ruim drinkwater verzameld in meerdere grote flessen. Daarnaast wordt één klein fles drinkwater verzameld die later bevroren en bewaard wordt (mochten er toekomstige analyses van chloride of sulfaat uitgevoerd²⁰ moet worden). Nog één erlenmeyer van 250 ml wordt gevuld en meteen afgedopt. Deze erlenmeyer moet binnen 24 uur geanalyseerd worden voor waterstofcarbonaat. Tenslotte wordt ~50 ml drinkwater verzameld in polypropylene buis om te laten analyseren van de aanwezigheid van lood in drinkwater zelf (zogenaamde 'blanco' meting).

Meting beginnen:

3. Schenk drinkwater direct in de onderdelen – gedeeltelijk invullen. Spoel de onderdelen door te schudden en gooi water weg in een aparte jerrycan die later in een veilige manier afgevoerd zal worden.
4. Schenk drinkwater in tot aan de rand, tik een paar keer om getrapte luchtbellen te laten ontsnappen. Daarna, de stukken afdoppen of afsluiten. Voor de watermeter, het draaien van de afsluiter kan ook een paar luchtbellen loslaten. De tijd van invullen moet genoteerd worden.
5. De onderdelen worden dan in de broedrooster geplaatst.

Meting afronden:

6. Haal onderdelen uit van de broedrooster en breng ze terug naar het laboratorium.
7. Draai de onderdelen langzaam om het water erin te mengen en homogeniseren. De homogeniteit zou beschermen tegen het effect van eventueel verspillingen tijdens uitgieten. Hard schudden kan deeltjes loslaten.
8. Leeg de onderdelen in kleine flesjes met gering verspilling²¹. De tijd van uitgieten moet genoteerd worden.
9. Als nieuwe metingen begonnen moeten worden, is het efficiënter om ze eerst te beginnen voor bemonstering.

Bemonstering:

10. Alle monsters moeten uiteindelijk in een polypropylene buis²² verzameld. Voordat bemonstering plaatsvindt helpt het om van vooraf etiketten op de buizen te plakken. In de huidige metingen is de volgende format gebruikt: "Lood (met/zonder filter); Type onderdeel; Stilstand duur; Datum en tijd van invullen; Bemonsterer".
11. Voor bemonstering moet het flesje waarin het water uitgegoten werd moet goed geschud worden.
12. Om opgeloste lood te bemonsteren, wordt eerst met een spuit²³ het water gezogen. Daarna wordt een 0.45 µm filter erop gezet om deeltjes te stoppen. Spoel de filter met 1-5 ml van het bemonsterd water. Leeg het water van de spuit (met filter) in een polypropylene buis
13. Om totaal lood te bemonsteren, is geen spuit nodig. Schud de fles goed en giet direct een polypropylene buis in.
14. Gooi resterend water in een aparte jerrycan die later in een veilige manier afgevoerd zal worden.
15. De polypropylene buizen worden voor het eind van de werkdag in een koelkast neergelegd. De monsters worden binnen 24 uur van de bemonstering aangezuurd en binnen 28 dagen geanalyseerd. De zuur zorgt ervoor dat deeltjes oplossen voordat de monster in het ICP-MS apparaat geanalyseerd wordt. Als er zichtbare deeltjes zijn, moet de monster eerst door een destructie proces ondergaan zodat de deeltjes opgelost worden.

Het effect van stukken die de loodafgeevende onderdelen afdoppen:

16. Om vast te stellen of de afdoppingen de resultaten van de lood analyse beïnvloeden kunnen werd een aparte test uitgevoerd. De afdoppingen van elk onderdeel werd in een apart fles gelegd. Ultra puur water is ingevuld tot een niveau dat de onderdelen volledig onderdoopt zijn. Er moet niet te veel water zijn zodat de afgegeven lood meetbaar blijft. Hiernaast wordt in een vierde fles een 'blanco' meting uitgevoerd (te testen of de fles zelf lood kan afgeven). De inhoud hiervan is vergelijkbaar met de andere flessen voor een één-op-één vergelijking.

²⁰ Deze analyses zouden in maximaal zes maanden moeten plaats vinden voor betrouwbare resultaten.

²¹ Het is gebruikelijk om een paar druppels in het begin te verliezen tijdens het openmaken van de dop, en soms een paar druppels aan het eind. Voor de korte loden leiding zit er ook een rubber afdichting. Er moet opgelet worden tijdens uitschenken dat die niet in het flesje terechtkomt. Daarom werd er handschoenen gedragen en de afdichting met een vinger achtergehouden. Voor de watermeter moet er opgelet worden dat de twee kranen bij de messing onderdelen niet gedraaid worden tijdens experimenten.

²² Het is aanbevolen om geen glasbekers te gebruiken tijdens bemonstering omdat zware metalen kunnen aan de glas oppervlakte plakken. Polypropylene buizen hoeven niet van vooraf met zuur geconserveerd worden omdat ze zeker inert zijn.

²³ De spuit moet geen rubber erin hebben zodat geen metaal eraan plakken kan.

pH meting

17. Elke werkweek wordt de pH meter gekalibreerd met drie standaarden van pH 4, 7, en 10. Elke werkdag wordt de pH van drinkwater en de bijbehorende temperatuur gemeten. De pH gemeten nadat het apparaat voor vijf seconden "STAB" (gestabiliseerde signaal) toont wordt opgenomen.

III Bijlage – Kalibratiemetingen log

Tabel 4: Log van de drinkwater verzameling voor de kalibratie meetcampagne uitgevoerd in Juni-Juli 2022.

Label	Stilstaand duren voor gebruikt	Verzamel tijd	Tijd van indienen	pH
A1	4 uur, 6 uur	28 Juni 2022, 07:30, twee grote flessen	- Bemonstering voor waterstofcarbonaat vond om 11:45 plaats (contact met lucht) - Blanco meting voor lood om 08:45 verzameld - Monster te bewaren ingeleverd om 18:15	Gemeten om 08:30 (7.58 @ 20.5 graden, 7.71 @ 20.7 graden, 7.77 @ 20.7 graden)
A2	12-15 uur	28 Juni 2022, 18:18, één groot fles	- Geen bemonstering voor lood, waterstofcarbonaat - Monster te bewaren ingeleverd om 19:05	Gemeten om 19:10 (7.77 @ 21.4 graden, 7.74 @ 21.4 graden, 7.79 @ 21.4 graden); eerste meting electrode niet schoon gemaakt met ultra puur water
B	3 uur, 2 uur, 1.5 uur, 1 uur, 0.75 uur, 0.5 uur, 0.25 uur	29 Juni 2022, 07:53, vijf grote flessen	- Bemonstering voor waterstofcarbonaat vond om 11:45 plaats (contact met lucht) - Blanco meting voor lood om 08:49 verzameld - Monster te bewaren ingeleverd om 08:00	Gemeten om 09:05 (7.62 @ 20.1 graden, 7.78 @ 20.2 graden, 7.85 @ 20.3 graden)
C	48 uur	04 Juli 2022, 08:24, twee grote flessen	Bemonstering voor waterstofcarbonaat, lood, bewaren vond dezelfde tijd plaats	Gemeten om 09:30 (7.65 @ 21.4 graden, 7.77 @ 21.3 graden, 7.82 @ 21.2 graden)
D	24 uur	06 Juli 2022, 08:46, twee grote flessen	- Bemonstering voor waterstofcarbonaat, lood, bewaren vond dezelfde tijd plaats - Naar koelkast om 09:40 gebracht	Gemeten om 09:53 (7.49 @ 20.4 graden, 7.58 @ 20.5 graden, 7.64 @ 20.5 graden)

Tabel 5: Uitgebreide log van kalibratiemetingen uitgevoerd in Juni-Juli 2022

Onderdeel	Beoogde stilstand duur	Begin tijd	Eind tijd	Gerealiseerde stilstand duur	Drinkwater gebruikt	Aanvullende opmerkingen		
Loden leiding	4 uur	28 Juni, 07:53	28 Juni, 11:55	4 uur, 2 minuten	A1	Onderdelen werden op vrijdag, 24 Juni om 14:00 ingevuld en in de broedrooster achtergelaten	Eerste paar druppels gemorst tijdens uitgieten	Naar koelkast om 14:00 gebracht
Loodsoldeer	"	28 Juni, 08:00	28 Juni, 12:06	4 uur, 6 minuten	"	"	Morsing tijdens uitgieten en tijdens bemonstering	"
Watermeter	"	28 Juni, 08:05	28 Juni, 12:16	4 uur, 11 minuten	"	"	Geen handschoenen tijdens invullen	"
Loden leiding	6 uur	28 Juni, 12:00	28 Juni, 18:21	6 uur, 21 minuten	"	Broedrooster werd opengelaten voor een paar minuten		Naar koelkast om 18:45 gebracht
Loodsoldeer	"	28 Juni, 12:09	28 Juni, 18:28	6 uur, 19 minuten	"	"	Geen handschoenen tijdens invullen	"
Watermeter	"	28 Juni, 12:18	28 Juni, 18:37	6 uur, 19 minuten	"	"		"
Loden leiding	12-15 uur	28 Juni, 18:25	29 Juni, 08:07	13 uur, 42 minuten	A2	Geen nieuwe handschoenen tijdens invullen	Geen handschoenen tijdens bemonsteren	Naar koelkast om 12:00 gebracht
Loodsoldeer	"	28 Juni, 18:32	29 Juni, 08:15	13 uur, 43 minuten	"	Morsen tijdens invullen	"	"
Watermeter	"	28 Juni, 18:40	29 Juni, 08:24	13 uur, 44 minuten	"			"

Onderdeel	Beoogde stilstand duur	Begin tijd	Eind tijd	Gerealiseerde stilstand duur	Drinkwater gebruikt	Aanvullende opmerkingen		
Loden leiding	3 uur	29 Juni, 08:10	29 Juni, 11:11	3 uur, 1 minuut	B	Geen handschoenen tijdens bemonsteren		"
Loodsoldeer	"	29 Juni, 08:19	29 Juni, 11:18	2 uur, 59 minuten	"	Geen handschoenen tijdens uitgieten		"
Watermeter	"	29 Juni, 08:27	29 Juni, 11:27	3 uur	"	Geen handschoenen tijdens bemonsteren		"
Loden leiding	2 uur	29 Juni, 11:14	29 Juni, 13:21	2 uur, 7 minuten	"	Paar druppels gemorst tijdens uitgieten; Fles gewisseld hierna	Geen handschoenen tijdens bemonsteren	Naar koelkast om 18:30 gebracht
Loodsoldeer	"	29 Juni, 11:21	29 Juni, 13:29	2 uur, 8 minuten	"	Geen handschoenen tijdens invullen of bemonsteren		"
Watermeter	"	29 Juni, 11:30	29 Juni, 13:37	2 uur, 7 minuten	"			"
Loden leiding	1.5 uur	29 Juni, 13:25	29 Juni, 14:57	1 uur, 32 minuten	"			"
Loodsoldeer	"	29 Juni, 13:33	29 Juni, 15:05	1 uur, 32 minuten	"	Paar druppels gemorst tijdens uithalen	Geen handschoenen tijdens bemonstering	"
Watermeter	"	29 Juni, 13:40	29 Juni, 15:14	1 uur, 34 minuten	"	PVC-eind gebotst met broedrooster tijdens uithalen		"
Loden leiding	1 uur	29 Juni, 15:00	29 Juni, 16:00	1 uur	"	Morsen vanuit rand tijdens invullen		"

Onderdeel	Beoogde stilstand duur	Begin tijd	Eind tijd	Gerealiseerde stilstand duur	Drinkwater gebruikt	Aanvullende opmerkingen		
Loodsoldeer	"	29 Juni, 15:10	29 Juni, 16:07	57 minuten	"			
Watermeter	"	29 Juni, 15:17	29 Juni, 16:17	1 uur	"	Is gevallen op broedrooster voor uithalen ²⁴		
Loden leiding	0.75 uur	29 Juni, 16:04	29 Juni, 16:51	47 minuten	"	Geen handschoenen tijdens bemonsteren	Bemonstering aan het einde van de werkdag (na 18:00)	"
Loodsoldeer	"	29 Juni, 16:11	29 Juni, 16:56	45 minuten	"	Fles gewisseld hierna	"	"
Watermeter	"	29 Juni, 16:20	29 Juni, 17:06	46 minuten	"	Handschoenen niet gewisseld voor invullen	"	"
Loden leiding	0.5 uur	29 Juni, 16:54	29 Juni, 17:23	29 minuten	"	Morsen vanuit rand tijdens uitgieten	"	"
Loodsoldeer	"	29 Juni, 17:01	29 Juni, 17:30	29 minuten	"		"	"
Watermeter	"	29 Juni, 17:09	29 Juni, 17:37	28 minuten	"	Eind gebotst met broedrooster tijdens uithalen	"	"

²⁴ Een conclusie in Reference:Mededeling096 is “De lodenbuizenproef is bijzonder gevoelig voor trillingen. Bij de vertaling van de resultaten naar het voorzieningsgebied dient een hierop bedacht te zijn.” Reference:Edwards2014 zoekt systematisch uit het effect van trillingen op loodafgifte. In figuur 3 van deze referentie word er aangetoond dat tijdens dichtbij liggende trillingen gaat loodafgifte scherp omhoog maar daalt scherp in de maanden erna. Deze metingen werden gebruikt als mogelijke redenering achter acht miskramen over korte termijn in vrouwen die in hetzelfde gebouw werkten. Aanwezigheid van hogere loodconcentraties zouden door verstoringen vanwege werkzaamheden plaatsgevonden kunnen hebben.

Onderdeel	Beoogde stilstand duur	Begin tijd	Eind tijd	Gerealiseerde stilstand duur	Drinkwater gebruikt	Aanvullende opmerkingen		
Loden leiding	0.25 uur	29 Juni, 17:26	29 Juni, 17:41	15 minuten	"	Resterende water gebruikt om onderdelen in te vullen en in broedrooster gelegd	"	"
Loodsoldeer	"	29 Juni, 17:33	29 Juni, 17:49	16 minuten	"	"	"	"
Watermeter	"	29 Juni, 17:39	29 Juni, 17:53	14 minuten	"	"	"	"
Loden leiding	48 uur	04 Juli, 08:56	06 Juli, 08:58	48 uur, 2 minuten	C			Naar koelkast om 09:30 gebracht
Loodsoldeer	"	04 Juli, 09:00	06 Juli, 09:07	48 uur, 7 minuten	"			"
Watermeter	"	04 Juli, 09:04	06 Juli, 09:14	48 uur, 10 minuten	"			"
Loden leiding	24 uur	06 Juli, 09:03	07 Juli, 08:55	23 uur, 52 minuten	D			Naar koelkast om 09:25 gebracht
Loodsoldeer	"	06 Juli, 09:10	07 Juli, 09:00	23 uur, 50 minuten	"	Handschoenen niet gewisseld voor invullen	Stuk staat onstabiel (glijden mogelijk)	"
Watermeter	"	06 Juli, 09:17	07 Juli, 09:07	23 uur, 50 minuten	"			"
Loden leiding	PVC doppen (200 ml)	07 Juli, 13:23	13 Juli, 08:08	138 uur, 45 minuten	Ultra puur water	Handschoenen niet gewisseld tijdens uitgieten	Niet zeker of fles geschud werd voor bemonsteren	Naar koelkast om 08:30 gebracht

Onderdeel	Beoogde stilstand duur	Begin tijd	Eind tijd	Gerealiseerde stilstand duur	Drinkwater gebruikt	Aanvullende opmerkingen	
Loodsoldeer	PVC doppen (200 ml + 26 ml om 13:31)	07 Juli, 13:19	13 Juli, 08:07	138 uur, 48 minuten	"	"	"
Watermeter	PVC doppen (400 ml)	07 Juli, 13:29	13 Juli, 08:10	138 uur, 41 minuten	"	"	Vet in de schroef van watermeter
Blanco	PVC doppen (300 ml)	07 Juli, 13:34	13 Juli, 08:11	138 uur, 37 minuten	"	"	"

IV Bijlage – Kalibratie metingen labanalyse

De volgende methodes werden gebruikt voor analyse²⁵:

- Waterstofcarbonaat: Bepaling van het gehalte aan carbonaat en waterstofcarbonaat in water, titrimetrisch, eigen methode (LAM-042).
- pH (Q): Bepaling van zuurgraad (pH) in water, potentiometrisch, conform NEN-ISO 10523 (LAM-043).
- ICP-MS: Bepaling van 26 elementen in water met behulp van inductief gekoppeld plasma en massaspectrometrie, eigen methode (LAM-074).

Tabel 6: Lab analyse van drinkwater monsters (dus geen migratietest)

Label	Stilstand duren voor gebruikt	pH (Q)	Waterstofcarbonaat [mg/L]	Lood [µg/L]
A1	4 uur, 6 uur	8.3 @ 21.0 graden	175	0.55
A2	12-15 uur	-	-	-
B	3 uur, 2 uur, 1.5 uur, 1 uur, 0.75 uur, 0.5 uur, 0.25 uur	8.0 @ 20.8 graden	180	0.13
C	48 uur	8.0 @ 20.3 graden	175	0.36
D	24 uur	8.0 @ 21.0 graden	180	0.16

Tabel 7: Lab analyse van monsters verzameld om loodafgifte vanuit PVC-afdoppingen te bestuderen.

Onderdeel	Volume ultra puur water tijdens test	Geschatte fractie oppervlakte in contact met water tijdens loodafgifte testen	Gerealiseerde stilstand duur	Lood [µg/L]
Loden stuk ²⁶	200 ml	0.29	138 uur, 45 minuten	71
Loodsoldeer	226 ml	0.27	138 uur, 48 minuten	42
Watermeter	400 ml	0.3 ²⁷	138 uur, 41 minuten	1.3
Blanco	300 ml	-	138 uur, 37 minuten	< 0.10

²⁵ Deze informatie werd door het laboratorium aangegeven in analyserapport 3878 (24 Augustus 2022)

²⁶ Achteraf leek het dat niet alle water vanuit de fles uitgenomen werd, maar het effect daarvan is waarschijnlijk laag (vanwege menging)

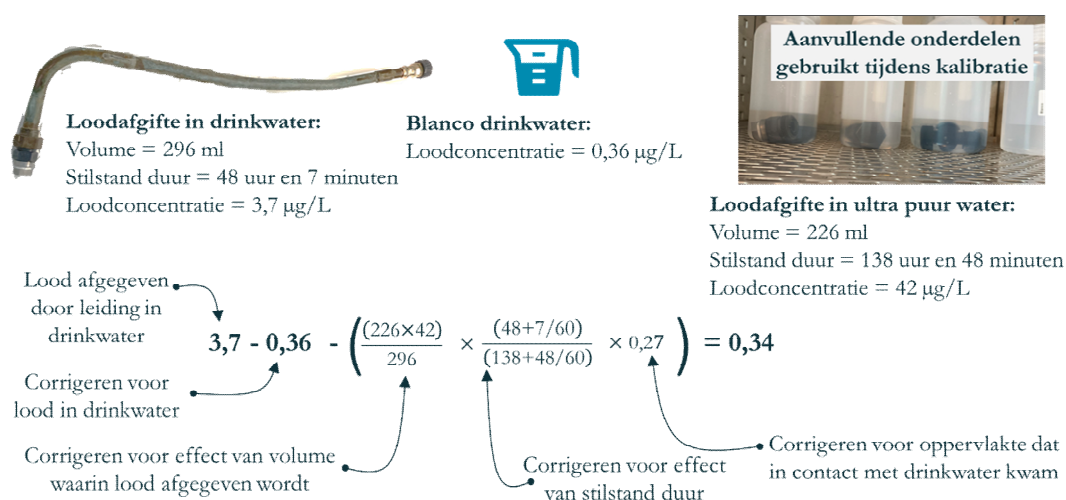
²⁷ Waarde aangenomen maar het ligt in de buurt van de verwachte waarde

Tabel 8: Lab analyse van monsters verzameld om loodafgifte vanuit de drie onderdelen te bestuderen.

	Gerealiseerde stilstand duur	Gemeten opgeloste Lood [µg/L]	Gemeten totaal Lood [µg/L]	Geschatte opgeloste Lood na corrigeren voor afdoppingen [µg/L]
Loden stuk	15 minuten	76	-	75.74
	29 minuten	78	-	77.62
	47 minuten	93	-	92.47
	1 uur	100	-	99.36
	1 uur, 32 minuten	115	-	114.09
	2 uur, 7 minuten	120	1325	118.79
	3 uur, 1 minuut	145	-	143.32
	4 uur, 2 minuten	155	845	152.39
	6 uur, 21 minuten	140	-	136.20
	13 uur, 42 minuten	145	1965	137.44
	23 uur, 52 minuten	190	-	177.63
	48 uur, 2 minuten	195	-	170.06
Loodsoldeer	16 minuten	2	-	1.85
	29 minuten	2.6	-	2.44
	45 minuten	2.9	-	2.72
	57 minuten	2.9	-	2.71
	1 uur, 32 minuten	3.8	-	3.57
	2 uur, 8 minuten	3.7	5.3	3.44
	2 uur, 59 minuten	3.6	-	3.28
	4 uur, 6 minuten	4.6	21	3.79
	6 uur, 19 minuten	5.1	-	4.16
	13 uur, 43 minuten	5.8	8.6	4.39
	23 uur, 50 minuten	3.6	-	1.95
Watermeter	48 uur, 7 minuten	3.7	-	0.34
	14 minuten	5	-	4.87
	28 minuten	6.7	-	6.57
	46 minuten	7.8	-	7.67
	1 uur	9.5	-	9.36
	1 uur, 34 minuten	11	-	10.86
	2 uur, 7 minuten	12	13	11.86
	3 uur	14	-	13.85
	4 uur, 11 minuten	16	18	15.42
	6 uur, 19 minuten	17	-	16.41
	13 uur, 44 minuten	22	29	21.37
	23 uur, 50 minuten	20	-	19.70
	48 uur, 10 minuten	19	-	18.35

De testen van PVC-onderdelen gaven verrassende resultaten. Terwijl de afdoppingen gebruikt voor de watermeter heel lage loodconcentraties afgaven (1.3 µg/L), waren de aangetroffen concentraties vanuit de PVC-onderdelen bij de andere twee loodafgevendende onderdelen behoorlijk hoog (71 µg/L voor loden leiding en 42 µg/L voor koperen leiding met loodsoldeer). Deze testen zijn aan het eind van de meetcampagne uitgevoerd in plaats van het begin. Mogelijk komt dit door hechting van lood aan de afdoppende onderdelen tijdens eerdere proeven.

Hieronder wordt een voorbeeld uitgewerkt van hoe voor de bijdrage van loodafgifte van de afdoppingen gecorrigeerd kan worden, ook in Figuur 41. De koperen leiding met loodsoldeer met een inhoud van 296 ml gaf opgeloste loodconcentratie van 3,7 µg/L in 48 uur en 7 minuten. Het gebruikte drinkwater had een loodconcentratie van 0,36 µg/L (trek af). Bijbehorende aanvullende afdoppende onderdelen werden ondergedompeld in 226 ml ultrapuur water en gaven 42 µg/L af in 138 uur en 48 minuten. Dus in 48 uur en 7 minuten zou de loodconcentratie vanuit de afdoppende onderdelen 12,21 µg/L geweest zijn (aanneمة van lineaire afgifte in tijd). Slechts 27% van de oppervlakte van de aanvullende onderdelen komt in contact met drinkwater tijdens de experimenten. De loodconcentratie afgegeven door de loden leiding (zonder invloed van afdoppingen) in 23 uur en 52 minuten is aldus: $3,7 - 0,36 - \left(\frac{(0,226 \times 42 \times 0,27)}{0,296} \times \frac{(48+7/60)}{(138+48/60)} \right) = 0,34 \text{ µg/L}$. Dit is een voorbeeld waarin de waardes na correctie flink lager worden. In onze analyse zijn deze correcties uiteindelijk niet uitgevoerd omdat de migratieproeven voor de afdoppingen na de loodafgiftetesten zijn uitgevoerd. Dat wil zeggen dat de waardes in Tabel 1 zonder de correctie zijn gepresenteerd.



Figuur 41: Visueel schematisch overzicht voor hoe allerlei correcties uitgevoerd zouden kunnen worden.

V Bijlage – Pilot uitloging lood uit watermeters (Nathasja ten Kate en Rob van der Leer)

V.I Inleiding

Uit nieuwe onderzoeken, welke o.a. zijn gepubliceerd door de Gezondheidsraad, blijkt dat lood schadelijker is voor de volksgezondheid dan voorheen aangenomen. Dit geldt vooral voor jonge kinderen, zwangere vrouwen en vrouwen die zwanger willen worden. Tot het 7^{de} levensjaar ontwikkelt het zenuwstelsel van kinderen. Lood heeft hierop direct invloed. Daarnaast is er geen veilige norm voor lood (onderzoek WHO²⁸). Alle lood dat wordt ingenomen, wordt in het lichaam opgeslagen (vooral in botstructuren). De halfwaardetijd van lood is circa 21 jaar. De wettelijke norm voor lood in drinkwater is in de Europese drinkwater richtlijn verlaagd (met een overgangstermijn van 15 jaar) van 10 µg/l naar 5 µg/l (gemiddelde wekelijkse inname, gebaseerd op blootstelling). In Nederland geldt deze norm per 12-1-2023.

In het RDT programma van 2022 zijn 11 analyse resultaten > 2,5 µg/l vastgesteld (totaal 159 adressen bemonsterd). Deze 11 adressen zijn extra onderzocht doormiddel van fysieke schouw en/of aanvullende monsternamen, waaruit blijkt dat er geen loden appendages aanwezig waren in de aansluitleiding bij 10 aansluitingen. Het is bekend dat diverse appendages die van messing zijn, nog een percentage lood bevatten. Één van deze appendages is de watermeter. De watermeter heeft in de binneninstallatie het grootste metaaloppervlak van waaruit afgifte (uitloging) plaatsvindt.

De Evides watermeters, die recent (per 2023) opnieuw geselecteerd heeft via de aanbesteding voor het meterwisselproces (leverancier X, loodarm messing), worden per medio 2023 toegepast.

Het doel van dit onderzoek is om de afgifte van metalen, met name lood, van een nieuwe watermeter vast te stellen. Op deze manier wordt inzicht gekregen in de daadwerkelijke afgifte en het patroon van uitloging over de tijd. Daarnaast wil Evides voorbereid zijn op toekomstige vragen of klant communicatie over de watermeter.

V.II Aanpak

Opstelling

De meetopstelling omvat vijf watermeters, drie watermeters (Q3 meters) met een maximale volumestroom van 2,5 m³/h, één watermeter (Q3 meter) met een volumestroom van 4 m³/h en één watermeter (Q3 meter) met een volumestroom van 6,3 m³/h. De kleinste watermeter is het meest voorkomend in standaard huisaansluitingen, de andere 2 meters worden veel bij kleine bedrijven (MKB) geplaatst.

In de opstelling is elke watermeter voorzien van een individuele leiding met afsluiters en een tappunt, vervaardigd uit kunststof. Om te voorkomen dat de watermeters leeglopen, zijn ze iets lager geplaatst dan de achterste tapkraan. Bovendien is er één leiding zonder watermeter, deze fungeert als referentieleiding. De watermeters zijn nieuw en niet eerder gebruikt in het distributienetwerk. Figuur 42 bevat een foto van de meetopstelling.

²⁸ <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>



Figuur 42: Foto van de meetopstelling

De keuze van het monstervolume is gebaseerd op de capaciteit van de watermeters en de inhoud van het leidingwerk. De drie Q3 2,5 watermeters zijn bemonsterd met monsters van 250 ml. De Q3 4 watermeter is afwisselend bemonsterd met monsters van 500 ml en 1 liter. De Q3 6,3 watermeter (7m³) is bemonsterd met monsters van 1 liter. Gedetailleerde informatie van de watermeters is te vinden in Tabel 9.

Tabel 9: Gedetailleerde informatie van watermeters gebruikt in de pilot

Watermeter	Inhoud Watermeter	Inhoud leiding	Gekozen monstervolume	Doelgroep	% pb	Messing type	Materialen lijst ECHA ²⁹
Q3 2,5	90 ml	175 ml	250 ml	Consument	1,6 - 2,2%	CW617N	Negatief
Q3 4	120 ml	314 ml	500 ml en 1l	MKB	0,2 - 1,6%	CC770S	Negatief
Q3 6,3	415 ml	490 ml	1l	MKB	0,2 - 1,6%	CC770S	Negatief

Meetmethode

Gedurende een periode van zes maanden zijn de watermeters bemonsterd met variërende frequenties, na verschillende stilstand tijden. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen korte stilstand periodes (<4 uur), stilstand van 6 uur (gelijk aan minimale stilstand RDT protocol) en langere stilstand periodes (>24 uur, weekend stilstand van bijvoorbeeld kinderdagverblijf). Tussen de monsternames is er sprake geweest van een gecontroleerd waterverbruik, dat vergelijkbaar is met het dagelijkse gemiddelde verbruik van één consument (120 liter per dag). Op deze manier is getracht het natuurlijke inlooptraject van een meter na installatie te simuleren, met name gedurende de eerste maanden na de installatie.

Als analysemethode is lood totaal gebruikt. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen looddeeltjes en opgelost lood. Al het aanwezige lood wordt hierbij opgelost door een sterk zuur.

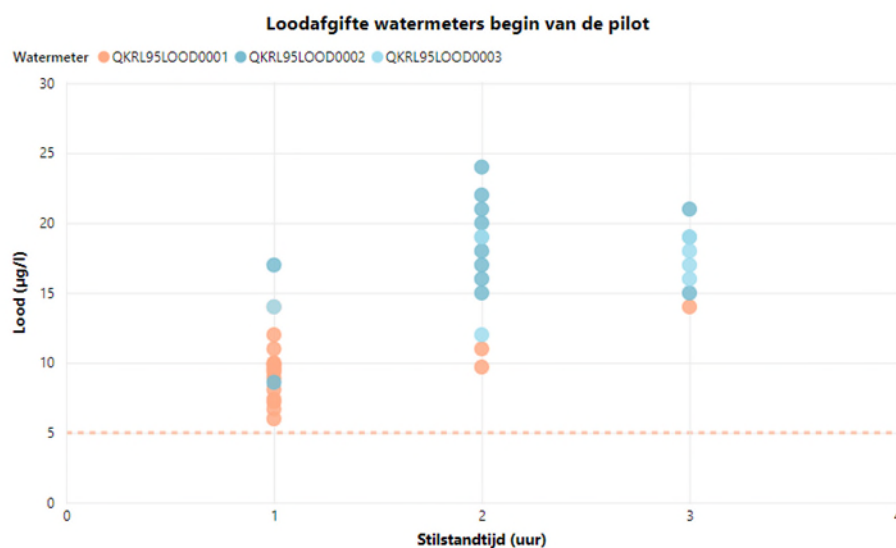
De monsternames met een korte stilstand periode (<4 uur) vonden plaats in de eerste week van de pilot, na 3 maanden en na 6 maanden. Daarentegen zijn de monsternamperiodes van 6 uur en langer gedurende de volledige zes maanden uitgevoerd.

Wekelijks is een referentie monster genomen op het uitgaande water van Kralingen.

V.III Resultaten

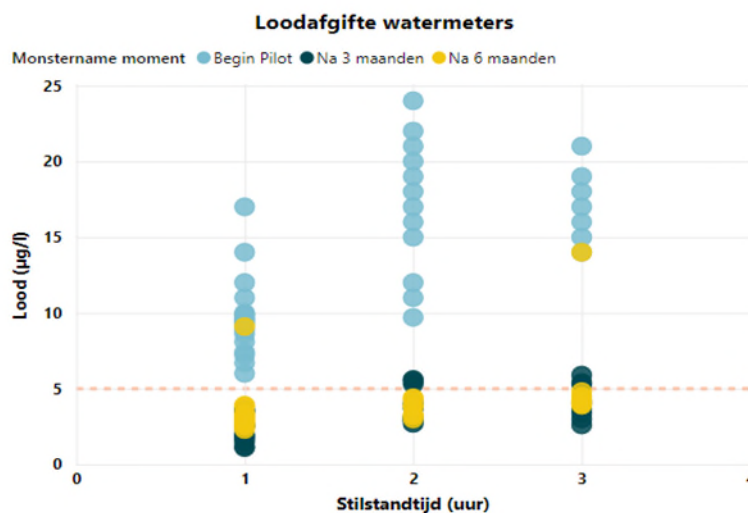
Korte stilstand periode

²⁹ Email Martin Meerkerk, KWR, Lid van Cad groep, 20-09-2023, Europese geharmoniseerd systeem voor de gezondheidskundige aspecten van materialen in contact met drinkwater. Betreft concept positieve lijst.



Figuur 43: Loodafgifte in µg/l van de consument watermeters na korte stilstand periodes aan het begin van de pilot (eerste week van gebruik).

Tijdens de monsternames in het begin van de pilot, na 3 maanden en na 6 maanden zijn diverse stilstand periodes van 1, 2 en 3 uur gehanteerd. Elke keer zijn gedurende een week minstens 12 monsters genomen voor elke watermeter, met variatie in de stilstand periode.

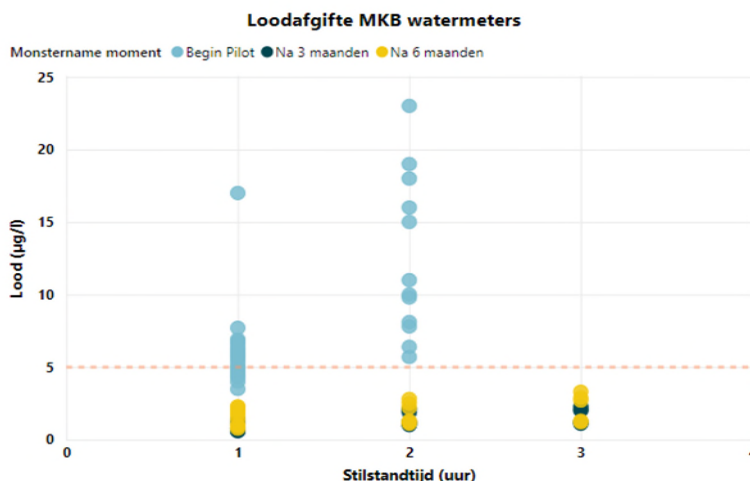


Figuur 44: Loodafgifte in µg/l van de consument watermeters na korte stilstand periodes aan het begin van de pilot, na 3 maanden en na 6 maanden.

Bij de monsternamemoment aan het begin van de pilot zijn loodconcentraties vastgesteld variërend tussen 5 µg/l en 25 µg/l voor de consumentenwatermeters, zoals weergegeven in Figuur 43. Interessant is dat er lichte variaties werden waargenomen in de loodafgifte per watermeter, ondanks dat de drie consumentenwatermeters identiek zijn. Ook in hetzelfde type messing is dus spreiding in afgifte van lood aanwezig.

Na 3 en 6 maanden is opnieuw gemeten na korte stilstand periode, waarbij concentraties zijn vastgesteld die zich tussen 2,5 µg/l en 6 µg/l bevinden (zie Figuur 44). Deze concentraties zijn aanzienlijk lager dan de meetresultaten van de eerste week. Het opvallendst is dat er geen significant verschil is waargenomen in de concentraties tussen de monsternamemoment na 3 maanden en na 6 maanden.

Verwacht was dat de afname van de afgifte asymptotisch zou zijn. Hoog in het begin en sterk afnemend over de tijd. Blijkbaar is er relatief dicht onder het oppervlak van het messing toch genoeg lood beschikbaar om langere tijd relatief hogere concentraties lood te veroorzaken.



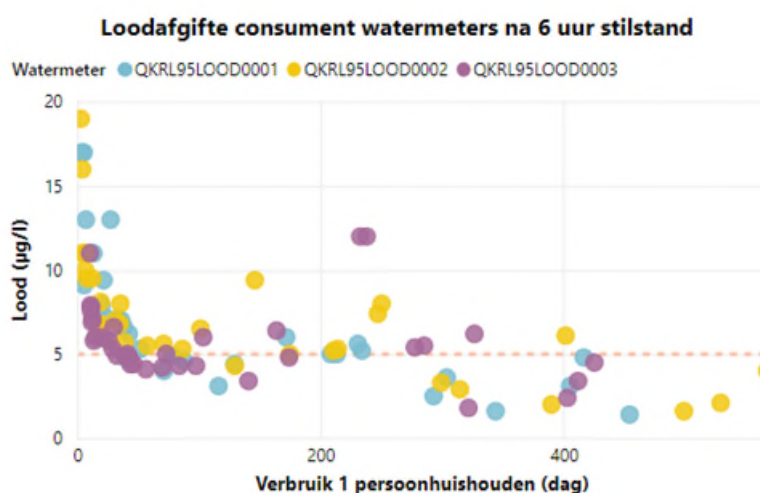
Figuur 45: Loodafgifte in $\mu\text{g/l}$ van de MKB watermeters na korte stilstand periodes aan het begin van de pilot, na 3 maanden en na 6 maanden.

De MKB watermeters (zie Figuur 45) vertonen vergelijkbare loodafgiftes als de consument watermeters. Aan het begin van de pilot variëren de analyseresultaten tussen $3,5 \mu\text{g/l}$ en $23 \mu\text{g/l}$, maar na 3 en 6 maanden stabiliseren de resultaten rond de $2,5 \mu\text{g/l}$.

Wel liggen de lood concentraties over het algemeen lager bij de consument watermeters. Dit is conform de verwachting, het gebruikte messing bevat een lagere concentratie lood.

6 uur stilstand

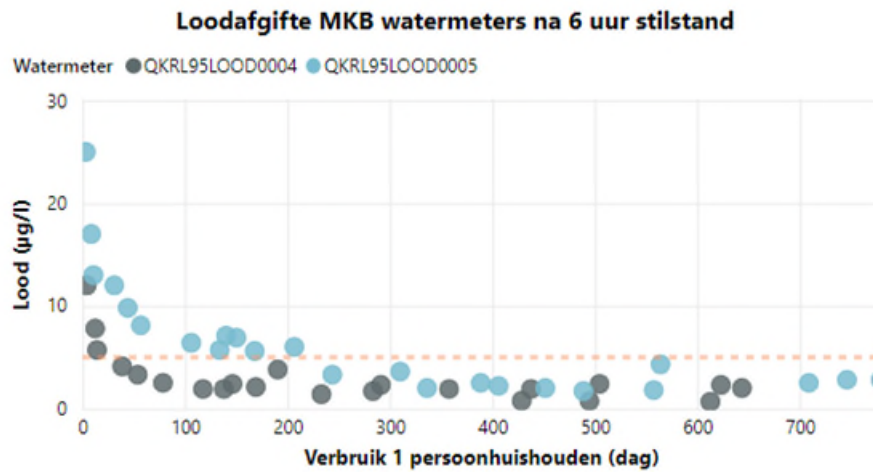
Tijdens de gehele pilotperiode is elke week minstens één keer een monster genomen met een stilstand periode van 6 uur op elke watermeter. Tijdens deze monsternamemoment is de meterstand genoteerd, waarmee het verbruik per watermeter is bepaald.



Figuur 46: Loodafgifte consument watermeters na 6 uur stilstand uitgezet tegen het waterverbruik over de watermeters

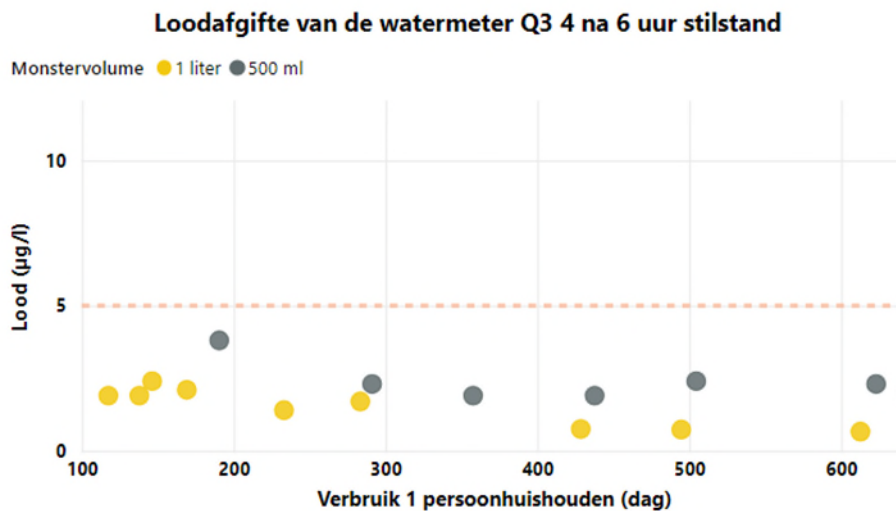
In Figuur 46 worden de loodconcentraties weergegeven van de consument watermeters in relatie tot het aantal dagen verbruik van één persoon. Gedurende de eerste 300 dagen ligt deze gemiddelde concentratie boven de huidige loodnorm van $5 \mu\text{g/l}$. Vervolgens blijft de loodconcentratie variëren tussen de $2,5 \mu\text{g/l}$ en $5 \mu\text{g/l}$.

In Figuur 47 worden de loodconcentraties weergegeven van de MKB watermeters in relatie tot het aantal dagen verbruik van één persoon. Gedurende de eerste 200 dagen ligt deze gemiddelde concentratie boven de huidige loodnorm van 5 µg/l. Vervolgens blijft de loodconcentratie variëren tussen de 2,5 µg/l en 3 µg/l.



Figuur 47: Loodafgifte MKB watermeters na 6 uur stilstand uitgezet tegen het waterverbruik over de watermeters

Het verschil in gemiddelde loodconcentraties tussen de consumentenwatermeters en de MKB-watermeters wordt verklaard doordat de MKB-watermeters van ander type messing zijn gemaakt met een lager loodconcentratie.

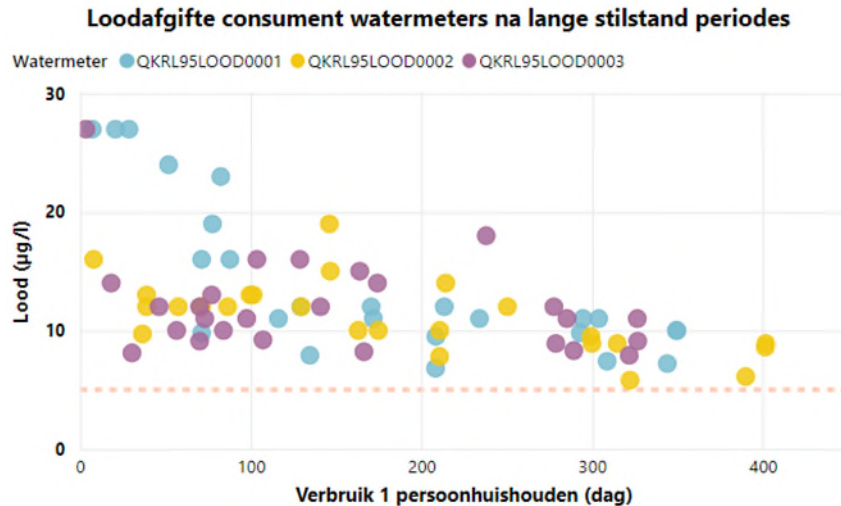


Figuur 48: Loodafgifte van de watermeter Q3 4 na 6 uur stilstand bij verschillende monstervolumes

Bovendien is het vermeldenswaardig dat de Q3 4 watermeter en bijbehorende leiding een totale inhoud hebben van 434 ml. Bij het nemen van monsters met een monstervolume van 1 liter worden deze monsters meer verdund, wat resulteert in lagere loodconcentraties, zoals weergegeven in Figuur 48. Dit verklaart dat de loodconcentraties bij de Q3 4 watermeter lager zijn dan bij de consumentenwatermeters.

Langere stilstand

Voor de langere stilstand periodes is er gevarieerd tussen 24 en 102 uur stilstand voor monsternamen, wat bedoeld is om bijvoorbeeld een weekendstilstand na te bootsen. Tijdens deze monsternamen is de meterstand genoteerd, waarmee het verbruik per watermeter is bepaald.

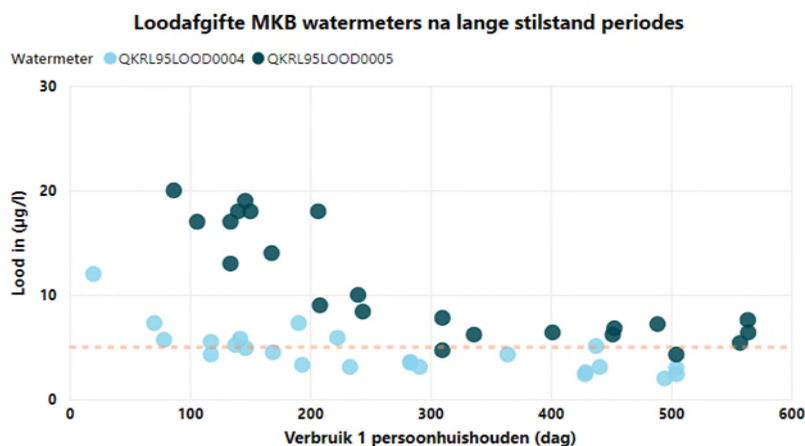


Figuur 49: Loodafgifte van de consument watermeters uitgezet tegen het waterverbruik over de watermeters

In Figuur 49 zijn al deze metingen weergegeven voor de consumentenwatermeters, terwijl Figuur 50 de gegevens toont voor de MKB-watermeters. In beide gevallen worden de loodconcentraties uitgezet tegen het verbruik door de watermeter.

Voor de consumentenwatermeters variëren de loodconcentraties tussen 6 µg/l en 27 µg/l, waarbij de concentraties lager worden naarmate er meer verbruik door de watermeter heeft plaatsgevonden. Opmerkelijk is dat zelfs na 400 dagen de loodconcentraties nog steeds boven de norm van 5 µg/l blijven voor langere stilstand periodes.

Voor de MKB-watermeters is een vergelijkbaar patroon zichtbaar. Hierbij variëren de concentraties tussen 2 µg/l en 20 µg/l. De Q3 6,3 watermeter vertoont aan het einde van de pilotperiode concentraties die rond de norm van 5 µg/l liggen. In het geval van de Q3 4 watermeter zijn gedurende de gehele pilotperiode lagere loodconcentraties waargenomen, wat wordt verklaard door verschillen in het gebruikte messingmateriaal en doordat de monsters met een monstervolume van 1 liter sterker verdunt zijn.



Figuur 50: Loodafgifte van de MKB watermeters uitgezet tegen het waterverbruik over de watermeters

V.IV Conclusies

Uit de pilot naar de uitloging van lood uit nieuwe watermeters blijkt dat:

- De loodconcentraties bij de nieuwe watermeters (zowel consumenten als MKB) variëren afhankelijk van verschillende factoren, waaronder de stilstand periode, verbruik en het type watermeter.
- Bij kortere stilstand periodes (<4 uur) de loodconcentraties aanvankelijk hoger zijn, maar dat deze dalen na 3 en 6 maanden tot niveaus die aanzienlijk lager zijn dan de initiële metingen aan het begin van de pilot. Dit duidt op een inlooptraject van de watermeter na installatie, wat ook verwacht wordt. Na dit inlooptraject blijft de loodafgifte in deze stilstand periode rond de 2,5 µg/l voor alle onderzochten watermeters. Bij de consument watermeters zijn er loodconcentraties aangetroffen tot en met 6 µg/l.
- Bij langere stilstand periodes blijven de loodconcentraties echter hoog, zelfs na een langdurige verbruiksperiode van 400 dagen.
- Op basis van resultaten van de pilot kan niet worden geconcludeerd dat er wordt voldaan aan de norm. Om dit vast te stellen moet praktijk onderzoek uitgevoerd worden bij de consument met een volledige nieuwe aansluiting.

VI Bijlage – Pilot loodafgifte uit messing (Marco Dignum)

VI.I Aanleiding

De aanwezigheid van loden leidingen in collectieve binneninstallaties in Amsterdam heeft in 2019 tot veel commotie geleid onder bewoners van de tuindorpen in Amsterdam-Noord. Om te testen of loden leidingen in een gebouw aanwezig zijn, biedt HWL bewoners een test aan, waarmee na een nacht stilstand de loodconcentratie in het drinkwater wordt gemeten. Daarnaast heeft Waternet de wettelijke verplichting om gemiddelde blootstelling van consumenten te meten op een vastgesteld aantal meetpunten volgens de random daytime (RDT) bemonstering. In sommige gevallen worden verhoogde loodconcentraties gemeten, terwijl geen loden leidingen (meer) aanwezig zijn. In 2021 heeft een bewoner met succes een rechtszaak gevoerd om huurverlaging af te dwingen op basis van een verhoogde loodconcentratie in het drinkwater.

Dit roept vragen op over de herkomst van de loodafgifte. Het vermoeden bestaat dat loodhoudend messing in appendages daar een rol in speelt. Dit messing is toegepast in appendages zoals de geïntegreerde watermeter-aansluitunit (GWA) inclusief watermeter, hoofdkraanopstellingen, dienstkranen en messing koppelingen en kniestukken. Uit eerder intern onderzoek naar het falen van messing puntstukken is bekend dat loodhoudende messing appendages bij langdurig circuleren van testwater tientallen µg/l lood kunnen afgeven. In praktijkmetingen is ook aangetoond dat messing appendages lood kunnen afgeven. Het patroon van de loodafgifte is echter grillig. Ook is het moeilijk om de bijdrage van de afzonderlijke onderdelen goed te meten.

Volgens de huidige regeling toelating materialen en chemicaliën in contact met drinkwater mogen messing onderdelen materiaal afgeven tot 50 % van de normwaarde. De waarden voor chroom, koper, lood en nikkel gelden voor een monster dat aan de kraan verkregen is en worden representatief geacht voor *de gemiddelde waarde* die de gebruiker wekelijks binnen krijgt. Het is onduidelijk hoe een loodconcentratie > 5 µg/l in stagnant water direct uit een messing appendage moet worden geïnterpreteerd in het kader van de norm. In 2020 is een voorstel uitgewerkt voor onderzoek met een testopstelling zoals beschreven voor de toelating van metalen materialen in drinkwaterinstallaties volgens NEN-EN 15664-1. Uitgaande van de testopstelling volgens de NEN-norm en alle in tabel 3 genoemde onderdelen (11 verschillende onderdelen in drievoud) zou een hoge kostenpost (150 k€ bouw- en materiaalkosten en 120 k€ labkosten per locatie) betekenen. Een testopstelling die volledig voldoet aan de NEN-EN 15664-1 lijkt het doel voorbij te schieten.

In 2021 heeft de Waternet directie aangegeven het onderzoek te willen versnellen met een gedegen aanpak. In de projectgroep zijn de volgende invalshoeken geïdentificeerd:

- Invloed van water- en messingsamenstelling op loodafgifte
- Effecten van conditionering verkennen
- Controleren of materialen voldoen aan de norm
- Bijdrage van de verschillende appendages aan de totale loodconcentratie na stagnatie
- Prioriteiten voor vervangingsbeleid bepalen

Door het onderzoek te splitsen kan de testopstelling worden vereenvoudigd. Daarom volgt hieronder een nieuw voorstel met twee verschillende testopstellingen:

- 1) Testopstelling met puntstukken van verschillende samenstelling. Hiermee kan de invloed van water- en messingsamenstelling op loodafgifte worden gemeten en kunnen eventueel mogelijkheden voor conditionering worden verkend. Dit onderzoek is uitgevoerd in 2023.

- 2) Testopstelling voor appendages uit de praktijk. Hiermee kan worden bepaald wat de loodafgifte is van afzonderlijke onderdelen uit de praktijk. Dit onderzoek zal worden uitgevoerd in 2024.

VI.II Testopstelling puntstukken

In deze testopstelling zijn in duplo puntstukken geplaatst met verschillende, bekende samenstelling van het messing. Deze zijn beschikbaar uit het eerdere puntstukkenonderzoek, zie Tabel 10. De afmetingen van de puntstukken en daarmee het blootgestelde oppervlak zijn identiek, waardoor een goede vergelijking kan worden gemaakt van de loodafgifte. De lengte van een puntstuk is 64,5 mm, de binnendiameter is 24,0 mm. Dit geeft een volume van 29,2 ml. Zie Figuur 51. De puntstukken zijn gemonteerd in PVC wartels met rubber afdichtingsringen, zodat geen galvanisch contact ontstaat met andere metalen. De rest van de testopstelling is uitgevoerd in RVS. Het ingeblokt volume tussen de kogelkranen is 80 ml (gemeten met een maatcilinder). Zie Figuur 52. Bij aanvang van de metingen waren de puntstukken nieuw, zodat de startcondities identiek waren.

Tabel 10: Specificaties van de samenstelling van relevante messing-typen (in gewichtsprocenten).

Type	Omschrijving	Cu	Zn	Pb	Overig
CW614	stafmateriaal	57,0-59,0	39	2,5-3,5	<1
CW617	warm perswerk	57,0-59,0	40	1,6-2,2	<1
CW602	ontzinkingsresistent	61,0-63,0	36	1,7-2,8	0,02-0,15 As
CW724R	silicium, loodvrij (Cuphin)	76,0	21	<0,2	3 Si, 0,05 P



Figuur 51: Afmetingen puntstuk



Figuur 52: Inbouw puntstuk

Met behulp van een regelklep per streng is een dagelijks afnamepatroon ingesteld volgens Tabel 11. Het debiet is per streng ingesteld op 5 l/min met behulp van een naaldventiel en een digitale flowmeter. Dit geeft een verbruik per streng van 125 l/dag. De afgifte van de metalen lood, zink en koper is maandelijks gemeten na een stilstand van 16 uur, door de puntstukken om 16:15 in te blokken met behulp van de kogelkranen. De volgende ochtend om 08:15 zijn de monsters genomen via de monsterkraan, door voorzichtig de voorste kogelkraan te openen. Op deze manier wordt het monstervolume van 80 ml onder druk genomen en komt er geen lucht in de testopstelling. Na drie maanden is een volledige verzadigingscurve gemeten, met stilstand van 0,5 (duplo), 1 (duplo), 2, 4, 8 en 16 uur

stilstand. Per locatie zijn een totaal van negen stukken geanalyseerd: twee van elke messingtype en één van PVC (als referentie). Zie Figuur 53.



Figuur 53: Foto van de testopstelling.

VI.III Resultaten

De samenstelling van het messing van de puntstukken werd geanalyseerd met 'Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry' (ICP-OES), de resultaten zijn weergegeven in Tabel 12.

De loodgehaltes vallen binnen de specificaties (Tabel 10). CW614 heeft het hoogste loodgehalte (ongeveer 3%), dit type messing was vroeger de standaard voor stafmateriaal (appendages die worden geproduceerd in een draaibank door verspaning met behulp van beitels, boor, tap of frees), maar wordt tegenwoordig niet meer gebruikt. CW617 is de standaard van warm perswerk (appendages die bij hoge temperatuur en druk in de gewenste vorm worden geperst) en heeft een iets lager loodgehalte (ongeveer 2%). CW617 wordt tegenwoordig ook gebruikt voor verspaning. CW602 heeft een toevoeging van arseen om selectieve ontzinking tegen te gaan, het loodgehalte is ongeveer 2%. CW724 wordt aangeboden als loodvrij messing. Volledig loodvrij is niet mogelijk omdat messing een gerecycled product is, waar in de praktijk verontreiniging met lood in voorkomt (<0,2%). Het gemeten loodgehalte was 0,02%. Lood als verspaningsmiddel is vervangen door silicium, terwijl arseen als ontzinkingsremmer is vervangen door fosfor.

De afgifte van lood, zink en koper in de testopstelling werd 10 maanden lang elke maand of om de twee maanden gemeten na 16 uur stilstand. De analyses werden uitgevoerd door Het Waterlaboratorium met 'Inductively Coupled Plasma-ICP-MS ICAP RQ. De bepaling is gelijkwaardig aan NEN-EN-ISO 17294-2. De rapportagegrens voor lood is 0,2 µg/l. In de grafieken in Figuur 54, Figuur 55, Figuur 56, Figuur 57 zijn de gemeten loodconcentraties gecorrigeerd voor de verdunningsfactor. Het volume van een puntstuk (29,2 ml) gedeeld door het ingeblokt volume (80 ml) geeft een verdunningsfactor van 2,74.

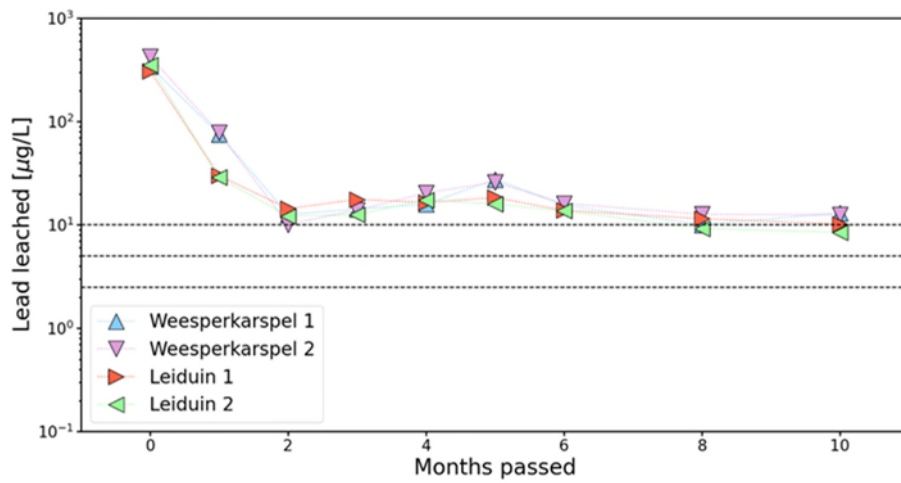
Tabel 11: Dagelijks stromingsschema

Kanaal	Tijd	duur (s)	Volume (l)
1	06:00	120	10
2	06:15	60	5
3	06:30	120	10
4	06:45	60	5
5	07:00	60	5
6	08:00	60	5
7	10:00	60	5
8	12:00	120	10
9	12:15	60	5
10	12:30	60	5
11	14:00	60	5
12	16:00	60	5
13	18:00	120	10
14	18:15	60	5
15	18:30	60	5
16	18:45	60	5
17	20:00	60	5
18	21:00	60	5
19	22:00	60	5
20	23:00	120	10
			125 l/dag

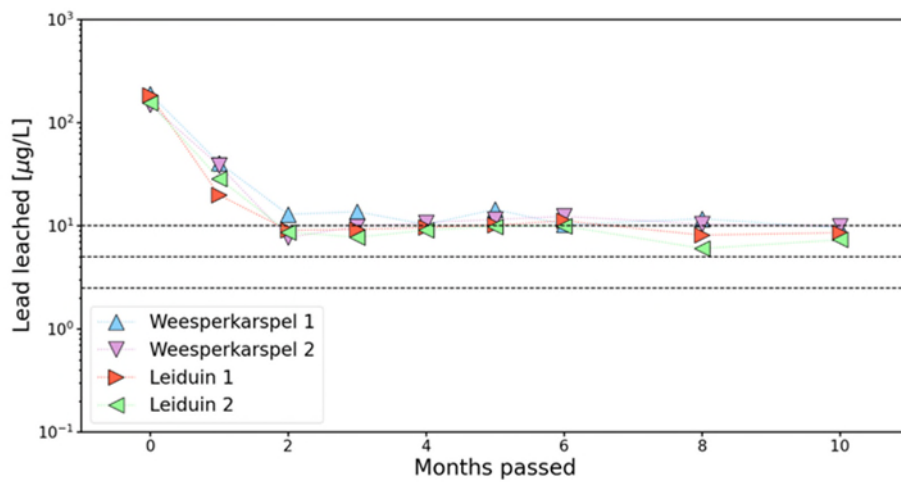
Tabel 12: OES analyse door Element Materials Technology 10-05-2023, weergegeven in gewichtspercentage

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si	Mg	Cr	As	Sb	Cd	S
CW614	54,1	42,69	2,75	0,23	0,009	<0,01	0,15	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,003
CW617	55,9	41,52	2,11	0,25	0,004	<0,01	0,13	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,003
CW602	58,3	39,38	2,11	0,06	0,002	<0,01	0,04	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,01	<0,01	0,004
CW724R	77,5	18,78	0,02	0,01	0,026	<0,01	0,02	<0,01	3,58	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,004

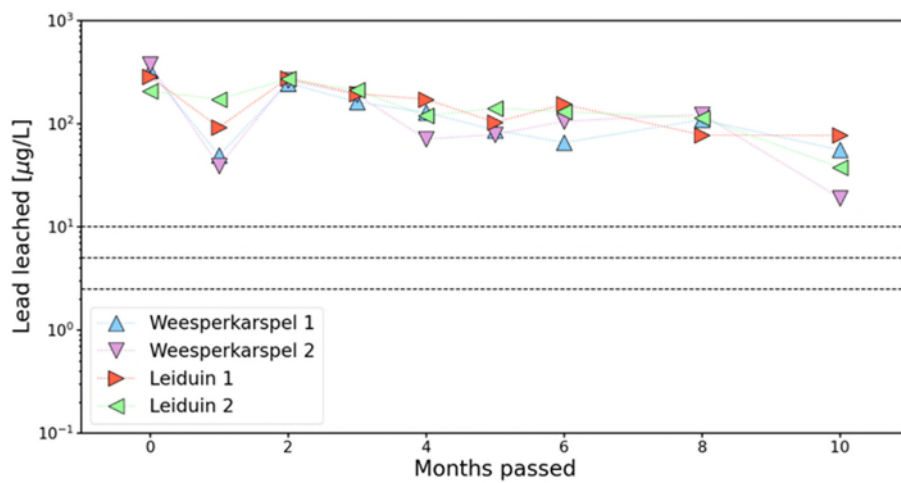
In het algemeen laten de metingen overeenstemming zien tussen de duplo's en tussen de twee watertypes (productielocaties Weesperkarspel en Leiduin). De loodconcentratie (niet getoond) in de referentiestrengen met PVC-U in plaats van een messing puntstuk was meteen vanaf het begin laag en gemiddeld lager dan 1 µg/l. De eerste metingen (16 uur stilstand na ongeveer 4 uur doorstroming direct na het installeren van de puntstukken) voor CW614, CW617 en CW602 waren hoog (>100 µg/l). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het op de kristalgrenzen van het messing aanwezige lood na bewerking in de draaibank is uitgesmeerd over het metaaloppervlak waardoor het contactoppervlak hoog is. Voor CW614 en CW617 daalde de loodafgifte sterk tijdens de eerste twee maanden en bleef daarna stabiel rond de 10 µg/l. Voor CW602 daalde de loodafgifte ook in de eerste maand, maar nam daarna weer toe. De loodafgifte nam daarna langzaam af, maar bleef hoger dan 10 µg/l, veel hoger dan CW614 en CW617. De loodafgifte van CW724 was direct aan het begin al veel lager, net boven de 5 µg/l. Dit nam verder langzaam af tot < 3 µg/l.



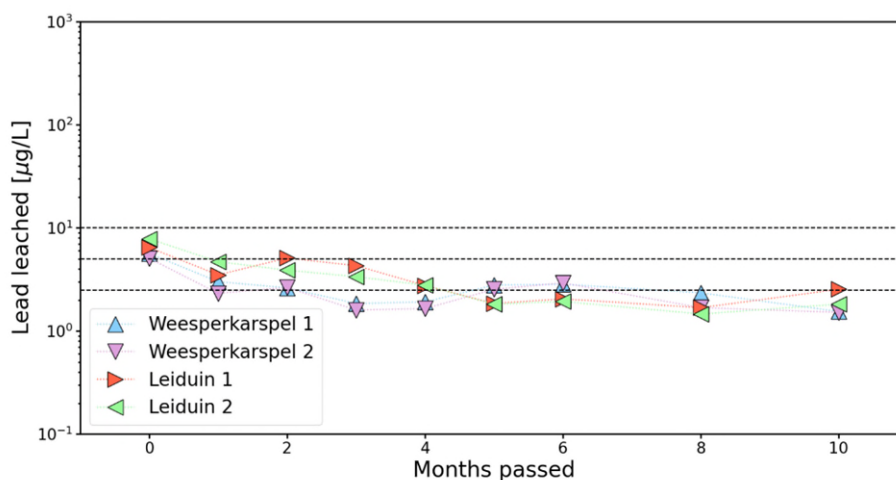
Figuur 54: Afgegeven loodconcentraties na 16 uur stilstand en aantal maanden conditionering bij CW614.



Figuur 55: Afgegeven loodconcentraties na 16 uur stilstand en aantal maanden conditionering bij CW617.



Figuur 56: Afgegeven loodconcentraties na 16 uur stilstand en aantal maanden conditionering bij CW602.



Figuur 57: Afgegeven loodconcentraties na 16 uur stilstand en aantal maanden conditionering bij CW724R.

Bij dit onderzoek en huidige analyse blijven er nog vragen over. Wat betekenen de resultaten voor beslissingsvorming? Moet de gemeten concentratie van een bepaalde messingsoort onder een waarde van 2,5 µg/l (na correctie voor verdunning) blijven. Bovendien de huidige opstelling is geen normopstelling. Dus hoe kunnen de resultaten hierin in de context van de normopstelling bij KIWA geplaatst worden. De appendage in dit geval is ingeblokkt in tegenstelling tot de praktijk.

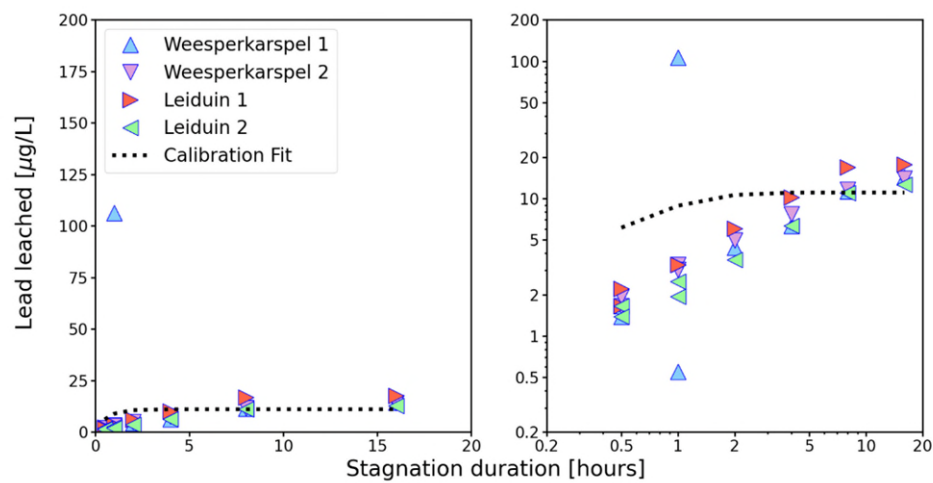
Na drie maanden inlooptijd werden verzadigingscurves gemaakt met stilstandtijden van 30 minuten (duplometing), 1 uur (duplometing), 2, 4, 8 en 16 uur. De gemeten waarden zijn gecorrigeerd voor de verdunningsfactor. De curves zijn zowel lineair (links) als logaritmisch (rechts) weergegeven in Figuur 58, Figuur 59, Figuur 60, Figuur 61. De meetreeks voor CW614 (Weesperkarspel) heeft uitbijters na een stilstand van 1 uur. Bij deze metingen waren ook de koper- en zinkconcentraties afwijkend. De oorzaak is onbekend. Hierdoor wijkt de fit (stippellijn) af. Voor CW614 en CW617 lopen de loodconcentraties exponentieel op (bij benadering lineair in de rechter grafieken) en bereiken na 8 uur een plateauwaarde van ongeveer 10 µg/l. Voor CW602 lopen de loodconcentraties ook exponentieel op, maar bereiken na 16 uur nog geen plateauwaarde. Naar schatting zou de plateauwaarden boven de 200 µg/l uitkomen. De verzadigingscurve voor CW724 heeft een plateauwaarden van ongeveer 2 µg/l.

VI.IV Conclusies

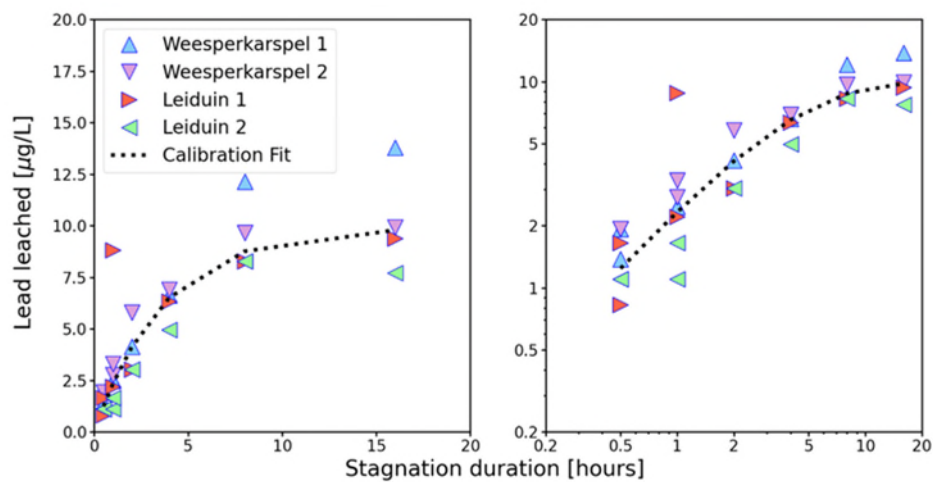
Het onderzoek liet duidelijke verschillen zien tussen de messingtypen:

- Voor CW614 en CW617 daalde de loodafgifte sterk tijdens de eerste twee maanden en bleef daarna stabiel rond de 10 µg/l. De verzadigingscurves na drie maanden gaven een plateauwaarde van ongeveer 10 µg/l.
- Voor CW602 daalde de loodafgifte ook in de eerste maand, maar nam daarna weer toe. De loodafgifte bleef veel hoger dan voor CW614 en CW617. De verzadigingscurve na drie maanden gaf na 16 uur stilstand nog geen plateauwaarde. Naar schatting zou de plateauwaarden boven de 200 µg/l uitkomen.
- De loodafgifte van CW724 was direct aan het begin al veel lager, net boven de 5 µg/l. Dit nam verder langzaam af tot < 3 µg/l. De verzadigingscurve na drie maanden had een plateauwaarden van ongeveer 2 µg/l.

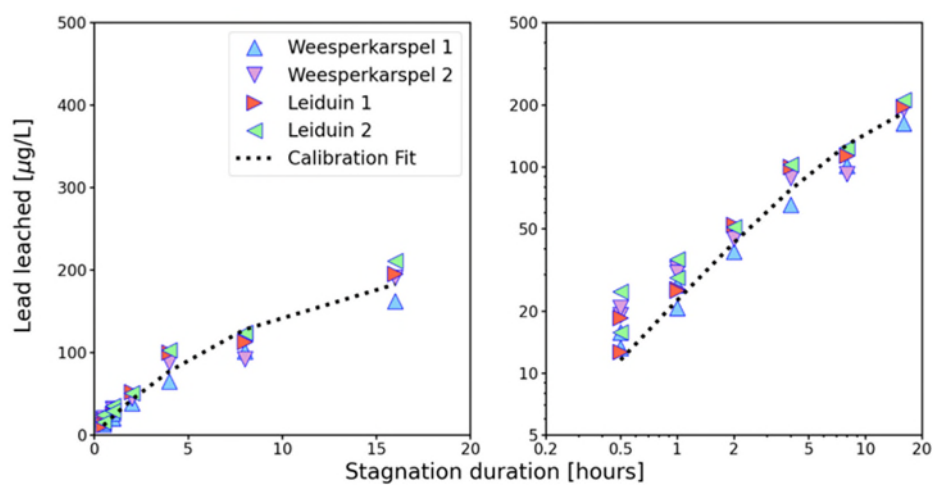
Hoewel het onderzoek niet volgens de testnorm is uitgevoerd, is wel duidelijk dat van de onderzochte messingtypen alleen CW724 binnen de onderzoeksperiode onder de 50% van de norm van 5 µg/l uitkomt.



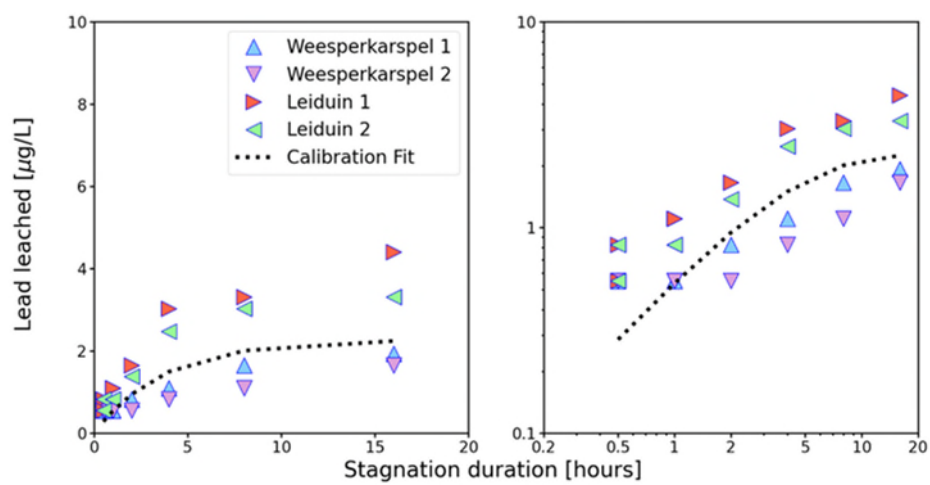
Figuur 58: Verzadigingscurves voor CW614.



Figuur 59: Verzadigingscurves voor CW617.



Figuur 60: Verzadigingscurves voor CW602.



Figuur 61: Verzadigingscurves voor CW724R.

VII Bijlage – Logblad voor profielbemonstering

Type onderdeel en beoogde stilstaand duur:

Datum, tijd vooraf doorspoelen, bemonstering pH/Waterstofcarbonaat/:

Afwijkingen in het uitvoeren van het protocol:

- ☐ Lab-jas en veiligheidsbrillen aan
- ☐ Spoel alle kranen van het HomeWaterLab door
- ☐ Handschoenen aan; Verzamel monster voor waterstofcarbonaat en pH (zonder lucht); **Noteer tijd**; Lever monster in bij de koelkast
- ☐ Gooi oude handschoenen weg; nieuwe handschoenen aan; Verzamel monster voor Chloride en Sulfaat; **Noteer tijd**; Lever monster in bij de koelkast
- ☐ Spoel alle kranen van het HomeWaterLab door; Laat het doorlopen zodat temperatuur gelogd blijft; Noteer tijd laatste kraanbeweging; zet wekker voor 5 uur en 45 minuten later
- ☐ Druk etiketten af met formaat hieronder:
Lood (zonder/met filter)
Blanco/Profiel "XX" L x "YY" monsters (Lam/Turb)
yy/YY, DD-MM-YYYY, HH:MM (ingeschat)
Amitosh Dash
- ☐ Plak etiketten op alle flessen en buizen
- ☐ Stop doorlopende programma na 6 uur, nieuwe handschoenen aan; verzamel monsters in juiste volgorde
- Noteer tijd invullen**
- ☐ Neem monsters in krat naar Technische Laboratorium (schonere omgeving voor bemonstering)
- ☐ Plaats juiste buisjes bij juiste flessen; Doe nieuwe handschoenen aan
- ☐ **Fles goed schudden**
- ☐ Neem een **nieuw** spuit en zuig 25+ ml van monster water
- ☐ Doe **nieuwe** 0.45 micrometer filter aan en spoel filter met 5-10 ml
- ☐ (Met filter meting) Neem **nieuwe** PPE buis en leeg spuit erin (wees geduldig), verwijder filter, plaats het tijdelijk op buis; zuig 25+ ml weer de spuit in, doe filter op en leeg het de buis in
- ☐ (Zonder filter meting – als nodig is) **Schud fles**; Neem **nieuwe** PPE buis en schenk van kleine fles in; dop het af; plak etiket;
- ☐ Gooi rest van het monster water weg in groot jerrycan ("Zware metalen in zure oplossing") en gooi fles, spuit, filter weg
- ☐ Aan het eind van de dag, lever monster buizen in, stuur email naar Nanda, digitaliseer log
- ☐ Aan eind van campagne informeer Nanda

VIII Bijlage – Profielbemonstering log

Tabel 13: Log van de profielbemonstering proeven uitgevoerd in Juni-Juli 2023.

Proef	Tijdstippen bemonstering voor Waterstofcarbonaat/pH en Chloride/Sulfaat	Tijdstippen doorspoelen voor en bemonstering na stagnatie	Aanvullende opmerkingen
Blanco (250 ml × 8) op 30 Juni 2023	08:03 en 08:11	08:22 en ?	– Handschoenen niet veranderd tussen Chloride en Sulfaat bemonstering – Programma 1024, blad 7 ingeladen – Programma gestopt tijdens stagnatie (geen opname van temperatuur) – Overstroming bij de eerste twee monsters wegens fout bij aansturing kraan – Alleen monsters zonder filtering genomen
Profiel (250 ml × 8 – TURB) op 03 Juli 2023	07:47 en 07:48	08:00 en 14:02	– Druppelende lekken bij warme tappunten aanwezig tijdens stagnatie – Programma 1026, blad 8 ingeladen – Monster #8 (met filter) – spuit gefaald waardoor vloeistof van spuit overal is gevlogen met een open monsterfles in de buurt
Profiel (250 ml × 8 – LAM) op 04 Juli 2023	07:45 en 07:46	08:00 en 13:56	– Chloride/Sulfaat fles op vloer gevallen (gesloten) – Programma 1026, blad 9 ingeladen – Druppelende lekken bij warme toestellen aanwezig tijdens stagnatie – Monster #2 (met filter) – spuit gefaald waardoor vloeistof van spuit overal is gevlogen – Grote fluctuaties in volumestroom bij alle monsters – Gewichten monsterflessen (in grams) = 308.62, 302.29, 329.31, 320.08, 313.71, 294.71, 336.62, 330.57; Lege fles = 39.77 g
Profiel (100 ml × 20 – TURB) op 05 Juli 2023	09:49 en 09:50	09:57 en 16:15	– Dop van fles 4 op vloer gevallen – andere genomen – Monsters zonder filter #3 en #11 met elkaar gewisseld tijdens bemonstering – geïnformeerd aan laboratorium – Programma 1026, blad 10 ingeladen – Gewichten monsterflessen (in grams) = 173.77, 188.79, 188.00, 178.01, 177.21, 178.85, 174.21, 176.70, 177.72, 188.23,

Proef	Tijdstippen bemonstering voor Waterstofcarbonaat/pH en Chloride/Sulfaat	Tijdstippen doorspoelen voor en bemonstering na stagnatie	Aanvullende opmerkingen
			175.04, 176.34, 178.21, 179.17, 178.83, 176.18, 189.16, 177.12, 189.47, 188.33
Profiel (500 ml × 4 – TURB) op 07 Juli 2023	07:27 en 07:28	07:30 en 13:29	– Opstelling aangeraakt tijdens stilstand – Programma 1026, blad 7 ingeladen – Beetje verspilling tijdens schudden van monster #3 (dop niet perfect gesloten) – Gewichten monsterflessen (in grams) = 597.05, 603.45, 607.82, 618.09; Lege fles = 62.83 g
Profiel (1000 ml × 2 – TURB) op 11 Juli 2023	07:58 en 07:59	08:00 en 13:56	– Programma 1026, blad 6 ingeladen – Beetje verspilling tijdens schudden van monster #1 (dop niet perfect gesloten) – Gewichten monsterflessen (in grams) = 1130.6, 1138.6; Lege fles = 93.4 g
Profiel (2000 ml × 1 – TURB) op 12 Juli 2023	08:56 en 08:57	09:00 en 15:06	– Programma 1026, blad 5 ingeladen – Druppeltjes aan het eind van bemonstering verloren – Met filter – drie rondjes invullen, tussen eerste en tweede spuit veranderd – Gewichten monsterfles (in grams) = 2255.8; Lege fles = 194.2 g

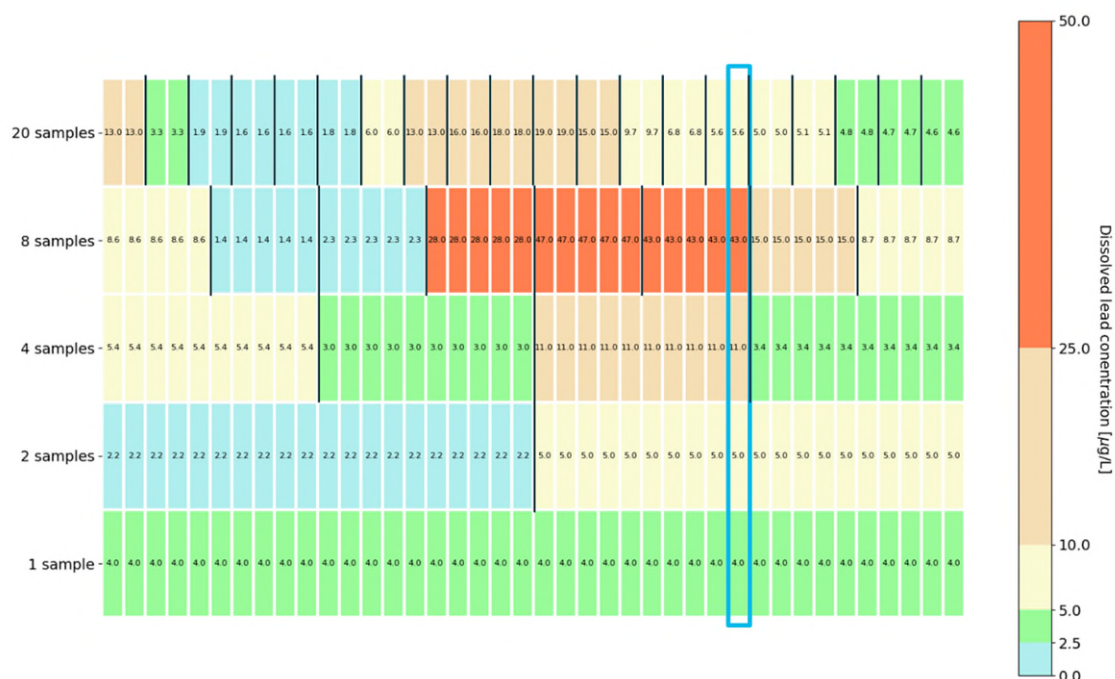
IX Bijlage – Profielbemonstering metingen labanalyse

Tabel 14: Lab analyse van drinkwater monsters (dus geen profielmonsters)

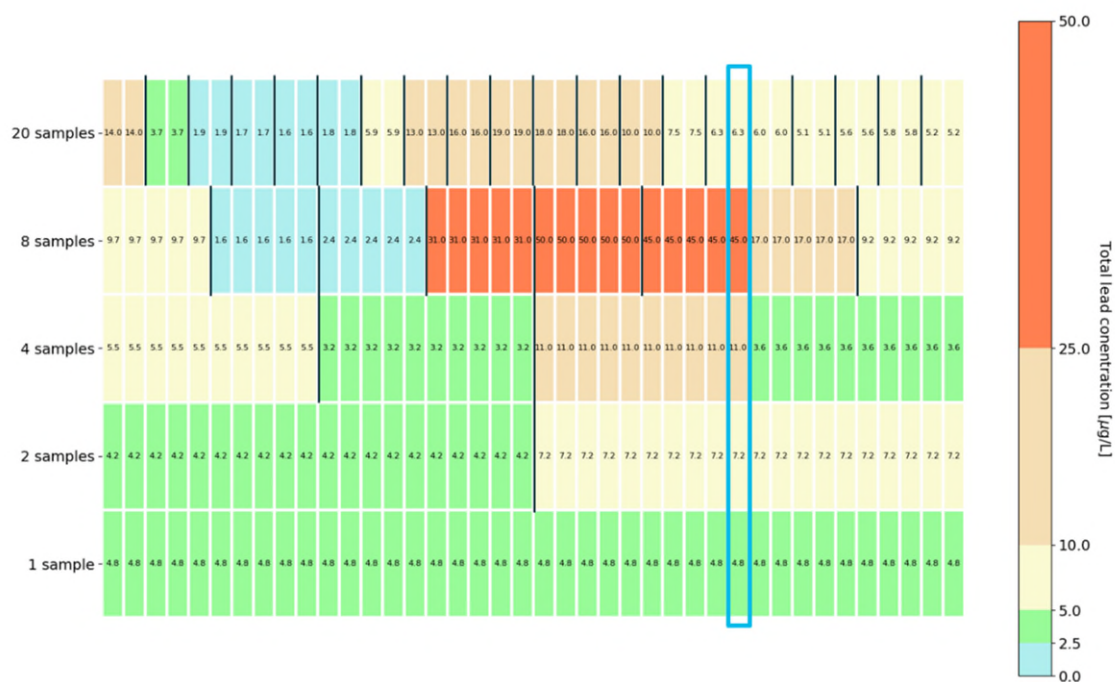
Label	pH (Q)	Waterstofcarbonaat [mg/L]	Chloride [mg/L]	Sulfaat [mg/L]
Blanco	8.1 @ 20.9 graden	160	17	5.4
250 ml × 8 – TURB	8.1 @ 21.2 graden	160	14	6.0
250 ml × 8 – LAM	8.0 @ 20.1 graden	170	9.5	<5
100 ml × 20 – TURB	8.0 @ 19.6 graden	170	9.2	<5
500 ml × 4 – TURB	8.1 @ 19.9 graden	170	8.3	<5
1000 ml × 2 – TURB	8.0 @ 21.9 graden	170	8.3	<5
2000 ml × 1 – TURB	8.0 @ 22.0 graden	170	9.1	<5

Tabel 15: Lab analyse van monsters verzameld tijdens profielbemonstering.

Label	Gemeten opgeloste Lood [µg/L]	Gemeten totaal Lood [µg/L]
Blanco	-	8.5, 1.0, 0.82, 0.84, 0.71, 0.68, 0.70, 0.72
250 ml × 8 – TURB	8.6, 1.4, 2.3, 28, 47, 43, 15, 8.7	9.7, 1.6, 2.4, 31, 50, 45, 17, 9.2
250 ml × 8 – LAM	8.4, 2.0, 2.8, 15, 23, 19, 10, 6.6	9.5, 2.1, 3.2, 15, 25, 21, 12, 7.6
100 ml × 20 – TURB	13, 3.3, 1.9, 1.6, 1.6, 1.8, 6.0, 13, 16, 18, 19, 15, 9.7, 6.8, 5.6, 5.0, 5.1, 4.8, 4.7, 4.6	14, 3.7, 1.9, 1.7, 1.6, 1.8, 5.9, 13, 16, 19, 18, 16, 10, 7.5, 6.3, 6.0, 5.1, 5.6, 5.8, 5.2
500 ml × 4 – TURB	5.4, 3.0, 11, 3.4	5.5, 3.2, 11, 3.6
1000 ml × 2 – TURB	2.2, 5.0	4.2, 7.2
2000 ml × 1 – TURB	4.0	4.8



Figuur 62: Opgeloste loodconcentraties aangetroffen in de monsters. Elk blok in de figuur is gelijk aan 50 ml. Er zijn veertig blokken per regel. De zwarte lijnen onderscheiden de monsters. Het blauwe vierkant is de verwachte locatie van het loden stuk op basis van de aanname van propstrooming. Bij deze grafiek is er geen correctie gedaan voor afwijking in water uitgestroomd in vergelijking met verwachte hoeveelheid (wegens imperfecte aansturing van kranen in het HomeWaterLab).



Figuur 63: Totale loodconcentraties aangetroffen in de monsters. Voor een uitleg bij de figuur, zie Figuur 62.

X Bijlage – Overige analyses profielbemonstering

X.1 Functionering aansturing HomeWaterLab tijdens profielbemonstering

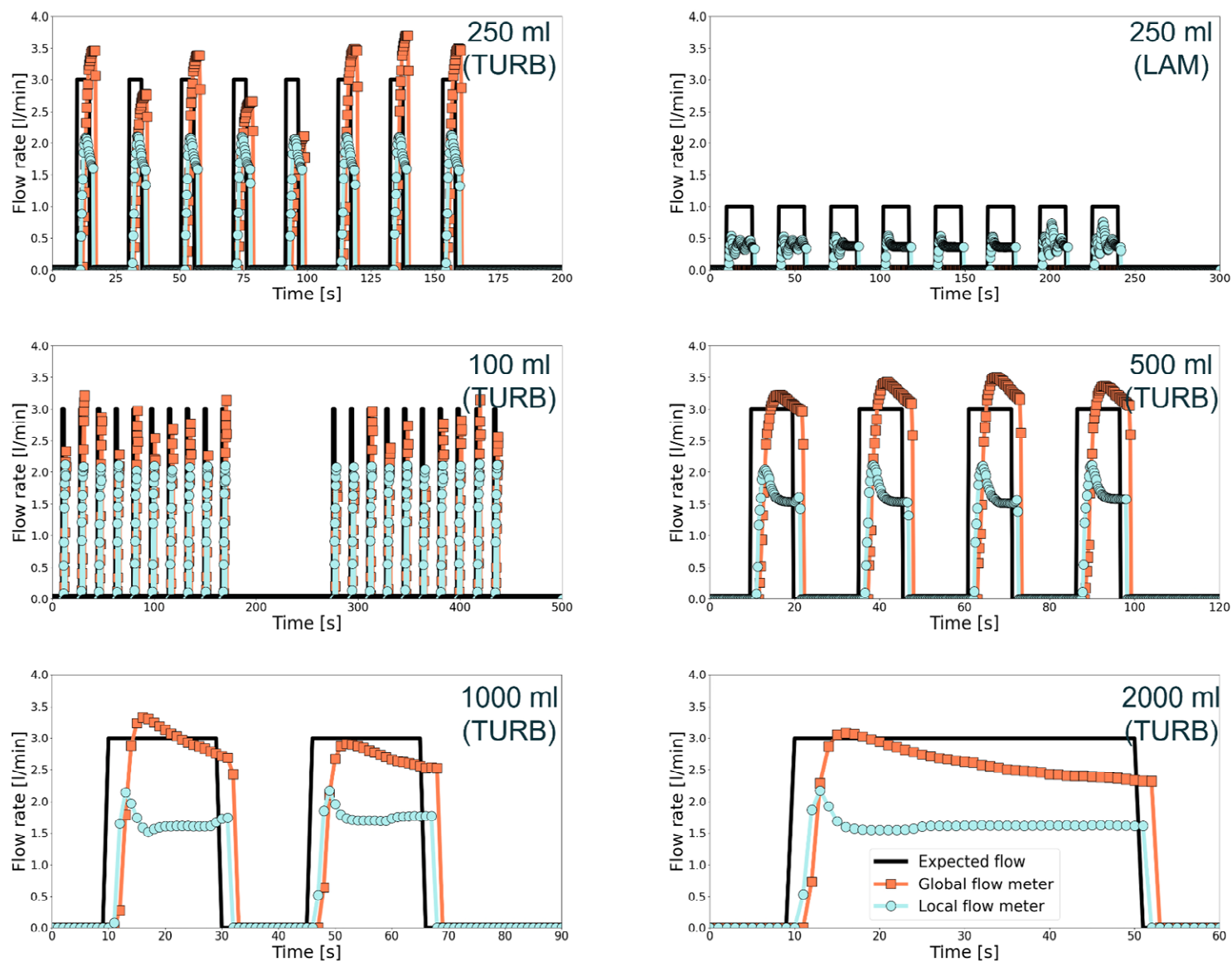
De resultaten van de profielbemonstering zouden ook gebruikt kunnen worden om het functioneren van de aansturing van het HomeWaterLab te beoordelen, dat wil zeggen hoe de kranen reageren op de inputwaarden. Deze reactie kan verder op twee aspecten beoordeeld worden: het dynamische aspect (hoe reageren de kranen als functie van tijd, qua dynamiek) en het integrale aspect (hoeveel water stroomt uit de kranen). Soortgelijke proeven zijn reeds uitgevoerd tijdens de acceptatietesten [11].

In Figuur 64 zijn de resultaten van de dynamische aspecten weergegeven. Voor elke profielbemonsteringproef is het volgende weergegeven: verwachte gedrag van de kraan (zwarte doorgetrokken lijn), volumestroom gemeten door de globale flowmeter voor koud water (rode vierkanten), en volumestroom gemeten door de lokale flowmeter (blauwe cirkels). De volgende zaken zijn waargenomen:

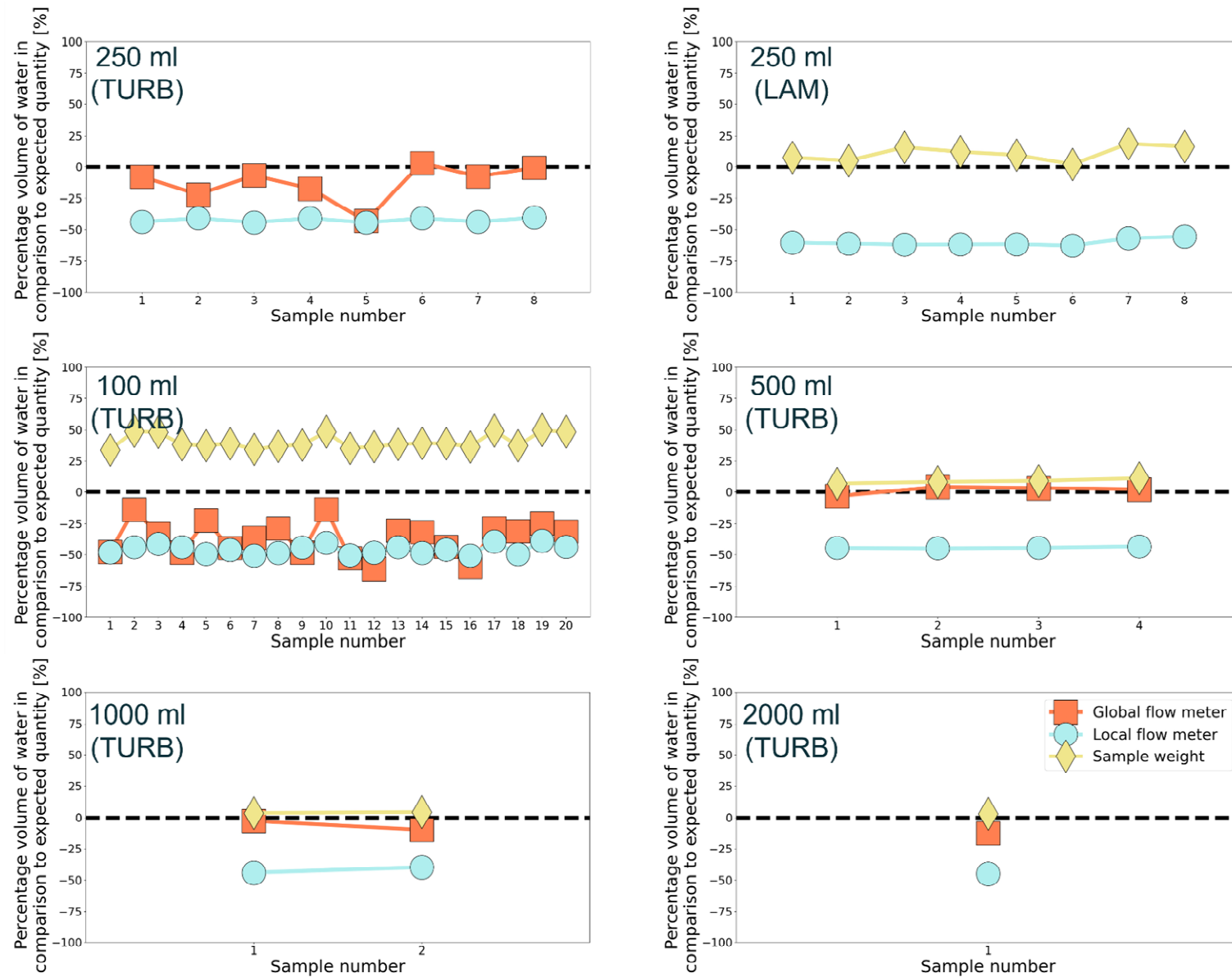
1. De volumestromen gemeten door de lokale flowmeter zijn vaak een stuk lager dan de verwachte waarden. Vaak ziet men een plotselinge stijging tijdens het inschakelen van de kraan waarna de volumestroom geleidelijk daalt naar een plateauwaarde (beter zichtbaar bij profielen met hogere volumes).
2. De volumestromen gemeten door de globale flowmeter zijn meestal hoger dan de volumes gemeten door de lokale flowmeter. Uitzonderingen zijn soms zichtbaar in de profielbemonstering van 100 ml (TURB). Bij het voorbeeld van 250 ml (LAM) is er zelfs geen volumestroom gemeten door de globale flowmeter. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de kranen op deze lage volumestromen niet stabiel functioneren (schommelingen in volumestroom totdat er na een aantal minuten stabiliteit heerst) en dat de globale flowmeter geen waarde registreert³⁰. Vaak ziet men een stijging (minder abrupt dan bij de lokale flowmeter) tijdens het inschakelen van de kraan, waarna de volumestroom geleidelijk daalt. In geen van de voorbeelden is er een plateauwaarde waargenomen.
3. Er treden ook kwalitatieve verschillen op tussen de gemeten volumestromen. Een voorbeeld: bij het derde monster in de profielbemonstering 250 ml (TURB) daalt de volumestroom bij de lokale flowmeter, terwijl de volumestroom bij de globale flowmeter nog stijgt.
4. Er zijn verschillen in de gemeten volumestromen tussen de verschillende monsters van dezelfde reeks onderling. Dit geldt vooral voor de globale flowmeter, terwijl de waarden gemeten door de lokale flowmeter iets consistentier zijn.

In Figuur 65 zijn de resultaten van de integrale aspecten weergegeven. Voor elke profielbemonsteringproef is het volgende weergegeven: uitgestroomd volume water ingeschat op basis van de globale flowmeter voor koud water (rode vierkanten), uitgestroomd volume water ingeschat op basis van de lokale flowmeter (blauwe cirkels), en uitgestroomd volume water op basis van gewicht van monster (gele ruiten). De waarden zijn uitgedrukt als percentage afwijking van het verwachte uitgestroomd volume water. Bij 250 ml (TURB) zijn de monsters niet gewogen. De volgende zaken zijn waargenomen:

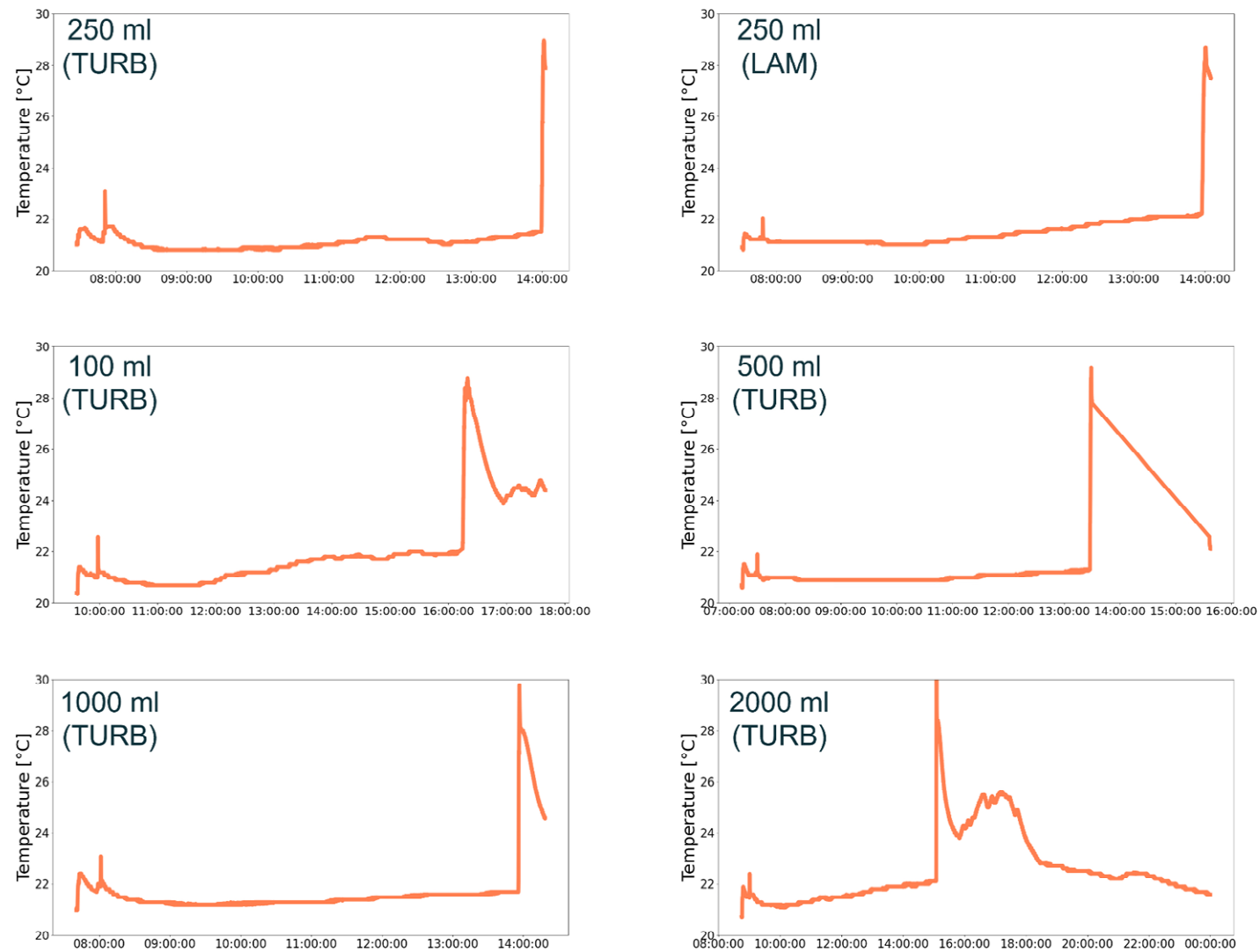
³⁰ Tijdens de acceptatietesten met regelbare kranen zijn de testen meestal op de maximale volumestroom (10 l/min) uitgevoerd.



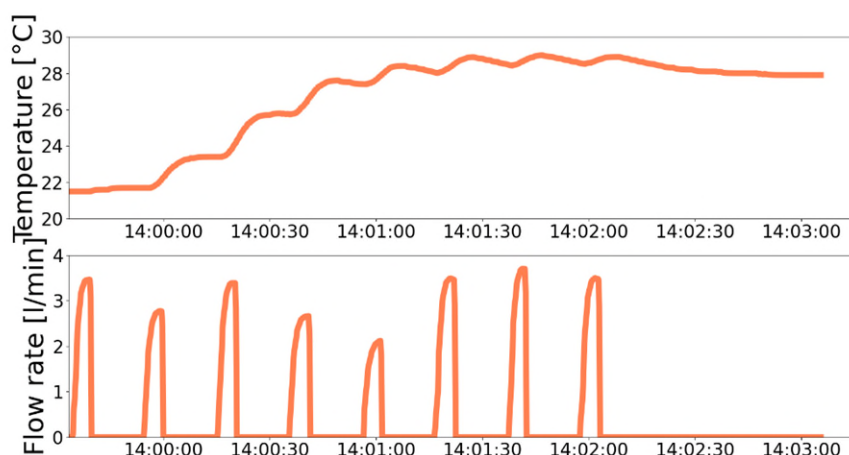
Figuur 64: Volumestromen gemeten door globale en lokale flowmeters bij de proeven met profielbemonstering, inclusief de afwijking van de verwachting.



Figuur 65: Afwijking in gemeten volume per monster in het profiel.



Figuur 66: Gemeten temperatuur op de dag van elk van de experimenten met profielbemonstering. De opvallende stijging in temperatuur is gemeten tijdens het uitvoeren van profielbemonstering na langdurige stagnatie.



Figuur 67: Temperatuur (boven) en volumestroom (beneden) in het systeem tijdens het uitvoeren van profielbemonstering reeks 250ml × 8 (turbulente omstandigheden).

1. Het totale uitgestroomde volume water op basis van de lokale flowmeter is vaak 50% lager dan de verwachte waarden. Dit is geen verrassing gezien de resultaten in Figuur 64. De relatieve afwijking van de verwachte waarde is onafhankelijk van de grootte van het monstervolume.
2. Het totale uitgestroomde volume water op basis van de globale flowmeter komt dichterbij de verwachte waarden (vergeleken met de lokale flowmeter), maar is meestal lager dan de verwachte waarde. De schommelingen in de profielen voor de globale flowmeter zijn iets sterker dan voor de lokale flowmeter (vooral bij 250 ml (TURB) en 100 ml (TURB)). De relatieve afwijking van de verwachte waarde wordt kleiner met toenemende grootte van het monstervolume.
3. Het totale uitgestroomde volume water op basis van metingen op de weegschaal komt dichterbij de verwachte waarden (vergeleken met de lokale flowmeter), maar is meestal hoger dan de verwachte waarde. De schommelingen in de profielen zijn minder sterk dan voor de globale flowmeter. De relatieve afwijking van de verwachte waarde wordt kleiner met toenemende grootte van de monstervolume. De daadwerkelijke monstervolumes voor grotere monsters komt dichterbij in de buurt van de verwachting in vergelijking met kleinere monsters.

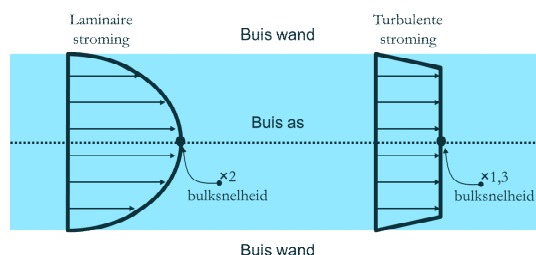
Naast de metingen van de volumestroom is er ook gekeken naar de gemeten temperatuur tijdens de experimenten. Tijdens het hele proces (doorspoelen van kranen, bemonstering voor pH/chloor/sulfaat, langdurige stagnatie, profielbemonstering) blijft de opstelling aan staan, waardoor er continu temperatuur wordt gemeten. Voorbeelden zijn in Figuur 66 weergegeven. Voor het grootste deel van de meetdag ligt de gemeten temperatuur in de buurt van 22 graden, maar in elk van de zes experimenten treedt een plotselinge stijging op naar 29 graden. Deze plotselinge stijging is gemeten tijdens het aanvangen van de profielbemonstering. Na afloop van de bemonstering treedt een geleidelijke daling op in de gemeten temperatuur. In Figuur 67 is ingezoomd op dit gedrag bij het experiment met 250 ml (TURB). De gemeten temperatuur stijgt stapsgewijs met het profiel. De oorzaak hiervan is onduidelijk en moet verder onderzocht worden³¹.

X.II Invloed van stromingsregime

Bij de proef waarin acht monsters van 250 ml verzameld zijn twee varianten uitgevoerd: een hogere en lagere volumestroom. De twee types volumestromen leiden ook tot twee typen stromingsregiem (laminair bij een lagere volumestroom en turbulent bij een hogere volumestroom). Deze twee typen stroming hebben typische snelheidsprofielen zoals weergegeven in Figuur 68. Bij een laminaire stroming heeft het profiel de vorm van een

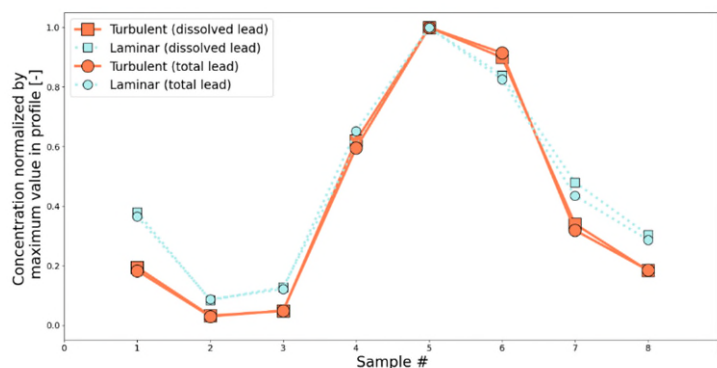
³¹ Tijdens deze proeven heeft de boiler aan gestaan. Dit zou wellicht een oorzaak kunnen zijn.

parabool met een maximale snelheid in het midden (twee keer zo hoog als de bulksnelheid). Bij een turbulente stroming is de snelheidsprofiel meer afgevlakt. De maximale snelheid in het midden is 1,3 keer zo hoog als de bulksnelheid. De verschillen in de snelheidsprofielen zullen ook tot verschillende patronen in het verspreiden van een stof leiden. Zo zal een stof dichterbij de wand langzamer worden getransporteerd dan materiaal dichterbij de as.



Figuur 68: Schematische weergave van snelheidsprofielen in een buis onder laminaire en turbulente omstandigheden. De bulksnelheid is de volumestroom gedeeld door de doorsnede van de buis. De snelheid bij de as is ook weergegeven.

In Figuur 69 ziet men de concentratieprofielen voor de twee proeven. De concentraties zijn genormaliseerd op basis van de gemeten piekconcentratie³² in het profiel. Er zijn slechts kleine verschillen zichtbaar tussen de profielen voor laminaire en turbulente stroming. De piek bij turbulente stroming is iets smaller en onder laminaire omstandigheden is er een langere staart na de piek zichtbaar. Deze staart is wellicht het gevolg van het laminaire snelheidsprofiel dat een sterke variatie in de doorsnede van een buis heeft. Deze waarneming is gebaseerd op één meting. Het uitvoeren van meer van zulke metingen is nodig om het effect van het stromingsregime vast te stellen.

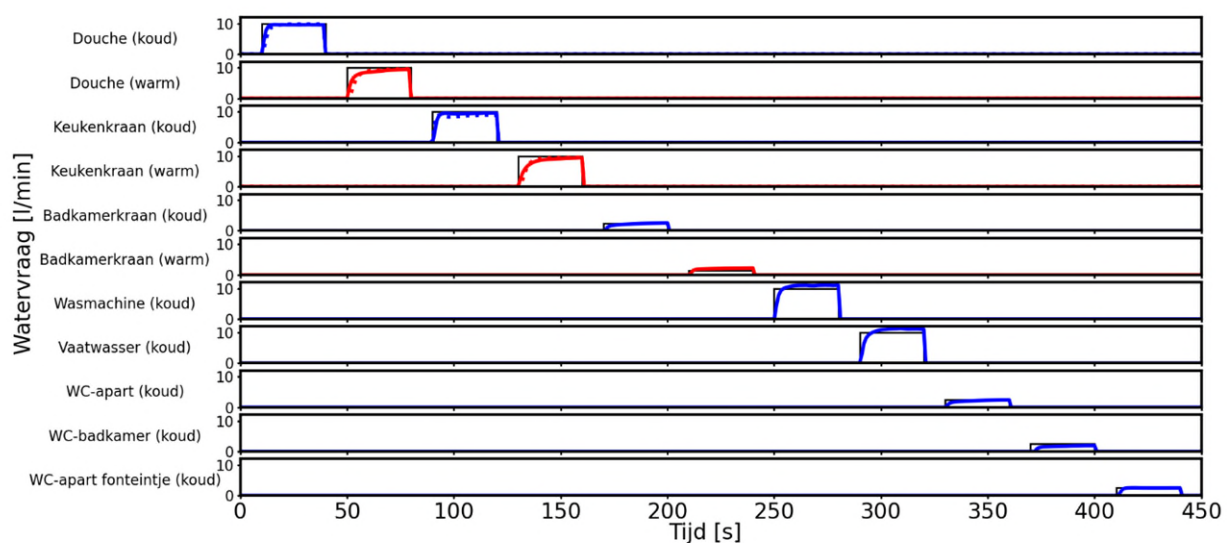


Figuur 69: Concentratieprofielen voor de profielen met 8 monsters van 250 ml bij twee type stromingsregime.

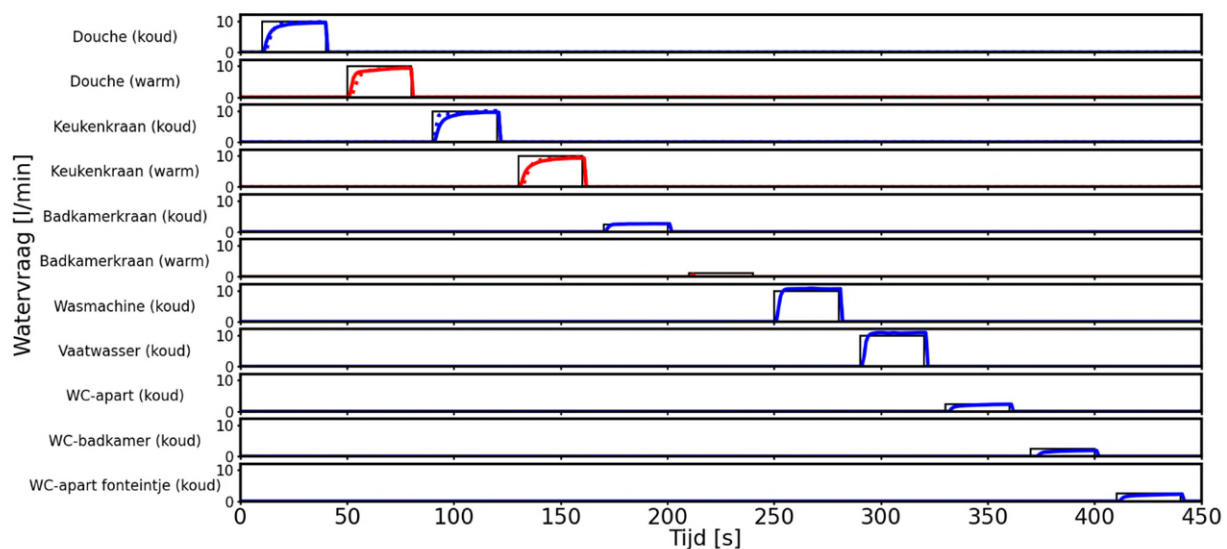
³² Gemeten piekconcentraties bij de proef met turbulente stroming zijn respectievelijk 47 µg/L en 50 µg/L voor opgelost en totaal lood. Bij de proef met laminaire stroming zijn de bijbehorende waarden respectievelijk 23 µg/L en 25 µg/L.

XI Bijlage – Voorbeeld van een acceptatietest

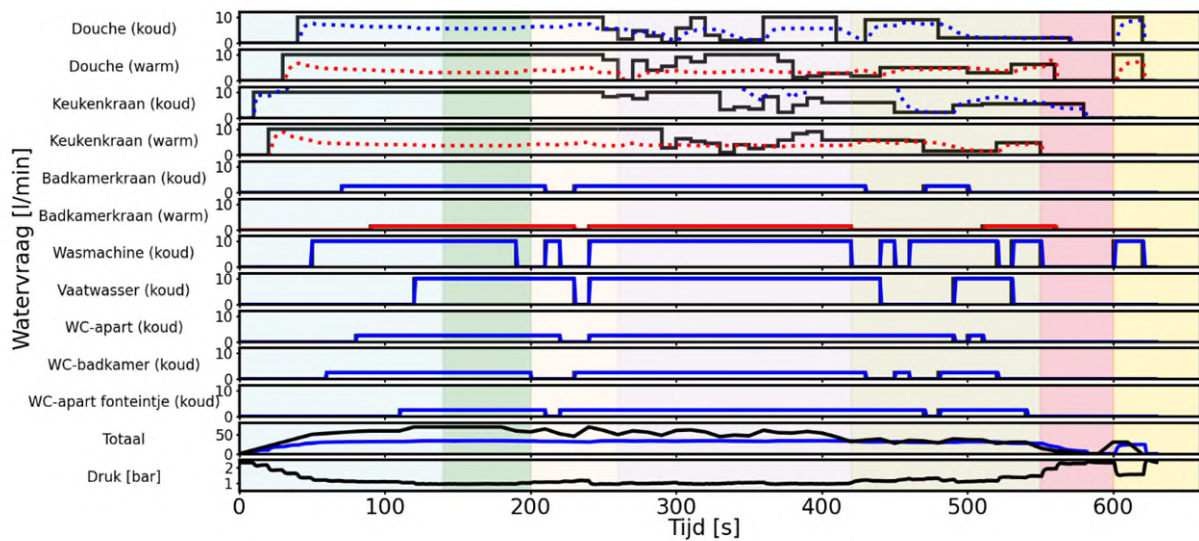
In deze bijlage zijn een aantal figuren gepresenteerd waarmee er vastgesteld wordt of het systeem goed genoeg functioneert of niet. Zulke testen moeten voor het aftrappen van belangrijke meetcampagnes uitgeprobeerd worden om ervoor te zorgen dat er tijdens de experimenten geen verrassingen van de aansturing verschijnen. De verschillende testen zijn hier niet uitgelegd en uitleg daarvan zijn elders te vinden [11]. Figuur 70 en Figuur 71 vertegenwoordigen een geslaagde en mislukte acceptatietest respectievelijk. In Figuur 72, Figuur 73, Figuur 74, Figuur 75 en Figuur 76 vindt men andere voorbeelden van de geslaagde acceptatietest.



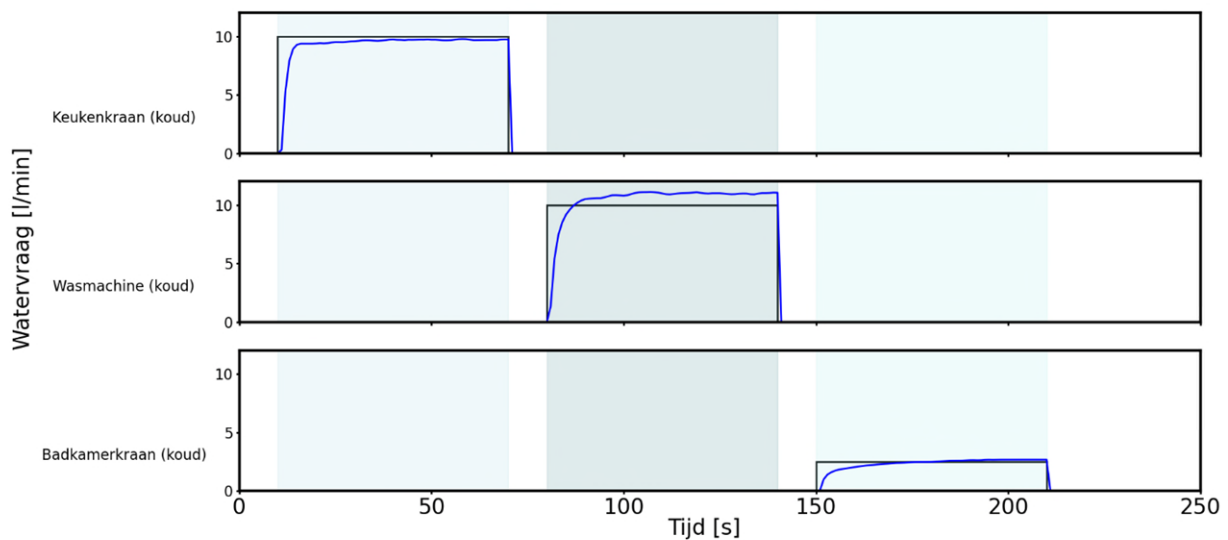
Figuur 70: Proef waarbij elke kraan een voor een open wordt gemaakt. Bij elke kraan is de zwarte lijn de gewenste gedrag. De doorgetrokken lijnen zijn de volumestromen gemeten door een globale flowmeter en de gestippelde lijnen zijn de volumestromen gemeten door de bijbehorende lokale flowmeters (slechts bij de regelbare tappunten – douche en keukenkraan).



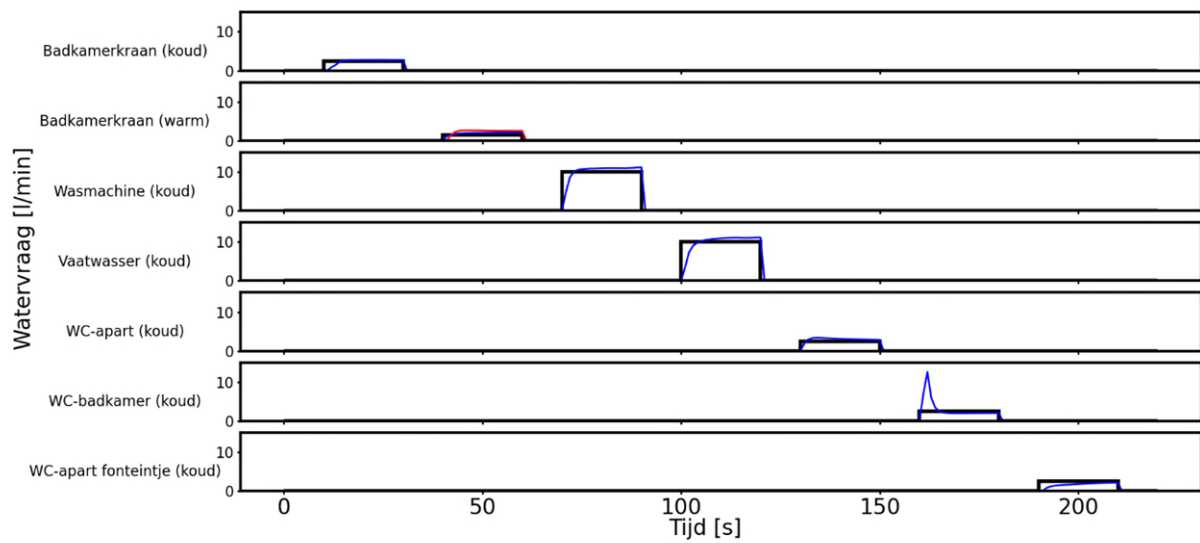
Figuur 71: Dezelfde als Figuur 70 maar een proef waarin het vastgesteld is dat de badkamerkraan voor warmwater niet goed genoeg functioneert.



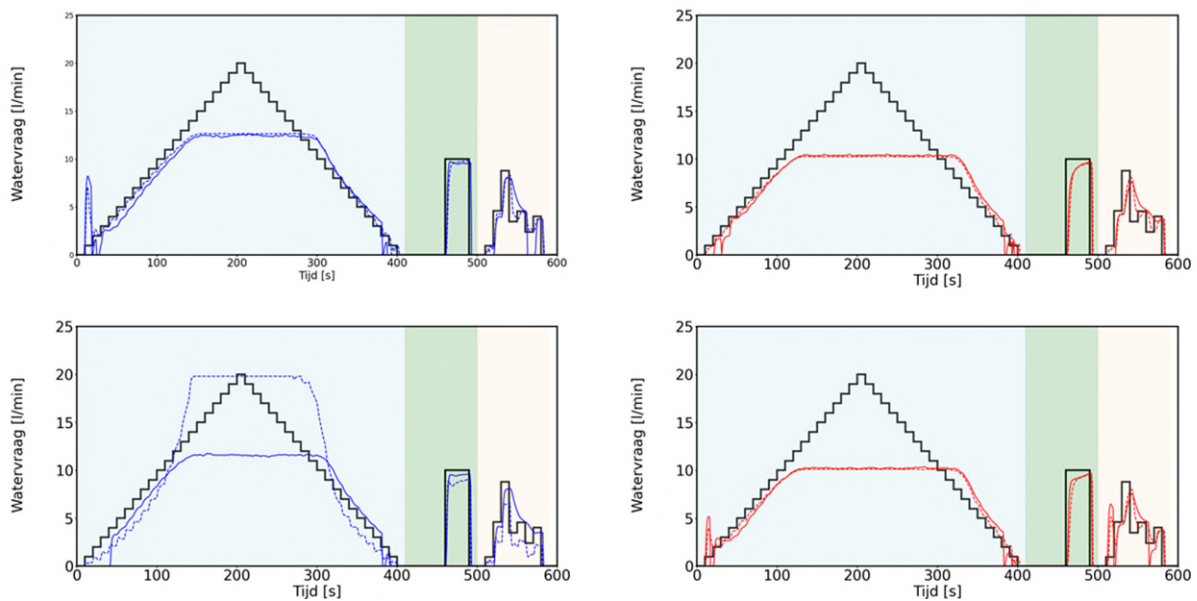
Figuur 72: De zwarte lijn (in alle grafieken behalve de onderste) geeft gewenste watervraag aan, doorgetrokken lijn geeft status van kranen aan (binaire tappunten). De onderste grafiek geeft de drukmeting weer. De druk kan zo laag als 1,1 bar worden (ca. 50% verlies van systeemdruk) op momenten dat (bijna) alle tappunten actief zijn. Er zijn 8 fasen, of "gebieden" (achtergrondkleuren). Gebied 1 – stapsgewijs openen van alle tappunten, eerst de regelbare dan de binaire. Gebied 2 – Alles open. Gebied 3 – Willekeurig in- en uitschakelen van binaire kranen. Gebied 4 – Willekeurig aanpassen van volumestroom bij regelbare tappunten. Gebied 5 – Willekeurige manipulatie van binaire en regelbare tappunten. Gebied 6 – Geleidelijk uitzetten van alle kranen. Gebied 7 – Tegelijkertijd aandraaien van drie kranen. Gebied 8 – Beëindigen. Tijdens manipulatie is er opgelet dat er tegelijkertijd maximaal drie manipulaties plaatsvinden om waterslag te vermijden.



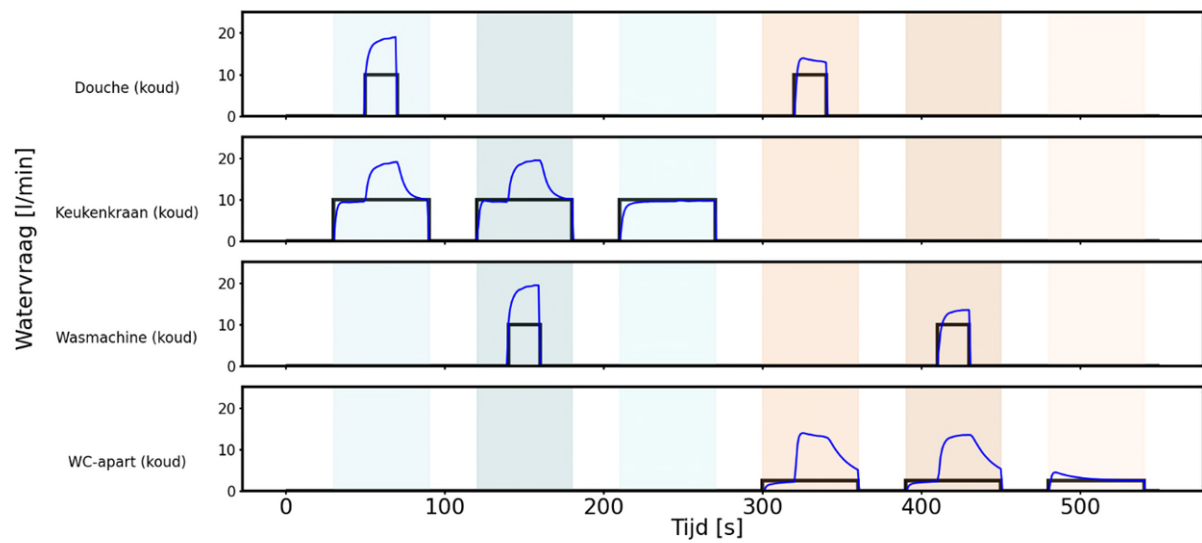
Figuur 73: De zwarte lijn is de gewenste volumestroom bij de kraan. De blauwe lijn is volumestroom gelezen door hoofd-flowmeter die de totale koudwaterstroom meet. Drie testen van boven naar beneden: Regelbaar tappunt, binaire tappunt met hoge volumestroom, binair tappunt met lage volumestroom. De achtergrondkleuren zijn bedoeld om de drie afsluitingen te accentueren.



Figuur 74: De zwarte lijn is de verwachte volumestroom van de kraan. De blauwe lijn is de volumestroom gelezen door de hoofd-flowmeter (totale koudwaterstroom).



Figuur 75: Testen voor de vier regelbare kranen. (Linksboven) Douche – koud (Rechtsboven) Douche – warm (Linksonder) Keukenkraan – koud (Rechtsonder) Keukenkraan – warm. Zwarte lijn zijn de ingevoerde waarden. Doorgetrokken blauwe/rode lijn is volumestroom gelezen door globale flowmeter. Gestippelde blauwe en rode curves zijn de volumestroomwaarden gelezen door lokale flowmeter van regelbare kraan.



Figuur 76: De zwarte lijn is de verwachte volumestroom van de kraan. De blauwe lijn is de volumestroom gelezen door de hoofd-flowmeter (totale koudwaterstroom). De achtergrondkleuren zijn bedoeld om de drie afsluitingen te accentueren.

XII Bijlage – Praktische leerpunten van de voorbereiding en uitvoering van meetcampagne in het HomeWaterLab

In 2022 is het bouw van het HomeWaterLab afgerond. Als onderdeel van afronding van het bouw is er een acceptatietest uitgevoerd. De acceptatietest bevat een aantal onderdelen – vaststellen van aanwezigheid gewenste onderdelen en testen van functionaliteit van de opstelling. Details van de testen zijn in het bijbehorende rapport samengevat [11]. De eerste reeks van proeven waren gehinderd door een aantal problemen met de aansturing en een onvolledige begrip van de inputbestanden. Een voorbeeld van een acceptatietest uitgevoerd in November 2023 is in Bijlage te zien. Oplossingen zoeken hiervoor heeft tot een vertraging geleid in het uitvoeren van metingen.

Hieronder zijn een aantal leerpunten verzameld:

- Omdat het voordelig is om zoveel mogelijk monsters in één klap te verzamelen en bij het laboratorium laten analyseren, is er gekozen om de metingen in twee reeks uit te voeren – één voor profielbemonstering en één voor proportionele bemonstering. Elke reeks mag niet langer dan 28 dagen lopen (maximaal houdbaarheid van een lood monster). Het is dus belangrijk om de tijdlijn van experimenten goed in de gaten te houden (vooral ten opzichte van vakanties en andere werk waarvoor beschikbaarheid beperkt wordt). Daarnaast is het belangrijk om collega's van de werkplaats en het laboratorium op de hoogte te houden. Het is ook handig (vooral voor proportionele bemonstering) bij de Facilitaire Dienst om te checken of er geplande werkzaamheden zijn waardoor er in het proefhal geen stroom/water zal zijn.
- Het gekozen stuk van lood is bij de ingang van de opstelling gemonteerd. Het loden stuk krijgt zijn eigen leiding en route met behulp van twee driewegkranen. Zie Figuur 77.
- Tijdens de acceptatietesten is er gemerkt dat lekken bij warmwatertoestellen plaatsvinden (wegens warmte uitzettingscoëfficiënt verschillen tussen de messing kranen en PVC-leidingen). Dus, er is gekozen om een andere materiaal te gebruiken bij de warmwatertoestellen. Daarbovenop is er gekozen om de boiler niet te gebruiken voor de proportionele bemonstering metingen – zodat er minder lekken zijn en ook zodat de boiler niet gemodelleerd moet worden. Zie Figuur 78.
- Voor de proportionele bemonstering zijn de vooraf beschikbare kranen gebruikt [20]. De kranen nummers 1, 2, 3, 5, 10 zijn gebruikt omdat ze allemaal $<0,10 \mu\text{g/L}$ lood afgaven. Het laboratorium heeft opgemerkt "Hetgeen wat mij opviel bij het spoelen van de kranen is dat niet alle monsternamenpunten gelijkwaardig lijken door te lopen. Sommige druppelen onder wat meer druk van water en anderen geven een straal, mogelijk zijn niet alle gaatjes helemaal gelijk". Een mogelijke verklaring hiervoor vanuit de werkplaats is dat niet alle kranen precies hetzelfde zijn gemaakt. Als er vervuiling het water is, kan het ook verstopping veroorzaken bij de kranen. De oriëntatie van de onderdelen in de kranen zijn aangepast zodat ze minder in de weg komen. Het is belangrijk om de proportionele monsternamenkranen netjes in de collectiebuis te plaatsen om spettering te verminderen. Zie Figuur 79.
- Tijdens de voorbereiding van de proeven zijn een aantal afwijkingen bij het functioneren van de kranen waargenomen. Zie Figuur 80.
 - Bij de keukenkraan voor koud water is soms de volumestroom gemeten door de lokale flowmeter hoog terwijl er niets stroomt. Dit is ook de bron van het probleem geweest tijdens de blanco-meting voor de profielbemonstering die tot een overstroming heeft geleid. Dit probleem is niet opgelost. Echter bij het plaatsvinden hiervan kan men in de manuele mode de keukenkraan inschakelen om het (tijdelijk) te herstellen.

- In één geval is er gemerkt dat een binaire kraan zeer lage volumestromen gaf. Na verder onderzoek is er achter gekomen dat er vervuiling dichtbij het reduceerplaatje was waardoor het een soort verstopping veroorzaakte.
 - Bij een aantal binaire kranen is een te hoge volumestroom gezien. Er is gemerkt dat er geen reduceerplaatje zat. Waarschijnlijk zijn deze per ongeluk vergeten terug te zetten na werkzaamheden.
 - Er is ook een geval geweest waarin een geen stroming plaatsvond. In dat geval was de binaire kraan gewoon stuk en is opgelost door het vervangen met een andere kraan.
- Software problemen bij het HomeWaterLab: Tijdens het in gebruik nemen van het HomeWaterLab zijn er een aantal problemen tegen gekomen. Zie Figuur 81.
 - In één geval is een modbus (PilotCity.Modbus) bestand automatisch verwijderd waardoor er foutmeldingen verschenen toen er geprobeerd is om de opstelling te draaien. In zo'n geval geeft het HomeWaterLab een alarm.
 - Data gelogd tijdens de experimenten zijn niet op een lokale schijf opslaan maar op een server. De maximaal beschikbare ruimte is 10 GB. Als die ruimte bijna vol is, wordt het niet meer mogelijk om nieuwe inputbestanden te uploaden.
 - Tijdens experimenten worden 43 parameters met een hoge frequentie gelogd. Dit zorgt voor een grote hoeveelheid data. Voor lange experimenten (bijvoorbeeld, proportionele bemonstering) als er een poging is gedaan om alle 43 parameters voor meerder dagen te downloaden, kan er een foutmelding plaatsvinden. Bij zulke gevallen is het aanbevolen om stapwijs 3 á 4 parameters te downloaden. Later kunnen de meerdere bestanden bij elkaar gefuseerd worden (bijvoorbeeld op Python).
 - Tijdens een van de proportionele bemonstering experiment is er gemerkt dat een experiment vroegtijdig is beëindigd. Een teken daarvan was dat Windows op een lock screen was in plaats van de Google Chrome browser waarop alle wordt aangestuurd. Na verder onderzoek is er achter gekomen dat er een Windows update is plaatsgevonden waardoor de PC automatisch is herstart.
 - Hoe moet data verwijderd worden
 - Over het algemeen is het aanbevolen om de opstelling uit te schakelen tijdens langdurige periodes waar het niet wordt gebruikt. Tijdens het verschijnen van de bovengenoemde problemen is er telefonisch contact opgenomen met Catael om een oplossing te zoeken. Soms is er een hotspot gemaakt (bij de werkplaats accesspoint) waardoor de technicus via TeamViewer in kon loggen en het probleem troubleshooten.
- Aantal regels en tijdstappen in inputbestand voor het HomeWaterLab: Om het HomeWaterLab automatisch te draaien is er een Excel-bestand gebruikt als input. Het Excel-bestand is gebouwd van een tabel met meerdere regels en kolommen. Elke kolom vertegenwoordigt elk verbruikspunt. Elke regel vertegenwoordigt een tijdstap. De waarde in de tabel worden gebruikt voor de aansturing van het HomeWaterLab. Aan het begin van het Excel-bestand (voor de tabel) staan twee velden "time step" en "pattern length". Met de eerste wordt de tijdstap tussen elke regel bepaald (bijvoorbeeld 1 s of 10 s of 60 s). Met de tweede wordt de aantal in te lezen regels bepaald. Idealiter, moet de waarde bij "pattern length" gelijk zijn als de aantal regels in de tabel. Als dit cijfer daadwerkelijk hoger is dan de aantal regels, blijft het programma draaien ook nadat de laatste regel is ingelezen. Dit is misbruikt om temperatuur te loggen tijdens langdurige stilstand van profielbemonstering. Na het inlezen van de laatste regel, blijft de "actuele tijdstap" hoger dan de gewenste tijdstap. Zie Figuur 82.
- Tijdens de kerstvakantieperiode is het watertoevoer naar de opstelling uitgeschakeld. Vervolgens is er na de kerstvakantie de opstelling in dienst genomen na de kerstvakantie door een andere collega die niet bewust was van deze aanpassing. Hierdoor zijn er experimenten uitgevoerd waarbij er geen water in de buffertank wordt bijgevoerd en dit heeft geleid tot lucht in de kranen en pomp, wat ongewenst zijn. De pomp is ontlucht. Bij de regelbare kranen leidt het tot gekke waardes bij de lokale watermeter. In de toekomst, bij het uitschakelen van het watertoevoer moet er beter communicatie plaatsvinden. Bij de luchttoevoer geldt

iets dergelijks. Het uitschakelen van de luchttoevoer zal leiden tot het niet kunnen gebruiken van de inlet valve (die te herkennen is met een bepaalde geluid).

- Een poging tot proportionele bemonstering experimenten is in Oktober 2023 gedaan. Die is echter vroegtijdig beëindigd om meerdere redenen. Zie Figuur 83.
 - Een reden daarachter is dat de jerrycans waarin de monster over een hele week verzameld zal worden is vooraf aangezuurd, dat wil zeggen dat er al zuur (35 ml van Salpeterzuur, 65%) was aanwezig. Een loden monster zou idealiter binnen 24 uur van verzameling aangezuurd moeten worden. Om dit te faciliteren is zuur vooraf toegevoegd zodat er niet doordeweeks dagelijks toegevoegd moet worden. Dit heeft een paar problemen. Tijdens het behandelen van deze jerrycans wordt het onmisbaar om beschermende kleding aan te doen (lab jas, handschoenen, brillen). Bovendien is het aanbevolen om een masker te dragen omdat de dampen van de zuur sterk zijn. Als er zuur in contact met de huid komt moet men meteen onder de kraan, de aangetaste deel voor een kwartiertje laten staan.
 - Het probleem met het vooraf toevoegen van zuur was dat looddeeltjes zullen oplossen en het zal niet meer mogelijk zijn om een onderscheid te maken tussen opgeloste en totaal lood. Dus in zo'n geval is het wenselijker om zuur achteraf toe te voegen.
 - Nog een probleem dat is ontdekt tijdens deze metingen is dat de zuur dampen sterk genoeg zijn om de PE onderdelen te smelten. Hierdoor belanden PE-onderdelen, deeltjes en rubberringen in de monster die niet wenselijk is omdat deze spullen de monster en dus de labanalyse vervuilen.
- In Januari 2024 is de tweede poging tot proportionele bemonstering afgetrapt. In de eerste week van de meting is er waargenomen dat bij de twee douchekranen er geen water in de monstername jerrycan is beland. Dit was verbazend omdat tijdens het doorspoelen van de opstelling vlak voor het aftrappen van de metingen er is gezien dat water vanuit de proportionele monsternamekranen van de douchekranen is uitgestroomd. Bovendien, het lopen van dezelfde experiment in Oktober 2023 gaf wel water. Na overleggen ondertussen de medewerkers van de werkplaats is erachter gekomen dat de oriëntatie van de monstername kranen is aangepast ten behoeve van de openingsceremonie van het HomeWaterLab (28 November 2023) zodat het strakker eruitziet. Dat is tegengevallen. Na het corrigeren van de oriëntatie is er gezien dat de functionaliteit van de monsternamekranen weer hersteld is. Zie Figuur 84.
- In de volgende reeks metingen met proportionele bemonstering is er waargenomen dat bij de koude douchekraan er geen water is bemonsterd maar bij alle andere kranen wel. Om dit te onderzoeken zijn een paar korte proeven gedaan. Er is gecheckt op welke ingestelde volumestromen komt er daadwerkelijk water de monstername kraan uit. Er is gezien dat bij lagere debieten er geen water uit stroomt. Om dit aan te pakken is een reduceerkraan toegevoegd aan de afvoerleiding. Door het instellen van de reduceerkraan, kan het weerstand bij de afvoer verhoogd worden waardoor er water op lagere volumestromen uit de monsternamekraan kan komen. Voor de derde reeks metingen is de reduceerkraan zo ingesteld dat op een ingestelde volumestroom van 3 l/min, er water uit de monsternamekraan komt. Zie Figuur 85. Tijdens deze relatief snelle proeven is er uitgeliterd en gemeten dat bij een ingestelde volumestroom van 3 l/min, de monsternamekranen hadden 5-6% van de ingestelde volumestroom.
- Na de afronding van de meetcampagne is er van Catael geleerd hoe de opgeslagen data gebackupd en verwijderd kan worden. Hiervoor moet men de SQL server management studio openen en met de default login verbinden. Onder Databases > PilotCity > Rechtermuisklik > Properties vindt men onder de tabblad Files > ROWS hoeveel data er nu op de server staat. De bovengrens is 10 GB. Het is aanbevolen om ruim voordat de 10 GB wordt bereikt een backup van de data te maken en te verwijderen. In de praktijk betekent het dat experimenten voor maximaal 7 à 8 weken kunnen gedraaid worden voordat de opschoning nodig is. De aanbevolen workflow is Data naar USB-stick kopiëren > backup maken > data van server verwijderen. Om te backupen kan men op PilotCity > Rechtermuisklik > Tasks > Back Up kiezen. Doe dan Standard > Remove > Add. Maak een backup in C > Program Files > SQL server > MSSQL > Backup. Voor het verwijderen van data is door Catael een paar SQL queries voorbereid. De queries zijn op de bureaublad in de map QUERIES geplaatst. Deze kunnen op SSMS 18 geopend en gedraaid worden (Execute). Rechtsonder ziet

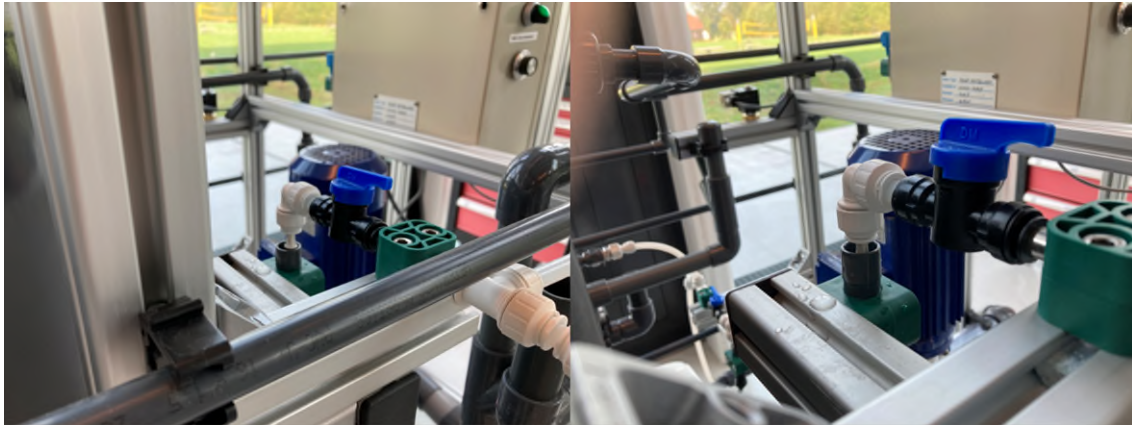
men hoe de execution van de script gaat. Er zijn twee scripts – Get values en Delete values. Bij allebei moeten er twee inputs gegeven worden – de start en einddatum waartussen alle data verwijderd gaat worden. Draai eerst Get values en rechtsonder ziet men hoeveel regels data er verwijderd zal worden (zonder dat er iets wordt verwijderd. Draai daarna Delete values (met dezelfde data als bij Get values) en dezelfde aantal regels zullen verwijderd worden. Maak weer een backup na de verwijdering. Het is ook mogelijk om oudere backups te laden in SMART maar dan zal het huidige dataset overgeschreven worden. Deze actie kan genomen worden door Tasks > Restore > Database > Add.



Figuur 77: Aparte leiding voor loden stuk met behulp van twee driewegkranen (rode kranen).



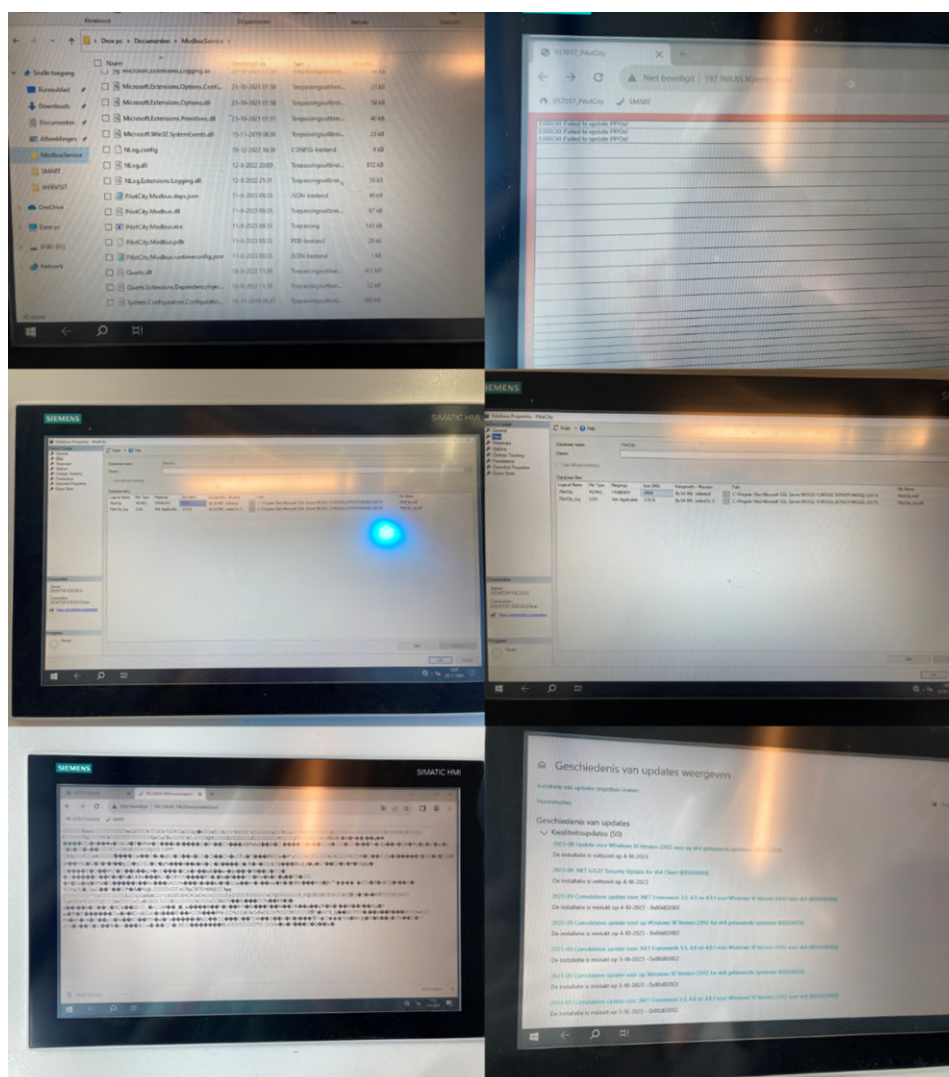
Figuur 78: Een aangepaste warmwatertoestel (extra materiaal tussen messing en PVC). Om een bepaalde volumestroom van de binaire kranen zijn er reduceerplaatjes gemaakt (wit plaatje met een gatje). De grootte van het gatje bepaalt de mate van volumestroom. Het plaatje is direct na het einde van de binaire kraan geplaatst. Een uitzondering is de badkamerkraan voor warmwater (in beeld) dat het enige binaire warmwatertappunt is. Het plaatje daarbij is bij de afvoerpunt geplaatst. Dit is nodig wegens de materiaalkeuze bij warmwatertappunten.



Figuur 79: De plaatsing van de proportionele monsternamekraan ten opzichte van de afvoer aan de rechterkant is wenselijker dan aan de linkerkant.



Figuur 80: (Linksboven) De volumestroom gemeten door de lokale flowmeter van de keukenkraan is ~ 10 l/min terwijl er geen stroming in het systeem überhaupt is. (Rechtsboven) Aanwezigheid van vervuiling bij een reduceerplaatje die tot verlaagde volumestromen leidt. (Onder) Te hoge volumestromen bij binaire kranen wegens afwezigheid van reduceerplaatjes.



Figuur 81: (Eerste rij, links) Locatie van modbus bestand (Eerste rij, rechts) Typische vorm van foutmeldingen (Tweede rij) Totaal gebruikte schijfruimte voor en na een weeklang experiment is 1572 en 2660 MB respectievelijk. (Derde rij, links) Typische foutmelding als er geprobeerd wordt om teveel data tegelijkertijd te downloaden (Derde rij, rechts) Plaatsvinden van Windows updates in het midden van experimenten.

[illegible]

Figuur 82: Voorbeeld inputbestand voor het HomeWaterLab voor automatische aansturing van verbruikspunten. De pattern length is 60480 (zie cel A4) vergeleken met de totaal aantal regels, 185 (zie rechtsonder).



Figuur 83: (Linksboven) Jerrycan voor proportionele bemonstering die vooraf is aangezuurd (Rechtsboven) Verkleuring van jerrycans tijdens het begin van experimenten die later verdwijnt zodra water toegevoegd is (Linksonder) Belanden van PE-onderdelen van monsterafvoer in de jerrycan (Rechtsonder) PE-onderdeel die niet is aangetast door zuurdampen tegen PE-onderdeel die wel is aangetast.



Figuur 84: (Links) Strakke oriëntatie van een monsternamekraan bij de douche ten behoeve van de openingsceremonie van het HomeWaterLab (Rechts) Gewenste oriëntatie van de monsternamekraan.

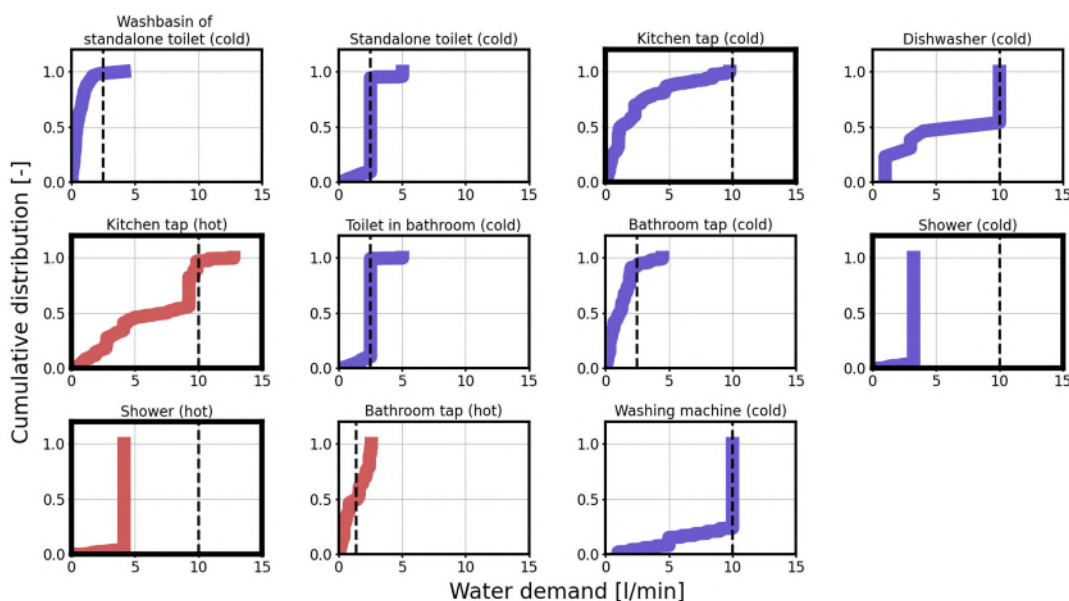


Figuur 85: Reduceerkraan toegevoegd (linkerkant) aan de afvoer bij een douchekraan om relatief lagere weerstand bij de monsternamekraan (rechterkant) te verhelpen.

XIII Bijlage – Vertalen van SIMDEUM-patronen naar input HomeWaterLab

Een groot verschil tussen SIMDEUM-patronen gebruikt in voorgaande modelstudies en aansturing van het HomeWaterLab is de aanwezigheid van binaire kranen in het HomeWaterLab (dat wil zeggen dat de volumestroom vanuit de kraan niet aangestuurd kan worden: de kraan is óf open met een bepaalde volumestroom³³ óf dicht). De door SIMDEUM gegenereerde verbruikspatronen moeten vertaald worden naar input voor het HomeWaterLab. Bij de verbruikspunten met regelbare kranen (keukenkraan, douche) is geen vertaalslag nodig. Bij de overige verbruikspunten met binaire kranen moet het waterverbruik binair worden gemaakt. In Figuur 86 is de cumulatieve verdeling van waterverbruik per verbruikspunt weergegeven (voor één van de twintig weken). Hierin is te zien dat het toepassen van een binaire kraan zeer geschikt is voor de wc's (geringe variatie in volumestroom) en ook voor de wasmachine en vaatwasser (respectievelijk 50% en 75% van de tijd een constante volumestroom). Het is echter minder geschikt voor de kranen in badkamers en het fonteintje (flinke variatie in volumestromen). De douche heeft meestal een constante volumestroom, zodat de toepassing van een regelbare kraan wellicht een luxe is.

Het effect van de vertaalslag op het totale waterverbruik is te zien in Figuur 87. Daarin ziet men de invloed van het ontbreken van regelbare tappunten op alle verbruikspunten op het totale waterverbruik. Bij het fonteintje van de aparte wc ziet men in Figuur 86 dat de cumulatieve verdeling van waterverbruik grotendeels lager is dan de vaste volumestroom ingesteld bij de kraan in het HomeWaterLab. Dat vertaalt zich in een verhoging van het totale verwachte waterverbruik in het HomeWaterLab met een factor 3,8 bij die kraan (niet totaal). In het algemeen is het theoretisch verwachte waterverbruik in het HomeWaterLab hoger dan de SIMDEUM-patronen waarop het is gebaseerd. In de praktijk zullen ook andere aspecten een rol spelen in het bepalen van het totaal waterverbruik, zoals nauwkeurigheid van kranen, reactietijd van kranen op aansturing, en nauwkeurigheid van volumestroommeters.

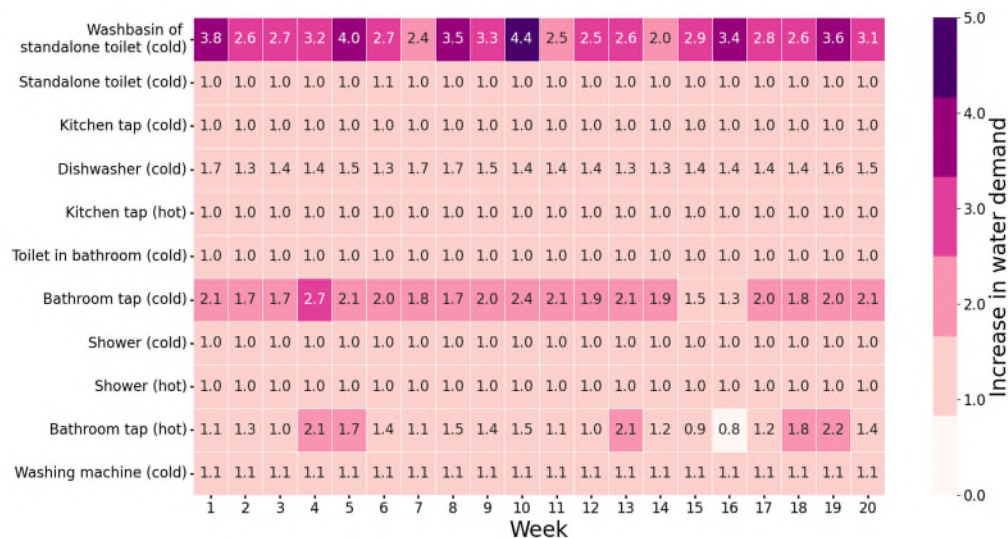


Figuur 86: Cumulatieve verdeling van de watervraag bij elke kraan in week #1 van de 20 SIMDEUM-patronen zoals beschouwd in Figuur 20. Verbruikspunten waarbij regelbare kranen en binaire kranen in het HomeWaterLab zijn gemonteerd, hebben respectievelijk dickere en dunnere kaders. De gestippelde lijn toont respectievelijk de maximale volumestroom van een regelbare kraan en de vaste volumestroom van een binaire kraan.

³³ Er kunnen afwijkingen van de vaste volumestroom plaatsvinden op momenten dat er elders water wordt verbruikt of tijdens de eerste seconden voordat de plateauwaarde wordt bereikt.

Om het waterverbruik van SIMDEUM-patronen te vertalen naar input voor het HomeWaterLab zijn de volgende stappen genomen:

- De SIMDEUM-patronen zijn in Python gelezen.
- Alle patronen zijn binair gemaakt behalve degene bij de regelbare tappunten.
- De patronen zijn naar een Excelbestand gekopieerd. Het Excelbestand bevat een tabel van 60480 regels (zeven weken met een tijdstap van 10 seconden) en 11 kolommen (voor de 11 tappunten). De volgorde van de 11 tappunten in het Excelbestand is vast en is als volgt: Douche (koud), Douche (warm), Keukenkraan (koud), Keukenkraan (warm), Badkamerkraan (koud), Badkamerkraan (warm), Wasmachine (koud), Vatwasser (koud), Aparte wc (koud), Wc in badkamer (koud), Fonteintje van aparte wc (koud). Alle waardes van de volumestroom in het Excel bestand zijn in l/min.
- In het HomeWaterLab zijn drie kranen met elkaar verwisseld tijdens oplevering. Daarom moeten de kolommen in het Excelbestand ook met elkaar verwisseld worden. De patronen van de aparte wc (in SIMDEUM) worden toegekend aan de wc in de badkamer (in het Excelbestand). De patronen van de wc in de badkamer (in SIMDEUM) worden toegekend aan het fonteintje van de aparte wc (in het Excelbestand). De patronen van het fonteintje in de aparte wc (in SIMDEUM) worden toegekend aan de aparte wc (in het Excelbestand).



Figuur 87: Mate van verandering in waterverbruik in het HomeWaterLab (theoretisch) na het vertalen van de SIMDEUM-patronen. De waarde 2,0 betekent dat bij kraan X in week Y het verwachte totale waterverbruik in het HomeWaterLab een factor 2,0 hoger is dan wat via SIMDEUM is berekend. In de praktijk zal het waterverbruik in het HomeWaterLab ook afhankelijk zijn van de aansturing.

XIV Bijlage – Logblad voor proportionele bemonstering

Type onderdeel en beoogde stilstaand duur:

Datum, tijd vooraf doorspoelen, bemonstering pH/Waterstofcarbonaat/:

Afwijkingen in het uitvoeren van het protocol:

- ☐ Lab-jas en veiligheidsbrillen aan
- ☐ Laat alle proportionele monsternamen kranen open, spoel alle kranen van het HomeWaterLab door (van proportionele kraan, niet in jerrycan)
- ☐ Zorg ervoor dat de jerrycans geëtiketteerd zijn.
- ☐ Begin programma met juiste SIMDEUM patronen
- ☐ Kom terug na een week. Zorg ervoor dat het programma afgelopen is
- ☐ Verwijder aansluiting aan jerrycan. Weeg jerrycan en noteer gewicht.
- ☐ Druk etiketten af met formaat hieronder:
Lood (zonder/met filter)
Proportioneel SIMDEUM#X
DD-MM-YYYY, HH:MM (ingeschat)
Amitosh Dash
- ☐ Plak etiketten op alle tien flessen en buizen en vijf jerrycans
- ☐ Sluit nieuwe jerrycans aan
- ☐ Neem monsters in krat naar Technische Laboratorium (schonere omgeving voor bemonstering)
- ☐ Plaats juiste buisjes bij juiste flessen en jerrycans; Doe nieuwe handschoenen aan
- ☐ **Jerrycan goed schudden en schenk een fles in**
- ☐ Neem een **nieuw** spuit en zuig 25+ ml van monster water
- ☐ Doe **nieuwe** 0.45 micrometer filter aan en spoel filter met 5-10 ml
- ☐ (Met filter meting) Neem **nieuwe** PPE buis en leeg spuit erin (wees geduldig), verwijder filter, plaats het tijdelijk op buis; zuig 25+ ml weer de spuit in, doe filter op en leeg het de buis in
- ☐ (Zonder filter meting – als nodig is) **Schud fles**; Neem **nieuwe** PPE buis en schenk van kleine fles in; dop het af; plak etiket;
- ☐ Gooi rest van het monster water weg in groot jerrycan (“Zware metalen in zure oplossing”) en gooi fles, spuit, filter weg
- ☐ Aan het eind van de dag, lever monster buizen in, stuur email naar Nanda, digitaliseer log
- ☐ Aan eind van campagne informeer Nanda

XV Bijlage – Proportionele bemonstering log

Tabel 16: Log van de proportionele bemonstering proeven uitgevoerd in Januari-Februari 2024.

Proef	Aanvullende opmerkingen
Week #01 begonnen op 03 Januari 2024, 1742 voorafgegaan met doorspoelen om 1713; 07 minuten stilstand tussen afloop doorspoelen en aanvang weeklang metingen	– Een doorspoelactie is ook om 1700 begonnen maar vroegtijdig gestopt wegens een waargenomen lek – vermoedelijk bij HW2SHT – niet waargenomen tijdens proeven in handmatige modus – Doorspoelen – programma 1049; hierin is er geen regel waardoor CW2SHT geactiveerd wordt en deze kraan is handmatig doorgespoeld (met andere proportionele monsternamekranen dichtgedraaid; Programma 1070 is aangemaakt om hiervoor te corrigeren – Programma 1028 gedraaid voor weeklang meting – Geen water uit de douchekranen tijdens weeklang meting alhoewel er water uit stroomde tijdens doorspoelen – Achteraf gerealiseerd dat oriëntatie kranen bij douchen eerder zijn aangepast en dus verkeerd, zie Figuur 84 – Twijfel of CW2BT de hele tijd geactiveerd is geweest (leek gestopt te zijn tijdens proeven na afloop van weeklang meting) – Gewicht monsters (inclusief jerrycan): CW1KT – 2895 g, HW1KT – 4400 g, CW2SHT – 995 g, HW2SHT – 1010 g, CW2BT – 2090 g
Week #06 begonnen op 11 Januari 2024, 1147 voorafgegaan met doorspoelen om 1103; 22 minuten stilstand tussen afloop doorspoelen en aanvang weeklang metingen	– Doorspoelen – programma 1070 – Na doorspoelen toonde de lokale flowmeter bij CW1KT een verhoogde debiet terwijl de kraan dicht was. Een herstelactie is gedaan door deze kraan handmatig te draaien voor een aantal seconden voor het aanvangen van weeklang meting – Programma 1034 gedraaid voor weeklang meting – Geen water uit de douchekraan voor koud water tijdens weeklang meting – Gewicht monsters (inclusief jerrycan): CW1KT – 3080 g, HW1KT – 2120 g, CW2SHT – 970 g, HW2SHT – 2370 g, CW2BT – 1750 g
Week #10 begonnen op 18 Januari 2024, 1414 voorafgegaan met doorspoelen om 1344; 08 minuten stilstand tussen afloop doorspoelen en aanvang weeklang metingen	– Experimenten voorafgegaan met instellen van proportionele monsternamekranen door middel van extra reduceerkraan bij afvoer (zie Figuur 85). Er is vermoed dat in de afgelopen experimenten, de weerstand bij het afvoer veel lager is geweest in vergelijking met de proportionele monsternamekraan – Het reduceerkraan is zo ingeregeld dat er doorstroming door de proportionele monstername kraan plaatsvindt voor een volumestroom van 3 l/min. De volumestroom bij de proportionele monsternamekraan voor CW2SHT geeft dan een volumestroom van 0,18 l/min (6%) en HW2SHT van 0,15 l/min (5%) – Doorspoelen – programma 1070 – Na doorspoelen toonde de lokale flowmeter bij CW1KT een verhoogde debiet terwijl de kraan dicht was. Een herstelactie is gedaan door deze kraan handmatig te draaien voor een aantal seconden voor het aanvangen van weeklang meting – Programma 1038 gedraaid voor weeklang meting – Water (~500 ml) in lekbak douchen – vermoedelijk verspilling van CW2SHT – CW2SHT monster niet geschud voor bemonstering – Gewicht monsters (inclusief jerrycan): CW1KT – 3250 g, HW1KT – 2535 g, CW2SHT – 16830 g, HW2SHT – 22920 g, CW2BT – 2260 g

Proef	Aanvullende opmerkingen
Week #14 begonnen op 26 Januari 2024, 1616 voorafgegaan met doorspoelen om 1551; 03 minuten stilstand tussen afloop doorspoelen en aanvang weeklang metingen	– Experimenten voorafgegaan met instellen van proportionele monsternamekranen door middel van extra reduceerkraan bij afvoer (zie Figuur 85). Dit is gedaan vanwege de overstroming bij CW2SHT in de vorige meting – Het reduceerkraan is zo ingeregeld dat er doorstroming door de proportionele monstername kraan plaatsvindt voor een volumestroom van 3 l/min. De volumestroom bij de proportionele monsternamekraan voor CW2SHT geeft dan een volumestroom van 0,066 l/min (2,2%) en HW2SHT van 0,078 l/min (2,6%) – Doorspoelen – programma 1070 – Na doorspoelen toonde de lokale flowmeter bij CW1KT een verhoogde debiet terwijl de kraan dicht was. Een herstelactie is gedaan door deze kraan handmatig te draaien voor een aantal seconden voor het aanvangen van weeklang meting – Programma 1042 gedraaid voor weeklang meting – Gewicht monsters (inclusief jerrycan): CW1KT – 1550 g, HW1KT – 2005 g, CW2SHT – 7025 g, HW2SHT – 17900 g, CW2BT – 1945 g
Week #18 begonnen op 02 Februari 2024, 0922 voorafgegaan met doorspoelen om 0854; 06 minuten stilstand tussen afloop doorspoelen en aanvang weeklang metingen	– Experimenten voorafgegaan met instellen van proportionele monsternamekranen door middel van extra reduceerkraan bij afvoer (zie Figuur 85). Dit is gedaan vanwege de overstroming bij CW2SHT in de vorige meting – Het reduceerkraan is zo ingeregeld dat er doorstroming door de proportionele monstername kraan plaatsvindt voor een volumestroom van 3 l/min. De volumestroom bij de proportionele monsternamekraan voor CW2SHT geeft dan een volumestroom van 0,066 l/min (2,2%) en HW2SHT van 0,078 l/min (2,6%) – Doorspoelen – programma 1070 – Na doorspoelen toonde de lokale flowmeter bij CW1KT een verhoogde debiet terwijl de kraan dicht was. Een herstelactie is gedaan door deze kraan handmatig te draaien voor een aantal seconden voor het aanvangen van weeklang meting – Programma 1046 gedraaid voor weeklang meting – Gewicht monsters (inclusief jerrycan): CW1KT – 3450 g, HW1KT – 4300 g, CW2SHT – 6475 g, HW2SHT – 15680 g, CW2BT – 1945 g

XVI Bijlage – Proportionele bemonstering metingen labanalyse

Tabel 17: Loodconcentraties in µg/L gemeten tijdens de proportionele bemonstering experimenten als functie van bemonsteringslocatie en week # van SIMDEUM patronen. Een lege cel betekent dat er geen monster is geanalyseerd. (Boven) Totaal lood (Onder) Opgeloste lood

Kraan ↓ / SIMDEUM patroon week →	1	6	10	14	18
Keukenkraan (warm water)	1,2	1,8	0,72	1,8	1
Keukenkraan (koud water)	1,3	1,4	1,4	1	0,76
Badkamerkraan (koud water)	0,63	0,65	0,5	0,46	0,51
Douche (warm water)		0,56	0,54	0,57	0,49
Douche (koud water)			0,61	0,66	0,59
Kraan ↓ / SIMDEUM patroon week →	1	6	10	14	18
Keukenkraan (warm water)	0,99	1,6	0,62	1,6	0,84
Keukenkraan (koud water)	1,2	0,94	1,2	0,91	0,67
Badkamerkraan (koud water)	0,5	0,47	0,43	0,4	0,44
Douche (warm water)		0,4	0,46	0,47	0,4
Douche (koud water)			0,52	0,55	0,49

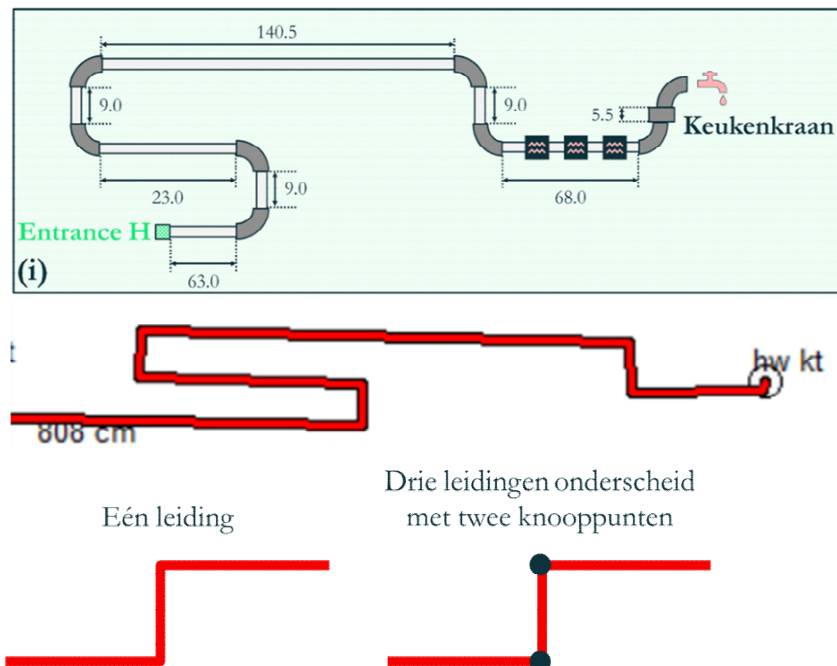
XVII Bijlage – Aanpassing hydraulisch model HomeWaterLab ten behoeve van validatie

Een EPANET hydraulisch model van het HomeWaterLab is in een eerder project gemaakt [11]. Na het inlaatpunt volgt een stelsel leidingen waardoor koud water stroomt. Na de koudwaterleidingen volgt een boiler, waarna het stelsel van warmwaterleidingen begint.

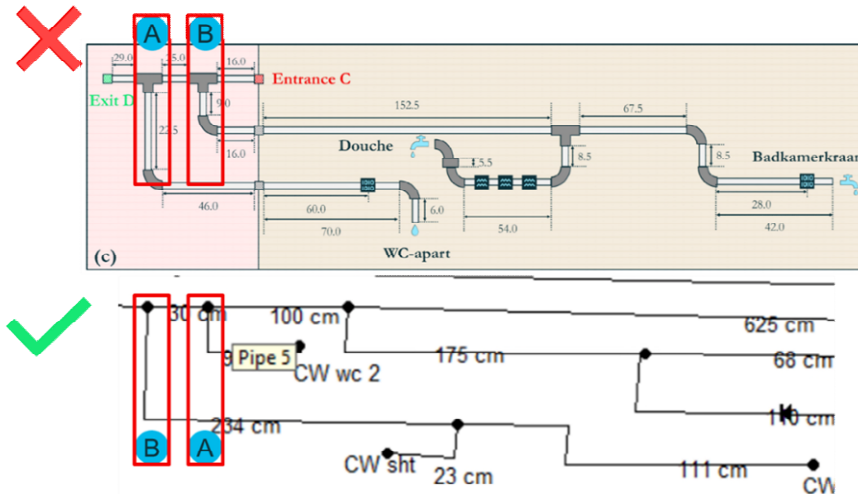
Er zijn een aantal aanpassingen aan het opgeleverde model gedaan, zodat het definitieve model een betere een-op-een-vergelijking heeft met de experimenten:

- Lange leidingen in het hydraulisch model zijn getekend als één eenheid terwijl ze in de werkelijkheid uit meerdere kleinere stukken zijn samengesteld; zie Figuur 88, boven en midden. Het is wenselijker om de leidingen in het model te splitsen zoals in werkelijkheid het geval is (zie Figuur 88 rechtsonder, met meerdere knooppunten). Omdat het hydraulische model zo is opgeleverd zijn er geen aanpassingen in het model gedaan. In de huidige studie wordt niet verwacht dat de afwezigheid van knooppunten grote problemen zal opleveren in de berekeningen. In de toekomst zou het de moeite waard zijn om het hydraulische model op te schonen door het toevoegen van knooppunten bij bochten en T-stukken en het strakker tekenen van rechte leidingen.
- Tijdens het opstellen van het definitieve hydraulische model is één fout in de gedetailleerde tekeningen ontdekt, zie Figuur 89.
- Een boiler met afsluiters is aanwezig om te kunnen sturen hoe het water stroomt (door de boiler of eromheen). In het definitieve hydraulische model voor deze studie is de boiler verwijderd omdat deze niet is gebruikt tijdens de proportionele bemonsteringsexperimenten.
- Er zijn nog extra leidingen voor het inlaatpunt van het opgeleverde hydraulische model toegevoegd waarin ook het stuk lood is gemonteerd, waaronder een aantal leidingen met grotere diameters die op de voordrukpomp en buffervat zijn aangesloten.

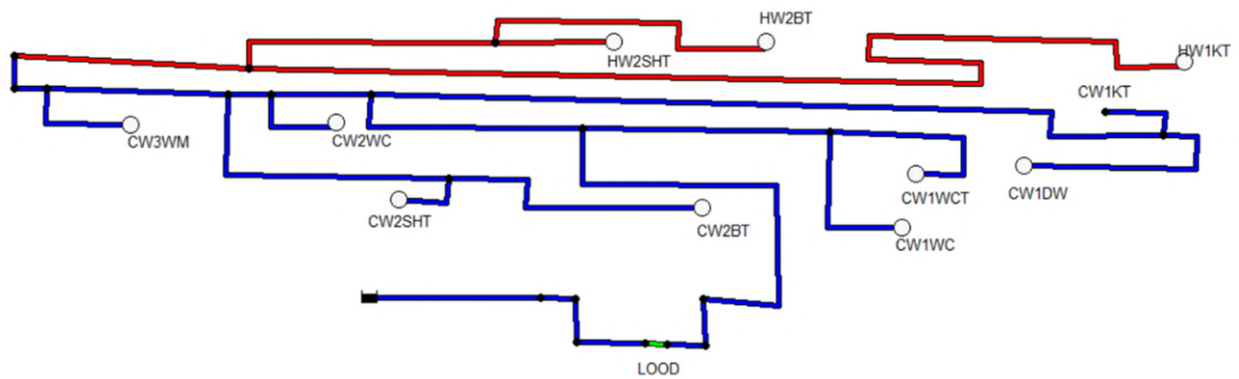
Het definitieve model ziet men in Figuur 90 met de verschillende verbruikspunten en de locatie van het stukje lood. Er zijn geen check valves aanwezig, in tegenstelling tot het opgeleverde model, die terugstroming kunnen voorkomen. De leidinglengtes in het definitieve model wijken af van de waardes in het opgeleverde model. Het percentage afwijking ziet men in Figuur 91. Met name voor een aantal korte stukken wijken de leidinglengtes in het opgeleverde model sterk af van de werkelijkheid.



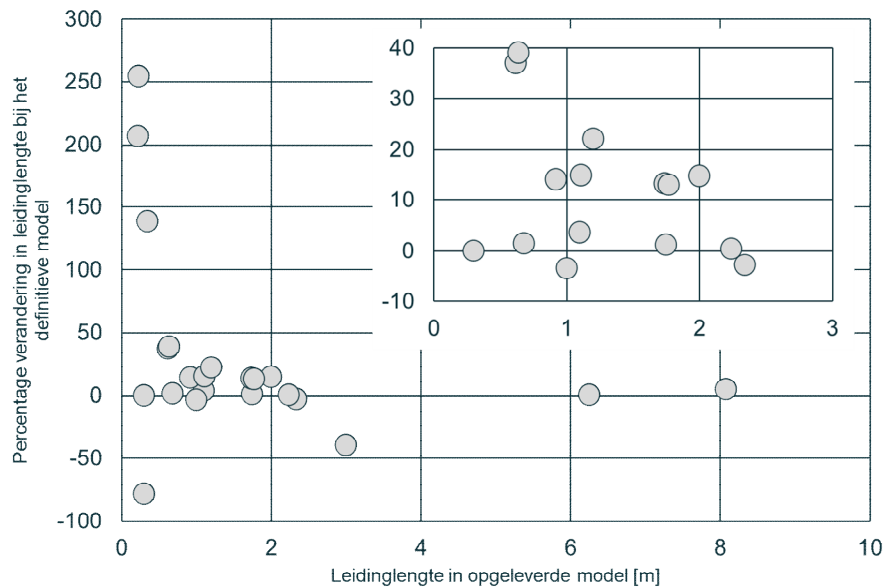
Figuur 88: (Boven) Tekening van leidingen richting de keukenkraan voor warmwater in het HomeWaterLab. (Midden) Tekening van leidingen richting de keukenkraan voor warmwater in de hydraulisch model voor het HomeWaterLab. De meerdere leidingen in werkelijkheid zijn in het hydraulische model als veel minder leidingen geschematiseerd. (Onder) Aan de linkerkant een lange leiding zoals getekend in het opgeleverde hydraulische model; aan de rechterkant is diezelfde leiding in drie delen opgesplitst door twee knooppunten.



Figuur 89: Aftakkingen zijn verkeerd getekend tijdens de oplevering van het HomeWaterLab maar zijn gecorrigeerd tijdens de modellering.



Figuur 90: Definitieve hydraulische model dat is gebruikt voor modellering van het HomeWaterLab. Voor de verschillende verbruikspunten zijn de eerder gegeven namen gebruikt [11]. De groene leiding onderaan is het loodafgevend stuk. De eerste leiding na de bron heeft een diameter van 21,2 mm terwijl alle andere leidingen een diameter van 13 mm hebben.



Figuur 91: Percentage verschil tussen leidinglengtes in het definitieve model ten opzichte van het opgeleverde model.

XVIII Bijlage – Scripts die als hulpmiddelen dienen voor het opstellen van simulaties

Tabel 18: Verschillende verbruikspunten en hun eigenschappen bij inputbestanden. Als voorbeeld – de vaatwasser is benoemd met 'DW' in de EPANET inputbestanden. De bijbehorende SIMDEUM patronen heet SIMDEUM_DW. In de lijst van knooppunten waar water wordt verbruikt, staat het op index nummer 4. In de lijst van SIMDEUM patronen staat het op index nummer 8. In het inputbestand om het HomeWaterLab te draaien staat het op de 8^e kolom en de debiet bij het bijbehorende kraan is binaire met een volumestroom van 10 l/min. Bij het HomeWaterLab is het als CW1DW genoemd.

Type kraan	Naamgeving Hydraulisch model [volgorde ondertussen knooppunten / volgorde ondertussen patronen]	Naamgeving HomeWaterLab [volumestroom in l/min ; volgorde in Excel-bestand voor input]
Douche [koud water]	Shower [8/1]	CW2SHT [0-10;1]
Douche [warm water]	Shower_H [9/2]	HW2SHT [0-10;2]
Keukenkraan [koud water]	Ktap [3/3]	CW1KT [0-10;3]
Keukenkraan [warm water]	Ktap_H [5/4]	HW1KT [0-10;4]
Badkamerkraan [koud water]	Bratap_2 [7/5]	CW2BT [2.5;5]
Badkamerkraan [warm water]	Bratap_2_H [10/6]	HW2BT [1.4;6]
Wasmachine [koud water]	WM [11/7]	CW3WM [10;7]
Vaatwasser [koud water]	DW [4/8]	CW1DW [10;8]
Zelfstandige WC [koud water]	WC_1 [2/9]	CW1WC [2.5;9]
WC in badkamer [koud water]	WC_2 [6/10]	CW2WC [2.5;10]
Fonteinje in zelfstandige WC [koud water]	Bratap_1 [1/11]	CW1WCT [2.5;11]

Script to read existing EPANET input files consisting SIMDEUM patterns and creating a table (variable – BinDem) which can be directly copied to the Excel file to be used as an input for HomeWaterLab. The last few lines in blue are additionally needed when preparing the input for EPANET input files for the HomeWaterLab.

```

weeks = 20 # Number of input files with each week having seven days of unique
patterns
nodes = ['Bratap_1', 'WC_1', 'Ktap', 'DW', 'Ktap_H', 'WC_2', 'Bratap_2',
'Shower', 'Shower_H', 'Bratap_2_H', 'WM'] # Nodes where water is used in order
of indexing
timesteps = int(86400*7/10) # 10 = hydraulic timestep; 86400*7 = seconds in a
week

Dem = np.zeros([timesteps, len(nodes), weeks]) # Demand
BinDem = np.ones([timesteps, len(nodes), weeks]) # Demand following
binarization

```



```

# Loop through each week, read in input file with existing SIMDEUM patterns
for week in range(weeks):
    inp_file = 'D:\\Users\\dasham\\Documents\\Projects\\LoodAfgifte - Fase
    III\\Simulations\\Deliverable 02\\Fase I\\Basis\\BM_RDT_s%d.inp' % (week+1)
    print(week+1)

    wn = wntr.network.WaterNetworkModel(inp_file)

    for pattern in range(1, len(wn.pattern_name_list)):
        print(wn.pattern_name_list[pattern])
        Dem[:, pattern-1, week] =
wn.get_pattern(wn.pattern_name_list[pattern]).multipliers*60 # 60 converts
l/s (used by SIMDEUM) to l/min (used by HomeWaterLab)

BinDem = np.multiply(Dem>0, 1.0) # Binarize all water consumption timesteps
BinDem[:, :4, :] = Dem[:, :4, :] # First four consumption points are not binary

# The lines below in blue are necessary to add the appropriate flow rate. In
HomeWaterLab the input for binary consumption points is either 1 or 0 which
then translates to a certain volumetric flow rate. The factors 1.4, 2.5, 10
are present to convert the binary value to the expected flow rate. These
values can be changed if the HomeWaterLab is modified in the future. In the
final line, the values are converted from l/min to m³/s.
BinDem[:, 4, :] = BinDem[:, 4, :]*2.5
BinDem[:, 5, :] = BinDem[:, 5, :]*1.4
BinDem[:, 6:8, :] = BinDem[:, 6:8, :]*10
BinDem[:, 8:11, :] = BinDem[:, 8:11, :]*2.5
BinDem = BinDem/60000

```

Script to read existing EPANET input files consisting geometry and creating a new EPANET input file combining the read geometry and the variable, BinDem. These files serve as an input for the modelling where in different unique weeks of water consumption are simulated.

```

weeks = 20 # Number of input files with each week having seven days of unique
patterns
nodes = ['Brtap_1', 'WC_1', 'Ktap', 'DW', 'Ktap_H', 'WC_2', 'Brtap_2',
'Shower', 'Shower_H', 'Brtap_2_H', 'WM'] # Nodes where water is used in order
of indexing
timesteps = int(86400*14/10+1) # 10 = hydraulic timestep; 86400*14 = seconds
in two weeks; Two weeks are simulated of which the second week results are
analyzed
inp_file = 'D:\\Users\\dasham\\Documents\\Projects\\LoodAfgifte - Fase
III\\Simulations\\Deliverable 02\\Fase I\\Basis\\BM_RDT_s10.inp'
wn = wntr.network.WaterNetworkModel(inp_file) # Read input file to get a list
of patterns
PatternNameList = wn.pattern_name_list

factor = 1 # Factor of rescaling; let it stay as 1; this will be adjusted
while running the simulations

# Loop through each week, read in input file with existing SIMDEUM patterns
and write an output file
for week in range(weeks):
    inp_file = 'D:\\Users\\dasham\\Documents\\Projects\\Loodafgifte - Fase
    III\\HomeWaterLab\\FinalModel\\proefopstelling_DWI_boiler.inp' # Input file
    containing geometry of the HomeWaterLab
    out_file = 'D:\\Users\\dasham\\Documents\\Projects\\Loodafgifte - Fase
    III\\HomeWaterLab\\Weeks\\01\\proefopstelling_DWI_boiler%02d.inp' % (week+1)

```

```
# Output file containing geometry of the HomeWaterLab and the SIMDEUM
patterns

wn = wntr.network.WaterNetworkModel(inp_file)
wn.options.time.hydraulic_timestep = 10*factor
wn.options.time.quality_timestep = 1 # Quality timestep is always 1 to
ensure better accuracy of computations
wn.options.time.duration = 86400*14*factor
wn.options.time.report_timestep = 10*factor
wn.options.time.pattern_timestep = 10*factor

print('Week')
for node in nodes:
    print(node)
    print(PatternNameList.index('SIMDEUM_'+node)-1)
    wn.add_pattern(node, BinDem[:,PatternNameList.index('SIMDEUM_'+node)-
1,week]) # Add a pattern to the model with the name of the node. The pattern
is taken from the column of BinDem with the index corresponding to the
SIMDEUM pattern - see Table in this appendix, second column for indices
    wn.get_node(node).add_demand(base=1/factor, pattern_name = node) #
Add demand pattern to the node

for junc_name,junc in wn.junctions():
    junc.demand_timeseries_list[0].base_value = 0 # The patterns are
added as the second index of the demand time series and the first one is
turned to zero

wn.write_infile(out_file)
```

Script to read existing EPANET input files and create new files wherein a certain pipe has been split.

```
weeks = 20 # Number of input files with each week having seven days of unique
patterns

for week in range(weeks):
    inp_file = 'D:\\Users\\dasham\\Documents\\Projects\\Loodafgifte - Fase
III\\Simulations\\Deliverable
02\\Cases\\DefaultWoning\\Original\\Input\\DefaultWoning%02d.inp' % (week+1)
    out_file = 'D:\\Users\\dasham\\Documents\\Projects\\Loodafgifte - Fase
III\\Simulations\\Deliverable
02\\Cases\\DefaultWoning\\Split_12_B\\Input\\Week%02d.inp' % (week+1)

    wno = wntr.network.WaterNetworkModel(inp_file)

    # The two lines below can be used to split the pipes based on their
    respective volumes. One of the lines makes the split pipe at the upstream
    side and the other at the downstream side. The orientation of upstream and
    downstream is dependent on how the model was made (start node and end node)
    wn = wntr.morph.split_pipe(wno, '12', '12_Pipe_A', '12_Node_A',
split_at_point=1-160/209, add_pipe_at_end=True)
    wn = wntr.morph.split_pipe(wno, '12', '12_Pipe_A', '12_Node_A',
split_at_point=160/209, add_pipe_at_end=False)

    print('Week '+str(week))

    wn.write_infile(out_file)
```

XIX Bijlage – Teken en drinkwaterinstallaties op basis van layout woningen op Funda

Code	Naam pattern Simdeum	Locatie
1	SIMDEUM_Shower	Shower cold
2	SIMDEUM_Shower_H	Shower hot
3	SIMDEUM_Ktap	Kitchen cold
4	SIMDEUM_Ktap_H	Kitchen hot
5	SIMDEUM_Brtap_1	Wash_Basin_cold
6	SIMDEUM_Brtap_1_H	Wash_basin_hot
7	SIMDEUM_WM	Wasmachine
8	SIMDEUM_DW	Dishwasher
9	SIMDEUM_WC_1	Toilet cistern
10	SIMDEUM_WC_2	Toilet Sink

Aanname: Begane grond = + 0 mNAP
 1^e verdieping = + 3 mNAP
 2^e verdieping = + 6 mNAP
 Diameter = 25 mm
 Roughness = 0.05

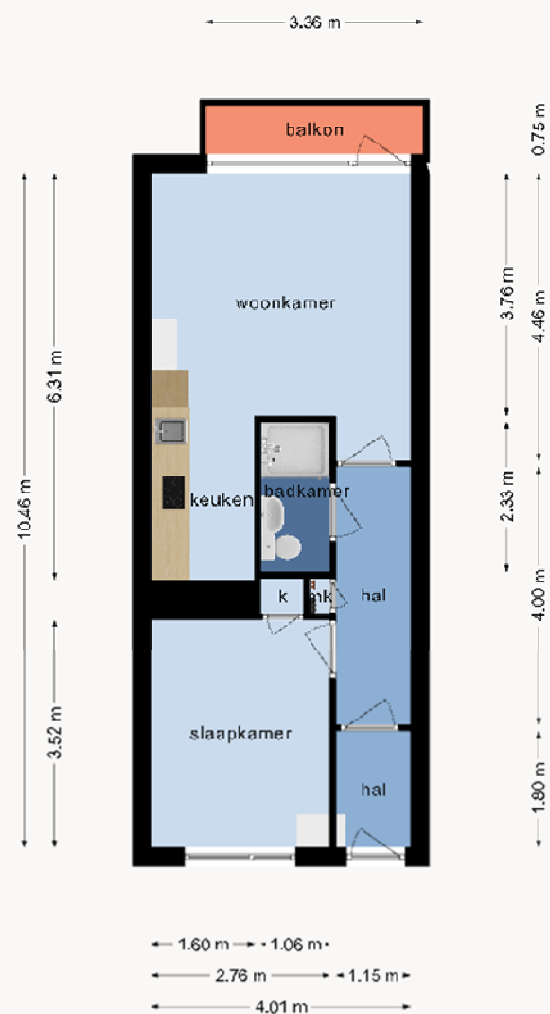
Tussenwoning

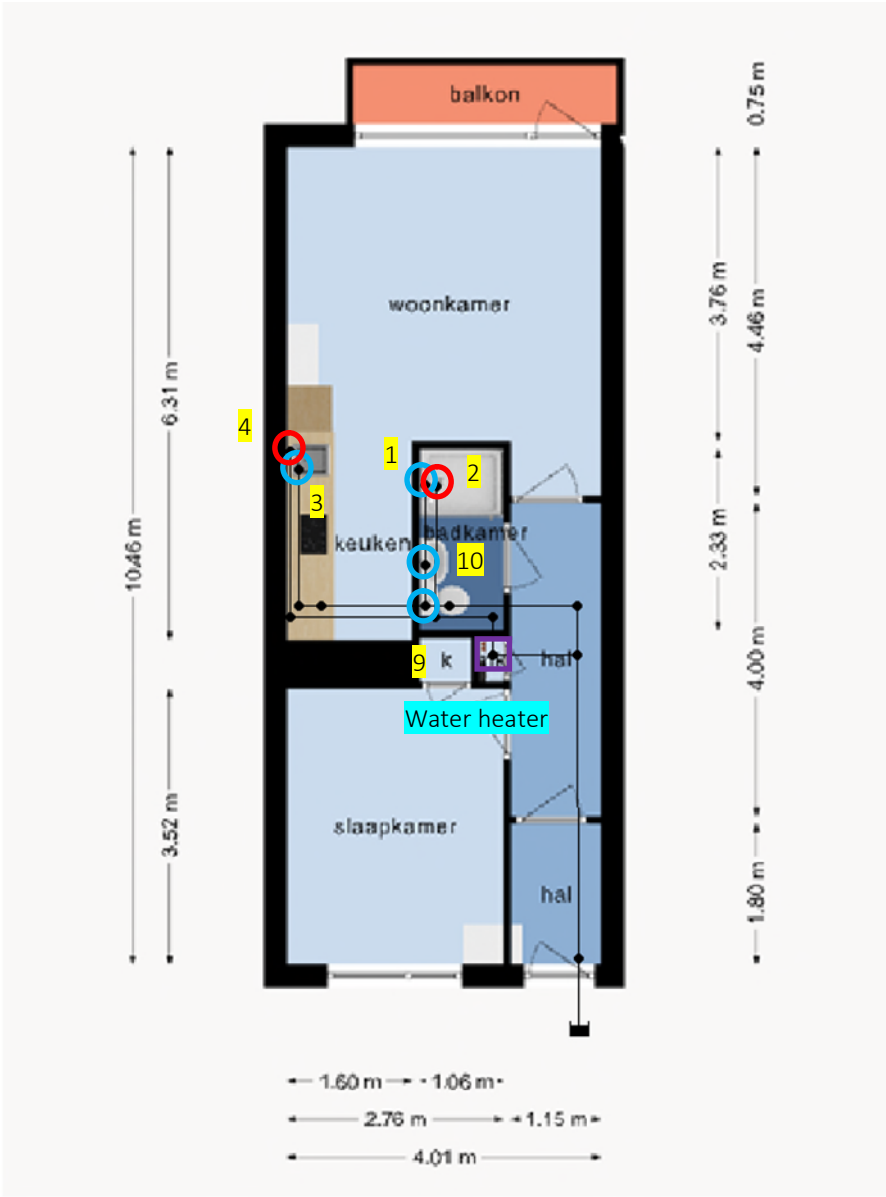
11 verbruikspunten



Appartement 16 verbruikspunten

(Douche koud+ douche heet + wastafel + wc) + (keuken koud + keuken heet)





Appartement 28 verbruikspunten

(Douche koud + douche heet + wastafel koud + wastafel heet) + (wc + wastafel) + (keuken koud + keuken heet)



Appartement 39 verbruikspunten

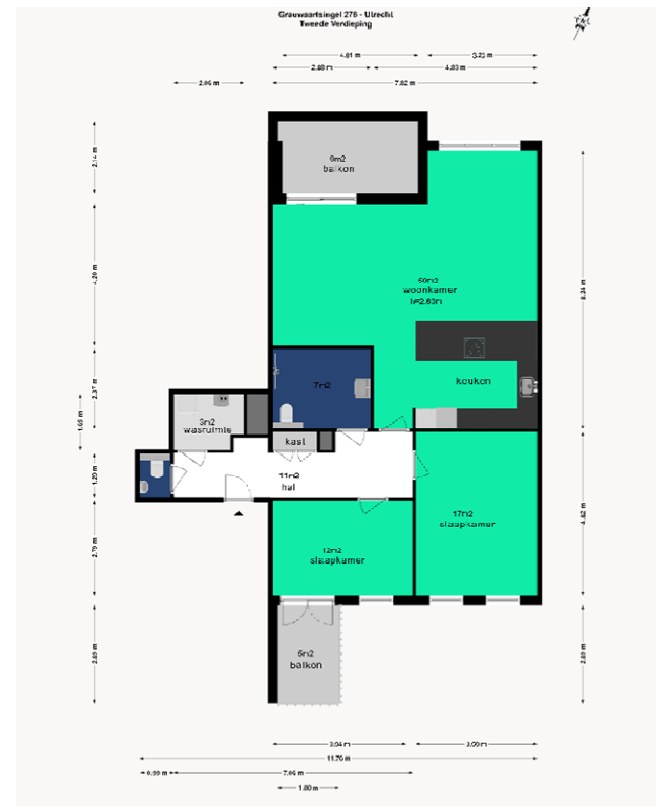
(Douche koud + douche heet + wastafel koud + wastafel heet) + (wc + wastafel) + (keuken koud + keuken heet + dishwasher)

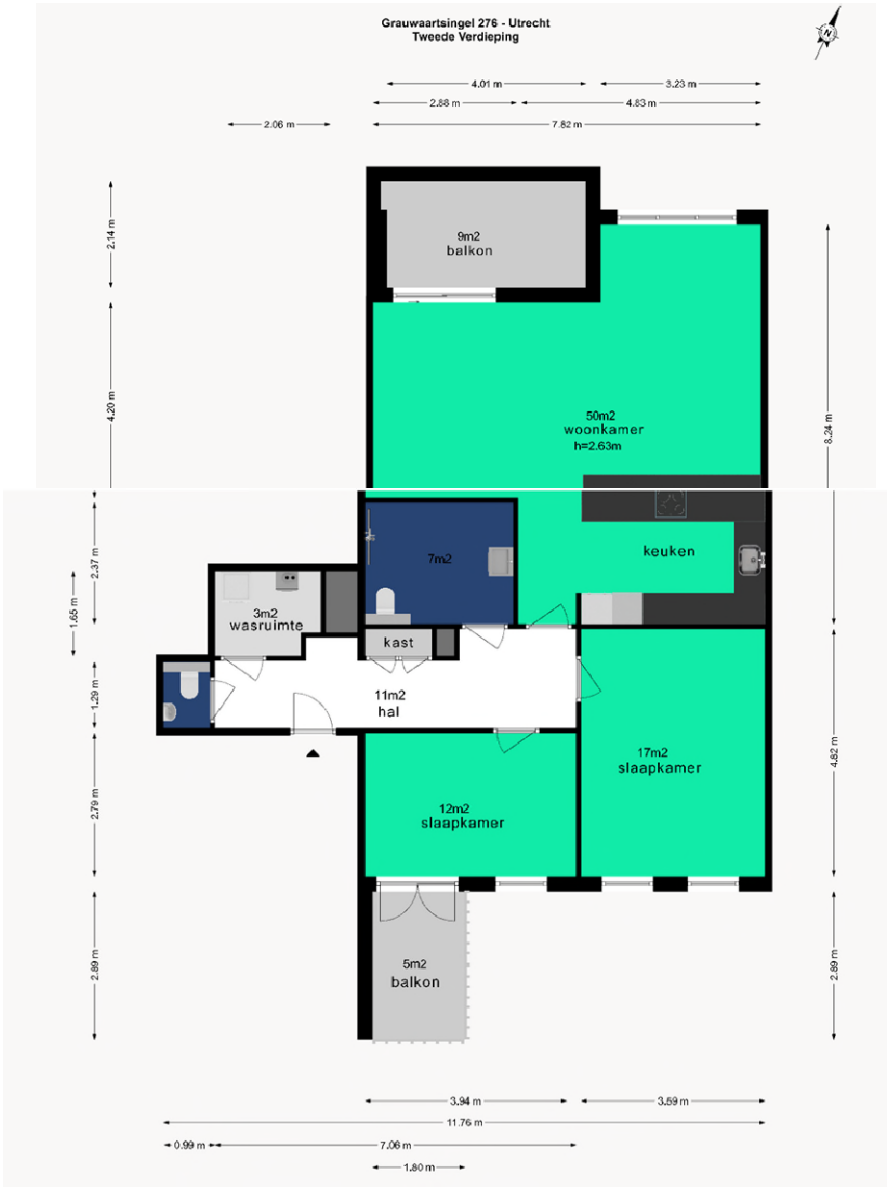


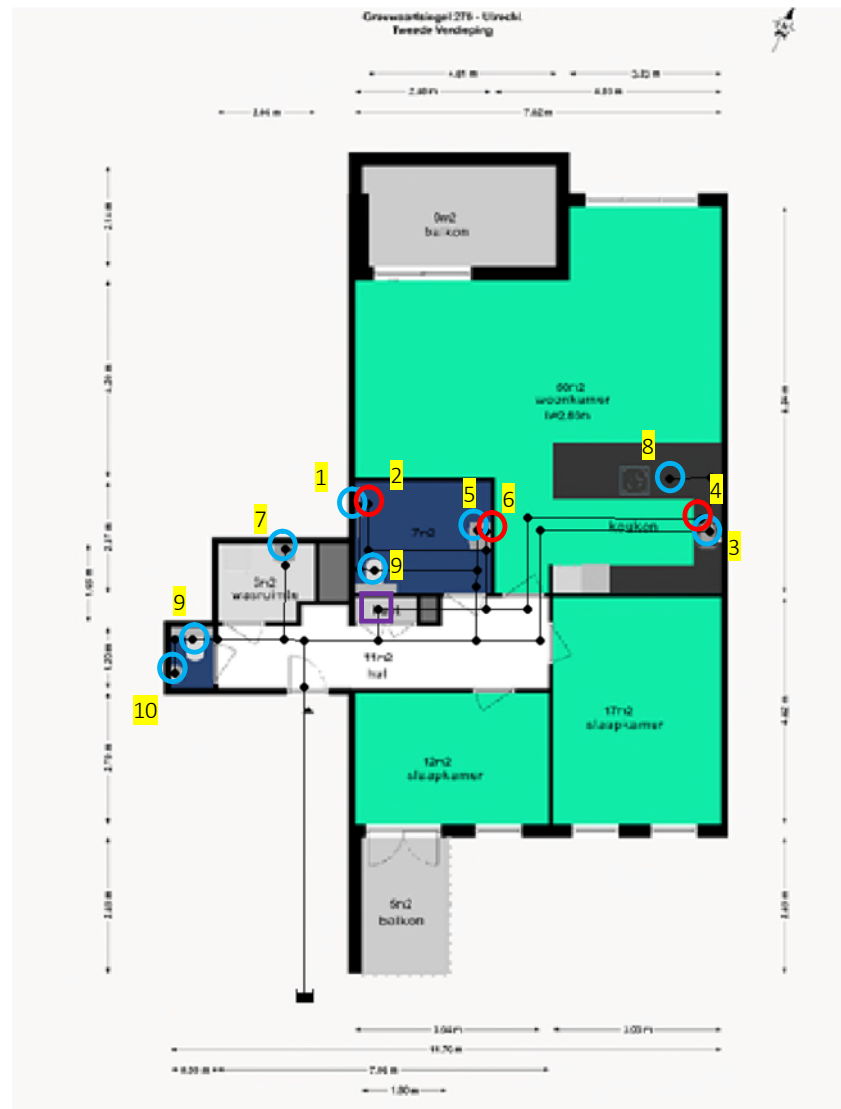
Appartement 4

11 verbruikspunten

(Douche koud + douche heet + wastafel koud + wastafel heet + wc) + (wc + wastafel) + (keuken koud + keuken heet + +dishwasher)+ wasruimte





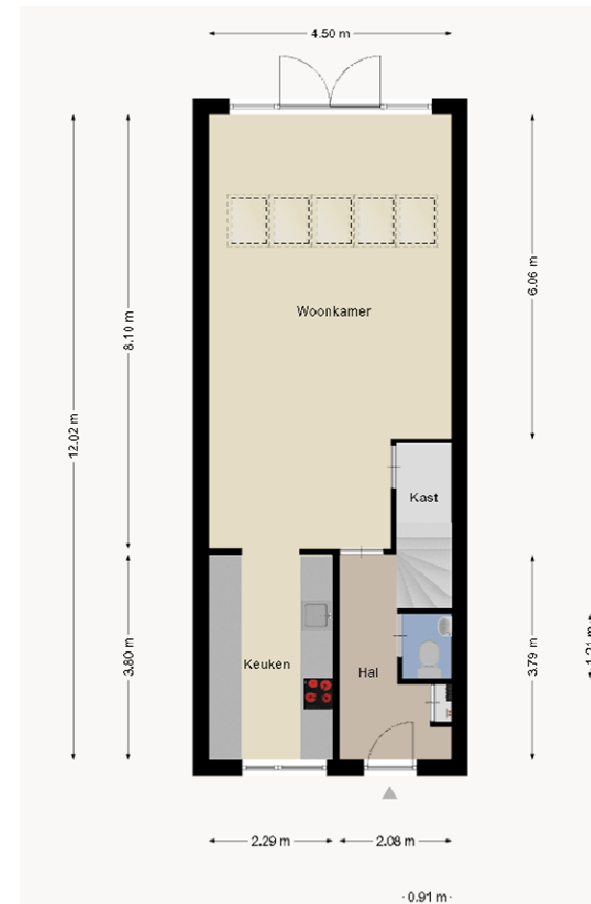


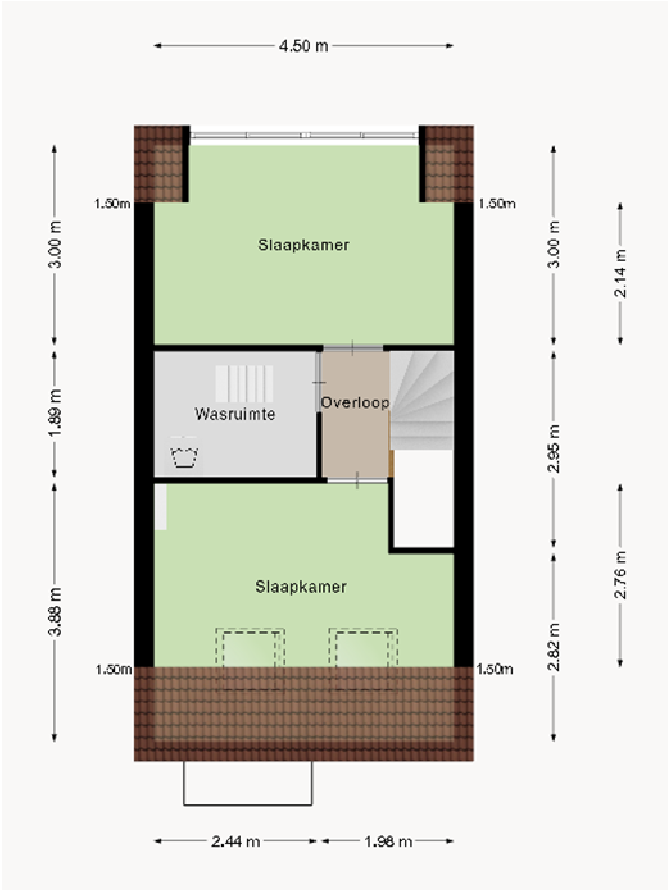
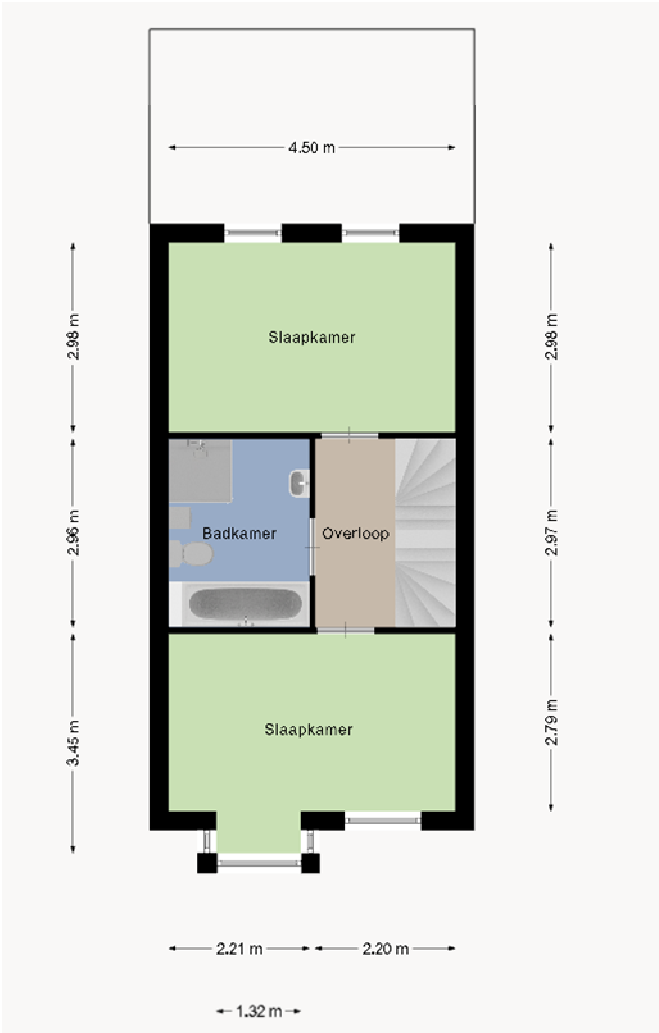
Tussenwoning

Begane grond: (wastafel + wc) + keuken

1e verdieping: Badtub+ douche + wastafel + wc

2e verdieping: wasruimte



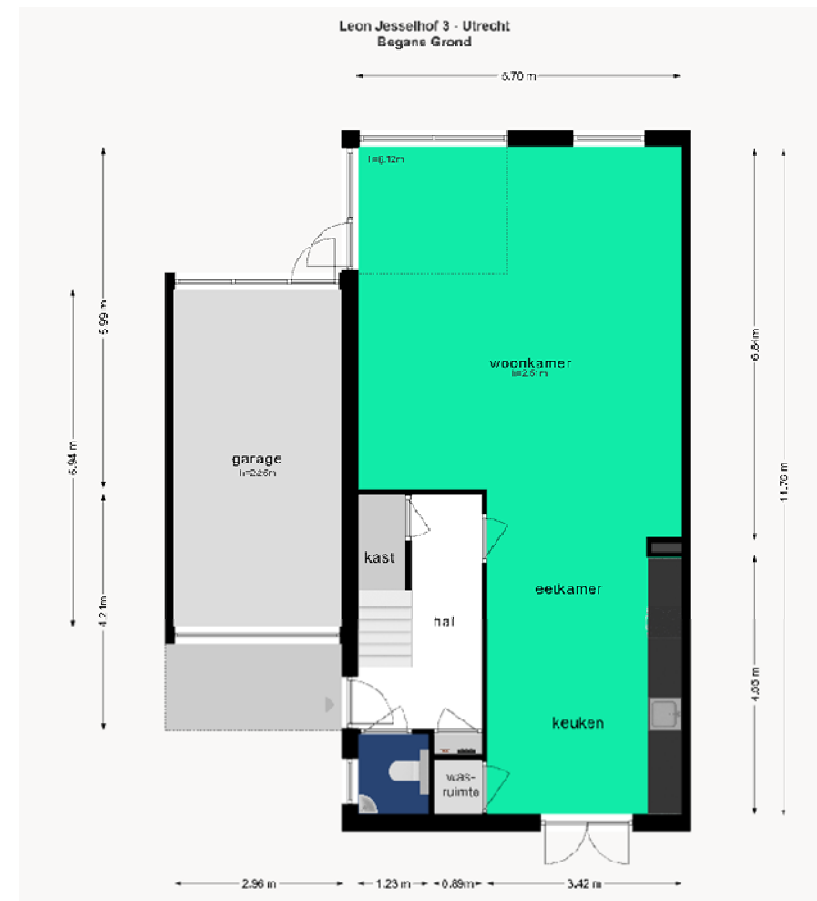




2-onder-1-kap

Begane grond: (wastafel + wc) + keuken + wasruimte

1e verdieping: Badtub+ douche + wastafel + wc



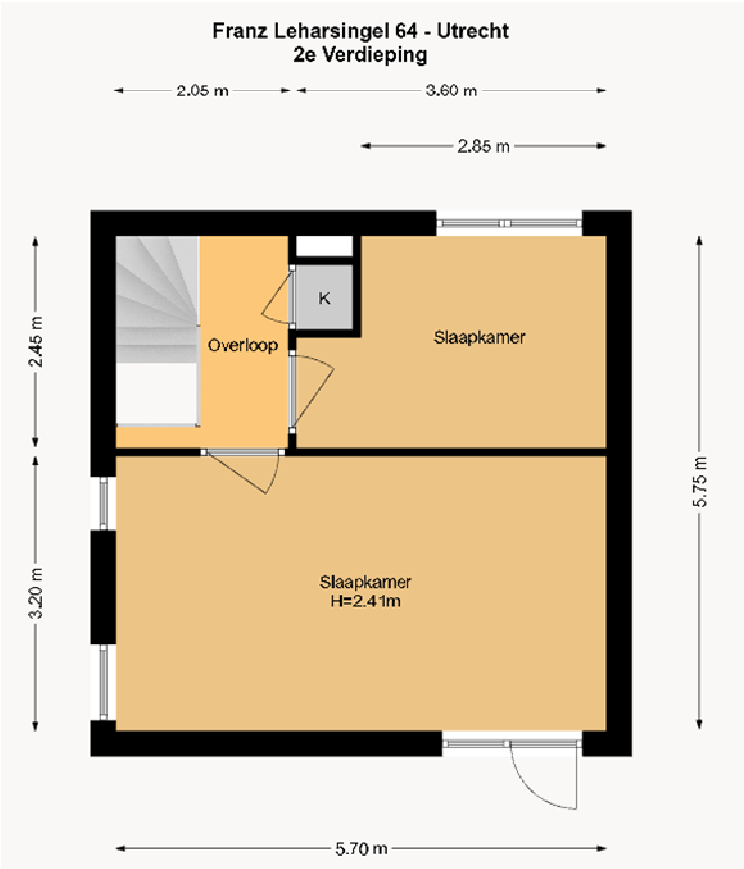
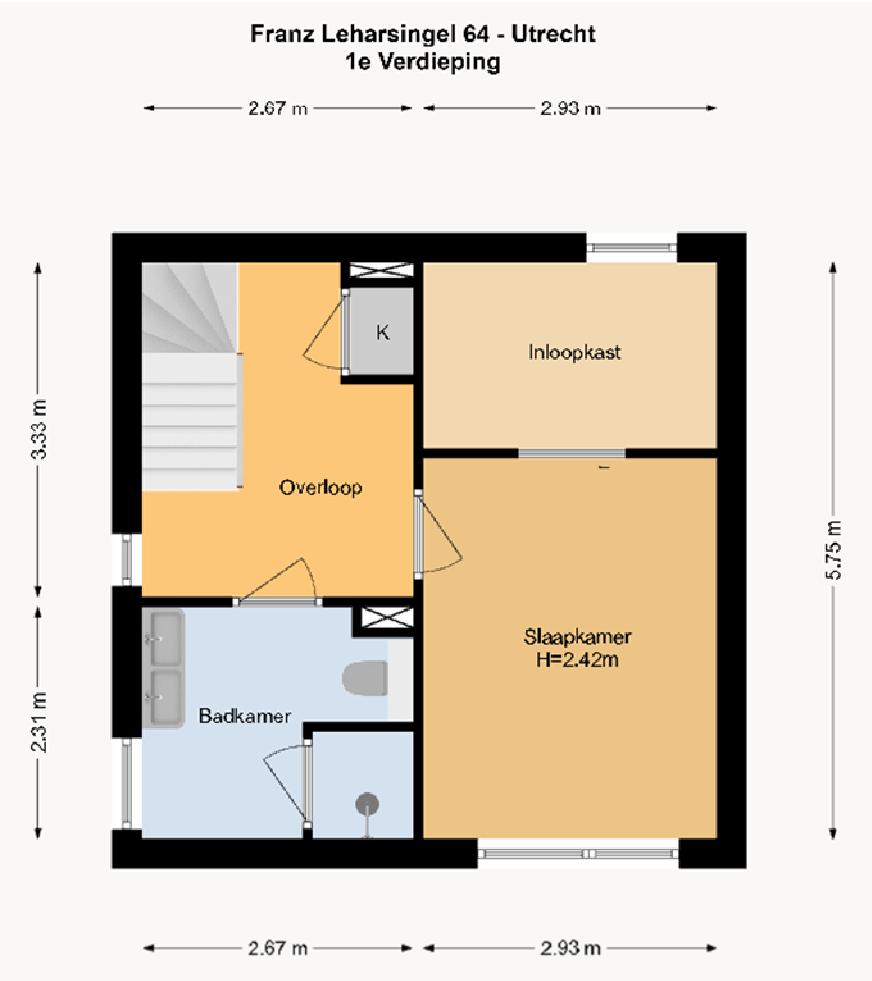


Vrijstaande woning

Begane grond: (wastafel + wc) + keuken

1e verdieping: Badtub+ douche + wastafel + wc



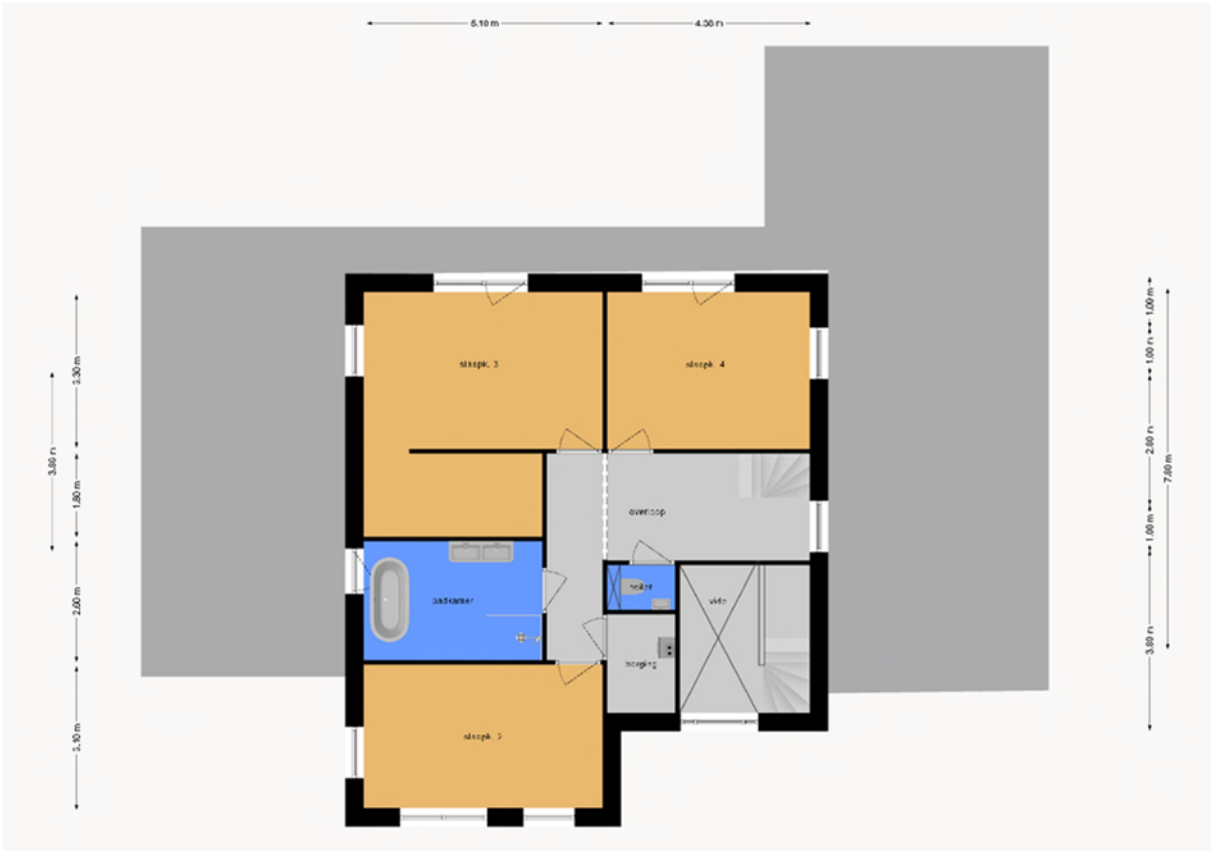


Groot Vrijstaand woning

Begane grond: (Bathtub+ douche + wastafel + wc) + (wastafel + wc) + keuken + bijkeuken

1e verdieping: Bathtub+ douche + wastafel + wc + wasruimte





XX Bijlage – Korte uitleg uitgebreide vragenlijst voor betere duiding geharmoniseerde meetprotocol

Een belangrijk onderdeel in het huidige project bij KWR is het beoordelen van de prestatie van het door de drinkwaterbedrijven gekozen geharmoniseerde meetprotocol. Profielbemonstering vormt een deel van het geharmoniseerde meetprotocol. Ten behoeve hiervan is een uitgebreide vragenlijst opgesteld (zie Bijlage XIX) om het proces van bemonstering te documenteren en allerlei metadata rondom de meting ook in kaart te brengen. Het is niet de bedoeling dat de vragenlijst bij elke uitvoering van het meetprotocol ingevuld moet worden.

Hieronder wordt uitgelegd waarom bepaalde elementen in de vragenlijst zijn opgenomen en wat de waarde van de bijbehorende kennis is:

- Communicatie met de klant is belangrijk omdat de medewerking van de klant nodig is voor een correcte uitvoering van het meetprotocol. Daarbij horen twee acties – de eerste is naleven van de langdurige stagnatie (6 à 8 uur) om een situatie van stagnatie te creëren voor de afgifte van lood en de tweede is voorafgaand aan de langdurige stagnatie langdurig door te spoelen om ervoor te zorgen dat alle lood in de achtergrond verwijderd wordt. Het vooraf doorspoelen is een “reset” waarbij lood in de achtergrond wordt verwijderd.
- Informatie over de type woning, het bouwjaar van de woning en jaar van aanleg van de aansluitleiding helpt een bedrijf om een beeld te krijgen over de mogelijke elementen die wellicht aanwezig zouden kunnen zijn. Voorbeeld: loodsoldeer is gebruikt tot in de jaren 90.
- Naast bovengenoemde punten kan verfijning van de drinkwaterinstallatie worden aangebracht in de vorm van informatie over materialen/merken in de binneninstallatie, de watermeter en andere fittings (denk aan ontharders) in de keuken. Ter voorbereiding van de analyse is het zeker nuttig om (ruwe) schetsen van de aansluitleiding/drinkwaterinstallatie in de pand te bestuderen. Op basis van lengtes en binnendiameters van de leidingen kan er ingeschat worden hoeveel liters water zich bevinden tussen de keukenkraan en de dienstkraan. Bij het berekenen van het volume moet de binnendiameter worden gebruikt (en geen nominale diameter). Wellicht weten de bewoners zelf iets over de leidingen achter de muren van vorige verbouwingen. Het merk watermeter en het type messing daarin is wenselijke informatie.
- Vooraf markeren van monsterflessen is zeer belangrijk voor de correcte duiding van de resultaten en het aanwijzen van de mogelijke locatie van het loodafgevend onderdeel.
- Het is goed om te weten of er druppelende kranen in het huis zijn. Substantiële lekken kunnen invloed hebben op de duiding van de resultaten van de profielbemonstering (locatie van loodafgevend onderdeel wordt te ver bovenstrooms geschat).
- Daarnaast is goed om te weten of er tijdens de stagnatie werkzaamheden plaats hebben gevonden in de buurt. Trillingen kunnen leiden tot het loskomen van deeltjes en een stijging in de gemeten loodconcentratie [54].
- Tijdens de meting moet er opgelet worden dat de perlator³⁴ niet is verwijderd om loskomen van mogelijke looddeeltjes niet onnodig te bevorderen.
- Het is beter om de kraan geleidelijk open te draaien om waterslag in de drinkwaterinstallatie te vermijden die mogelijk ook tot loslaten van deeltjes kan leiden.

³⁴ Een perlator is een vastgeschroefd onderdeel aan het uiteinde van een kraan. Het zorgt ervoor dat lucht wordt toegevoegd aan de straal waardoor er minder water uitstroomt.

- De kraan moet zover opengedraaid worden dat er een rustige straal ontstaat (en geen chaotische straal). Dit leidt tot een laminaire stroming in plaats van een turbulente. Om die reden is het goed ook om te meten wat het uitstroomvolume is geweest.
- Tijdens de bemonstering is het gewenst dat de monsterflessen continu achter elkaar gevuld worden zonder dat de kraan tussendoor dichtgedraaid wordt. Dit zorgt ervoor dat er geen waterslag in de drinkwaterinstallatie optreedt. Tussen de monsters moet er ook geen water verspild worden. Het is handig als er tijdens de bemonstering een lekbak in de gootsteen wordt geplaatst om verspild water te vangen en achteraf het volume daarvan te meten.
- Foto's van de meterkast en temperatuurmetingen geven extra informatie over de omgeving. De loodafgifte is hoger bij hogere temperaturen. Als de gemeten temperatuur (meterkast, water uit de kraan) lager is dan gemiddeld, kan worden verwacht dat de loodafgifte gemiddeld wat hoger is.
- Informatie over hoeveel mensen er in het huis wonen kan een drinkwaterbedrijf inzicht geven in hoe vaak of wanneer het water wordt gebruikt, op basis waarvan advies aan de klant kan worden gegeven. Op basis van de resultaten kunnen de adviezen verfijnd worden. Het is bijvoorbeeld niet ongebruikelijk dat kinderen gelijk een fles pakken, de kraan opendraaien en water drinken (zonder dat ze het even laten doorstromen). In zo'n geval kan er een passende advies gegeven worden.
- Informatie over de samenstelling van het water bij het pompstation zou ook interessant kunnen zijn in het duiden van resultaten in de profielbemonstering. De aard van loodafgifte is ook afhankelijk van de samenstelling van het water in contact met leidingwandmateriaal. Het is aanbevolen [47] dat de pH van het water $> 7,4$ is, omdat de loodafgifte lager is bij hogere pH. Bovendien is de massaverhouding van chloride en sulfaat een bepalende factor in het afgifte van lood [55]. Hoe hoger deze waarde, hoe hoger de loodafgifte vanuit zowel messing als soldeer die galvanische verbinding met koper heeft. Bij messing kan de mate van afgifte omhoog gaan met een factor 1,2-2,7 terwijl het voor loodsoldeer met een factor 2,3-40,0 kan stijgen.
- De vraag "Wat wordt in het laboratorium gemeten? Opgeloste (dissolved) of totale loodconcentratie (inclusief deeltjes)" in de vragenlijst is niet correct verwoord. Na het verzamelen van het monster is het aangezuurd waardoor deeltjes oplossen. In die zin is bij het laboratorium de opgeloste concentratie gemeten. De bedoeling van de vraag is echter om te achterhalen of er enige vorm van filtratie op de monster is uitgevoerd (bijvoorbeeld met een filter van $45\ \mu\text{m}$). Dit zorgt ervoor dat looddeeltjes niet in het monster terechtkomen.

XXI Bijlage – Vragenlijst voor betere duiding van geharmoniseerde meetprotocol (ingevuld voorbeeld)

Vanaf 2023 wordt de norm voor maximaal wekelijkse inname van lood in Nederland verlaagd van 10 µg/L naar 5 µg/L. Om te toetsen aan de norm en eventueel lood op te kunnen sporen wordt in een apart “Vewin -traject” (een samenwerking tussen Vewin, drinkwaterbedrijven, KWR, Sensileau en RIVM) een bemonsteringsprotocol (zie Bijlage 1) geformuleerd. Deze vragenlijst is opgesteld om het door de Nederlandse drinkwatersector gekozen bemonsteringsprotocol te evalueren en duiden. Hiermee kan er geleerd worden of de geformuleerde bemonsteringsprotocol voldoet aan de wensen van de sector en genoeg handelingsperspectief aanbiedt.

Invul instructie

- Vul de gele velden in
- Mocht er een vraag niet van toepassing zijn, vul dan in **NVT**

Informatie Respondent (meerdere namen mogelijk)

Wat is uw voornaam?	Aulia
Wat is uw achternaam?	Galama
Namens welk bedrijf vult u deze vragenlijst in?	Oasen
Wat is uw functie binnen het bedrijf	Monsternemer
Wat is de invuldatum (dd/mm/jjjj)?	26/04/2023

Actielijst

1. Communiceer de volgende opdracht met de klant: direct voor het begin van de langdurige stagnatie, spoel het water 5 minuten door de keukenkraan op maximale snelheid. Informeer de klant tijdig en stuur een herinnering op de avond voor de monsternamen. ☒
2. Lees de vragenlijst in zijn geheel voordat de meetprotocol wordt uitgevoerd. Markeer de monsterflessen goed van vooraf. ☒
3. Stel vragen aan de bewoners (vragen met *). Bij voorkeur deel vragen tijdens communiceren van de opdracht. ☒
4. Informatie uitzoeken o.b.v. de gegevens van het drinkwaterbedrijf (vragen met **). ☒
5. Stel vragen aan het laboratorium (vragen met ***). ☒
6. Maak een schets van de locatie van de distributieleidingen in de straat ten opzichte van de gevel, met (geschatte) maatvoering/ afstanden (op Blad 8 of op een apart papier). ☒
7. Maak een schets van de keukenkraan ten opzichte van de watermeter, met (geschatte) maatvoering/ afstanden (op Blad 9 of op een apart papier). ☒
8. Maak een foto van de meterkast (bij geen bezwaar van de bewoner, plaats de foto's in Blad 10). ☒
9. Noteer de watermeterstanden: vóór en na de metingen van serie 1 én vóór en na de metingen serie 2 (4 meterstanden). ☒
10. Meet de volgende temperaturen: buiten temperatuur, binnen temperatuur, temperatuur van het water uit de kraan (te meten nadat alle monsters van serie 1 zijn verzameld). ☒
11. Vul de vragenlijst in. ☒

Vragenlijst

Waar komt de info vandaan?

inspectie

Monsternemer

lab

Background

klant

dataregistratie/

resultaatverwerking

Sectie 1. Informatie bemonsteringslocatie algemeen

1.1	Wat is het adres van de gemeten locatie?	Click here to enter text.
1.2	Wat is de type woning?	Tussenwoning
1.3	Wat is het jaar van aanleg van de aansluitleiding?	2000
1.4	Wat is het bouwjaar van het huis?*	1980
1.5	Locatiecode / monsternummer	232040405045

Sectie 2. Informatie bemonstering serie 1

	Informatie Tijdens bemonstering	
2.1	Wanneer zijn de monsters genomen (datum dd/mm/jjj)?	25/04/2023
2.2	Hoe laat zijn de monsters genomen?	09.00 uur
2.3	Hoeveel monsters zijn er afgenomen?	3 monsters
2.4	Wat is het inhoud van elk monster (in milliliter)?	1000 milliliter
2.5	Wat is de watermeterstand vóór de metingen van serie 1?	00955027
2.6	Wat is de watermeterstand na de metingen serie 1?	00955031
2.7	Wat is de temperatuur: - Buiten het huis - Binnen, in de keukenruimte - In de meterkast - Van het water uit de kraan (te meten nadat alle monsters verzameld zijn)	9° Celsius 20° Celsius 21° Celsius 11° Celsius
	Resultaat	
2.8	Wat waren de loodconcentraties [in µg/L] in de monsters? Schrijf het in de volgorde van bemonstering.	6, 0, 1 µg/L
2.9	Wat is in het laboratorium gemeten? Opgeloste (dissolved) of totaal loodconcentratie (inclusief deeltjes) ***	totaal

Sectie 3. Informatie bemonstering serie 2

	Informatie Tijdens bemonstering	
3.1	Wanneer zijn de monsters genomen (datum dd/mm/jjj)?	25/04/2023
3.2	Hoe laat zijn de monsters genomen?	12.00 uur, 14.00 uur en 16.00 uur
3.3	Hoeveel monsters zijn er afgenomen?	3 monster
3.4	Wat is het inhoud van elk monster (in milliliter)?	1000 milliliter
3.5	Wat is de watermeterstand vóór de metingen van serie 2?	00955035

3.6	Wat is de watermeterstand na de metingen serie 2?	00955039
	Resultaat	
3.7	Wat waren de loodconcentraties [in µg/L] in de monsters?	1, 1, 7 µg/L
3.8	Wat wordt in het laboratorium gemeten? Opgeloste (dissolved) of totaal loodconcentratie (inclusief deeltjes) ***	Totaal

Sectie 4. Vragenlijst geharmoniseerde meetprotocol (aanvullende informatie voor betere duiding)

Sectie 4A. Algemeen

4.1	Wat is het doel van bemonsteringsprotocol? (Zie Figuur 1 op bladzijde 7)	Aantonen noodzaak (tijdelijk) doorstroomadvies
4.2	Welke loodconcentratie [in µg/L] is tijdens RDT bemonstering getroffen? Wanneer (datum en tijd) werd het gemeten?	8 µg/L, 15/03/2023, om 12.00 uur
4.3	Welke serie is er uitgevoerd (Serie 1a / Serie 1b / Serie 1c / Serie 1d / Serie 2 / Combi ...)?	Combi serie 1b en serie 2
4.4	Zijn er afwijkingen van de protocol? Bijvoorbeeld andere volume flessen?	nee
4.5	Welke informatie heeft het drinkwaterbedrijf over dit aansluitleiding? (materiaal, samenstelling, diameter, lengte tot gevel) **	PE, diameter 20 mm, 5 meter
4.6	Wat is ongeveer de leidinglengte tussen dienstkraan en watermeter en tussen watermeter en keukenkraan? Wat zijn de bijbehorende volumes? (schatting per 500 milliliter)	Tussen dienstkraan en watermeter = 5 meter Tussen watermeter en keukenkraan = 5 meter Volume = 3100 liter (info: 10 meter x π x (20 mm/2) ²)
4.7	Welke watermeter is aanwezig (merk)? Hoe oud is deze? Is messing zichtbaar? Wat zijn de leidingdiameters van de zichtbare leidingen (vóór en na watermeter) en welke materialen zijn ze?	Merk watermeter = 5 jaar oud Leiding diameter voor watermeter = 20 mm Leiding diameter na watermeter = 20 mm
4.8	Wanneer is de keukenkraan ingebouwd? Wat voor keukenkraan is het (materiaal, merk)? Zijn er bekende lekkages in het huis? Is er gecheckt tijdens/voor de meting of er gelekt is? Zo ja, hoe zag de lekkage (die nog niet gerepareerd is) eruit? *	2020 Materiaal = messing chroom Merk = Geen bekende lekkage
4.9	Vinden er (24 uur vóór de bemonstering) werkzaamheden in de buurt plaats (die tot trillingen in het huis kunnen leiden)? Zo ja, op welke afstand (schatting in meter)? *	Ja, 200 meter

4.10	Maken bewoners gebruik van een waterontharder of andere apparaten die de eigenschappen van drinkwater kunnen beïnvloeden? *	Ja, waterontharder
4.11	Wie woont er in de woning? (aantal mensen, leeftijden) *	4 mensen : 40 jaar, 37 jaar, 5 jaar, 1 jaar
4.12	Hebben de inwoners aanvullende informatie over (materiaal van) waterleidingen van eerdere inspecties en/of klussen? *	Nee

Sectie 4B. Serie 1

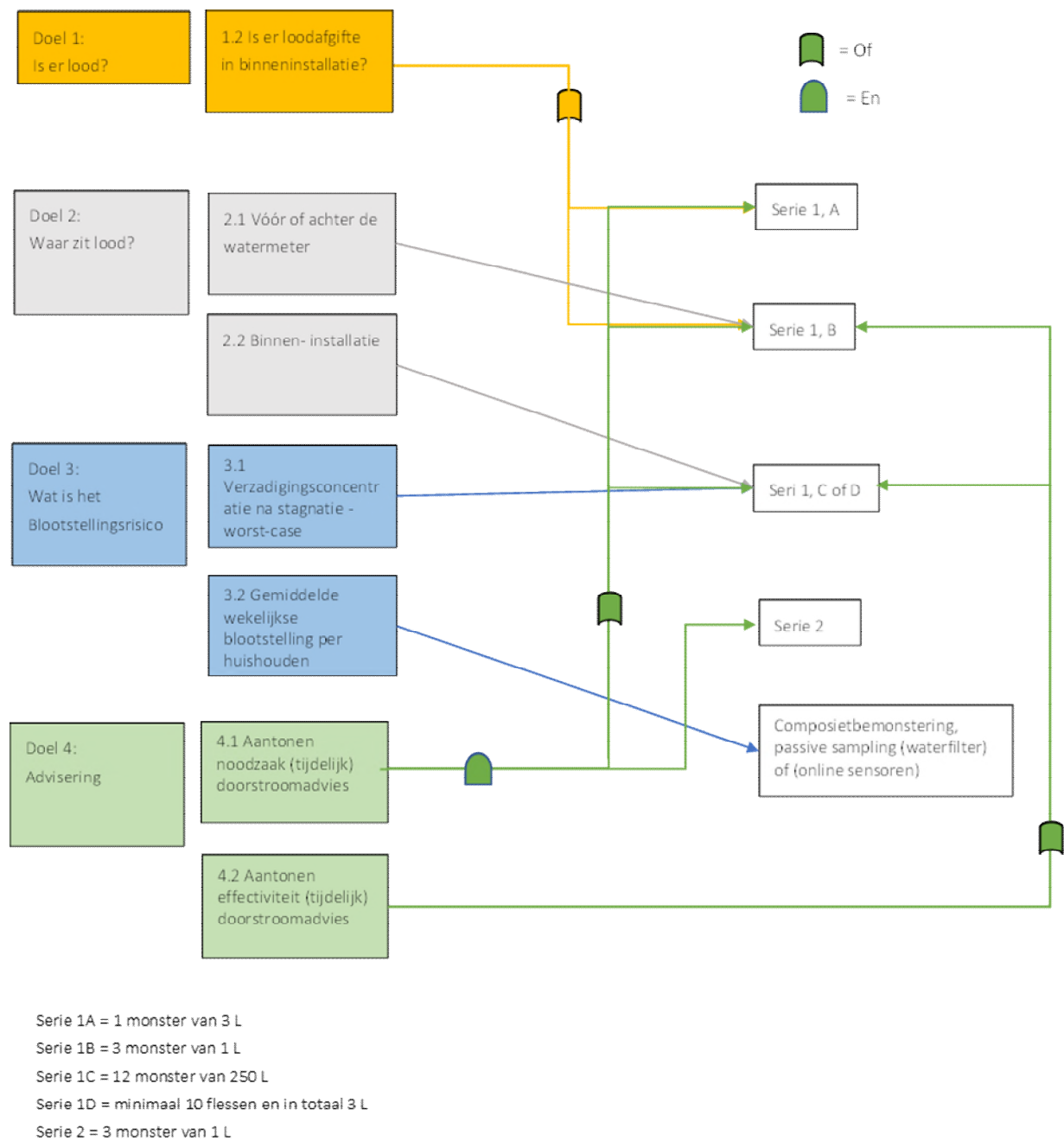
4.13	Is 3000 milliliter als genoeg volume geschat om water tot de dienstkraan te halen? Zo niet, hoeveel?	Ja
4.14	Wanneer en waar is er voor het laatst water in het huis verbruikt, voordat het monster werd genomen? *	Om 01.00 uur
4.15	Wanneer en waar is er voor het laatst water aan de keukenkraan verbruikt, voordat het monster werd genomen?	Om 21.00 uur
4.16	Is er direct voor de stagnatie door de kraan doorgespoeld op maximale snelheid? Zo ja, hoeveel milliliter (of hoelang)?	Ja, 5 minuten
4.17	Is de perlator verwijderd?	Ja
4.18	Hoe is de kraan opengedraaid? (Geleidelijk / Plotseling)?	Plotseling
4.19	Tot hoever is de kraan opengedraaid/geopend (rustige straal / chaotische straal)?	chaotische
4.20	Hoeveel seconden duurt het om een 250 ml fles in te vullen (te meten nadat alle monsters verzameld zijn)?	4 seconden
4.21	Is de volgorde van de monsterflessen vooraf gemarkeerd en is deze volgorde gevolgd?	Ja
4.22	Is de kraan dichtgedraaid om tussen flessen te wisselen? Zo niet, hoeveel water of hoe veel seconden is er verloren tijdens de wisseling?	Nee, 2 seconden per wisseling
4.23	Stond de kraan volledig op de koude instelling voor de meting?	Ja

Sectie 4C. Serie 2

4.24	Hoeveel mensen waren er thuis tussen de metingen van Serie 1 en Serie 2?	2 mensen
4.25	Is water verspild voordat er bemonsterd werd? Zo ja, hoe lang?	Ja, 2 seconden

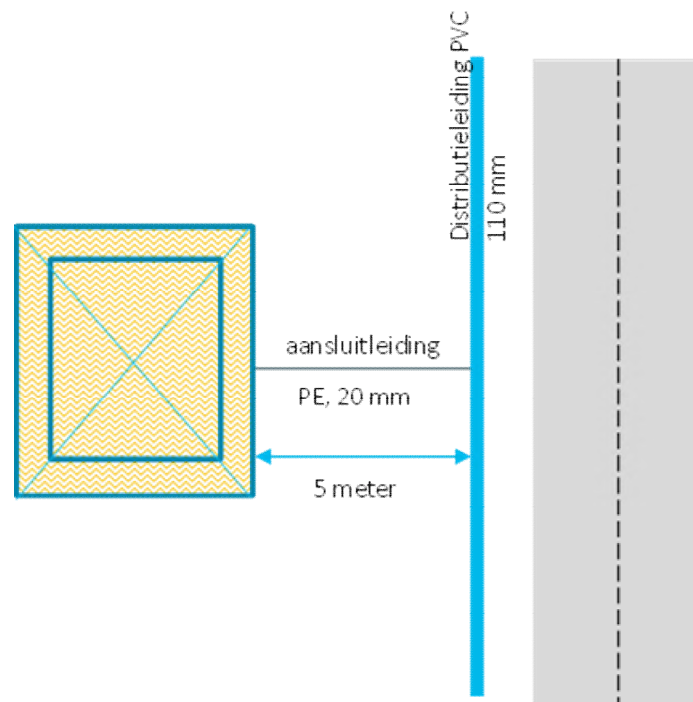
Sectie 4D. Aanvullende informatie

4.26	Wat is het leverend pompstation/productielocatie? Welke waardes werden voor pH, waterstofcarbonaat, sulfaat, chloride bij het uitgaande water gemeten? **	Pompstation, PH = 7,2, Waterstofcarbonaat = 70 mg/l, Sulfaat = 100 mg/l, Chloride = 100 mg/l
4.27	Hoe en wanneer is de aanzuring uitgevoerd? (Voor of na bemonstering, concentratie, type zuur) ***	Voor de bemonstering
4.28	Hoeveel dagen na monsternamen vond de lab analyse plaats? ***	3 dagen

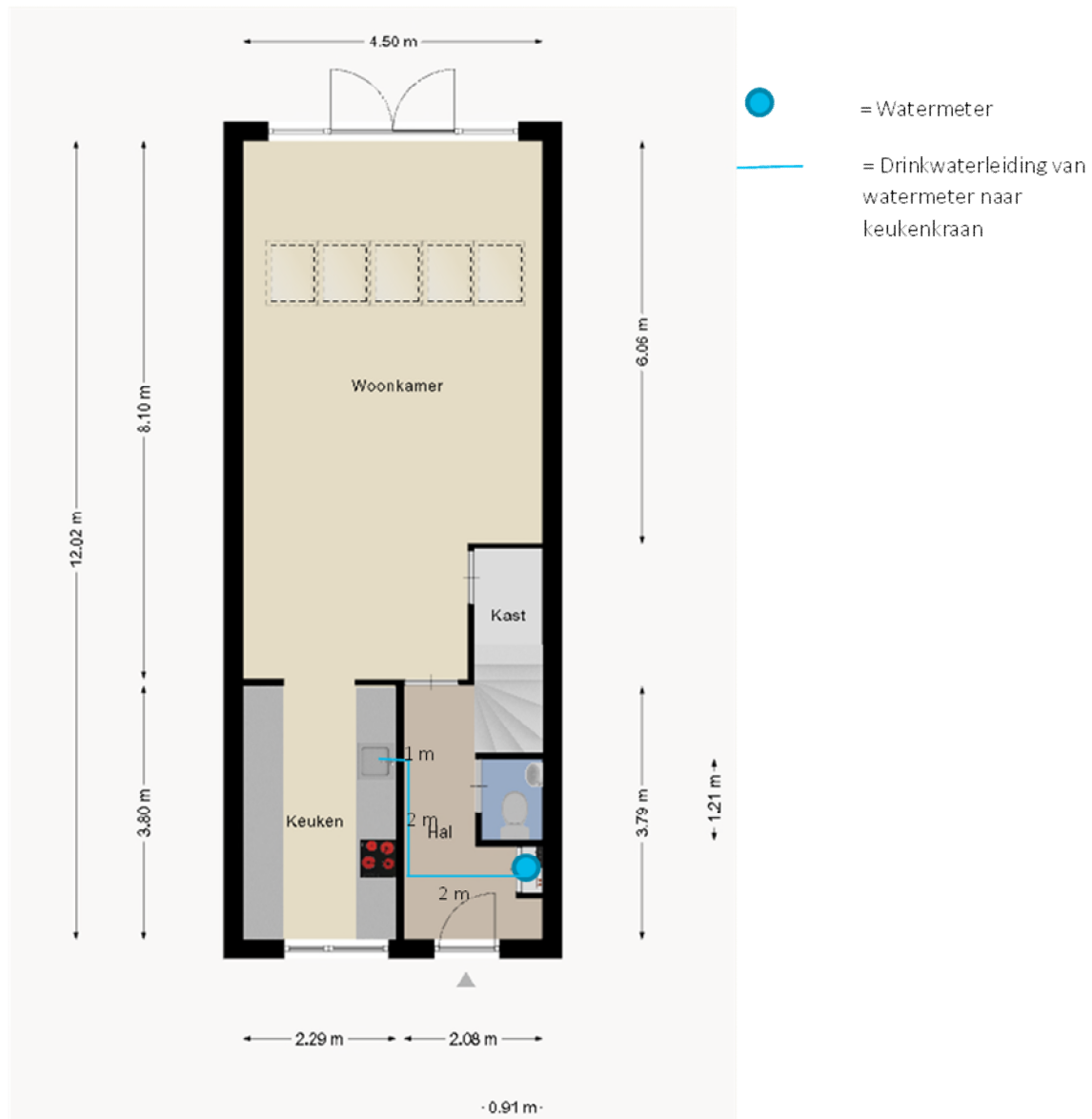


Figuur 92: Bemonsteringsstrategie o.b.v. de doelstellingen (Samengevat uit Tabel 3.2, Carpentier, 2022)

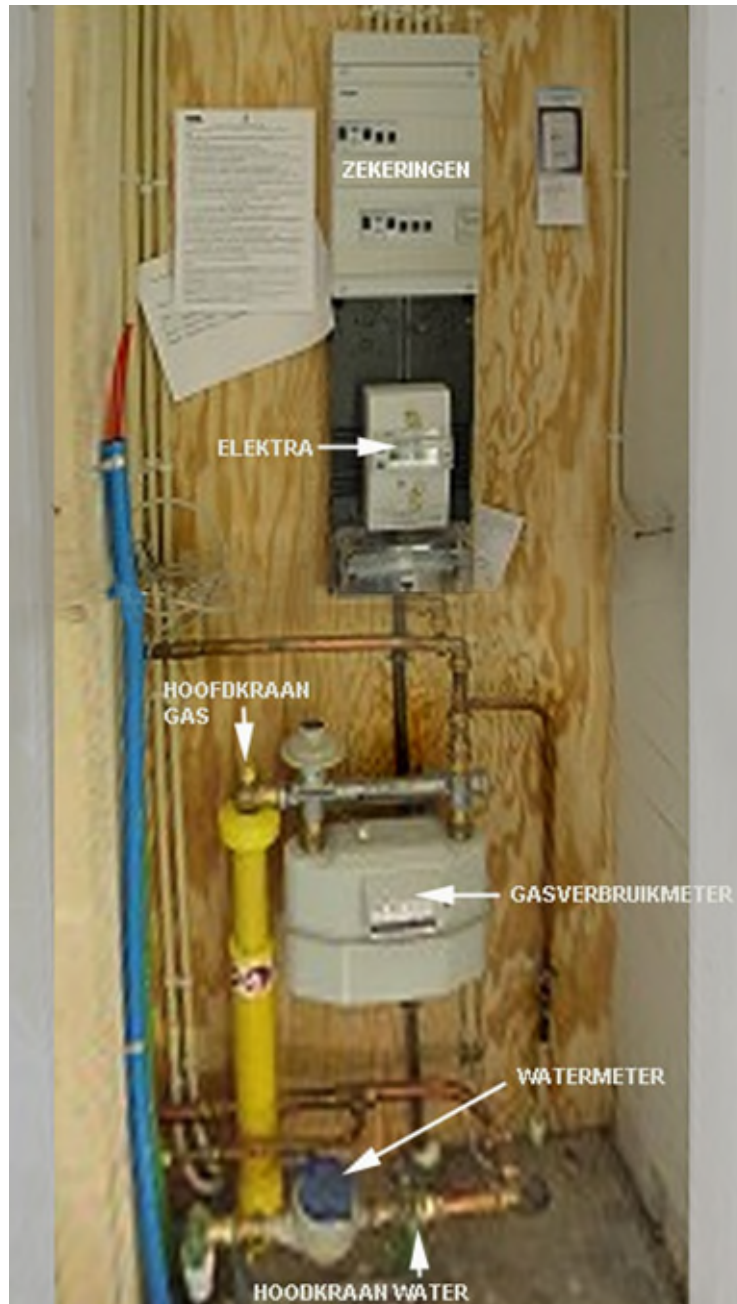
Schets van de locatie van de distributieleidingen in de straat ten opzichte van de gevel, met (ingeschatte) maatvoering/ afstanden:



Schets van de keukenkraan ten opzichte van de watermeter, met (ingeschatte) maatvoering/ afstanden:



Foto's van de meterkast:



<https://nl.wikipedia.org/wiki/Watermeter#/media/Bestand:Meterkast.jpg>

Bemonsteringsprotocol, Document G in het stappenplan (Carpentier, 2022)

Indien relevant: Bepaling volume binneninstallatie een aansluitleiding:

- Bepaal de leidinglengte en diameter van de tapkraan tot aan de distributieleiding.
- Bereken het volume van de binneninstallatie en de aansluitleiding op basis van de lengte en diameter van de leiding. Raadpleeg eventueel RIVM (2020) voor wat betreft leidingmaterialen en gangbare diameters.
- Bereken het benodigd aantal monsterflessen op basis van het gewenste monstervolume.

Bemonstering Serie 1 (profielbemonstering):

- Voer de bemonstering uit na minimaal 6 uur (nachtelijke) stilstand. Laat bewoners niet vooraf kranen of afsluiters bedienen om stagnatie te creëren/bevorderen, want deze bevatten messing en door deze handeling kunnen extra looddeeltjes in het te bemonsteren water terechtkomen, die er normaal gesproken niet voorkomen.
- Verwijder de perlator bij bemonstering niet, om loskomen van mogelijke looddeeltjes niet onnodig te bevorderen.
- Plaats de monsterflessen op volgorde en verwijder alle doppen. De bemonstering kan volgens één van vier opties worden uitgevoerd:
 - A. 1 monster van 3L;
 - B. 3 monsters van 1 L;
 - C. 12 monsters van 250 mL;
 - D. Ander klein flesvolume, waarbij minimaal 10 flessen en in totaal 3 L worden bemonsterd.
- Draai de tapkraan zover open dat er een rustige waterstraal ontstaat.
- Vul direct na het openen van de tapkraan, zonder water te verliezen, achtereenvolgens alle monsterflessen volgens het protocol³ behorend bij de betreffende monsterfles (zonder aan tapkraan te draaien).
- Sluit de tapkraan en draai de doppen op de monsterflessen.

Bemonstering Serie 2:

- Neem standaard monsters van 1 liter.
- Voer de bemonstering uit conform de gebruikelijke werkwijze voor RDT-monsters, zij het op de drie gekozen specifieke tijdstippen over een periode van 4 uur, met tussen twee monsternamen-tijdstippen minimaal 2 uur (bijvoorbeeld om 10:00, 12:00 en 14:00)

XXII Bijlage – Resultaten uitproberen geharmoniseerde meetprotocol door drinkwaterbedrijven

De uitgebreide vragenlijst is tien keer gebruikt en ingevuld tijdens het uitproberen van het geharmoniseerde meetprotocol. Twee bedrijven hebben het respectievelijk vijf en drie keer gedaan. Twee andere bedrijven hebben het één keer gedaan. Daarnaast heeft nog een bedrijf geoefend met profielbemonstering zonder een vragenlijst in te vullen. De resultaten zijn per geval gepresenteerd. Bij elk voorbeeld is er gekeken naar de mogelijke loodafgevende locatie. Hiervoor is ook gebruik gemaakt van de factor 1,3 als een bron van onzekerheid (aan de hand van snelheidsprofiel voor turbulente stromingen). De focus van deze paragraaf ligt vooral op de prestatie van profielbemonstering en minder op de RDT-metingen die ook bij het geharmoniseerde meetprotocol horen.

XXII.I Voorbeeld 01

Aanleiding: Bij dit voorbeeld zijn er hoge loodconcentraties aangetroffen tijdens de RDT-bemonsteringen, veel hoger dan de door het bedrijf gehanteerde waarde van 5 µg/L. Bij een visuele inspectie zijn geen grote, zichtbare loden onderdelen gevonden, zodat vermoed wordt dat de bronnen van lood kleinere onderdelen zijn. Profielbemonstering is uitgevoerd om erachter te komen waar het lood mogelijk vandaan komt.

Woning: Om profielbemonstering uit te voeren is een inschatting gedaan over het volume water in de binneninstallatie en aansluitleiding. Bij de binneninstallatie is het volume ingeschat op 0,5-0,8 liter.

Uitvoering bemonstering: Het kiezen van monstervolumes van 0,33 liter biedt in theorie dus genoeg resolutie (1 à 2 monsters voor alleen de binneninstallatie).

Mogelijke locatie(s) van loodafgifte: De resultaten zijn in Figuur 93 weergegeven. Het eerste monster (tussen 0-0,33 liter) heeft een verhoogde loodconcentratie. Ook als de volumes met 1,3 vermenigvuldigd worden blijft de volume bij de binneninstallatie lager dan 0,5 liter ($0,33 \times 1,3 = 0,43$ liter). In dit geval kan er op basis van de metingen met hoge zekerheid beweerd worden dat de bron van lood in de drinkwaterinstallatie zit (benedenstrooms van de watermeter) en dat de verantwoordelijkheid om het te verwijderen bij de pandeigenaar ligt.

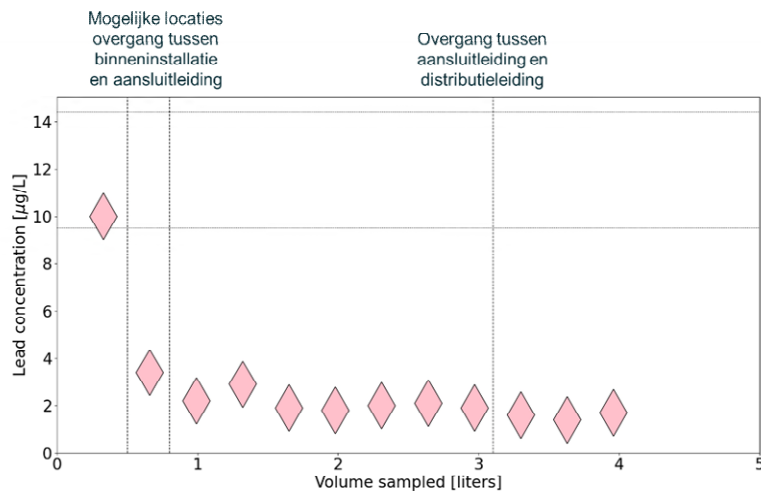
Nader te onderzoeken: De gemiddelde loodconcentratie van de eerste drie monsters (totale volume van 1 liter) is 5,2 µg/L, lager dan de waardes gemeten tijdens RDT (14,4 en 9,5 µg/L). Dit is verrassend en het blijft onduidelijk wat de bron van verhoogde loodconcentraties tijdens RDT is. Daarnaast is het opvallend dat er een plateauconcentratie van ongeveer 2 µg/L overblijft. Het is de moeite waard om soortgelijke metingen in de buurt uit te voeren om te bekijken of dat patroon op meerdere plekken wordt aangetroffen.

XXII.II Voorbeeld 02

Aanleiding: Deze meting is uitgevoerd om vast te stellen of er loodafgifte in de binneninstallatie plaatsvindt of niet. Op basis daarvan moet een advies worden geformuleerd.

Woning: Dit voorbeeld hoort bij een hoekwoning uit 1970 met een aansluitleiding die in hetzelfde jaar is aangelegd. De distributieleiding waarop de aansluitleiding is aangesloten is een PVC-leiding met diameter 110 mm. De aansluitleiding is van PE met diameter 32 mm en lengte 8,8 meter. De binneninstallatie bestaat uit 1,8 meter van 22

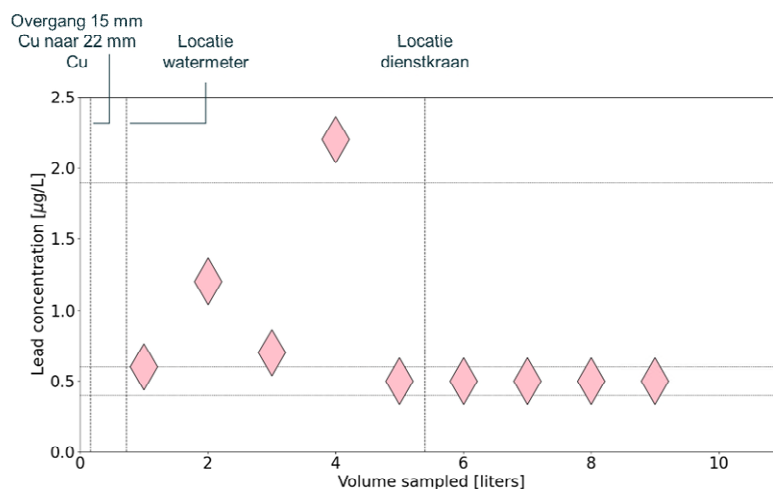
mm koper en 1,2 meter van 15 mm koper. De watermeter is vier jaar oud. Er is geen informatie over de keukenkraan beschikbaar.



Figuur 93: Profielbemonstering bij een woning - voorbeeld 01. De horizontale lijnen tonen waarden gemeten tijdens RDT, de verticale lijnen tonen locaties van aanzienlijke overgangen.

Uitvoering bemonstering: De monsters hebben een volume van 1000 ml, wat betekent dat alleen het eerste monster informatie over de binneninstallatie zal bevatten en de vier monsters erna enkel informatie over de aansluitleiding. Tijdens de bemonstering is de kraan geleidelijk opengedraaid tot een rustige straal. De gemeten volumestroom is echter 6 l/min wat in een leiding van een binnendiameter van 13 mm voor een turbulente stroming zal zorgen (dus chaotische straal). Het is niet bekend wat er met de kraan is gedaan tussen het wisselen van monsters.

Mogelijke locatie(s) van loodafgifte: In Figuur 94 ziet men de resultaten van deze profielbemonstering. Er is echter geen informatie over de eerste monster aangeleverd en dat is de enige monster die bij de binneninstallatie hoort. Bij de andere monsters zijn er meetbare concentraties van 0,5-2,5 µg/l tussen liters 1 t/m 4 gezien. Deze locaties horen bij de aansluitleiding. De hoogste concentratie bevindt zich in de vierde monster, dichtbij de dienstkraan. Als de factor 1,3 wordt vermenigvuldigd met de monstervolume, hoort de volume van de vierde monster (monster met hoogste concentratie) tussen 3,9 ($=3 \times 1,3$) en 5,2 ($=4 \times 1,3$) liters. Dit komt zeer dichtbij in de buurt van de dienstkraan en het is de moeite waard om oude tekeningen op te zoeken of er een messing dienstkraan is gebruikt.



Figuur 94: Profielbemonstering bij een woning - voorbeeld 02. De horizontale lijnen tonen waarden gemeten tijdens RDT, de verticale lijnen tonen locaties van aanzienlijke overgangen.

Nader te onderzoeken: De plateau bij de staart van de reeks heeft loodconcentraties met waarden van 0,5 µg/l, wat wellicht de detectiegrens van het meetapparaat is. De gerapporteerde verhouding tussen chloride-sulfaat massa's lijkt zeer hoog ($58/7,1 = 8,2$). Waarden van de verhouding hoger dan 0,5 zorgen waarschijnlijk voor hogere galvanische corrosie van loodsoldeer verbonden aan een koperen leiding [55]. Het huis en de aansluitleiding zijn van 1970 toen loodsoldeer nog gebruikelijk was. Er is echter geen monster genomen bij het deel met koperen leidingen. Daarnaast is het waardevol om een keer de meting te herhalen met hogere resolutie bij de binneninstallatie waarmee er een uitspraak over loodafgifte in de binneninstallatie kan worden gedaan.

XXII.III Voorbeeld 03

Aanleiding: Deze meting is uitgevoerd om de noodzaak van een advies voor (tijdelijke) doorstroming te onderzoeken.

Woning: Het betreft een tussenwoning met bouwjaar 1932. De aansluitleiding dateert van 2002 (maar als 2004 in het systeem van het drinkwaterbedrijf geregistreerd). De distributieleiding waarmee de aansluitleiding is aangesloten is een leiding van grijs gietijzer met diameter 100 mm. De aansluitleiding is van PE met diameter 25 mm en lengte 2,3 meter. De binneninstallatie bestaat uit 0,5 meter van 22 mm koper en 11,0 meter van 26 mm AluPEX. De leeftijd van de watermeter is onbekend. De keukenkraan is uit 2006 en in 2019 ingebouwd en is van messing chroom.

Uitvoering bemonstering: De monsters hebben een volume van 500 ml, waarbij zeven monsters informatie over de binneninstallatie hebben en slechts één monster informatie bevat over de aansluitleiding. Vlak voor aanvang van de langdurige stagnatie (8,5 uur stilstand) is de kraan op de maximale snelheid doorgespoeld. Tijdens de bemonstering is de kraan geleidelijk opengedraaid tot een rustige straal. De gemeten volumestroom is 0,25 l/min wat in een leiding van een binnendiameter van 13 mm voor een laminaire stroming zal zorgen (dus rustige straal). De kraan is opengelaten tijdens het wisselen van monsters maar zonder verlies van water.

Mogelijke locatie(s) van loodafgifte: In Figuur 95 ziet men de resultaten van deze profielbemonstering. De concentraties zijn zeer laag met lichte verhogingen aan het begin en eind van de reeks. Omdat de vijf monsters (monsters nummer 2 t/m 6) bij de AluPEX een verlaagde concentratie hebben, is het mogelijk dat de lood in het eerste monster afkomstig is uit het messing van de kraan.

Nader te onderzoeken: Het is opvallend dat er een stijging in concentraties aan het einde van de reeks optreedt. Een mogelijke verklaring hiervoor is de aanwezigheid van een distributieleiding van grijs gietijzer waarbij loodstriktouw bij verbindingen wordt gebruikt. Alhoewel de concentraties laag zijn is het de moeite waard om te bekijken of meerdere bewoners blootgesteld zijn aan een achtergrond loodconcentratie.

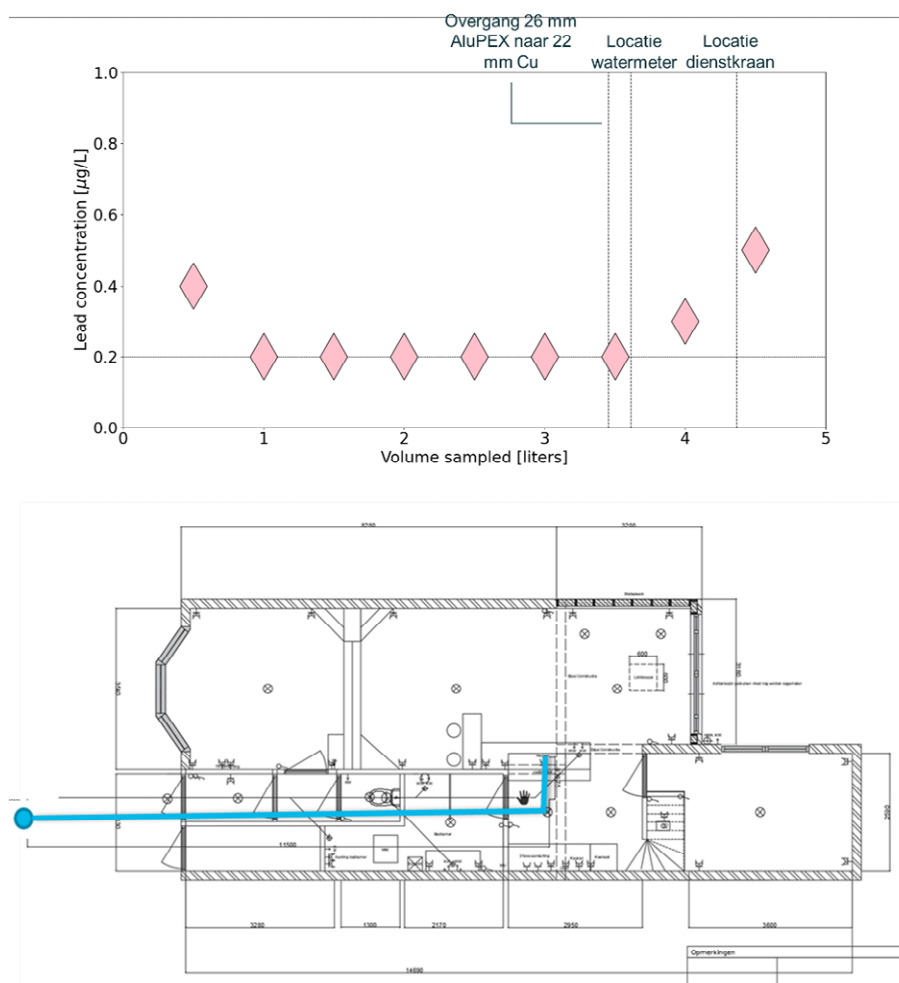
XXII.IV Voorbeeld 04

Aanleiding: Deze meting is uitgevoerd om vast te stellen of er loodafgifte in de binneninstallatie plaatsvindt of niet. Op basis daarvan moet een advies worden geformuleerd.

Woning: Het betreft een bovenwoning met bouwjaar 1924. De aansluitleiding dateert van 2004. De distributieleiding waarmee de aansluitleiding is aangesloten is een PVC leiding met diameter 110 mm. De aansluitleiding is van ZPE met diameter 25 mm en lengte 8,5 meter. De binneninstallatie bestaat uit 9,6 meter van 12 mm koper, 2,8 meter van 15 mm koper, 5,2 meter van 22 mm koper en 12,5 meter van 25 mm ZPE. De leeftijd van de watermeter is 19 jaar. Informatie over het inbouwjaar van de keukenkraan, gemaakt van messing chroom, is niet beschikbaar.

Uitvoering bemonstering: Bij deze woning is er twee keer profielbemonstering uitgevoerd. Alleen voor de eerste keer is een ingevulde vragenlijst gedeeld. De volgende informatie geldt zodoende voor de eerste profielbemonstering. De monsters hebben een volume van 1000 ml waarbij zes monsters informatie over de binneninstallatie bevatten en nog drie monsters informatie bevatten over de aansluitleiding. De langdurige stagnatie is niet voorafgegaan door een

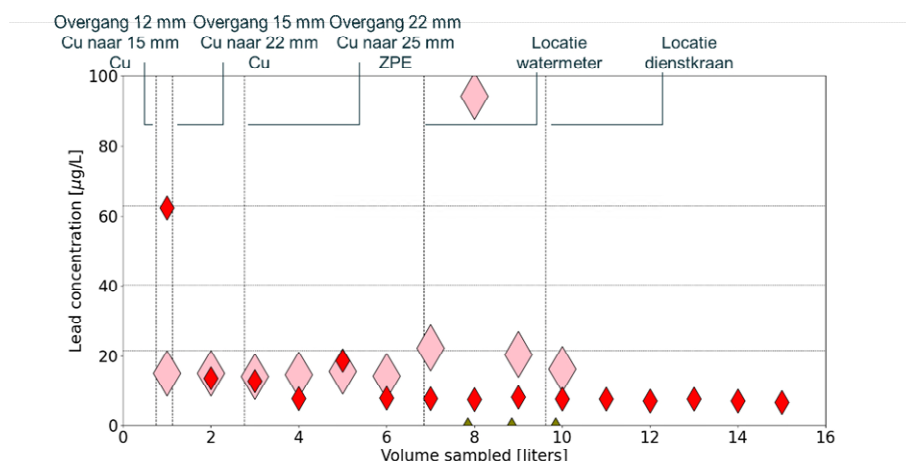
doorspoelactie. De langdurige stagnatie bij de woning heeft 10 uur geduurd en bij de keukenkraan zelfs 13 uur. Tijdens de bemonstering is de kraan plotseling opengedraaid tot een chaotische straal. De gemeten volumestroom is 8,6 l/min wat in een leiding van een binnendiameter van 13 mm voor een turbulente stroming zal zorgen (dus chaotische straal). De kraan is dichtgedraaid tijdens het wisselen van monsters. De tweede iteratie van profielbemonstering heeft plaatsgevonden nadat de leiding benedenstrooms van de meterput door de eigenaar is vervangen. Het is niet duidelijk of er een loden leiding is gevonden. In de tweede iteratie is er expres voor gekozen om 15 liters te bemonsteren (om er zeker van te zijn dat ook water uit een distributieleiding wordt bemonsterd). Er is geen informatie over de uitvoering beschikbaar. Tussen de twee iteraties zijn via een passtuk in de meterput ook drie monsters van één liter afgenomen, maar er is geen verder informatie over deze bemonstering beschikbaar. Ook is voor deze meting geen informatie over de uitvoering beschikbaar.



Figuur 95: (Boven) Profielbemonstering bij een woning - voorbeeld 03. De horizontale lijnen tonen waarden gemeten tijdens RDT, de verticale lijnen tonen locaties van aanzienlijke overgangen. (Beneden) Schets van de drinkwaterinstallatie en watermeter ten opzichte van de monsternamelocatie.

Mogelijke locatie(s) van loodafgifte: In Figuur 96 ziet men de resultaten van deze profielbemonstering. De resultaten zijn verwarrend. Bij de eerste iteratie van profielbemonstering is er behalve de piek een plateauconcentratie van ongeveer 15 µg/L gezien. De stagnatieduur bij de keuken is langer dan bij de hele woning. Omdat er geen verhoging is bij het eerste monster kan er worden gesteld dat de bijdrage van het messing bij de keukenkraan gering is. Het is onduidelijk of de verhoogde concentraties bij de eerste zes monsters iets zeggen over de binneninstallatie, omdat het hele leidingstelsel niet vooraf is doorgespoeld. De piek treedt precies in het midden van de aansluitleiding op (tussen liter 7 en 8) met een concentratie van bijna 100 µg/L. Als deze waarde met 1,3 vermenigvuldigd wordt, dan ligt het loodafgevend onderdeel tussen 9,1 en 10,4 liter die bij de dienstkraan is. Het is de moeite waard om hier verder naar te kijken, bijvoorbeeld door de archieven in te duiken. De tweede reeks metingen schetst echter een

heel ander beeld waarin de piek in het eerste monster verschijnt, dat wil zeggen dat het loodafgevende onderdeel dichtbij de keukenkraan is. Daarna dalen de waardes tot een plateauwaarde van ongeveer 7 $\mu\text{g/l}$ (dus lager dan de plateauwaarde bij de eerste profielbemonstering, maar wel hoger dan de norm). Voordat de leiding na de meterput is vervangen, zijn er ook drie monsters via een passtuk in de meterput afgenomen. Daarbij zijn concentraties van 0,2 $\mu\text{g/L}$ aangetroffen. Er is helaas een gebrek aan informatie om vast te stellen of de metingen (vooral de tweede profielbemonstering en de meting bij de meterput) op een goede manier zijn uitgevoerd (dezelfde stagnatieduur, vooraf doorspoelen, geen verspilling/waterverbruik). Een mogelijke verklaring voor de waarnemingen in de tweede profielbemonstering is dat ongeveer 7 liter water is verbruikt dan wel verspild tussen het begin van de stagnatieperiode en het moment van bemonstering.



Figuur 96: Profielbemonstering bij een woning - voorbeeld 04. De roze diamanten horen bij de eerste reeks metingen, de rode diamanten horen bij de tweede reeks metingen (na het vervangen van de leiding benedenstrooms de watermeter). De olijfgleurige diamanten bij 8-10 liters (onderin) zijn metingen uitgevoerd met behulp van een passtuk in de meterput. De horizontale lijnen tonen waardes gemeten tijdens RDT, de verticale lijnen tonen locaties van aanzienlijke overgangen.

Nader te onderzoeken: Over het algemeen geven de verschillende proeven een incoherent beeld van de situatie. Aanbevolen wordt om de profielbemonstering volgens het stappenplan aan het einde van dit hoofdstuk uit te voeren om vast te kunnen stellen wie verantwoordelijk is voor het saneren van loodafgevende onderdelen. Het laatste monster van de reeks heeft nog een verhoogde loodconcentratie. Daarom is het ook handig om onderzoek bij andere woningen in de buurt uit te voeren of een langere reeks bij dezelfde woning te bemonsteren.

XXII.V Voorbeeld 05

Aanleiding: Deze meting is uitgevoerd om het meetprotocol uit te proberen en te onderzoeken of lood aanwezig is in een recentelijk gerenoveerde keuken.

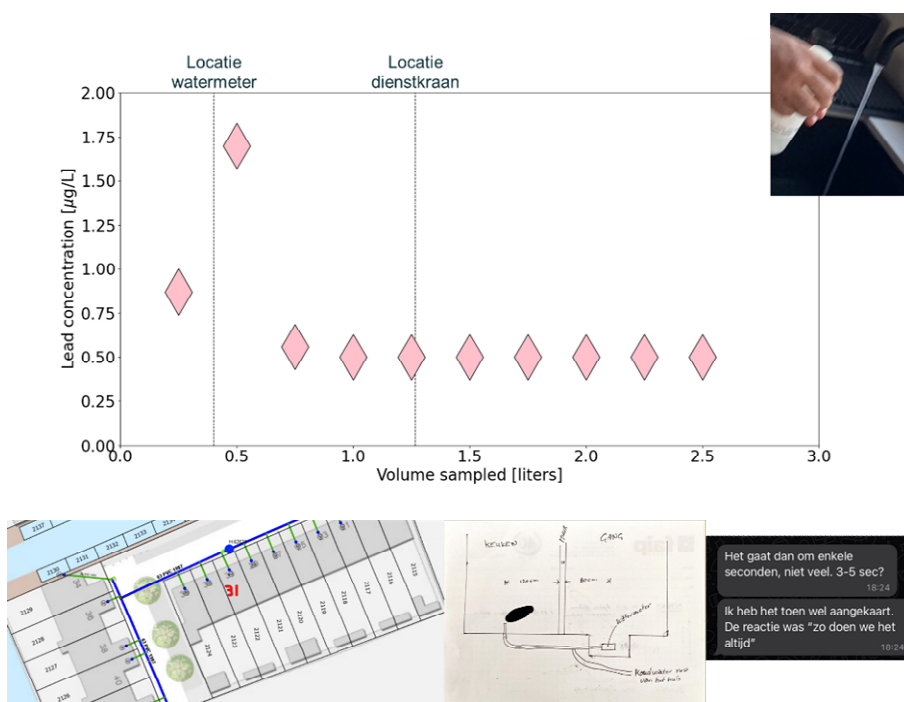
Woning: Het betreft een tussenwoning uit 1989. De aansluitleiding dateert van 1988. De distributieleiding waarmee de aansluitleiding is aangesloten is een PVC leiding met diameter 63 mm. De aansluitleiding is van ZPE met diameter 20 mm en lengte 4,3 meter. De binneninstallatie bestaat uit 2 meter van 20 mm leiding (materiaal onbekend). De leeftijd van de watermeter is 9 jaar. De keukenkraan is in 2023 ingebouwd en is van messing chroom.

Uitvoering van bemonstering: De monsters hebben een volume van 250 ml, waarbij één monster informatie over de binneninstallatie heeft en vier monsters informatie bevatten over de aansluitleiding. Vlak voor aanvang van de langdurige stagnatie is de kraan op de maximale snelheid doorgespoeld; de duur van de stilstand is onbekend. Tijdens de bemonstering is de kraan geleidelijk opengedraaid tot een rustige straal. Er is geen volumestroom gemeten direct na de meting. Achteraf is in overleg met de bewoner vastgesteld dat de volumestroom ongeveer 4 l/min was (bemonstering is op maximale snelheid gedaan). Zo'n volumestroom zal in een leiding van een binnendiameter van 13 mm voor een turbulente stroming zorgen (dus chaotische straal). De kraan is opengelaten tussen het wisselen van

monsters en het vermoeden bestaat dat gedurende een paar seconden water verloren is gegaan. Als de duur hiervan twee seconden is, gaat het om ongeveer 140 ml water (35% van de binneninstallatie en 16% van de aansluitleiding). Deze gebeurtenis is niet verrassend omdat het uitvoeren van profielbemonstering behoorlijk nieuw is en er nog ervaring mee moet worden opgebouwd. Niettemin zal dit zeker de duiding van de resultaten beïnvloeden.

Mogelijk locatie(s) van loodafgifte: In Figuur 97 ziet men de resultaten van deze profielbemonstering. De concentraties zijn over het algemeen laag met lichte verhogingen bij de eerste twee monsters. Voor het eerste monster is het lastig om te bepalen wat de oorzaak is van de verhoging – het messing in de keukenkraan of de watermeter. Hier zou het handig geweest zijn om nog meer verfijning bij de eerste paar monsters (dat wil zeggen, monsters met lagere volumes) gehad te hebben. Het tweede monster heeft een iets hogere concentratie van bijna 2 µg/L. Het tweede monster hoort bij de volumes 250-500 ml. Als bij deze waarden een volume van 140 ml (twee seconden water weggespoeld tussen het wisselen van monsters) wordt opgeteld en vervolgens met 1,3 wordt vermenigvuldigd, hoort de tweede monster bij volumes tussen 510-830 ml. In dit geval is er aanwijzing dat de loodafgifte bij de watermeter plaatsvindt. De rest van de monsters hebben lagere concentraties.

Nader te onderzoeken: Vanwege onnauwkeurigheden in de uitvoering van de bemonstering (verspilling tijdens wisselen van monsters) wordt aanbevolen om de meting een keer te herhalen met de juiste uitvoering, vooral om te bekijken of het invloed heeft op de locatie van de piek in het profiel.



Figuur 97: Boven: Profielbemonstering bij een woning - voorbeeld 05. De verticale lijnen tonen locaties van aanzienlijke overgangen. Rechtsboven: Openlaten van de kraan tussen het wisselen van monsters. Onder, van links naar rechts: Informatie over distributieleidingen in de buurt van de woning; Schets van de drinkwaterinstallatie en watermeter ten opzichte van de monsternamelocatie; Communicatie over de opengelaten kraan.

XXII.VI Voorbeeld 06

Aanleiding: Deze meting is uitgevoerd om te onderzoeken of lood aanwezig is en op basis daarvan een advies te formuleren.

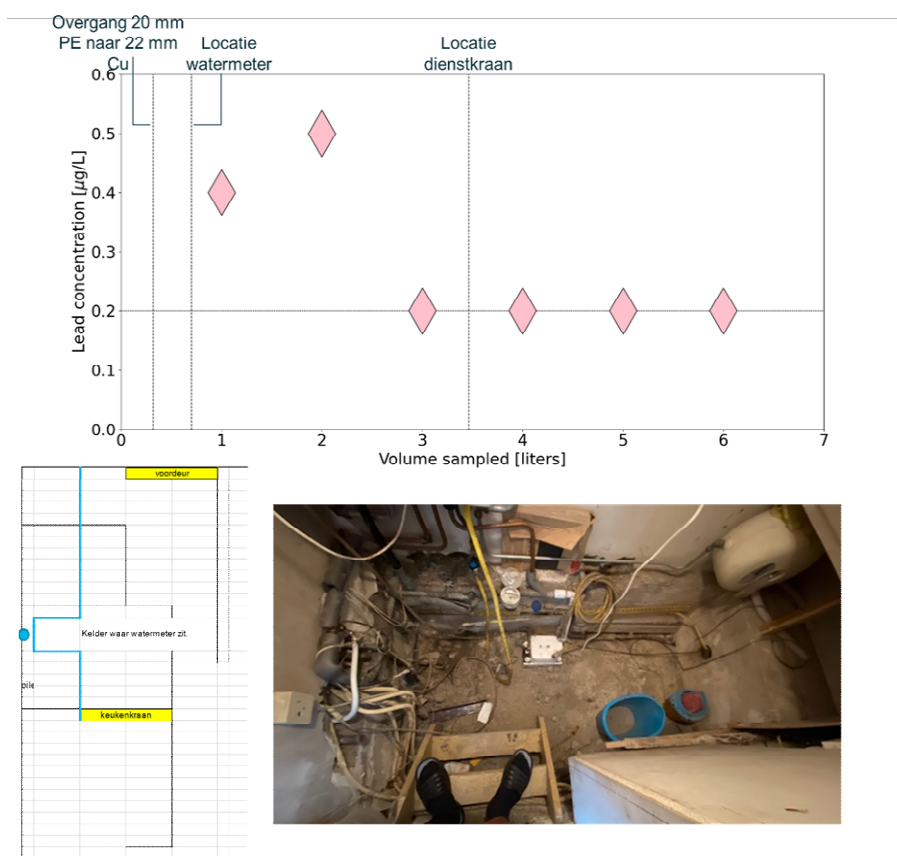
Woning: Een hoekwoning met bouwjaar 1963. De aansluitleiding dateert van 2000. De distributieleiding waarop de aansluitleiding is aangesloten is een PVC-leiding met diameter 110 mm. De aansluitleiding is van koper met diameter 22 mm en lengte 8,8 meter (4,8 meter buiten en 4 meter binnen). De binneninstallatie bestaat uit 1,2 meter van 22

mm koperen leiding en 1,6 meter van 20 mm van flexibele PE leiding. De leeftijd van de watermeter is 17 jaar. Er is geen informatie over de keukenkraan beschikbaar.

Uitvoering van bemonstering: De monsters hebben een volume van 1000 ml, waarbij geen van de monsters informatie bevatten over alleen de binneninstallatie. Het eerste monster bevat water uit een groot deel van de binneninstallatie, de hele watermeter en een stuk van de aansluitleiding. De twee monsters hierna horen bij de aansluitleiding (concentratie bij de derde monster is onbekend). Vlak voor het de start van de langdurige stagnatie is de kraan op de maximale snelheid doorgespoeld; de stagnatieduur is onbekend. Tijdens de bemonstering is de kraan plotseling opengedraaid tot een rustige straal. Er is geen volumestroom gemeten direct na de meting. De kraan is opengelaten tijdens het wisselen van monsters maar het is niet bekend of er water is verspild tijdens de wisselingen.

Mogelijk locatie(s) van loodafgifte: In Figuur 98 ziet men de resultaten van deze profielbemonstering. De concentraties zijn over het algemeen laag met lichte verhogingen bij de eerste twee monsters. Het is lastig om te achterhalen wat de bron hiervan is door de grofheid van het profiel. Een veronderstelling is dat elementen van de aansluitleiding (bijvoorbeeld het messing van de relatief oude watermeter) voor deze lichte verhoging zorgen. Het is niet verwacht dat loodsoldeer bij deze aansluitleiding aanwezig is. Het vermenigvuldigen van de profiel met 1,3 voegt weinig toe.

Nader te onderzoeken: Alhoewel de concentraties over het algemeen laag zijn, wordt aanbevolen de metingen te herhalen met kleinere monstervolumes in het begin van de reeks om een beter onderscheid te kunnen maken tussen de drinkwaterinstallatie, de watermeter en de aansluitleiding.



Figuur 98: (Boven) Profielbemonstering bij een woning – voorbeeld 06. De horizontale lijnen tonen waardes gemeten tijdens RDT, de verticale lijnen tonen locaties van aanzienlijke overgangen. Linksonder: Schets van de drinkwaterinstallatie en watermeter ten opzichte van de monsternamelocatie. Rechtsonder: Foto van de kelder waar de watermeter zit.

XXII.VII Voorbeeld 07

Aanleiding: Deze meting is uitgevoerd om de meetprotocol uit te proberen.

Woning: Het betreft een tussenwoning uit 1750. Het huis is de afgelopen jaren compleet gerenoveerd inclusief drinkwaterleidingen. De aansluitleiding dateert van 2015. De distributieleiding waarmee de aansluitleiding is aangesloten is een PVC leiding met diameter 160 mm. De aansluitleiding is van ZPE met diameter 20 mm en lengte 5,05 meter. De binneninstallatie bestaat uit 12 meter van 20 mm AluPEX leiding. De leeftijd van de watermeter is 2 jaar. De keukenkraan is in 2020 ingebouwd en is vermoedelijk van messing.

Uitvoering van bemonstering: Bij deze woning is er twee keer bemonsterd met een periode van twee weken tussen de twee. De eerste keer zijn er vijf monsters van 1000 ml afgenomen, waarbij twee monsters informatie over de binneninstallatie bevatten en één monster informatie bevat over de aansluitleiding. Naar aanleiding van de uitslag van de eerste bemonstering is een tweede bemonstering gedaan door het uitsplitsen van het derde monster van 1000 ml in tien monsters van 100 ml. Vlak voor aanvang van de langdurige stagnatie is de kraan op maximale snelheid doorgespoeld. De stagnatieduur in de woning is ongeveer 7 uur en ongeveer 9 uur bij de keuken. Tijdens de bemonstering is de kraan geleidelijk opengedraaid tot een rustige straal. Er is geen volumestroom gemeten na de meting. De kraan is tussen de metingen niet gesloten en de flessen zijn achter elkaar gevuld met korte tussenpozen van 1 seconde. Bij deze metingen is de perlator verwijderd voor de bemonstering. Het is onduidelijk wat de invloed daarvan op de resultaten is.

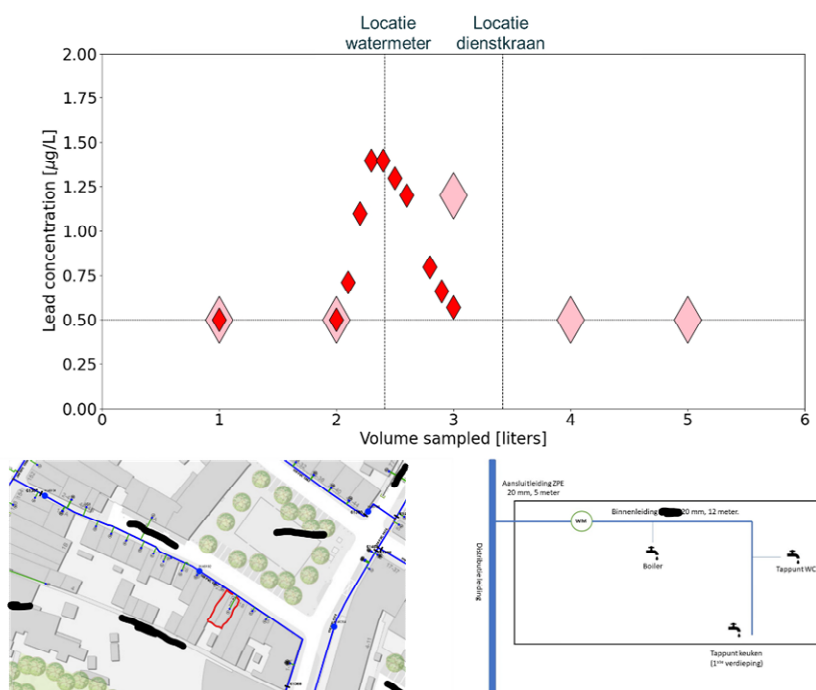
Mogelijke locatie(s) van loodafgifte: In Figuur 99 ziet men de resultaten van deze profielbemonstering. De concentraties in de reeks waarin alleen monsters van 1 liter zijn afgenomen zijn over het algemeen laag met een lichte verhoging bij het derde monster. Deze verhoging wijst aan een bron van lood ergens in de aansluitleiding. De keukenkraan heeft geringe invloed op loodafgifte. Om dat verder te onderzoeken is nog een reeks bemonsterd waarin het derde monster in tien delen is gesplitst. Deze verfijning toont nauwkeurig een piek bij de watermeter. Het is opvallend dat de totale massa lood (optelsom van volume monster $\times$ loodconcentratie voor alle monsters) in de derde liter voor beide metingen gelijk is. Dit toont de robuustheid van de techniek aan. Het vermenigvuldigen van de profiel met 1,3 schuift de bron van loodafgifte richting de dienstkraan ($2,4 \times 1,3 = 3,1$ liter).

Nader te onderzoeken: Deze resultaten tonen duidelijk de mogelijkheden van profielbemonstering bij het lokaliseren van loodafgifte. Er blijven nog onzekerheden over de exacte locatie van de bron als er een propstroming wordt aangenomen of met een factor 1,3 wordt vermenigvuldigd. Het zou leuk zijn om een keer de bemonstering uit te voeren bij de watermeter (indien een aftapkraan beschikbaar is) met kleine monstervolumes.

XXII.VIII Voorbeeld 08

Aanleiding: Deze meting is uitgevoerd om te onderzoeken of lood aanwezig is en op basis daarvan een advies te formuleren.

Woning: Het betreft een benedenwoning met bouwjaar 1930. De aansluitleiding dateert van 1989. De distributieleiding waarmee de aansluitleiding is aangesloten is een leiding van grijs gietijzer met diameter 125 mm. De aansluitleiding is van PE met diameter 32 mm en lengte 1,75 meter. De binneninstallatie bestaat uit 1,6 meter van 12 mm koperen leiding, 0,65 meter van 15 mm koperen leiding, 7,5 meter van 22 mm koperen leiding en 7 meter van 28 mm koperen leiding. Bij deze woning is geen watermeter aanwezig en de aansluiting bij de keuken is ook verbonden met de keukenaansluitingen van de burens in het gebouw. De keukenkraan is van messing chroom, het bouwjaar is onbekend.



Figuur 99: Boven: Profielbemonstering bij een woning - voorbeeld 07. De roze diamanten horen bij de eerste bemonstering met grote monstervolumes, de rode diamanten horen bij de tweede bemonstering met kleine monstervolumes. De horizontale lijnen tonen waarden gemeten tijdens RDT, de verticale lijnen tonen locaties van aanzienlijke overgangen. Linksonder: Informatie over distributieleidingen in de buurt van de woning. Rechtsonder: Schets van de drinkwaterinstallatie en watermeter ten opzichte van de monsternameloctie.

Uitvoering van bemonstering: Er zijn twaalf monsters van 1000 ml afgenomen, waarbij zes monsters informatie over de binneninstallatie bevatten en één monster informatie bevat over de aansluitleiding. Vlak voor aanvang van de langdurige stagnatie is de kraan op de maximale snelheid doorgespoeld. De stagnatieduur bij de keuken is ongeveer 8 uur. Echter vanwege de aanwezigheid van een stijgleiding kan de stagnatie verstoord worden als tijdens de stagnatieperiode water in de keuken van de burens wordt verbruikt. Daarom is het in dit geval ingewikkelder de resultaten te duiden zonder precieze informatie over de binneninstallatie (hoe ziet de stijgleiding er precies uit en welke delen van de binneninstallatie/aansluitleiding horen exclusief bij de woning waar bemonsterd is) en waterverbruik door de burens. Tijdens de bemonstering is de kraan geleidelijk opengedraaid tot een rustige straal. De gemeten volumestroom is echter 4 l/min wat in een leiding van een binnendiameter van 13 mm voor een turbulente stroming zal zorgen (dus chaotische straal). De kraan is tussen de metingen dichtgedraaid.

Mogelijke locatie(s) van loodafgifte: In Figuur 100 ziet men de resultaten van deze profielbemonstering. Vanaf het derde monster is er een plateauwaarde van 0,5 µg/l waargenomen. Omdat er een distributieleiding van grijs gietijzer aanwezig is, kan loodafgifte vanuit loodstriktouw niet uitgesloten worden als bron van deze plateauwaarde aan de staart van de profiel. De eerste twee monsters hebben een iets verhoogde loodconcentratie van 1,2 µg/l. Dit wijst op de mogelijkheid dat het lood afkomstig is uit het messing in de keukenkraan of loodsoldeer in de koperen leiding. De duiding wordt echter bemoeilijkt vanwege de aanwezigheid van een stijgleiding zoals eerder uitgelegd.

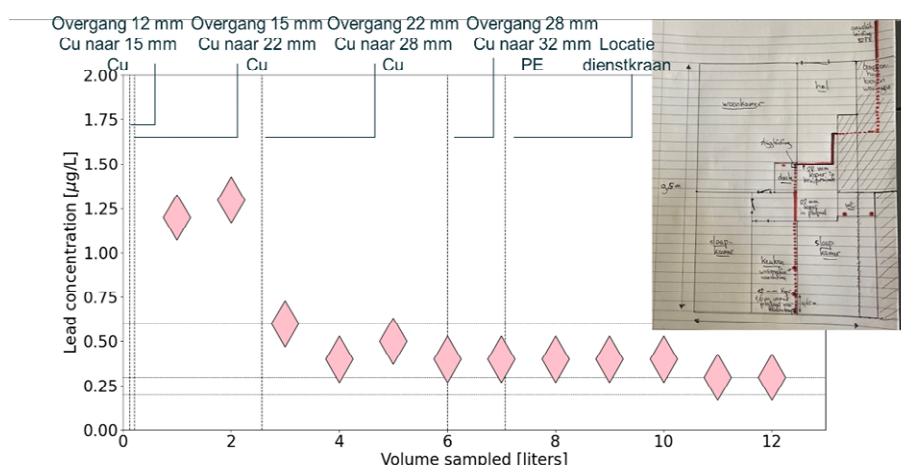
Nader uit te zoeken: Het is de moeite waard om de meting te herhalen in een vakantieperiode (wanneer de burens met dezelfde stijgleiding weg zijn) waarin de langdurige stilstand niet meer verstoord kan worden.

XXII.IX Voorbeeld 09

Aanleiding: Bij deze woning waren de details van de aansluitleiding onbekend. Tijdens het vergaren van informatie is van de bewoners te horen gekregen dat de aansluitleiding deels van lood en deels van koper is. Dit vormt een aanleiding voor het uitproberen van profielbemonstering om te kijken of er onderscheid tussen de koperen en loden

delen gemaakt kan worden. Na de bemonstering is er ook een inwendige camera-inspectie met behulp van een endoscopische camera gedaan om de profielbemonstering te valideren. De camera is via de watermeter in de aansluitleiding ingebracht (nadat de dienstkraan is dichtgedraaid) en door de aansluitleiding getrokken. Het was mogelijk om grofweg de eerste 5,5 meter van de aansluitleiding te visualiseren. Voorbij dit punt was visualisatie niet meer mogelijk vanwege de beperking in het aantal bochten die doorlopen kunnen worden. De eerste 5,5 meter na de watermeter waren zeker van koper en op een aantal plekken was loodsoldeer zichtbaar. De bedoeling van deze test met de camera was om de methodiek van profielbemonstering te valideren, maar is helaas mislukt.

Woning: Dit voorbeeld betreft een 2-onder-1-kapwoning met bouwjaar 1890. Het aanlegjaar van de aansluitleiding is onbekend. Tijdens het verzamelen van informatie door het drinkwaterbedrijf is vastgesteld dat er lood in de aansluitleiding aanwezig is. De distributieleiding waarmee de aansluitleiding is aangesloten is een grijs gietijzeren leiding met diameter 225 mm uit 1936. De aansluitleiding is vermoedelijk een samenstelling van stukken koper en lood. De lengte en inwendige diameter daarvan zijn ingeschat op respectievelijk 21 meter en 20 mm. De binneninstallatie bestaat uit een koperleiding van 2 meter met een inwendige diameter van 20 mm. De leeftijd van de watermeter is 11 jaar. De keukenkraan is in 2020 ingebouwd.



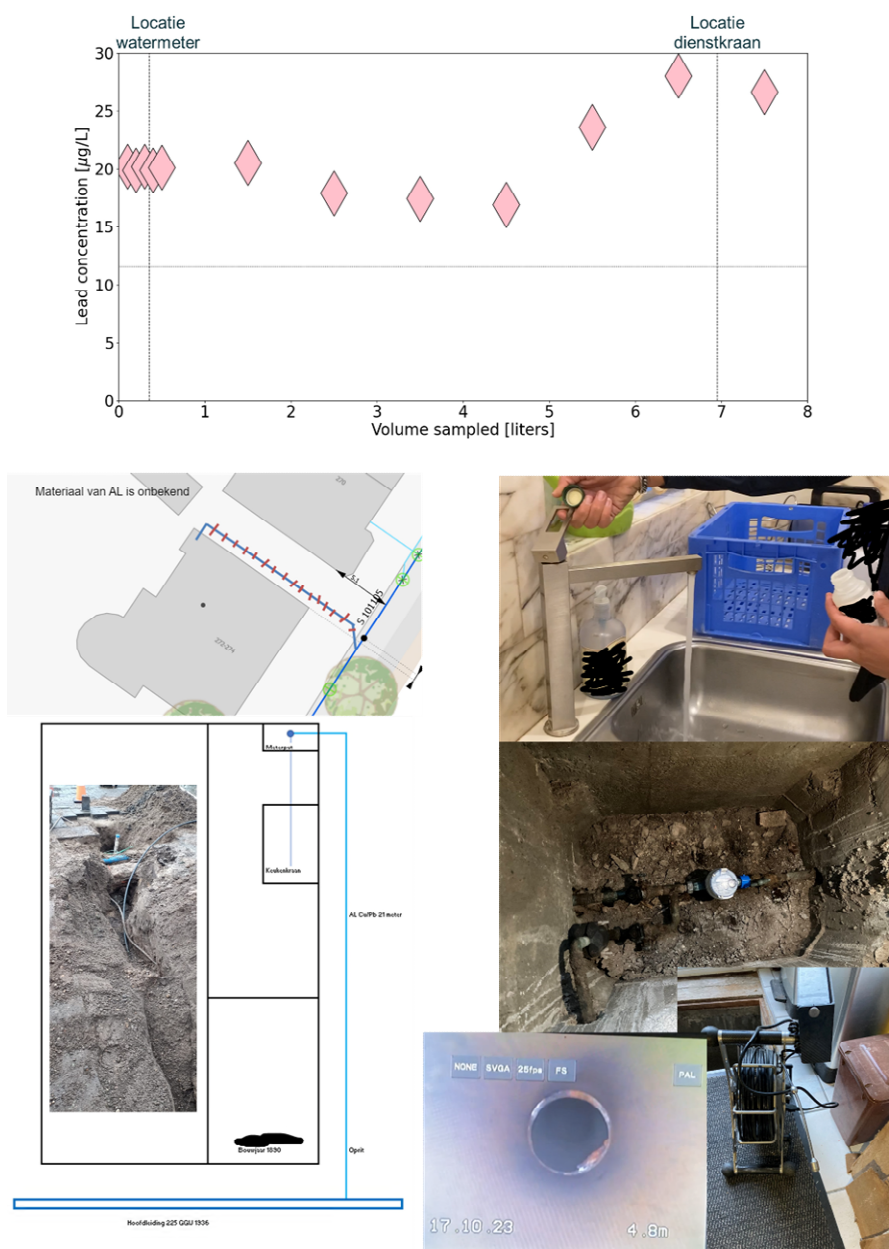
Figuur 100: Boven: Profielbemonstering bij een woning - voorbeeld 08. De horizontale lijnen tonen waarden gemeten tijdens RDT, de verticale lijnen tonen locaties van aanzienlijke overgangen. Rechtsboven: Gedetailleerde schets van de binneninstallatie en aansluitleiding.

Uitvoering bemonstering: Bij deze bemonstering is ervoor gekozen om twee monstervolumes te hanteren – vijf monsters van 100 ml om de binneninstallatie te dekken en dan nog zeven monsters van 1000 ml om de aansluitleiding te dekken. Daarna is het water een aantal minuten doorgestroomd waarna er nog een monster van 100 ml is genomen. Vlak voor aanvang van de langdurige stagnatie is de kraan op de maximale snelheid doorgespoeld. Alhoewel er een stilstand is geweest hebben de bewoners vlak voor de bemonstering per ongeluk ongeveer 250 ml water uit de keukenkraan afgenomen. Tijdens de bemonstering is er bij de eerste twee monsters ook water verspild, vermoedelijk wegens een combinatie van een stroeve kraan en het instellen van een goede volumestroom door de monsternemer. Er is aangenomen dat een verder 250 ml is verspild aan het begin van de bemonstering. Bij deze bemonstering is een filmpje gemaakt van de hele bemonsteringreeks. Er is gemerkt dat de kraan relatief geleidelijk (dus voorzichtiger) opengedraaid is bij de kleinere monsters. De straal varieerde tussen de monsters omdat de kraan tussen de metingen door werd dichtgedraaid. De volumestroom was in de buurt van 5 l/min.

Mogelijke locatie(s) van loodafgifte: In Figuur 101 ziet men de resultaten van deze profielbemonstering. De vijf monsters met kleinere volumes hebben concentraties van ongeveer 20 µg/l hoewel deze concentraties wellicht geen informatie over de binneninstallatie bevatten (wegens het verloren volume water). De vier monsters erna hebben ook een verhoogde loodconcentratie van ongeveer 20 µg/l en de drie monsters erna hebben concentraties tussen 25-30 µg/L. De laatste drie monsters horen bij de volumes 4,5-7,5 liter. Na het toevoegen voor het verloren water

(0,5 liter) en vermenigvuldigen met 1,3 worden deze volumes 6,5-10,4 liter. Daarnaast is in het monster na doorstroming een loodconcentratie van 11,6 $\mu\text{g/l}$ gemeten. Dit wijst op de mogelijkheid van loodafgifte in de distributieleiding zelf. Omdat de hoofdleiding van grijs gietijzer is, is het mogelijk dat het daarin aanwezige loodstriktoew een rol speelt. De aansluitleiding is op een latere termijn gesaneerd en er is vastgesteld dat de eerste 9 meter leiding van koper (dichtbij de watermeter) is en de laatste 12 meter leiding van lood (dichtbij de dienstkraan).

Nader uit te zoeken: Een aantal weken later heeft het drinkwaterbedrijf bemonstering bij de hoofdleiding gedaan met behulp van vier monsters, elk van 5 liter. Het eerste monster in deze reeks heeft een concentratie van 1,7 $\mu\text{g/l}$ terwijl de rest lagere concentraties heeft. Als in die vijf liters de loodafgifte toevallig in één stuk leiding plaatsvindt, waarvan de volume 100 ml is, dan volgt daaruit een concentratie van 85 $\mu\text{g/l}$ ($= 1,7 \times 5000/100$). Het zou interessant zijn om kleinere monstervolumes te hanteren bij de distributieleiding.



Figuur 101: Boven: Profielbemonstering bij een woning - voorbeeld 09. De horizontale lijn toont waarde gemeten na langdurige doorspoelen, de verticale lijnen tonen locaties van aanzienlijke overgangen. Linker kolom van boven naar beneden: Schets van aansluitleiding; schets van binneninstallatie en loden leiding gevonden bij dienstkraan. Rechter kolom van boven naar beneden: Verspild water voorafgaand aan het eerste monster tijdens instellen van de kraan; watermeter in de meterput; het gebruiken van een endoscopische camera voor een inwendige inspectie van de aansluitleiding en een beeld van loodsoldeer.

Mogelijke locatie(s) van loodafgifte: In Figuur 102 ziet men de resultaten van deze profielbemonstering. Bijna alle monsters hebben een loodconcentratie van meer dan 10 µg/l. De monsters 2 en 3 hebben zelfs concentraties van 40-50 µg/l. Op basis van de aanname van een propstroming bevindt de bron van het lood zich net bovenstrooms van de stopkraan. Echter als het tweede en derde monster met een factor 1,3 vermenigvuldigd worden ($1 \times 1,3$ en $3 \times 1,3$), ligt de bron van loodafgifte tussen 1,3 en 3,9 liters. Hierdoor is de kans groot dat het lood ergens in de aansluitleiding afgegeven wordt.

Nader uit te zoeken: De loodconcentraties vanuit de distributieleiding zijn zeer hoog (vanuit de eerste profielbemonstering) en er kan nader onderzocht worden of de buurt van de woning ook aan soortgelijke hoge loodconcentraties wordt blootgesteld. Verdere verfijning van de reeks (door kleinere monstervolumes tot de dienstkraan) kan ook meer licht op werpen. Net zoals in geval van voorbeeld 04 schetsen de twee metingen hier een incoherent beeld van de situatie.

XXIII Bijlage – Profielbemonstering bij kindlocaties

Door een drinkwaterbedrijf zijn 63 keer profielbemonstering na langdurige stilstand uitgevoerd. De metingen zijn tussen maart 2022 en januari 2023³⁵ gedaan en de locaties zijn anoniem gehouden. De volgende monstervolumes zijn gebruikt: 100 ml, 250 ml, 1000 ml en 3000 ml. Het aantal monsters is vooraf bepaald aan de hand van berekeningen van het benodigde volume dat moet worden afgetapt voordat water vanuit distributieleidingen komt. Bij een aantal bemonsteringen zijn alle monsters geanalyseerd maar er zijn ook metingen waarin elk derde monster is geanalyseerd. Om kosten te besparen zijn monsters overgeslagen als er te veel waren. Mocht er een te hoge concentratie worden gevonden, dan kan dit ook op een later moment opnieuw onderzocht worden.

De 63 metingen zijn in Bijlage XXIV weergegeven. Vanaf de 63 metingen hebben 26 een monstervolume van 3000 ml, 23 een monstervolume van 1000 ml, 8 een monstervolume van 250 ml en 6 een monstervolume van 100 ml. In 24 gevallen is niet elk monster geanalyseerd. In Tabel 19 en Figuur 104 ziet men een samenvatting van de profielbemonsteringproeven.

Tabel 19: Globale eigenschappen van de uitgevoerde profielbemonsteringen bij kindlocaties.

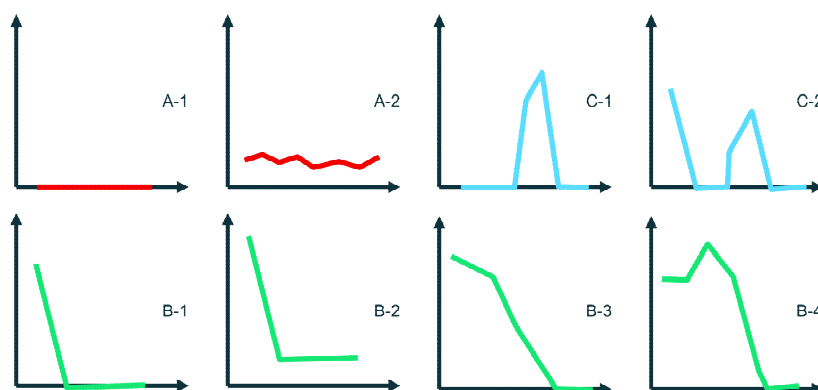
Monstervolume	Totaal aantal metingen	Metingen waarin alle monsters zijn geanalyseerd [%]	Totale liters in profiel: Gemiddelde [minimum, mediaan, maximum]
3000	26	58	33 [12, 27, 183]
1000	23	91	7 [4, 7, 10]
250	8	38	3.2 [1.75, 3.25, 6]
100	6	0	2.3 [1.9, 2.4, 2.5]

De grenswaarde voor meetbare loodconcentraties is 0,5 µg/L. In de analyse in dit hoofdstuk zijn waarden <0,5 µg/L als 0 weergegeven. In het algemeen zijn acht type loodconcentratieprofielen waargenomen. Deze loodconcentratieprofielen zijn in Figuur 103 geïllustreerd.

- Bij type A is er geen lokale piekconcentratie te zien. Daaronder vallen twee varianten:
 - A-1: Hierbij zijn bij alle geanalyseerde monsters loodconcentraties < 0,5 µg/L gevonden.
 - A-2: Hierbij zijn bij alle geanalyseerde monsters loodconcentraties > 0,5 µg/L gevonden maar over het algemeen zijn ze laag en vormen ze een plateau.
- Bij type B treden verhoogde loodconcentraties slechts aan het begin van het profiel op. Daaronder vallen vier varianten:
 - B-1: Het eerste monster heeft een loodconcentratie > 0,5 µg/L en de rest van de monsters hebben loodconcentraties < 0,5 µg/L.
 - B-2: Alle monsters hebben een loodconcentratie > 0,5 µg/L maar de loodconcentratie in het eerste monster is aanzienlijk hoger en de rest van de monsters vormen een plateau.
 - B-3: De eerste paar monsters hebben een loodconcentratie > 0,5 µg/L. Daarna hebben alle monsters een lage loodconcentratie. De maximale concentratie is in het eerste monster aangetroffen.
 - B-4: De eerste paar monsters hebben een loodconcentratie > 0,5 µg/L. Daarna hebben alle monsters een lage loodconcentratie. De maximale concentratie is niet in de eerste monster aangetroffen.

³⁵ Deze periode is tijdens het definitief stellen van het geharmoniseerde meetprotocol en voor het opstellen van de vragenlijst die eerder in dit hoofdstuk is behandeld.

- Bij type C is er een verhoogde loodconcentratie zichtbaar ergens in het midden van het profiel. Daaronder vallen twee varianten:
 - C-1: Alle monsters hebben een loodconcentratie $< 0,5 \mu\text{g/L}$ behalve een aantal in het midden van de reeks.
 - C-2: Alle monsters hebben een loodconcentratie $< 0,5 \mu\text{g/L}$ behalve zowel het eerste monster als een aantal monsters in het midden van de reeks. In alle waargenomen gevallen is de maximale waarde aangetroffen in het eerste monster.

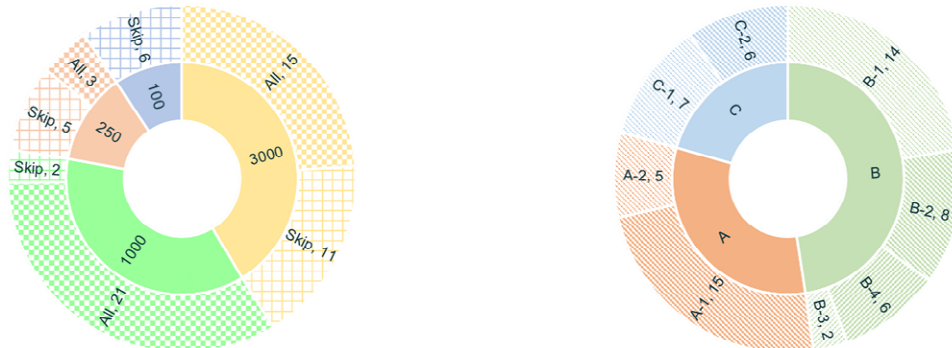


Figuur 103: Acht type loodconcentratieprofielen aangetroffen in de 63 metingen. De horizontale as is de monster nummer in de reeks en de verticale as is de gemeten loodconcentratie.

In Figuur 104 ziet men de verspreiding van de type concentratieprofielen waargenomen in de metingen. De verdeling van alle resultaten van de profielbemonsteringen zijn in Tabel 20 weergegeven. Ongeveer de helft van de metingen hoort bij variant B waarbij verhoogde concentraties enkel aan het begin van het profiel te vinden zijn. Een derde van de metingen hoort bij variant A waarin de loodconcentraties geen opmerkelijke piek toont. Een zesde van de metingen hoort bij variant C waarbij een piek ook in het midden van het profiel aanwezig is. Hieronder worden een paar waarnemingen gerapporteerd:

- Van profielbemonsteringen die zijn geclassificeerd als type A op basis van monstervolumes van 3000 ml waarbij alle monsters zijn geanalyseerd, behoren alle zes tot variant A-1. Van profielen die zijn geclassificeerd als type A op basis van monstervolumes van 1000 ml waarbij alle monsters zijn geanalyseerd, zijn echter vier van de zeven van variant A-1. Deze verschillen zouden ook beïnvloed kunnen zijn door de keuzes van de monstervolume (een groter monstervolume zorgt voor verdunning). Wellicht kunnen een aantal A-1 profielen naar A-2 veranderen bij het kiezen van kleinere monstervolumes.
- Bij variant A-2 zijn de plateauwaardes in de orde grootte van $1\text{--}2 \mu\text{g/L}$ (voor alle keuzes van monstervolumes). Net zoals bij de vorige opmerking speelt hier ook de keuze van het monstervolume een rol. Ook bij variant B-2 zijn de plateauwaardes in dezelfde orde grootte (onafhankelijk van de keuze van monstervolume).
- Bij varianten B-1 en B-2 bedragen de typische concentratiewaardes van de eerste monsters $0,5\text{--}8 \mu\text{g/L}$ voor monstervolumes van 3000 ml, $1\text{--}8 \mu\text{g/L}$ voor monstervolumes van 1000 ml, $0,5\text{--}1,5 \mu\text{g/L}$ voor monstervolumes van 250 ml, $0,5\text{--}7 \mu\text{g/L}$ voor monstervolumes van 100 ml.
- Variant B-4 komt iets vaker voor dan variant B-3. In de meeste gevallen zijn de concentraties in de reeks tussen $0,6\text{--}1,8 \mu\text{g/L}$ behalve een voorbeeld waar de waardes tussen $2\text{--}3 \mu\text{g/L}$ liggen.
- Bij varianten C-1 en C-2 zijn er monsters in het midden van de reeks waarin er een plotselinge stijging in concentraties is waargenomen. Voor monstervolumes van 3000 ml variëren de locaties van deze pieken tussen 6-20 liter. Voor monstervolumes van 1000 ml variëren de locaties van deze pieken tussen 3-10 liter. Voor monstervolumes van 250 ml en 100 ml variëren deze tussen 1-3,5 liter en 0,5-1 liter respectievelijk. De concentraties in deze pieken variëren tussen $0,5\text{--}1,5 \mu\text{g/L}$.
- In meting nummer 37 zijn zeer hoge loodconcentraties aangetroffen (concentraties van $2500 \mu\text{g/L}$ in monstervolumes van 250 ml) en de profiel is geclassificeerd als variant B-3. Op dezelfde locatie is vier maanden later een nieuwe meting uitgevoerd (vermoedelijk na een sanering). Het gaat om meting 36,

geclassificeerd als variant C-1, waarin één monster een concentratie van 20 µg/L heeft (dat wil zeggen dat de sanering niet 100% succesvol is geweest) terwijl de andere monsters een concentratie van < 2,5 µg/L hebben. De tweede reeks metingen kan helpen bij het aanwijzen van de locatie waar gesaneerd moet worden (zie ook Figuur 111).



Figuur 104: Links: Verdeling van volumemonsters en dekking van analyse. Rechts: Verdeling van type profielen waargenomen voor metingen bij kindlocaties.

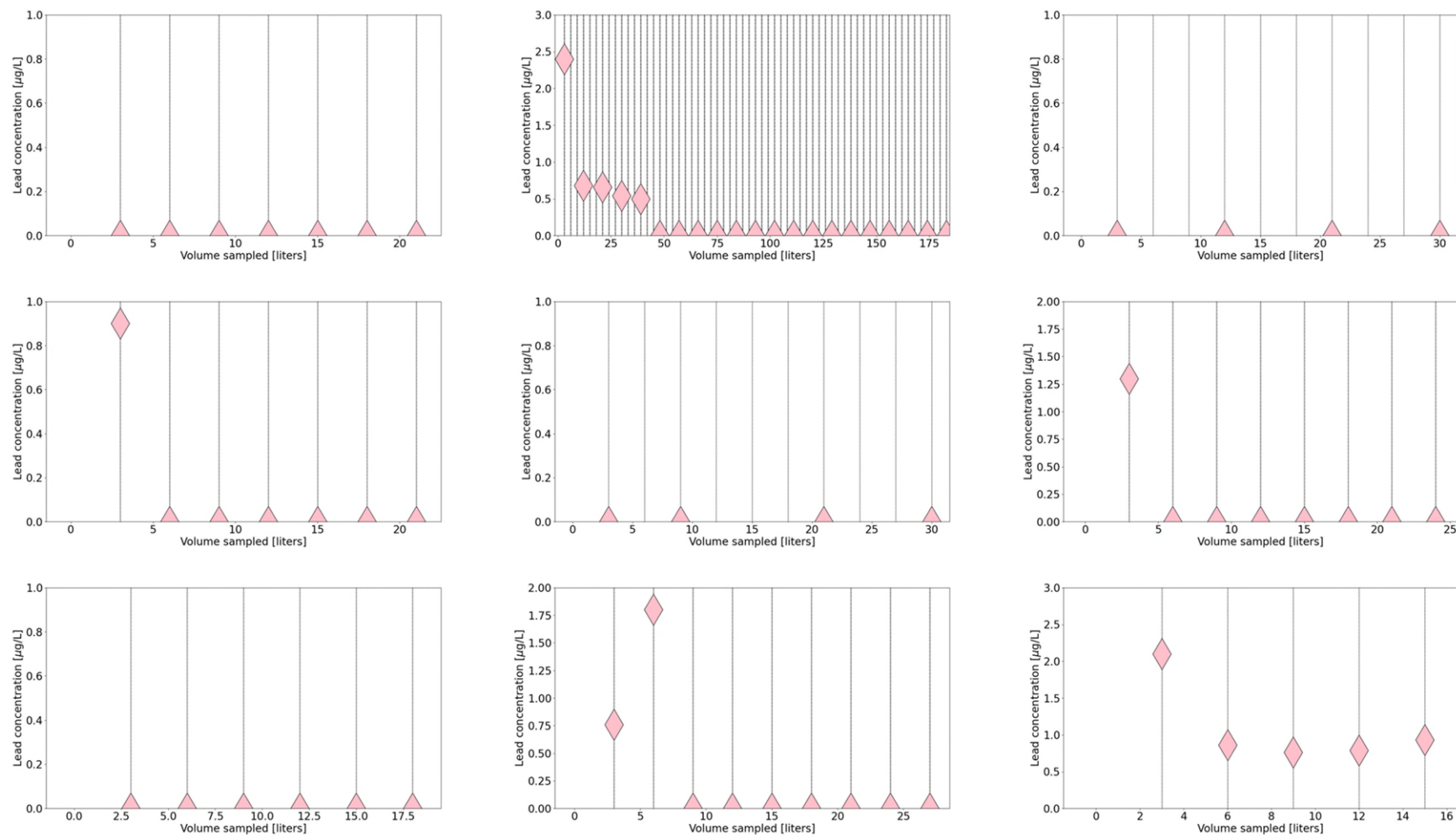
Bij deze voorbeelden van de metingen bij de kindlocaties is het niet mogelijk om elk voorbeeld verder uit te werken vooral omdat de domeinen niet bekend zijn. Het is aanbevolen om grafieken van profielbemonstering (loodconcentratie uitgezet tegen afgetapt volume) te maken en daarbij de verschillende domeinen te onderscheiden (bijvoorbeeld binneninstallatie, aansluitleiding, distributieleiding).

Tabel 20: Samenvatting van geclassificeerde profielen gemeten bij kindlocaties per monstervolume en manier van analyse.

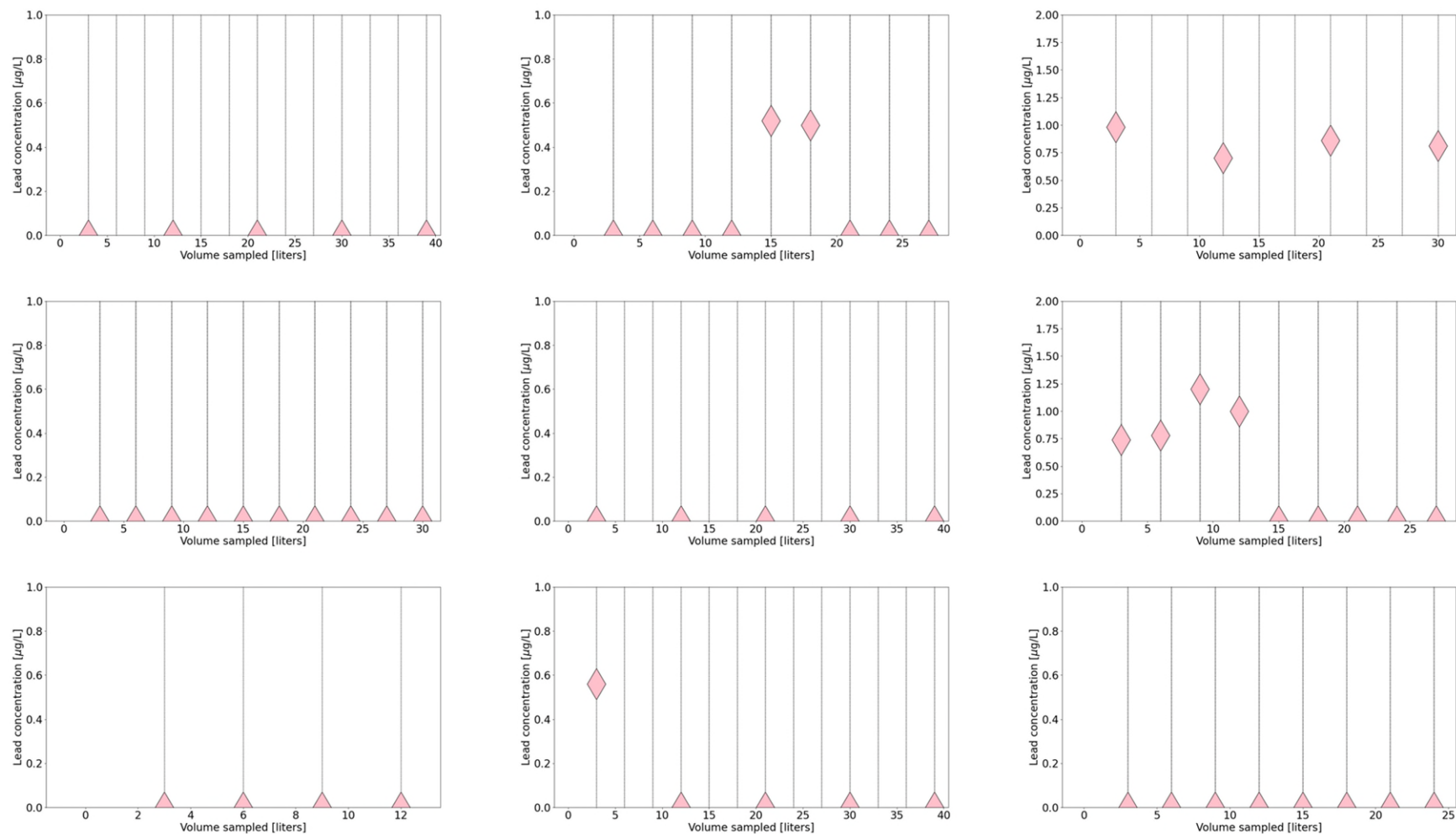
Variant	Subvariant	3000 ml (alles)	3000 ml (1-op-3)	1000 ml (alles)	1000 ml (1-op-3)	250 ml (alles)	250 ml (1-op-3)	100 ml (alles)	100 ml (1-op-3)	Totaal
A	A-1	6	5	4	0	0	0	0	0	15
A	A-2	0	1	3	0	1	0	0	0	5
B	B-1	3	1	3	2	1	2	0	2	14
B	B-2	1	1	4	0	0	1	0	1	8
B	B-3	0	2	0	0	0	0	0	0	2
B	B-4	2	1	2	0	0	0	0	1	6
C	C-1	2	0	3	0	0	1	0	1	7
C	C-2	1	0	2	0	1	1	0	1	6
	Totaal	15	11	21	2	3	5	0	6	63

XXIV Bijlage – Volledige verzameling van profielbemonstering resultaten bij kindlocaties

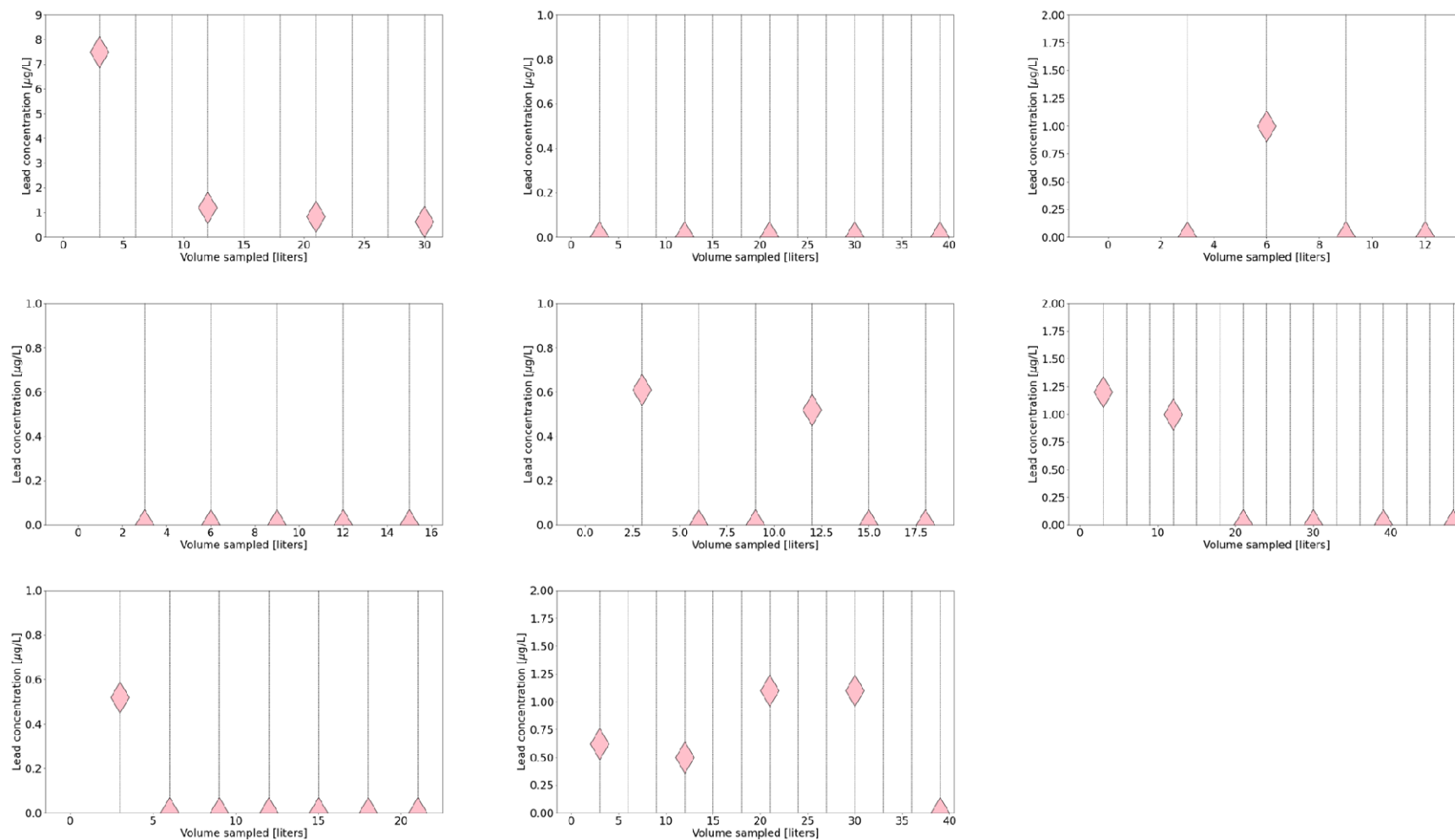
Een drinkwaterbedrijf heeft 63 profielbemonstering metingen bij kindlocaties gedaan. In sectie XXIII zijn de uitkomsten van deze metingen samenvat. Bij deze bijlage zijn alle metingen weergegeven en zijn gesplitst op basis van de monstervolume. Voor monstervolumes van 3000 ml zijn de resultaten in Figuur 105, Figuur 106 en Figuur 107 weergegeven. Voor monstervolumes van 1000 ml zijn de resultaten in Figuur 108, Figuur 109 en Figuur 110 weergegeven. De resultaten voor monstervolumes van 250 ml en 100 ml zijn in Figuur 111 en Figuur 112 respectievelijk weergegeven. Bij elke reeks is de bijbehorende classificatie tussen getoond.



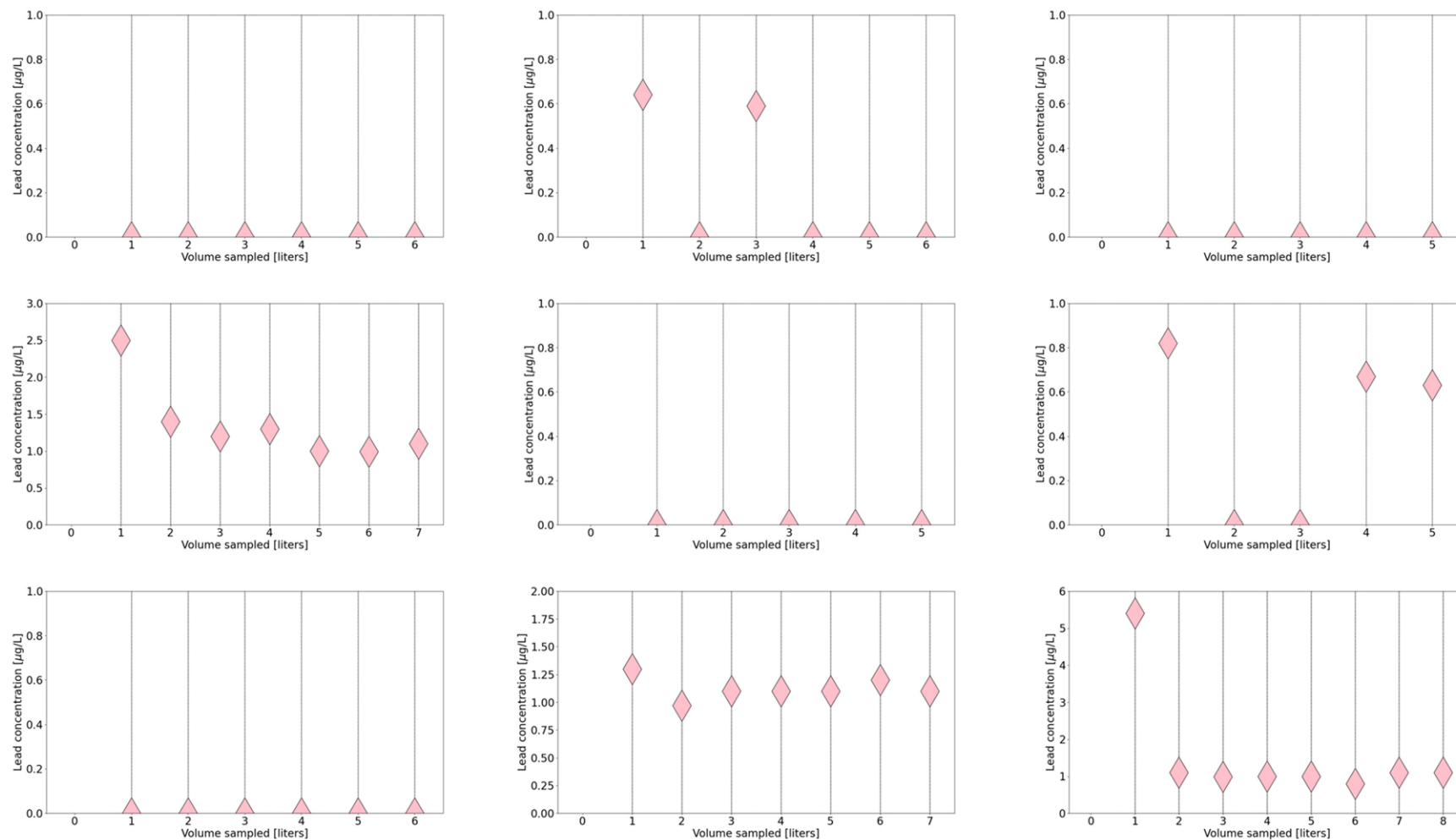
Figuur 105: Profielbemonstering resultaten voor metingen 4 (A-1), 6 (B-3), 11 (A-1), 12 (B-1), 15 (A-1), 17 (B-1), 18 (A-1), 20 (B-4), 23 (A-2).



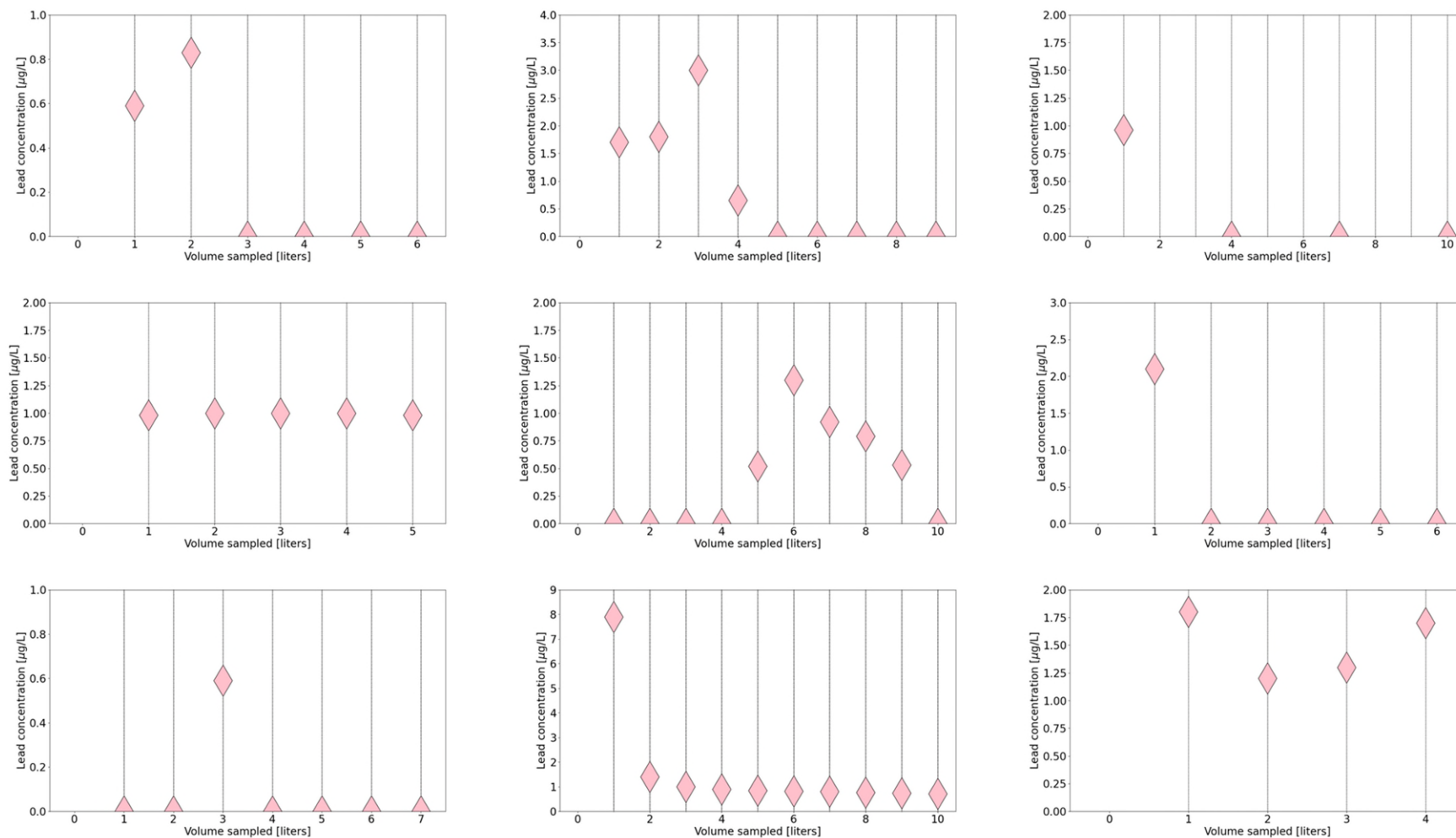
Figuur 106: Profielbemonstering resultaten voor metingen 26 (A-1), 27 (C-1), 29 (A-2), 30 (A-1), 31 (A-1), 35 (B-4), 44 (A-1), 46 (B-1), 47 (A-1).



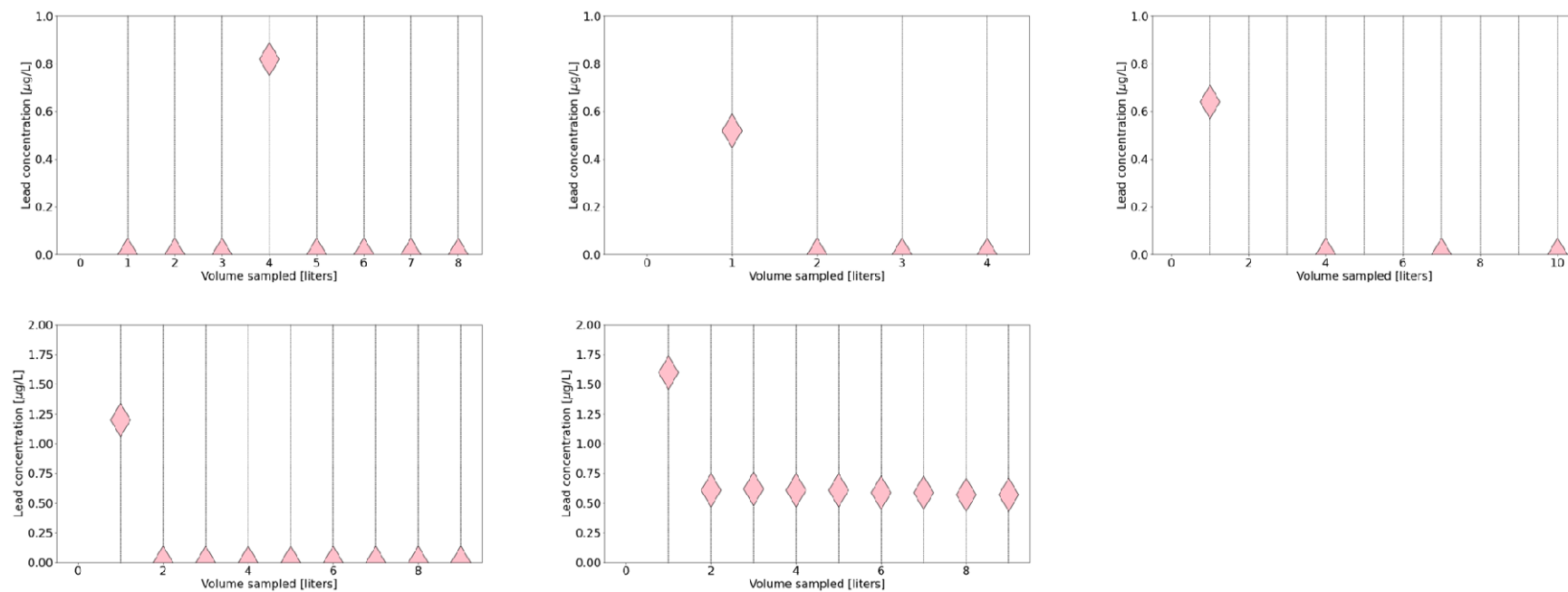
Figuur 107: Profielbemonstering resultaten voor metingen 48 (B-2), 49 (A-1), 50 (C-1), 51 (A-1), 52 (C-2), 53 (B-3), 54 (B-1), 58 (B-4).



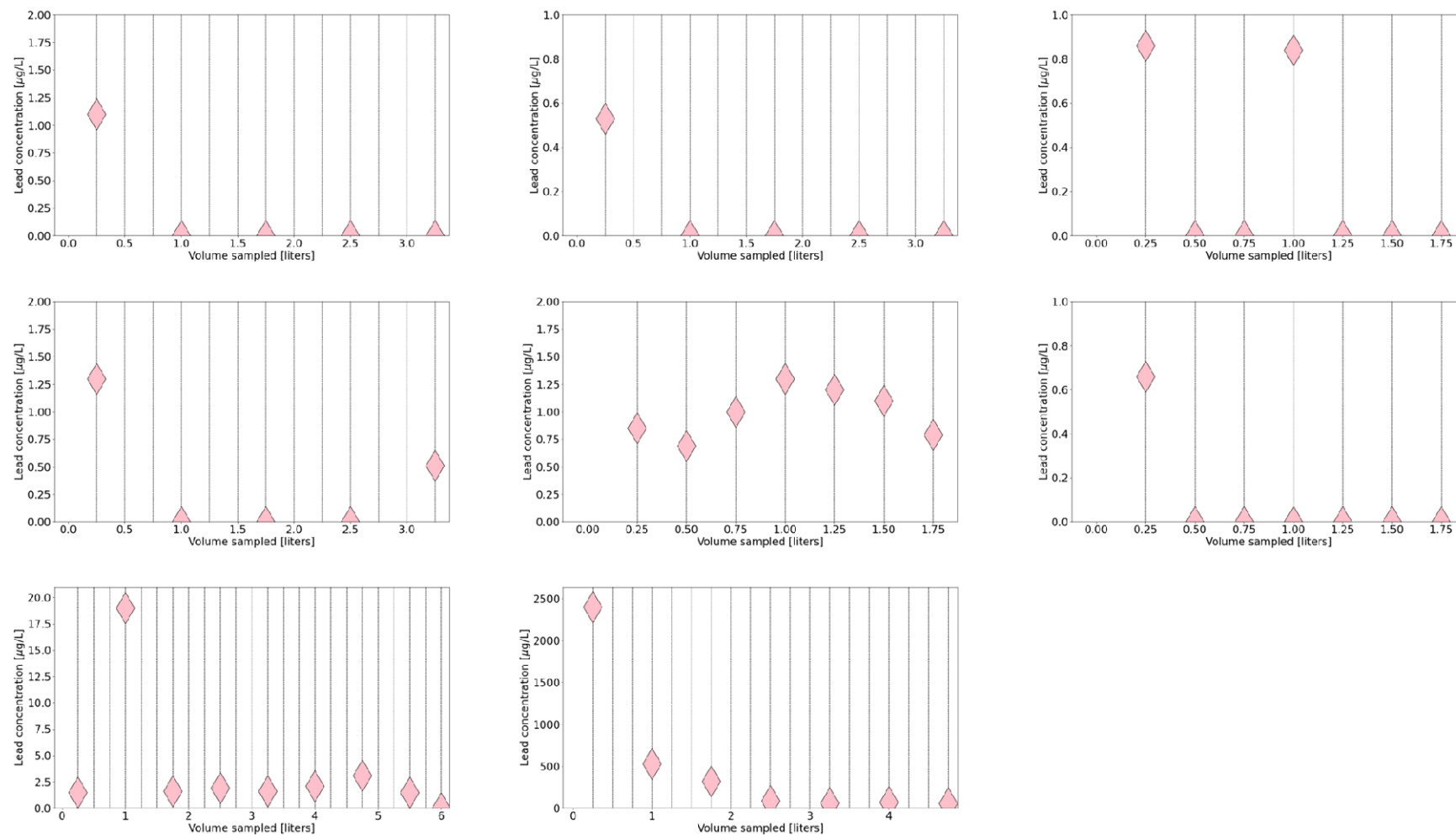
Figuur 108: Profielbemonstering resultaten voor metingen 0 (A-1), 1 (C-2), 3 (A-1), 7 (B-2), 8 (A-1), 9 (C-2), 13 (A-1), 14 (A-2), 16 (B-2).



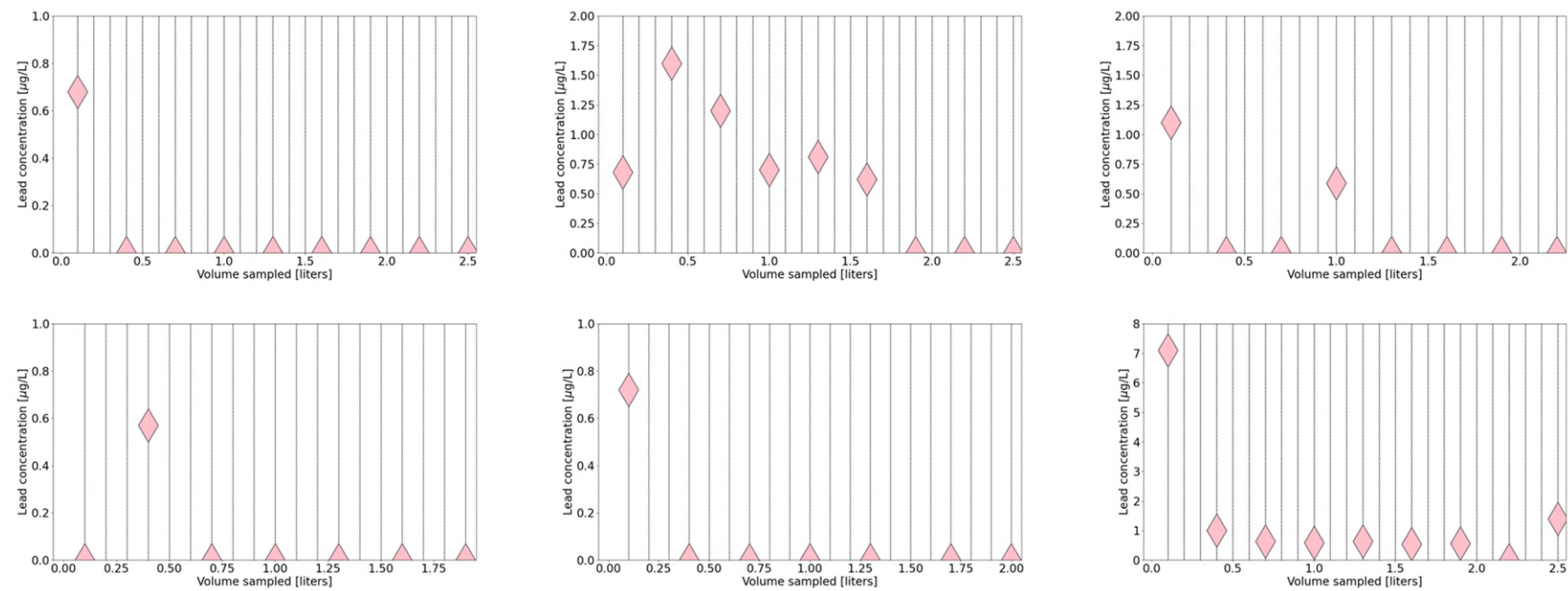
Figuur 109: Profielbemonstering resultaten voor metingen 21 (B-4), 22 (B-4), 25 (B-1), 28 (A-2), 33 (C-1), 34 (B-1), 43 (C-1), 55 (B-2), 56 (A-2).



Figuur 110: Profielbemonstering resultaten voor metingen 57 (C-1), 59 (B-1), 60 (B-1), 61 (B-1), 62 (B-2).



Figuur 111: Profielbemonstering resultaten voor metingen 2 (B-1), 5 (B-1), 10 (C-2), 19 (C-2), 24 (A-2), 32 (B-1), 36 (C-1), 37 (B-2).



Figuur 112: Profielbemonstering resultaten voor metingen 38 (A-2), 39 (B-4), 40 (C-2), 41 (C-1), 42 (B-1), 45 (B-2).