



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2002/192

**Thermisch gedrag van de meterkast
voorzien van een warmte-afleverset
voor stadsverwarming**

Datum	april 2002
Auteurs	G.J. Afink
Projectnummer	32765
Trefwoorden	meterkast stadsverwarming koudwaterleiding
Bestemd voor	VEWIN Postbus 1019 2280 CA Rijswijk met bijdrage van: Nuon Warmte Postbus 9039 6800 EZ Arnhem

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vernenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

In meterkasten waarin naast levering van elektriciteit en water tevens warmtelevering vanuit een collectief systeem (stadsverwarming of blokverwarming) plaats vindt, bestaat de mogelijkheid dat het koude water in de leidingen en watermeter door de stralings- en convectiewarmte van de warmteleveringsset en/of door hoge (ruimte)luchttemperaturen (zomer) wordt opgewarmd tot een temperatuurniveau waarbij mogelijk de maximum toelaatbare waarde, vermeld in het Waterleidingbesluit, wordt overschreden.

Door TNO-MEP, afdeling Koudetechniek en Warmtepompen is in opdracht van Vewin een meetonderzoek uitgevoerd met als doel vast te stellen welke temperatuurverhogingen worden geconstateerd en wat de invloed is van de maatregelen om bovenmatige opwarming van het koude water te voorkomen.

Algemene conclusies van het meetonderzoek:

De plaatsing van de warmte afleverset in de meterkast, gesitueerd in de hal van een woning, leidt onder normale bedrijfsvoering (warmtelevering cv en tapwater bij een haltemperatuur van 18°C en levering koudwater met een temperatuur tot 18°C) niet tot het opwarmen van het koude water boven de 25°C.

De temperatuur van het koude water wordt voor het grootste gedeelte bepaald door de omgevingstemperatuur buiten de meterkast.

Door de stralings- en convectiewarmteverliezen stijgt de luchttemperatuur boven in de meterkast tot boven 30°C bij toepassing van een oud type afleverset, waarvan alleen warmtewisselaar geïsoleerd is. Er moeten daarom geen koudwater leidingen boven in de meterkast worden geprojecteerd.

De plaatsing van stijgleidingen voor koudwater in de meterkast moet vermeden worden.

Bij de gebruikelijke opstelling van de watermeter en de koudwater leidingen hebben de volgende factoren een verlagend effect op de koudwater temperatuur:

- a. De mate van isolatie van de afleverset en leidingen is bepalend voor de ventilatiehoeveelheid in de kast. Te zware isolatie heeft een negatieve invloed op de thermische trek.
- b. Invloed isoleren van de cv-leidingen:
 - bij het oude type afleverset: vermindering van de opwarming van het drinkwater met 0,6-0,7 K;
 - bij het nieuwe type afleverset: toename van de opwarming van het drinkwater met ca. 0,6 K.
- c. Vergroten van de toe- en afvoeropeningen (ventilatie) in de deur van de meterkast van 100 naar 200 cm² (netto doorlaat) heeft een positieve invloed op de beperking van de temperatuurstijging van het drinkwater.
Bij het oude type afleverset is de afname van de opwarming ca. 0,7 K en bij toepassing van het nieuwe type afleverset is de afname ca. 1 K.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1. Inleiding	5
2. Meterkast	6
3. Onderzoek	8
4. Meetopstelling	11
5. Meetresultaten oud type afleverset	13
5.1 Meting 1	13
5.2 Meting 2	14
5.3 Meting 3	15
5.3.1 Meting bij een omgevingstemperatuur van 21°C	15
5.3.2 Meting bij een omgevingstemperatuur van 25°C	16
5.4 Meting 4	17
6. Invloed grootte van de ventilatieopeningen en toepassing van leidingisolatie	18
6.1 Meetresultaten	19
6.1.1 Meting 4.1	19
6.1.2 Meting 4.2	20
6.1.3 Meting 4.3	21
6.1.4 Meting 4.4	22
6.2 Beschouwing meetresultaten	23
7. Metingen aan een nieuw type afleverset	25
7.1 Meetresultaten	25
7.1.1 Meting 1	26
7.1.2 Meting 2	27
7.1.3 Invloed grootte van de ventilatieopeningen en toepassing leidingisolatie	28
7.2 Beschouwing meetresultaten aanvullende metingen	31
7.3 Conclusies m.b.t. de metingen met een nieuw type afleverset	32
8. Conclusies	33
8.1 Toepassing van het oude type afleverset waarvan alleen de warmtewisselaar geïsoleerd is	33
8.2 Toepassing van het nieuwe type afleverset die volledig geïsoleerd is	33

9.	Adviezen en aanbevelingen met betrekking tot het beperken van de opwarming van de koudwaterleiding in meterkasten met warmtelevering	35
9.1	Overzicht mogelijkheden bij laagbouw woningen	35
9.2	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	37
10.	Verantwoording	38

Bijlagen

1	Plaatsing temperatuurmeetpunten in koudwaterleiding in de meterkast	
2	Meetresultaten oud type afleverset	
2.1	Meetresultaten meting 1	
2.2	Meetresultaten meting 2	
2.3.1	Meetresultaten meting 3 bij 21°C omgevingstemperatuur	
2.3.2	Meetresultaten meting 3 bij 25°C omgevingstemperatuur	
2.4	Meetresultaten meting 4	
3	Invloed ventilatieopeningen en leidingisolatie	
3.1	Meting 4.1, ventilatieopeningen 100 cm ² , geen leidingisolatie.	
3.2	Meting 4.2, ventilatieopeningen 100 cm ² , met leidingisolatie	
3.3	Meting 4.3, ventilatieopeningen 200 cm ² , geen leidingisolatie	
3.4	Meting 4.4, ventilatieopeningen 200 cm ² , met leidingisolatie	
4	Nieuw type afleverset	
4.1	Meetresultaten meting 1	
4.2	Meetresultaten meting 2	
5	Invloed ventilatieopeningen en leidingisolatie	
5.1	Meting 1.2, ventilatieopeningen 100 cm ² , met leidingisolatie	
5.2	Meting 1.3, ventilatieopeningen 200 cm ² , geen leidingisolatie	
5.3	Meting 1.4, ventilatieopeningen 200 cm ² , met leidingisolatie	
6	Grafische weergave van de metingen met het oude type afleverset	
7	Grafische weergave van de metingen met het nieuwe type afleverset	
8	Afbeelding van het oude en het nieuwe type afleverset	

1. Inleiding

In meterkasten waarin naast levering van elektriciteit en water tevens warmtelevering vanuit collectieve systemen (stadsverwarming/blokverwarming) plaats vindt, bestaat de mogelijkheid dat het koude water in de leidingen en watermeter door de stralings- en convectiewarmte van de warmteleveringsset en/of door hoge (ruimte)luchttemperaturen (zomer) wordt opgewarmd tot een temperatuurniveau waarbij mogelijk de maximum toelaatbare waarde, vermeld in het Waterleidingbesluit, wordt overschreden.

De opzet van het onderzoek is vast te stellen welke criteria opgesteld moeten worden om te voorkomen dat het koude water te ver wordt opgewarmd.

Aspecten die hierbij van belang zijn, zijn:

- afmetingen van de meterkast;
- stralings- en convectiewarmteverliezen afleverset;
- isolatie leidingen;
- ventilatie kast;
- temperaturen:
 - omgevingstemperatuur meterkast;
 - temperatuur leidingen stadsverwarming;
 - temperatuur aangeleverd drinkwater;
 - maximale temperatuur(verhoging) drinkwater;
- doorstroming/stilstand drinkwater;
- bewonersgedrag met betrekking tot meterkast.

Opmerking

De wijze waarop de leidingen van de stadsverwarming (SV), het drinkwater (DW) en de centrale verwarming (CV) naar en van de meterkast (via de kruipruimte of anders) zijn aangebracht, worden niet in dit onderzoeksvoorstel meegenomen.

In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek aan een oud type afleverset (alleen de warmtewisselaar geïsoleerd) en een nieuw type afleverset (volledig geïsoleerd) beschreven.

2. Meterkast

De afmetingen van de meterkast wordt vooralsnog verondersteld in overeenstemming te zijn met de norm NEN 2768 “Meterkasten en bijbehorende bouwkundige voorzieningen voor leidingaanleg in woningen”.

In deze norm zijn de afmetingen van de verschillende zones t.b.v. de verschillende gebruikstoepassingen (elektriciteit, drinkwater, warmte, telecom, cai) aangegeven. De ventilatieopeningen aan boven en onderzijde van de kast(deur) hebben een minimale vrije doorlaat van 100 cm² (NEN 2768, art. 7.4).

Stralings- en convectiewarmte afleverset (incl. leidingen stadsverwarming/cv/warmtapwater)

Opwarming van koud drinkwater vindt plaats door warmteafgifte van warme elementen in de kast (warmtebronnen).

Deze warmtebronnen zijn:

- de afleverset (stralings- en convectieverlies);
- de aanvoer- en retourleiding van het SV-systeem (gehele jaar);
- de aanvoer- en retourleiding van de cv-installatie (stookseizoen).

Isolatie van leidingen

Om de warmteafgifte aan de lucht in de meterkast te beperken, moeten de leidingen zijn voorzien van een adequate isolatiemantel. De dikte van deze isolatiemantel is echter beperkt door de plaatsing van de leidingen in de meterkast (leidingdoorvoeringen, dikte van de leidingen en beschikbare (toegewezen) plaatsing in de kast).

Ventilatie meterkast

De meterkast is volgens de richtlijn voorzien van een toe- en afvoeropening van ventilatielucht met een minimale vrije doorlaat van 100 cm².

De ventilatie van de kast vindt plaats op natuurlijke wijze (thermische trek). De grootte van de thermische trek is een functie van de temperatuur in en buiten de kast. Hoe groter het temperatuurverschil des te groter de thermische trek (grotere ventilatiehoeveelheid).

Om een minimale ventilatielucht hoeveelheid te kunnen onderhouden is een zeker temperatuurverschil nodig, die door apparatuur in de kast wordt gegenereerd.

De temperatuur in de kast mag met betrekking tot het opwarmen van het koude drinkwater niet te hoog oplopen (<25°C onderin meterkast, ter plaatse van de watermeter).

Indien als eis wordt gesteld dat de ventilatie in dit type meterkasten alleen noodzakelijk is om de temperatuur in de kast niet boven een maximale waarde te laten stijgen, is het van belang te weten hoe groot de maximale warmteafgifte in de kast is bij verschillende bedrijfssituaties en toegepaste installaties.

Invloedsfactoren op de temperatuur van de koudwaterleiding:

- omgevingstemperatuur meterkast (15-25°C);
- temperatuur leidingen stadsverwarming (70-90°C);
- temperatuur aangeleverd drinkwater (10-15°C);
- maximale temperatuur(verhoging) drinkwater (< 25°C);
- belemmeringen van de ventilatieluchtstroom (toevoeropening, apparaten in de meterkast);
- bewonersgedrag (ruimtetemperatuur, gebruik kast als opbergruimte).

De temperatuur die de koudwaterleiding (incl. apparatuur) zal bereiken is mede afhankelijk van het drinkwatergebruik. Bij aanwezigheid van de bewoners wordt het water met een redelijk constant gebruikspatroon op diverse tappunten onttrokken tussen ca. 07:00 en 24:00. In de nachtperiode wordt vrijwel geen tapping uitgevoerd. In deze periode staat het water ca. 7 uur stil en is de kans op ongewenste opwarming, afhankelijk van bovengenoemde invloedsfactoren, groot. Dit zelfde geldt als de bewoners een langere tijd afwezig zijn en de warmteleveringsinstallatie in werking laten op normaal/verlaagd bedrijfsniveau.

3. Onderzoek

Door middel van laboratoriumonderzoek kunnen diverse aspecten die van invloed zijn op de temperatuurstijging van het koude drinkwater in kaart gebracht worden. Op basis van deze gegevens kunnen randvoorwaarden worden afgeleid met betrekking tot het installeren van de warmteafleverset, de leidingdoorvoeren, de mate van isolatie van de afleverset en leidingen, de minimale ventilatieopeningen, eventuele compartimentering van de kast.

Laboratoriumonderzoek:

Het laboratoriumonderzoek moet duidelijkheid geven in de maximale temperatuur die de koude drinkwaterleiding in de meterkast kan aannemen bij verschillende bedrijfscondities.

Op basis van de thermische trek, de weerstand van de ventilatie openingen en de vrije doorlaat wordt de ventilatieluchthoeveelheid berekend. Op basis van de warmte die in de kast wordt afgegeven kan worden berekend hoeveel ventilatielucht minimaal noodzakelijk is om deze warmte af te voeren.

Meetopstelling

Een complete meterkast, gebouwd volgens de richtlijnen wordt in het laboratorium opgesteld. In deze kast wordt op een standaard bevestigingsbeugel een warmteafleverset gemonteerd.

Deze afleverset is door middel van leidingen, zoals die volgens praktijksituaties (richtlijnen) worden aangelegd, aangesloten op een drietal meetfaciliteiten waarmee de normale bedrijfsvoering van de afleverset in een woning kan worden nabootst. Deze faciliteiten zijn:

- warmtebron, levering stadsverwarmingswater 70-90°C;
- afgifte unit, afname warmte t.b.v. ruimteverwarming;
- tapwater-unit, conditionering koude (suppletie)drinkwater.

Omgeving meterkast

De omgevingstemperatuur van de meterkast moet kunnen variëren tussen 15 en ca. 25°C (eventueel hogere temperatuur).

De luchtsnelheid ter plaatse van de toegangsdeur moet beheerst kunnen worden tot maximaal 0,5 m/s.

Luchtsnelheid en temperaturen worden geregistreerd (data-acquisitiesysteem).

Meterkast

De meterkast wordt voorzien van alle apparatuur zoals die in een woning standaard aanwezig zijn (kabels, leidingen, meters).

De kast wordt voorzien van diverse temperatuursensoren op diverse niveaus.

De koudwaterleiding, inclusief watermeter wordt voorzien van temperatuuropnemers.

De watermeter wordt in de toevoer naar de warmwaterbereider en andere verbruikers opgenomen.

Alle aangebrachte meetpunten worden op het data-acquisitiesysteem aangesloten.

Onderzoeksprogramma

Het onderzoeksprogramma wordt als volgt voorgesteld:

1. bedrijfsvoering warmteafleverset onder maximum bedrijfscondities voor ruimteverwarming en warmtapwater bij maximum watertemperaturen stadsverwarmingssysteem (70-90°C);
2. bedrijfsvoering ruimteverwarming in combinatie met warmtapwaterlevering volgens een standaard tappatroon (bijv. Gaskeur CW-1, klasse.3), met eventuele extra tappingen t.b.v. koudwater-tappunten;
3. bedrijfsvoering bij langdurige afwezigheid van bewoners, bij nullastbedrijf;
4. bedrijfsvoering bij langdurige afwezigheid van bewoners, bij normaal bedrijf met gemiddelde afname t.b.v. ruimte verwarming voor nachtbedrijf (vermogen 10-30% van nominaal).

Toelichting:

Meting 1 houdt in dat de warmte-unit (afleverset) gedwongen wordt om zijn maximale warmteafgifte te leveren.

Meting 2 heeft betrekking op de warmtelevering in een bewoond huis in de wintermaanden.

Meting 3 gaat uit van langere afwezigheid van de bewoner in de zomermaanden.

Meting 4 geeft de situatie aan van afwezigheid van de bewoner tijdens het voor- en naseizoen, waarbij de ruimteverwarming op een laag niveau in bedrijf blijft.

Uit te voeren werkzaamheden:

Meetonderzoek

Meting 1

De bedrijfscondities worden ingesteld voor maximale warmtelevering vanuit het stadsverwarmingssysteem (SV).

De aanvoerwatertemperatuur SV wordt ingesteld op 90°C.

De aanvoer- retourwatertemperatuur voor ruimteverwarming (CV) wordt ingesteld op 90/70°C.

Tijdens de meting wordt warmwater getapt op maximum tapcapaciteit van de set met een nominale warmwatertemperatuur van 60°C. De koudwatersuppletie naar de set wordt op een constant niveau van 12°C gehouden.

De omgevingstemperatuur van de meterkast wordt ingesteld op 18°C.

De meting duurt 1 dag.

Meting 2

De bedrijfscondities worden ingesteld voor warmtelevering vanuit het stadsverwarmingssysteem (SV).

De aanvoertemperatuur SV wordt ingesteld op 90°C.

De aanvoer- retourwatertemperatuur voor ruimteverwarming (CV) wordt ingesteld op 90/70°C.

Er wordt een 24 uren tapwaterprogramma uitgevoerd volgens Gaskeur CW-1 klasse 3, (49 tappingen) voor warmtapwater en 20 koudwater tappingen van ca.

7 l/tapping t.b.v. toiletspoeling.

Het tapprogramma warmwater wordt op basis van volumehoeveelheid uitgevoerd.

De koudwatertoevoer naar de meterkast wordt op 12°C ingesteld.

De omgevingstemperatuur van de meterkast wordt ingesteld op 18°C.

De meting duurt 1 dag + 0,5 dag indraaitijd.

Meting 3

De bedrijfscondities SV-systeem worden ingesteld voor warmtapwaterlevering in de zomersituatie (Taanvoer = 70°C).

Er worden geen tappingen uitgevoerd. De afleverset houdt via de interne warmhoudregeling de aanvoer van SV-systeem tot aan de set op een bepaalde waarde (nullastbedrijf).

Bij aanvang van de meting wordt de warmwaterbereider éénmalig doorstroomd met water van 18°C.

De omgevingstemperatuur wordt ingesteld op 21°C. Nadat er een evenwichtsituatie is geconstateerd wordt de omgevingstemperatuur verhoogd naar 25°C. De meting loopt door tot er opnieuw een evenwicht is ontstaan.

De meting duurt ca. 2 dagen.

Meting 4

De bedrijfscondities SV-systeem worden ingesteld op normaal bedrijf, waarbij een continue warmtelevering CV op een basislast van ca. 30% plaats vindt.

Bij aanvang van de meting wordt de warmwaterbereider éénmalig doorstroomd met water van 12°C. Daarna worden geen tappingen meer uitgevoerd. De omgevingstemperatuur wordt ingesteld op 18°C. De meting loopt door tot er opnieuw een evenwicht is ontstaan.

De meting duurt ca. 1 dag.

4. Meetopstelling

De meterkast is opgesteld in een klimaatcel waarin de ruimtetemperatuur op de gewenste waarde constant gehouden wordt (18-25°C).

De warmtelevering wordt gerealiseerd met een warmtebron met een aanvoertemperatuur van 90°C en een maximum capaciteit van 40 kW.

De ruimteverwarming wordt gerealiseerd met behulp van een afgifte-unit waarmee de bedrijfstemperaturen van de cv-installatie in een woning wordt gesimuleerd. Het temperatuurregiem CV is ingesteld op 90/70°C.

De warmtapwaterbereiding vindt plaats in de warmtewisselaar van de afleverset. De afleverset is gemonteerd op een standaard bevestigingsbeugel zoals die door Eneco Netdiensten wordt toegepast.

De meterkast is voorzien van een koudwatervoeding met watermeter die op de bodem van de kast met een standaard beugel is gemonteerd.

Na de watermeter vertakt de leiding in een aansluiting naar de warmtewisselaar van de afleverset en een doorgaande leiding voor het koudwaternet in een woning.

De koudwaterleiding is voorzien van een aantal temperatuursensoren (thermokoppels, type T) die m.b.v. thermokoppeldoorroeringen in het water steken.

De doorgaande leiding van koudwater is buiten de meterkast voorzien van 3 temperatuurmeetpunten om de opwarming/doorwarming vanuit de meterkast te registreren.

De aansluitleidingen voor stadsverwarming (SV) van de afleverset zijn voorzien van isolatie, de overige leidingen (tapwater en CV) zijn niet geïsoleerd.

De cv-leidingen zijn stalen precisiebuizen met een diameter van 22 mm.

Meetpunten.

De temperaturen van de in- en uitgaande leidingen zijn voorzien van temperatuursensoren, waarmee naast de temperatuurregistratie tevens de capaciteiten van de warmtestromen worden bepaald.

De volgende meetpunten zijn op het koudwatercircuit aangebracht:

- Tw1 voor de watermeter in meterkast;
- Tw2 op de watermeter in meterkast (opgeplakt);
- Tw3 na de watermeter voor aftakking naar warmtewisselaar;
- Tw4 in koudwaterleiding onder vloer van de meterkast (op 20 cm vanaf Tw3);
- Tw5 in koudwaterleiding na meterkast op 40 cm na Tw4;
- Tw6 in koudwaterleiding na meterkast op 40 cm na Tw5;
- Tw7 in koudwaterleiding naar warmtewisselaar direct na splitsing;
- Tw8 in koudwaterleiding inlaat warmtewisselaar.

Een schematische weergave van de temperatuur meetpunten in de koudwaterleiding is weergegeven in bijlage 1.

In de meterkast zijn op diverse hoogten temperatuursensoren aangebracht om de luchttemperatuur in de kast te bepalen.

TI1	vlak voor ventilatierooster inlaat (buitenkant kast);
Tl _{mk} bodem	in meterkast (vlak na ventilatierooster inlaat);
T _{mk} midden	in meterkast vlak boven afleverset;
T _{mk} boven	in meterkast vlak voor uitlaatrooster;
TI3	vlak voor ventilatierooster uitlaat (buitenkant kast);
TI5	T omgeving op 0,2 m hoogte (voor meterkast);
T omg	T omgeving op 1,5 m hoogte (voor meterkast);
TI7	T omgeving op 2,2 m hoogte (voor meterkast).

De klimaatcel werd op een constante temperatuurgehouden met een spreiding kleiner dan 1K door middel van luchtcirculatie.

De luchtdoorstroming van de cel vond plaats vanuit het gehele vloervlak naar het dak van de cel met een snelheid kleiner dan 0,5 m/s.

5. Meetresultaten oud type afleverset

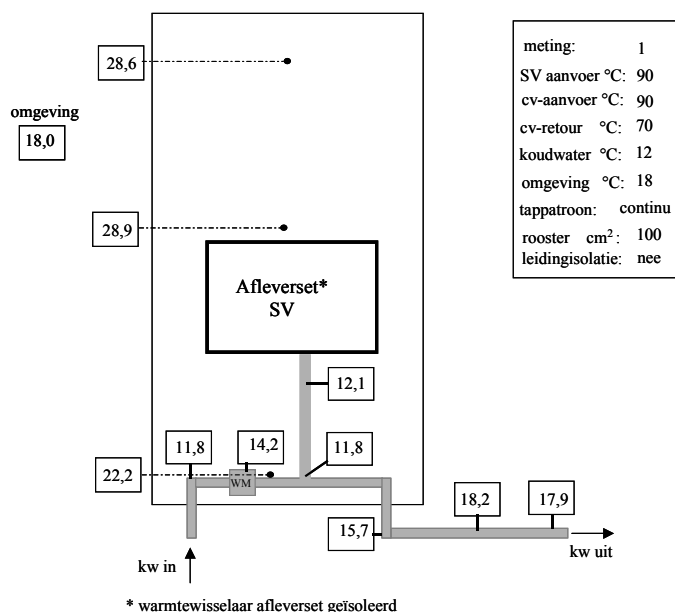
In de onderliggende hoofdstukken worden de meetresultaten toegelicht.
In bijlage 6 zijn de meetresultaten in grafieken weergegeven.

5.1 Meting 1

Bij meting 1 is de bedrijfsvoering stationair waarbij de temperaturen nagenoeg constant bleven. Dit geldt voor de aansluitingen op het SV-systeem, ruimteverwarming en tapwaterbereiding.

In bijlage 2.1 zijn enkele tabellen weergegeven van de gemeten temperaturen van warm- en koudwater, alsmede van de luchttemperaturen weergegeven.

In een grafisch overzicht zijn de belangrijkste meetwaarden (gemiddelde waarden) weergegeven.



Bij de uitvoering van meting 1 was het door een fout in het data-acquisitie systeem niet mogelijk de overige luchttemperaturen in en rond de meterkast te registreren.

De luchttemperatuur ter plaatse van de watermeter (hoogte 0,1m vanaf de bodem) werd maximaal 22,5°C. Boven in de meterkast werd de temperatuur 28,6°C. Dit temperatuurverschil zorgt voor de drijvende kracht (thermische trek) om de meterkast te ventileren. Het door dit temperatuurverschil ontstane drukverschil is 0,45 Pa ($h \cdot g \cdot \Delta\rho$).

De hoeveelheid ventilatielucht die door dit drukverschil door de meterkast stroomt, is afhankelijk van de plaatselijke weerstanden (roosters + obstakels) en de netto doorlaatopeningen van de roosters.

Bij een rooster met een netto doorlaat opening van 100 cm^2 en weerstand 0 Pa zal de luchtsnelheid door het rooster ca. $0,87 \text{ m/s}$ zijn, waarbij de luchthoeveelheid door het rooster ca. $0,0087 \text{ m}^3/\text{s}$ ($31 \text{ m}^3/\text{h}$) wordt. Bij aanname van een reductiefactor voor plaatselijke weerstanden in de roosters van ca. $0,6$ wordt het netto beschikbare drukverschil $0,27 \text{ Pa}$. De luchtsnelheid door het rooster wordt daardoor gereduceerd tot $0,67 \text{ m/s}$ en de doorstromende luchthoeveelheid tot $24 \text{ m}^3/\text{h}$.

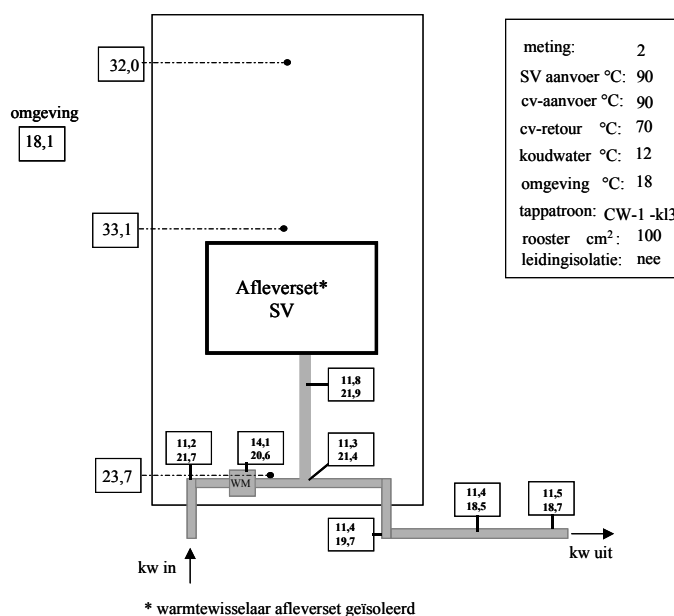
5.2 Meting 2

Bij meting 2 zijn een warmwater tapprogramma en koudwater tapprogramma uitgevoerd waarbij alle tappingen werden uitgevoerd tussen 7:00 uur en 23:30 uur. De aanvoertemperatuur van het SV-systeem was 90°C , het temperatuurregime voor CV was $90/70^\circ\text{C}$.

De koudwatertemperatuur is tijdens deze meting niet constant i.v.m. de discontinue afname (opwarmen van 12°C tot omgevingstemperatuur).

In de bijlage 2.2 zijn tabellen met de gemeten lucht- en koudwater temperaturen weergegeven.

De belangrijkste meetwaarden zijn hieronder grafisch weergegeven.



Uit de vergelijking van de luchttemperaturen van meting 1 met meting 2 blijkt dat bij meting 2 de luchttemperaturen in de meterkast ca. 2 K hoger te liggen dan bij meting 1. De temperatuur onder in de meterkast is vrijwel gelijk.

In de grafiek (zie bijlage meting 2) is globaal af te leiden dat de koudwater temperaturen in ca. 7 uur stijgen van ca. 12°C tot bijna 22°C . Nadat er een stationair

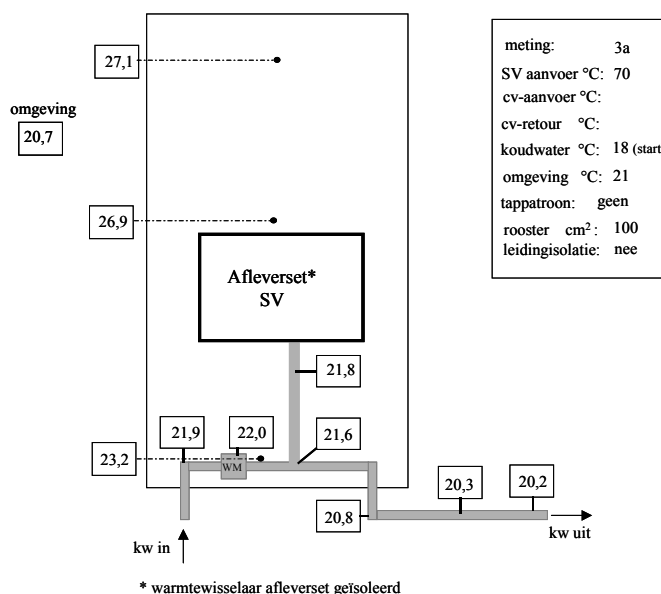
evenwicht is ontstaan is de koudwater temperatuur onder in de meterkast ca. 4 K hoger dan de luchttemperatuur buiten de meterkast (hal temperatuur 18°C). De gemiddelde luchttemperatuur ter plaatse van de watermeter nam in deze periode toe van 23 tot ca. 24°C.

5.3 Meting 3

Bij meting 3 is het van belang welke niveaus de diverse temperaturen na enige tijd hebben bereikt. Uit de grafieken (bijlage meting 3) blijkt dat na ca. 4-5 uren er een thermisch evenwicht ontstaat, waarbij geen verdere stijging van de temperaturen plaats vindt.

Tabellen met meetwaarden (maximum waarden) zijn in de bijlage 2.3.1 en 2.3.2 opgenomen. De belangrijkste meetresultaten zijn in onderstaande figuur weergegeven

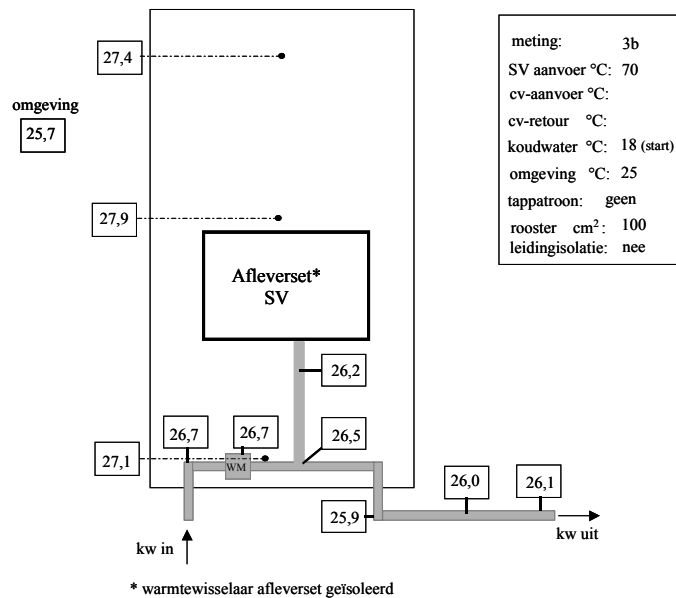
5.3.1 Meting bij een omgevingstemperatuur van 21°C



Het bedrijfsgeraad houden van de toegepaste afleverset resulteerde in een stijging van de temperatuur in de koudwaterleidingen van ca. 1 K t.o.v. de luchttemperatuur hal 21°C).

De SV-aanvoerleiding van de afleverset werd door middel van een thermostatisch geregelde bypass klep in de set op ca. 43°C gehouden met een gemiddelde volumestroom van ca. 10 liter per uur.

5.3.2 Meting bij een omgevingstemperatuur van 25°C

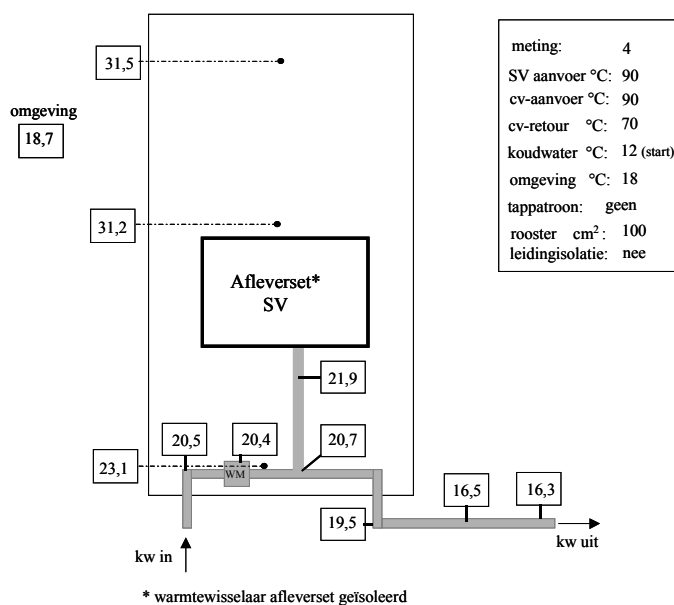


De temperatuurstoename in de koudwaterleidingen is bij stationair evenwicht en een omgevingstemperatuur van 25°C (gemeten 25,7°C) eveneens ca. 1 K.

5.4 Meting 4

Bij meting 4 is het van belang welke niveaus de diverse temperaturen na enige tijd hebben bereikt. Uit de grafieken blijkt dat na ca. 3-4 uren een thermisch evenwicht is bereikt.

De belangrijkste meetresultaten (maximum waarden) zijn in onderstaande figuur weergegeven, de tabellen met meetwaarden zijn in de bijlage 2.4 weergegeven.



Bij een continue warmtevraag (ruimteverwarming) en een stationair evenwicht werd de temperatuur van de koudwaterleiding in de meterkast ca. 3 K hoger dan de omgevingstemperatuur.

In de koudwaterleiding na de meterkast vindt tot op een afstand van ca. 20 cm (plaats is onder de meterkast) enige doorwarming van het water in de leiding plaats.

6. Invloed grootte van de ventilatieopeningen en toepassing van leidingisolatie

Er zijn metingen uitgevoerd om de invloed van de grootte van de ventilatieopeningen op het thermische gedrag in de meterkast in combinatie met wel of geen isolatie van alle warmtevoerende leidingdelen in de kast (tussen bevestigingsbeugel en bodem van de kast) vast te stellen.

Uit het eerste deel van het onderzoek werd duidelijk dat de omgevingstemperaturen van de meterkast een grote invloed hebben op het temperatuurverloop van diverse onderdelen in de meterkast.

Daarnaast levert de warmte afgifte door de niet geïsoleerde cv-leidingen een extra verhoging op van de temperaturen in de meterkast.

Tijdens tussentijds overleg is besloten om door middel van aanvullend onderzoek een beter zicht te krijgen op de beheersbaarheid van de temperatuur in de meterkast, waarbij de grootte van de ventilatie openingen en de aanwezigheid van isolatie als grootste invloedsfactoren worden verondersteld.

In onderstaande matrix van 4 metingen is een overzicht gegeven van de uitgevoerde metingen die inzicht moeten geven over het thermische gedrag bij langdurige afwezigheid van de bewoner tijdens warmtelevering van ca. 30% t.b.v. ruimteverwarming (90/70°C).

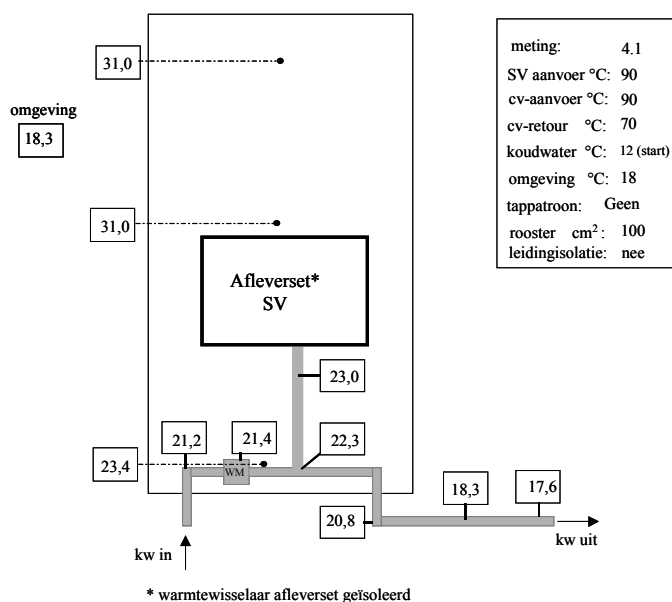
Op basis van de uitkomsten kunnen richtlijnen worden opgesteld naar de grootte van de minimale ventilatie openingen en het aanbrengen van wel/geen isolatie om de warmtevoerende leidingdelen in de meterkast.

Meting	Ventilatie opening 100 cm ²		Ventilatie opening 200 cm ²	
	geen isolatie	wel isolatie	geen isolatie	wel isolatie
Meting 4.1	X			
Meting 4.2		X		
Meting 4.3			X	
Meting 4.4				X

Meting 4.1 is reeds uitgevoerd tijdens het basis onderzoek. Deze meting is echter opnieuw uitgevoerd om kleine verschillen in de gemeten omgevingscondities te elimineren.

6.1 Meetresultaten

6.1.1 Meting 4.1



De meetduur was 19 uur.

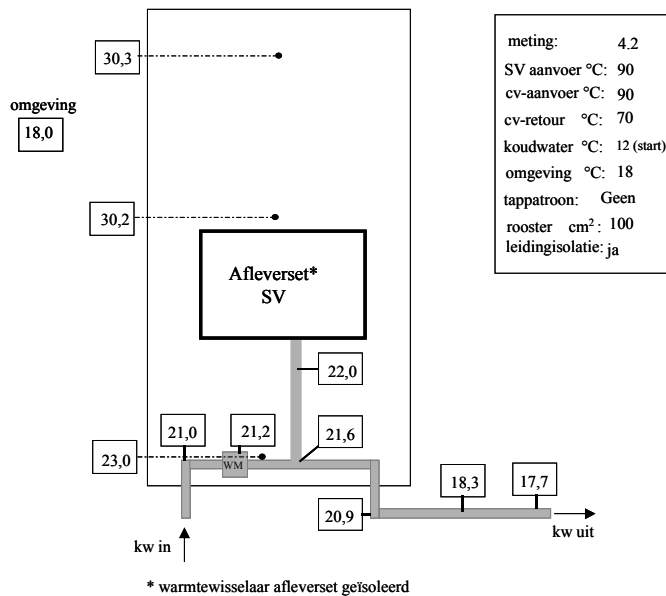
Ca. 7 uur na de start van de meting bleek geen verdere opwarming van de koudwaterleiding in de meterkast op te treden. De grootste opwarming van de leiding vond plaats in het eerste uur (ca. 7 K).

De temperatuuroptoe name per uur is in een tabel in hoofdstuk 6.2 weergegeven.

Meetpunt Tw3 (na de watermeter) werd maximaal 22,3°C bij een omgevingstemperatuur (buiten meterkast) van 18,3°C. De eindtemperatuur van de meetpunten Tw7 en Tw8 werden respectievelijk 0,4 en 0,7K hoger dan Tw3. Dit werd veroorzaakt doordat de meetpunten dichter bij de warmtevoerende leidingen lagen waarbij tevens de ventilatie luchtstroom geringer was dan bij meetpunt Tw3.

In bijlage 3.1 zijn in tabellen de meetresultaten weergegeven.

6.1.2 Meting 4.2



De meetduur was 26 uur.

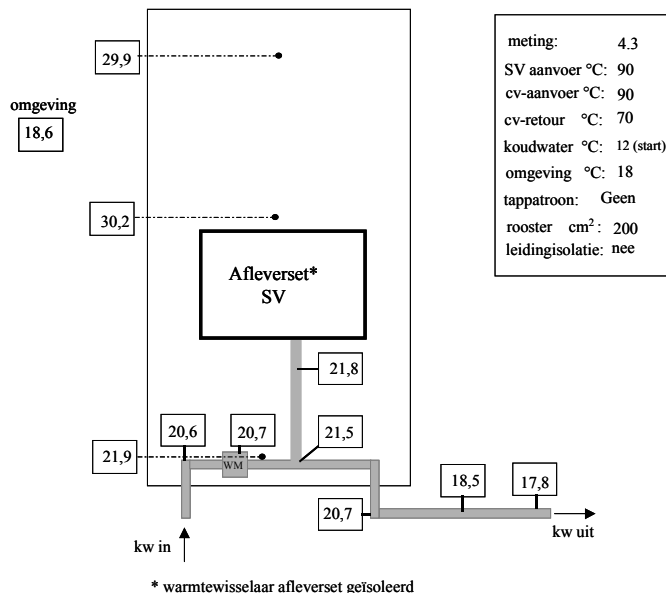
Ca. 9 uur na de start van de meting bleek geen verdere opwarming van de koudwaterleiding in de meterkast op te treden. De grootste opwarming van de leiding vond plaats in het eerste uur (ca. 6 K).

De temperatuuroptoe name per uur is in een tabel in hoofdstuk 6.2 weergegeven.

Meetpunt Tw3 (na de watermeter) werd maximaal 21,6°C bij een omgevingstemperatuur (buiten meterkast) van 18,0°C. De eindtemperatuur van de meetpunten Tw7 en Tw8 werden respectievelijk 0,2 en 0,4 K hoger dan Tw3.

In bijlage 3.2 zijn in tabellen de meetresultaten weergegeven.

6.1.3 Meting 4.3



De meetduur was 19,5 uur.

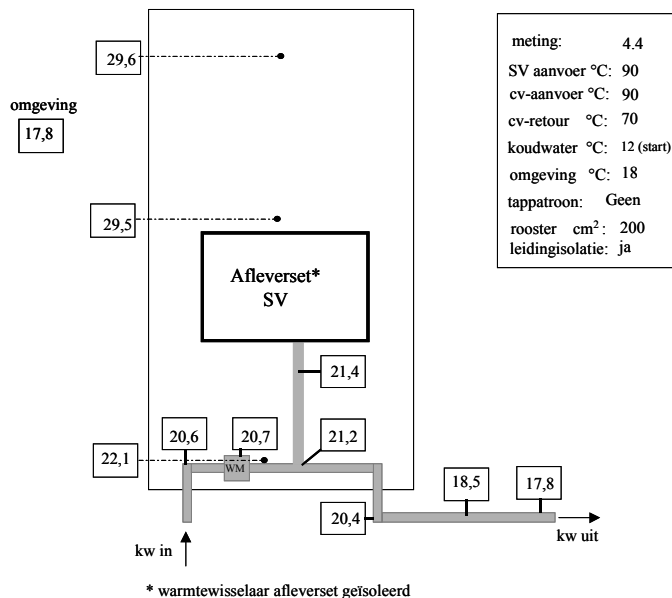
Ca. 7 uur na de start van de meting bleek geen verdere opwarming van de koudwaterleiding in de meterkast op te treden. De grootste opwarming van de leiding vond plaats in het eerste uur (ca. 7,5 K).

De temperatuuroptename per uur is in een tabel in hoofdstuk 6.2 weergegeven.

Meetpunt Tw3 (na de watermeter) werd maximaal 21,5°C bij een omgevingstemperatuur (buiten meterkast) van 18,6°C. De eindtemperatuur van de meetpunten Tw7 en Tw8 werden respectievelijk 0,4 en 0,3 K hoger dan Tw3.

In bijlage 3.3 zijn in tabellen de meetresultaten weergegeven.

6.1.4 Meting 4.4



De meetduur was 24 uur.

Ca. 7 uur na de start van de meting bleek geen verdere opwarming van de koudwaterleiding in de meterkast op te treden. De grootste opwarming van de leiding vond plaats in het eerste uur (ca. 6,8 K).

De temperatuurtoename per uur is in een tabel in hoofdstuk 6.2 weergegeven.

Meetpunt Tw3 (na de watermeter) werd maximaal 21,2°C bij een omgevingstemperatuur (buiten meterkast) van 18,8°C. De eindtemperatuur van de meetpunten Tw7 en Tw8 werden respectievelijk 0 en 0,2 K hoger dan Tw3,

In bijlage 3.4 zijn in tabellen de meetresultaten weergegeven.

6.2 Beschouwing meetresultaten

In onderstaande tabel is het temperatuurverloop van meetpunt Tw3 (koudwaterleiding na de watermeter) vanaf de start van de metingen weergegeven.

Temperatuurstijging meetpunt Tw3.

Meting nr.	4.1	4.2	4.3	4.4
Ventilatieopening	100 cm ²	100 cm ²	200 cm ²	200 cm ²
Warmwaterleidingen	zonder isolatie	met isolatie	zonder isolatie	met isolatie
Periode	K/h	K/h	K/h	K/h
1 ^e uur	7,9	5,7	7,6	6,8
2 ^e uur	1,7	1,6	1,5	1,3
3 ^e uur	0,6	0,8	0,4	0,3
4 ^e uur	0,2	0,5	0,14	0,13
5 ^e uur	0,09	0,3	0,07	0,03
6 ^e uur	0,04	0,12	0,02	0,02
7 ^e uur	0,03	0,07	0,02	0,02
8 ^e uur	0,02	0,05	-	-
9 ^e uur	-	0,03	-	-
10 ^e uur	-	0,02	-	-

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat de opwarming van de koudwaterleiding in het eerste uur het grootst is (ca. 6-7 K). De gemiddelde opwarmtijd is ca. 6-7 uur waarbij de leidingisolatie een geringe invloed (vertraging) heeft op de opwarmtijd.

Temperatuurverloop meetpunt Tw3.

Meting nr.	4.1	4.2	4.3	4.4
Ventilatieopening	100 cm ²	100 cm ²	200 cm ²	200 cm ²
Warmwaterleidingen	zonder isolatie	met isolatie	zonder isolatie	met isolatie
Periode	°C	°C	°C	°C
start	11,6	12,3	11,7	12,3
1 ^e uur	19,5	18,0	19,3	19,1
2 ^e uur	21,3	17,7	20,8	20,3
3 ^e uur	21,8	20,5	21,2	20,6
4 ^e uur	22,0	21,0	21,4	20,8
5 ^e uur	22,1	21,2	21,5	20,8
6 ^e uur	22,2	21,4	21,5	20,8
7 ^e uur	22,2	21,4	21,5	20,9
8 ^e uur	22,2	21,5	21,5	20,9
9 ^e uur	22,2	21,5	21,5	20,9
10 ^e uur	22,2	21,5	21,5	20,9

Start- en eindtemperatuur meetpunt Tw3.

meting nr.	4.1	4.2	4.3	4.4
ventilatieopening	100 cm ²	100 cm ²	200 cm ²	200 cm ²
warmwaterleidingen	zonder isolatie	met isolatie	zonder isolatie	met isolatie
	°C	°C	°C	°C
Starttemperatuur	11,6	12,3	11,7	12,3
Eindtemperatuur	22,2	21,6	21,5	20,9

In de bovenstaande tabel zijn de start- en eindtemperaturen van meetpunt Tw3 weergegeven voor de vier metingen.

Uit deze tabel kunnen een aantal vergelijkingen worden gemaakt om de invloed van de ventilatie openingen en isolatie van leidingen vast te stellen.

Invloed ventilatie openingen.

Vergelijking van de eindtemperaturen van meting 4.1 en 4.3 (geen isolatie) geeft aan dat een vergroting van de ventilatie openingen van 100 naar 200 cm² een verlaging van de temperatuur in de koudwaterleiding oplevert van ca. 0,7 K.

Vergelijking van de eindtemperaturen van de metingen 4.2 en 4.4 (met isolatie) laat zien dat de watertemperatuur in de leiding bij ventilatie openingen van 200 cm² ca. 0,7 K lagere waarde oplevert.

Invloed leidingisolatie.

Het effect van leidingisolatie van de warmtevoerende leidingen wordt zichtbaar door de metingen 4.1 met 4.2 en 4.3 met 4.4 te vergelijken. Het isoleren levert een daling van de koudwatertemperatuur van 0,6 respectievelijk 0,4 K op.

Het grootste effect wordt verkregen als de ventilatie openingen worden vergroot en tevens leiding isolatie wordt toegepast (meting 4.1 en 4.4), n.l. 1,3 K.

7. Metingen aan een nieuw type afleverset

Als aanvulling op het bovengenoemde onderzoek, gebaseerd op de warmtelevering met een afleverset waarvan alleen de warmtewisselaar was geïsoleerd, zijn in opdracht van Nuon Warmte metingen uitgevoerd aan een moderne geheel geïsoleerde afleverset.

De opzet van dit aanvullend onderzoek is vast te stellen welke verbeteringen met betrekking tot het thermische gedrag een geheel geïsoleerde afleverset oplevert ten opzichte van een afleverset waarvan alleen de warmtewisselaar is voorzien van isolatie.

Met de geheel geïsoleerde afleverset zijn de volgende metingen uitgevoerd:

- meting 1, maximum capaciteit cv + tapwater;
- meting 2, ruimteverwarming + tapprogramma's warm en koudwater;
- metingen met betrekking tot de grootte van de ventilatieopeningen en isolatie warmtevoerende leidingen.

7.1 Meetresultaten

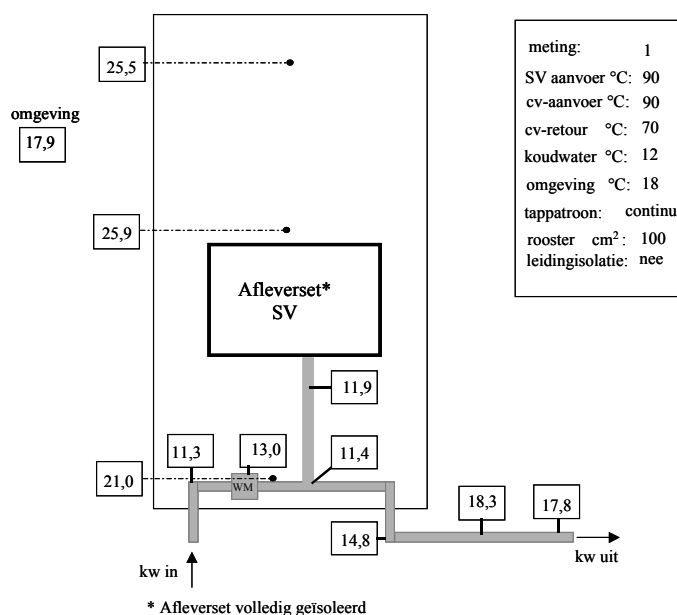
In de onderliggende hoofdstukken worden de meetresultaten toegelicht. In bijlage 7 zijn de meetresultaten in grafieken weergegeven.

7.1.1 Meting 1

Bij meting 1 was de bedrijfsvoering stationair waarbij de temperaturen nagenoeg constant bleven.

In enkele tabellen (in bijlage 4.1) zijn de temperaturen van warm- en koudwater, alsmede van de luchttemperaturen weergegeven.

De belangrijkste meetwaarden zijn in onderstaande figuur weergegeven.



De luchttemperatuur ter plaatse van de watermeter (hoogte 0,1m vanaf bodem) werd gemiddeld 21,3 °C. Boven in de meterkast werd de temperatuur 26,0°C. Dit temperatuurverschil zorgt voor de drijvende kracht (thermische trek) om de meterkast te ventileren. Het door dit temperatuurverschil ontstane drukverschil is 0,32 Pa.

De hoeveelheid ventilatielucht die door dit drukverschil door de meterkast stroomt is afhankelijk van de plaatselijke weerstanden (roosters + obstakels) en de netto doorlaatopeningen van de roosters.

Bij een rooster met een netto doorlaat opening van 100 cm² en een weerstand 0 Pa zal de luchtsnelheid door het rooster ca. 0,73 m/s zijn, waarbij de luchthoeveelheid door het rooster ca. 0,0073 m³/s (26 m³/h) wordt. Bij aanname van een reductiefactor voor plaatselijke weerstanden in de roosters van ca. 0,6 wordt het netto beschikbare drukverschil 0,19 Pa. De luchtsnelheid door het rooster wordt daardoor gereduceerd tot 0,57 m/s en de doorstromende luchthoeveelheid tot 20 m³/h.

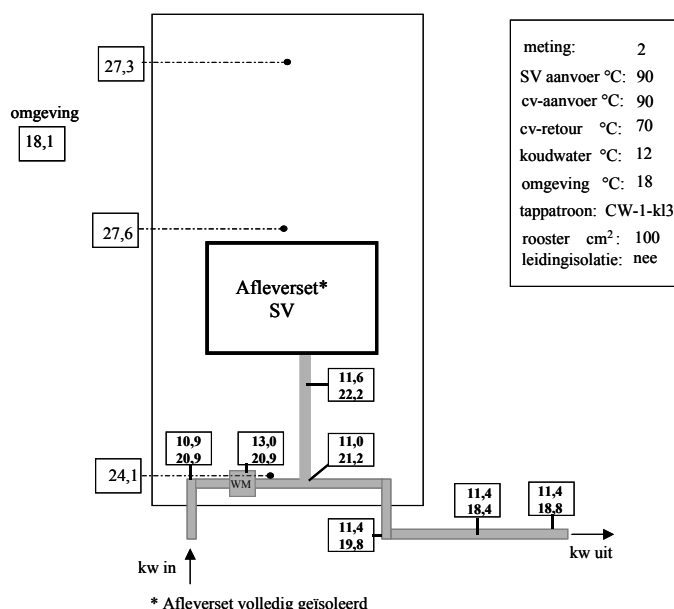
7.1.2 Meting 2

Bij meting 2 zijn een warmwater tapprogramma en koudwater tapprogramma uitgevoerd waarbij alle tappingsen werden uitgevoerd tussen 7:00 uur en 23:30 uur. De aanvoertemperatuur van het SV-systeem was 90°C, het temperatuurregiem voor CV was 90/70°C.

De koudwatertemperatuur is tijdens deze meting niet constant i.v.m. de discontinue afname (opwarmen van 12°C tot omgevingstemperatuur).

In de bijlage 4.2 zijn tabellen met de gemeten lucht- en koudwater temperaturen weergegeven.

In onderstaande figuur zijn de belangrijkste meetwaarden weergegeven.



Uit de vergelijking van de luchttemperaturen van meting 1 met meting 2 blijkt dat bij meting 2 de luchttemperaturen in de meterkast ca. 1-2 K hoger te liggen dan bij meting 1.

De temperatuur onder in de meterkast is echter 5 K hoger dan de omgevingstemperatuur.

Het temperatuurverschil tussen bodem en top van de meterkast is 3,5K. Dit temperatuurverschil levert een drukverschil op van 0,25 Pa.

De hoeveelheid ventilatielucht die door dit drukverschil door de meterkast stroomt, is bij 0 Pa drukverlies en een opening van 100 cm² ca. 0,0065 m³/s (23 m³/h)

Bij aanname van een reductiefactor voor plaatselijke weerstanden in de roosters van ca. 0,6 wordt het netto beschikbare drukverschil 0,15 Pa. De lichtsnelheid door het rooster wordt daardoor gereduceerd tot 0,50 m/s en de doorstromende luchthoeveelheid tot ca. 18 m³/h.

In de grafiek (zie bijlage meting 2) is globaal af te leiden dat de koudwater temperaturen in ca. 7 uur stijgen van ca. 12°C tot bijna 21°C. De temperaturen in de aftakking naar de warmwaterbereider zijn ca. 1 K hoger (opwarming door naastliggende warmtevoerende leidingen).

Na ca. 7 uur is er nog geen stationair evenwicht bereikt in de opwarming van de koudwaterleiding. De koudwater temperatuur is op dat moment ca. 3 K hoger dan de luchttemperatuur buiten de meterkast (hal temperatuur).

De gemiddelde luchttemperatuur ter plaatse van de watermeter was aan het einde van deze periode ca. 23,5 °C (maximum waarde was 24°C).

Uit de grafiek kan globaal worden afgeleid dat bij continue warmtelevering voor CV (90/70°C) en geen afname van tapwater de temperatuur van de koudwaterleiding na ca. 10 uur de omgevingstemperatuur zal bereiken.

7.1.3 Invloed grootte van de ventilatieopeningen en toepassing leidingisolatie

Nadat de metingen 1 en 2 waren uitgevoerd zijn 3 extra metingen uitgevoerd om het effect van leidingisolatie (CV + tapwaterleidingen) en de grootte van de ventilatie openingen vast te stellen bij toepassing van het nieuwe type afleverset. Deze metingen zijn uitgevoerd volgens de bedrijfscondities van meting 1. De ventilatieopeningen zijn op twee maten uitgevoerd (100 cm² en 200cm²).

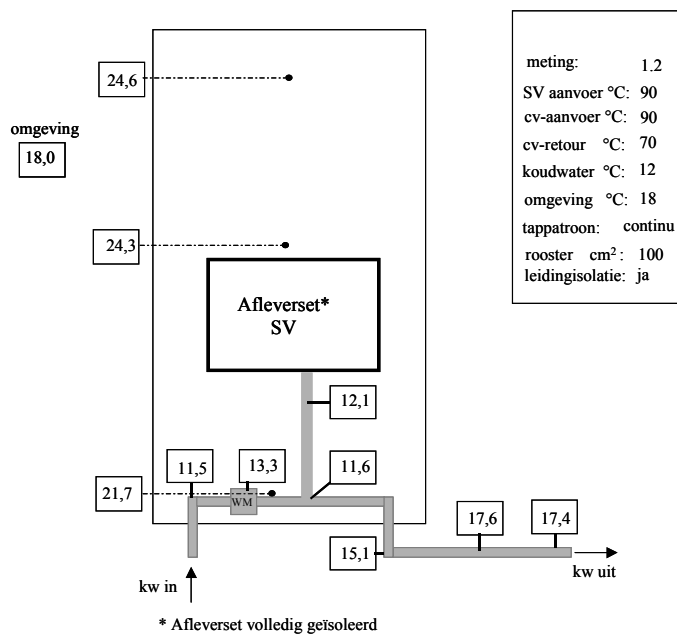
Meting	Ventilatie opening 100 cm ²		Ventilatie opening 200 cm ²	
	geen isolatie	wel isolatie	geen isolatie	wel isolatie
Meting 1.1	X			
Meting 1.2		X		
Meting 1.3			X	
Meting 1.4				X

Meting 1.1 is de oorspronkelijke meting 1.

In de onderstaande tabellen zijn de meetresultaten weergegeven.

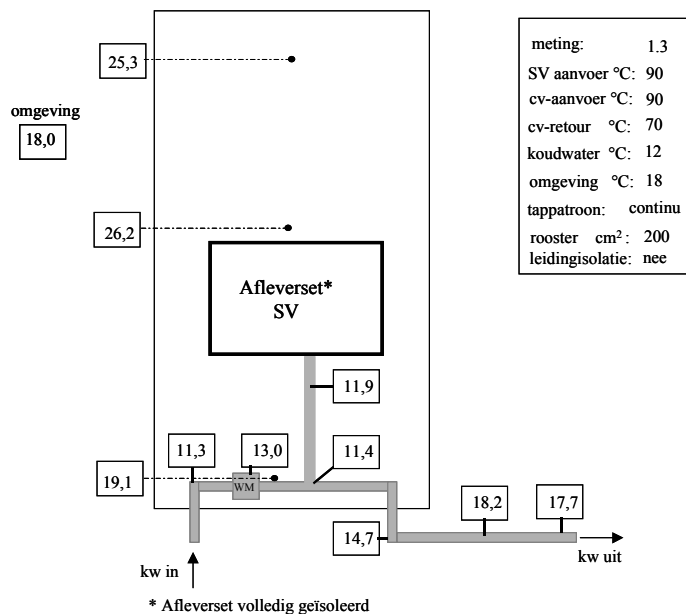
7.1.3.1 Meting 1.2: metingen bij een ventilatie opening van 100 cm² en leidingisolatie

Grafisch zijn de belangrijkste meetwaarden weergegeven. In de bijlage 5.1 zijn de tabellen met meetgegevens te vinden.



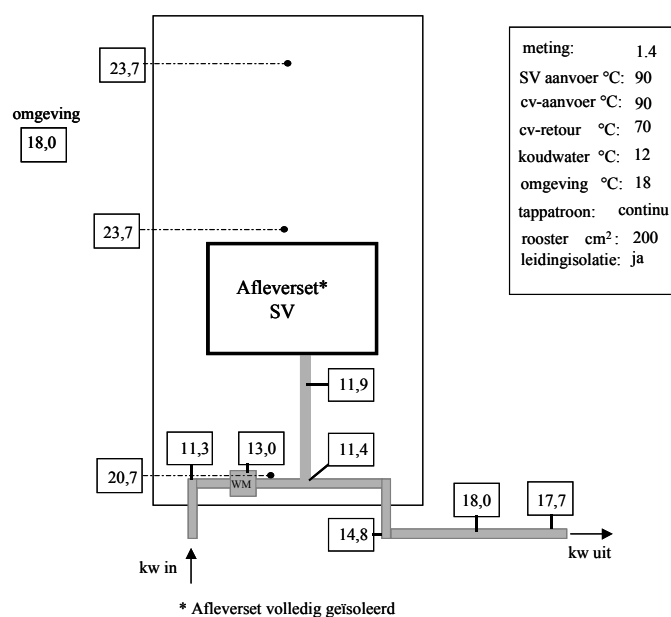
7.1.3.2 Meting 1.3: metingen bij een ventilatie opening van 200 cm², geen leidingisolatie

Grafisch zijn de belangrijkste meetwaarden weergegeven. In de bijlage 5.2 zijn de tabellen met meetgegevens te vinden.



7.1.3.3 Meting 1.4: metingen bij een ventilatie opening van 200 cm² en leidingisolatie

Grafisch zijn de belangrijkste meetwaarden weergegeven. In de bijlage 5.3 zijn de tabellen met meetgegevens te vinden.



7.2 Beschouwing meetresultaten aanvullende metingen

In onderstaande tabel is het temperatuurverloop van meetpunt Tw3 (koudwaterleiding na de watermeter) vanaf de start van de metingen weergegeven.

Stationaire eindtemperaturen in meterkast.

Meting	1.1	1.2	1.3	1.4
ventilatieopening	100 cm ²	100 cm ²	200 cm ²	200 cm ²
warmwaterleidingen	zonder isolatie	met isolatie	zonder isolatie	met isolatie
	°C	°C	°C	°C
Max. luchttemperatuur bodem	21,3	21,9	19,3	20,9
Max. luchttemperatuur top	26,0	24,6	25,5	24,0
Max. leidingtemperatuur kw	11,7	11,8	11,7	11,7

In de bovenstaande tabel zijn de stationaire temperaturen van de lucht onder en boven in de meterkast en de temperatuur van de koudwaterleiding (meetpunt Tw3) weergegeven voor de vier metingen.

Uit deze tabel kunnen een aantal vergelijkingen worden gemaakt om de invloed van de ventilatie openingen en isolatie van leidingen vast te stellen.

Ventilatie openingen

Vergelijking van de eindtemperaturen van meting 1.1 en 1.3 (geen isolatie) geeft aan dat een vergroting van de ventilatie openingen van 100 naar 200 cm² een verlaging van de luchttemperatuur onder in de meterkast oplevert van ca. 2 K.

Vergelijking van de eindtemperaturen van de metingen 1.2 en 1.4 (met isolatie) laat zien dat de luchttemperatuur in de meterkast bij ventilatie openingen van 200 cm² ca. 1 K lager is.

Het effect van leidingisolatie van de warmtevoerende leidingen wordt zichtbaar door de metingen 1.1 met 1.2 en 1.3 met 1.4 te vergelijken. Het isoleren levert een stijging van de luchttemperatuur ter plaatse van de watermeter van 0,6 respectievelijk 1,6 K op.

Isoleren van de warmtevoerende leidingen resulteert in een lager temperatuurverschil van de lucht in de meterkast (ca. 3 K i.p.v. 5-6 K). De thermische trek wordt hierdoor minder, hetgeen een lagere luchtstroming door de kast oplevert met als resultaat een hogere luchttemperatuur onderin de meterkast.

7.3 Conclusies m.b.t. de metingen met een nieuw type afleverset

Meting 1

Bij continue warmtevraag van ruimteverwarming en tappen stijgt de luchttemperatuur onder in de meterkast ca. 3 K boven de omgevingstemperatuur van de meterkast (haltemperatuur).

Meting 2

Bij warmtelevering volgens het standaard 24-uurs tappatroon (Gaskeur CW-1 klasse 3) + een koudwatertappatroon (20 tappingen van 7 liter) wordt de maximale luchttemperatuur onder in de meterkast ca. 24°C, een stijging van 6 K t.o.v. de haltemperatuur (18°C).

De maximale temperatuur van de koudwaterleiding werd 21°C.

Ventilatieopeningen en isolatie (metingen 1.2 t/m 1.4)

Vergroten van de ventilatie openingen (100 naar 200 cm²) resulteert in een daling van de luchttemperatuur onder in de meterkast van 2K.

Toepassing van leidingisolatie op de warmtevoerende leidingen geeft een verhoging van de luchttemperatuur onder in de meterkast van ca. 0,6 K resp. 1,6 K

Worden de ventilatie openingen vergroot en tevens de leidingen geïsoleerd, dan daalt de luchttemperatuur onder in de kast slechts 0,4 K.

8. Conclusies

8.1 Toepassing van het oude type afleverset waarvan alleen de warmtewisselaar geïsoleerd is

Uit de resultaten van het uitgevoerde onderzoek kan gesteld worden dat de temperatuur van de koudwaterleiding onder invloed van de warmtelevering tijdens winterbedrijf (meting 1, 2 en 4) in de meterkast 4 K hoger wordt dan de omgevings-temperatuur (bij een haltemperatuur van 18°C).

De luchttemperatuur van de omgeving is bepalend voor de uiteindelijke temperatuur van de koudwaterleiding.

Uit het meetonderzoek blijkt dat als de omgevingstemperatuur niet hoger wordt dan 20°C, de koudwatertemperatuur de grens van 25°C niet zal overschrijden.

De koudwatertemperatuur tijdens zomerbedrijf (meting 3: bedrijfsgereed houden van de afleverset) is ca 1 à 2 K hoger dan de omgevingstemperatuur. Bij overschrijding van de omgevingstemperatuur van 23°C, zal de watertemperatuur hoger worden dan 25°C.

Effect ventilatieopeningen en isolatie leidingen

Het vergroten van de toe- en afvoeropeningen (ventilatie) van 100 naar 200 cm² resulteert in een vermindering van het koude water met 0,7 K.

Het isoleren van de cv- en tapwaterleidingen geeft een vermindering van de opwarming van het koudewater met 0,7 K.

Wanneer deze twee maatregelen worden toegepast zal tijdens het winterbedrijf de koudwatertemperatuur 3 K stijgen in plaats van de eerder genoemde 4 K. Tijdens het zomerbedrijf is de stijging te verwaarlozen (<1 K).

8.2 Toepassing van het nieuwe type afleverset die volledig geïsoleerd is

De luchttemperatuur ter plaatse van de watermeter neemt bij maximum warmtelevering met een nieuw type afleverset in de meterkast en een omgevingstemperatuur van 18°C (hal temperatuur) toe met ca. 3 K (1 K minder dan bij het oude type afleverset).

Bij warmtelevering volgens het standaard 24-uurs tappatroon (Gaskeur CW-1 klasse 3) in combinatie met een koudwater tappatroon (20 tappingen van 7 liter) neemt de luchttemperatuur onder in de meterkast toe tot ca. 24°C ($\Delta T = 6$ K t.o.v. omgeving).

De temperatuur van de koudwaterleiding wordt maximaal 21°C (1 K minder dan bij het oude type afleverset).

Effecten ventilatie openingen en isolatie leidingen

Vergroten van de toe- en afvoeropeningen (ventilatie) van 100 naar 200 cm² resulteert in een verlaging van de luchttemperatuur onder in de meterkast van 2 K.

Wanneer de ventilatieopeningen in de meterkast worden vergroot tot 200 cm² dan zal tijdens het winterbedrijf de koudwatertemperatuur amper 1 K stijgen.

De toepassing van leidingisolatie op de cv- en tapwaterleidingen geeft een tegengesteld effect waarbij de luchttemperatuur stijgt met 0,6 K bij een ventilatieopening van 100 cm² en met 1,6 K bij een opening van 200 cm².

Algemene conclusie

De plaatsing van de warmte afleverset in de meterkast, gesitueerd in de hal van een woning, leidt onder 'normale' bedrijfsvoering (warmtelevering cv en tapwater bij een haltemperatuur van 18°C en levering koudwater met een temperatuur tot 18°C) niet tot het opwarmen van het koude water boven de 25°C.

De temperatuur van het koude water wordt voor het grootste gedeelte bepaald door de omgevingstemperatuur buiten de meterkast.

Boven in de meterkast wordt het altijd warm met temperaturen die tot boven 30°C kunnen stijgen. Er moeten daarom geen koudwater leidingen in dit deel van de meterkast worden geprojecteerd.

Bij de gebruikelijke opstelling van de watermeter en de koudwater leidingen hebben de volgende factoren een verlagend effect op de koudwater temperatuur:

- a. De mate van isolatie van de afleverset en leidingen is bepalend voor de ventilatiehoeveelheid in de kast. Te zware isolatie heeft een negatieve invloed op de thermische trek.
- b. Invloed isoleren van de cv-leidingen:
 - bij het oude type afleverset: vermindering van de opwarming van het drinkwater met 0,6-0,7 K;
 - bij het nieuwe type afleverset: toename van de opwarming van het drinkwater met ca. 0,6 K;
- c. Vergroten van de toe- en afvoeropeningen (ventilatie) in de deur van de meterkast van 100 naar 200 cm² (netto doorlaat) heeft een positieve invloed op de beperking van de temperatuurstijging van het drinkwater.
Bij het oude type afleverset is de afname van de opwarming ca. 0,7 K en bij toepassing van het nieuwe type afleverset is de afname ca. 1 K.

9. Adviezen en aanbevelingen met betrekking tot het beperken van de opwarming van de koudwaterleiding in meterkasten met warmtelevering

9.1 Overzicht mogelijkheden bij laagbouw woningen

Deze aanbevelingen hebben als doel de stijging van de temperatuur van de koudwaterleiding in de meterkast tot een minimum te beperken.

Afleversets voor stadsverwarming die in meterkasten van woningen worden opgesteld, zullen door stralings- en convectieverliezen van toestel en aangesloten leidingen de temperatuur in de meterkast doen toenemen.

Om deze toename tot een minimum te beperken moet aan de volgende zaken aandacht geschonken worden:

- afvoeren van warmte door middel van ventilatie van de meterkast;
- beperken van de warmteverliezen van de afleverset en aangesloten leidingen;
- compartimentering kastruimte.

Indien de warmteafgifte aan de meterkast niet beperkt of tot nul gereduceerd kan worden, dan moet voor voldoende ventilatie van de meterkast worden gezorgd.

De ventilatie van de meterkast wordt op natuurlijke wijze onderhouden door de thermische trek (= drijvende kracht) in de meterkast. Deze thermische trek wordt bepaald door de verticale temperatuurgradiënt (temperatuurverschil tussen boven en onderzijde) in de meterkast.

Hoe hoger de thermische trek (temperatuurschil) des te groter is de ventilatie door de kast.

De lucht moet toetreden via een opening (al dan niet voorzien van een rooster) ter hoogte van de watermeter en afgevoerd worden op een zo hoog mogelijke plaats in de meterkast. Deze openingen worden meestal in de deur van de meterkast aangebracht.

Openingen met een vrije doorlaat van 100 cm² geven bij de ter beschikking zijnde thermische trek een te geringe luchtstroming door de kast. Metingen met afleversets waarbij de tapwater- en cv-leidingen niet geïsoleerd waren, hebben aangetoond dat openingen met een vrije doorlaat van 200 cm² een substantiële verlaging van de luchttemperatuur in de meterkast van 2 K geven ten opzichte van een doorlaatoopening van 100 cm². De koudwatertemperatuur neemt bij deze vergroting met ca. 0,7-1 K af.

Mogelijkheden tot instant houden van adequate afvoer van warmte door middel van ventilatie:

- stromingsweerstand zo laag mogelijk (grote ventilatie openingen, geen obstakels in kast die de luchtstroom belemmeren;
- thermische trek zo groot mogelijk (groot temperatuurverschil in kast);

- juiste plaats van niet-afsluitbare in- en uitstroom openingen van de ventilatielucht (instroming ter hoogte van de watermeter, uitstroming op hoogste punt om buffering van warmte in de kast te voorkomen);
- luchttemperatuur aan instroom openingen zo laag mogelijk;
- afvoer ventilatielucht aansluiten op het centrale afvoersysteem van de woning (verhoging van de thermische trek in de kast bij natuurlijke afvoer-systemen).

Mogelijkheden tot beperken van warmteverliezen:

- leidinglengten (SV, tapwater en CV) in meterkast zo kort mogelijk houden;
- leidingisolatie SV-systeem (aanvoer- retourleiding) zodanig uitvoeren dat oppervlaktetemperatuur van de isolatie onder 25°C blijft;
- isolatie afleverset afstemmen op zolaag mogelijke oppervlaktetemperatuur (<25°C);
- warmtevoerende leidingen in de kast (tapwater en ruimteverwarming) niet isoleren i.v.m. het opwekken van enige thermische trek in de kast.

Compartimentering meterkast

Boven in de meterkast is de luchttemperatuur vaak hoger dan 25°C. Stijgleidingen van koudwater moeten daarom niet in de meterkast worden aangebracht ten zij er een fysieke scheiding hiervoor wordt aangebracht.

Plaats van de watermeter door middel van een isolerend horizontaal schot afschermen. Toevoer van ventilatielucht net boven het horizontale schot laten plaatsvinden, afvoer opening zo hoog mogelijk. De warmtevoerende leidingen moeten in dit compartiment worden afgeschermd (verticaal schot of goede isolatie)

Bij gestapelde bouw zijn de standleidingen vaak in schachten direct naast de meterkast aangebracht. Bij deze situaties moet de scheidingswand met deze schacht van een goede isolatie zijn voorzien om te voorkomen dat de temperatuur in de meterkast te hoog wordt (<25°C).

Plaats voor de warmtevoerende leidingen vanuit de vloer tot aan de bevestigingsbeugel een verticaal isolerend schot dat aan onderzijde (vloerhoogte) van een kleine luchtspleet is voorzien ten behoeve van de ventilatie luchttoevoer en aan bovenzijde open waardoor de lucht kan ontwijken. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat er meer lucht via deze (schoorsteen) schacht wordt getransporteerd en meer luchtkoeling ter plaatse van de watermeter oplevert.

9.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

In dit rapport zijn de resultaten van het onderzoek naar de warmtelevering in meterkasten voor laagbouw woningen beschreven. Hierbij is uitgegaan dat de aansluitleidingen op het stadsverwarmingssysteem in de kruipruimte van de woningen zijn aangebracht.

Bij gestapelde bouw worden de woningen op verticale strangen van het stadsverwarmingsnet aangesloten. Deze verticale strangen worden meestal in schachten direct naast de meterkast aangebracht. De wijze van aanleg en de hoge leidingtemperaturen kunnen aanleiding geven tot overmatige (ongewenste) opwarming van het koude water.

Onderzoek naar de toepassing van warmtelevering in meterkasten bij gestapelde woningen kan resulteren in een aantal aanbevelingen met betrekking tot te nemen (preventie)maatregelen opdat de temperatuur van het koude water niet hoger wordt dan 25°C.

10. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

VEWIN
Postbus 1019
2280 CA Rijswijk

Nuon Warmte
Postbus 9039
6800 EZ Arnhem

Namen en functies van de projectmedewerkers:

G.J. Afink - onderzoeksleider

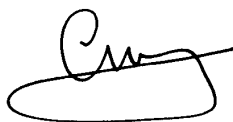
Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

n.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

oktober-december 2001

Ondertekening:



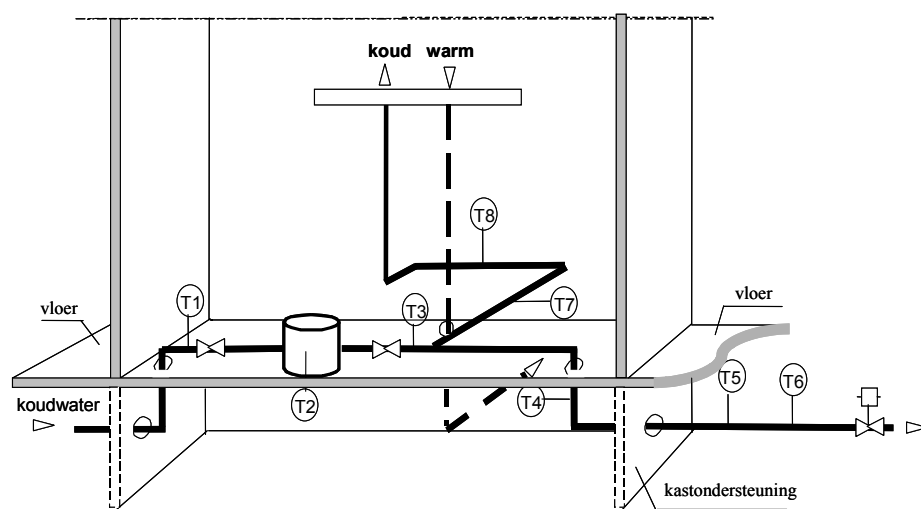
G.J. Afink
onderzoeksleider

Goedgekeurd door:



Ir. S.M. van der Sluis
afdelingshoofd

Bijlage 1 Plaatsing temperatuurmeetpunten in koudwaterleiding in de meterkast



Meetpunten koudwaterleiding

Bijlage 2 Oud type afleverset

Bijlage 2.1 Meetresultaten meting 1

Luchttemperaturen in meterkast meting 1.

Grootheid	T omg. °C	T mk bodem °C	T mk midden °C	T mk boven °C
gemiddeld	18,0	22,2	28,9	28,6
st.deviate	0,0	0,1	0,2	0,1
minimum	17,9	21,7	27,8	27,7
maximum	18,0	22,5	29,3	28,9

Bij de uitvoering van meting 1 was door een fout in het data-acquisitie systeem niet mogelijk de overige luchttemperaturen in en rond de meterkast te registreren.

Temperaturen koudwaterleiding meting 1.

	koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	11,8	14,2	11,8	11,8	12,1	15,7	18,2	17,9
st. deviate	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
minimum	11,4	13,9	11,4	11,4	11,7	15,5	18,0	17,8
maximum	12,1	14,4	12,1	12,0	12,3	15,9	18,2	18,0

Temperaturen warmwater meting 1.

Grootheid	Taanv. SV °C	Tret. SV °C	T aanv. cv °C	Tret. cv °C	Tk tapwater °C	Tw tapwater °C
gemiddeld	90,1	46,8	89,1	70,4	12,1	61,5
st.deviate	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,3
minimum	89,9	46,1	88,9	69,7	11,7	60,7
maximum	90,3	47,6	89,3	70,8	12,3	62,0

Bijlage 2.2 Meetresultaten meting 2

Luchttemperaturen meting 2.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T _{omg} °C	T _{mk bodem} °C	T _{mk midden} °C	T _{mk boven} °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T _{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	18,1	22,9	30,5	30,4	17,7	26,5	17,4	18,1	17,0
st.deviate	0,1	0,4	0,7	0,4	0,1	1,1	0,0	0,1	0,0
minimum	17,8	21,9	29,4	29,4	17,3	24,3	17,3	17,8	16,9
maximum	18,4	23,7	33,1	32,0	18,1	28,9	17,6	18,4	17,3

Temperaturen koudwaterleidingen meting 2.

	koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	16,0	17,3	16,2	16,9	18,1	17,0	15,9	15,8
st.deviate	3,1	1,9	3,1	2,8	3,0	2,4	1,3	1,3
minimum	11,2	14,1	11,3	11,4	11,8	11,4	11,4	11,5
maximum	21,7	20,6	21,4	21,3	21,9	19,7	18,5	18,7

Bijlage 2.3.1 Meetresultaten meting 3 bij 21°C omgevingstemperatuur

Luchttemperaturen meting 3 bij $T_{omgeving} = 21^{\circ}\text{C}$.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T_{omg} °C	$T_{mk\ bodem}$ °C	$T_{mk\ midden}$ °C	$T_{mk\ boven}$ °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T_{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	20,7	22,5	23,8	23,7	21,0	20,5	20,5	20,7	20,4
st.deviate	0,1	0,1	0,5	0,6	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0
minimum	20,6	22,3	23,4	23,1	20,6	20,4	20,4	20,6	20,3
maximum	21,6	23,2	26,9	27,1	21,2	22,7	21,0	21,6	20,7

Temperaturen koudwaterleidingen meting 3 bij $T_{omgeving} = 21^{\circ}\text{C}$.

	koudwaterleiding in mk			ww tap	Ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	21,7	21,7	21,4	21,2	21,8	20,7	20,2	20,2
st.deviate	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1
minimum	17,6	19,0	17,7	17,8	18,2	17,8	17,7	17,7
maximum	21,9	22,0	21,6	21,4	21,8	20,8	20,3	20,2

Warmhoudfunctie afleverset bij $T_{omgeving} = 21^{\circ}\text{C}$.

$T_{a\ sv}$ °C	$T_{r\ sv}$ °C	F_{w_prim} l/min
42,7	36,5	0,165
3,3	3,3	0,049
33,8	22,9	0,030
71,3	38,7	0,691

Bijlage 2.3.2 Meetresultaten meting 3 bij 25°C omgevingstemperatuur

Luchttemperaturen meting 3 bij $T_{omgeving} = 25^{\circ}\text{C}$.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T_{omg} °C	$T_{mk\ bodem}$ °C	$T_{mk\ midden}$ °C	$T_{mk\ boven}$ °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T_{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	25,7	26,9	27,3	27,0	26,2	25,5	25,5	25,7	25,4
st.deviate	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
minimum	24,8	24,7	25,6	25,4	24,2	24,3	24,4	24,8	24,2
maximum	26,7	27,1	27,9	27,4	26,5	26,4	26,5	26,7	26,4

Temperaturen koudwaterleidingen meting 3 bij $T_{omgeving} = 25^{\circ}\text{C}$.

	koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	26,2	26,2	26,1	25,8	25,9	25,6	25,3	25,3
st.deviate	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	0,8	0,5	0,5
minimum	17,9	19,4	17,9	17,9	18,1	17,9	17,9	17,9
maximum	26,7	26,7	26,5	26,2	26,2	25,9	26,0	20,1

Warmhoudfunctie afleverset bij $T_{omgeving} = 25^{\circ}\text{C}$.

$T_{a\ sv}$ °C	$T_{r\ sv}$ °C	F_{w_prim} l/min
42,5	37,4	0,151
3,8	1,8	0,057
32,4	29,0	0,000
74,2	38,5	0,750

Bijlage 2.4 Meetresultaten meting 4

Luchttemperaturen meting 4 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T_{omg} °C	T_{mk} bodem °C	T_{mk} midden °C	T_{mk} boven °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T_{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	18,7	22,9	30,9	31,1	17,5	25,5	17,1	18,7	16,7
st.deviate	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1
minimum	18,4	22,1	30,7	30,8	17,2	24,0	17,0	18,4	16,6
maximum	19,1	23,1	31,2	31,5	17,8	26,9	17,4	19,1	17,0

Temperaturen koudwaterleidingen meting 4 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	T_{w1} °C	T_{w2} °C	T_{w3} °C	T_{w7} °C	T_{w8} °C	T_{w4} °C	T_{w5} °C	T_{w6} °C
gemiddeld	20,1	20,0	20,4	20,6	21,6	19,3	16,4	16,3
st.deviate	1,0	0,8	1,0	0,6	0,3	0,6	0,2	0,2
minimum	12,3	15,1	12,2	15,6	20,5	12,5	12,8	12,8
maximum	20,5	20,4	20,7	20,8	21,9	19,5	16,5	16,3

Afleverst met cv-functie bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

$T_{a\ sv}$ °C	$T_{r\ sv}$ °C	$T_{a\ cv}$ °C	$T_{r\ cv}$ °C	$F_{w\ prim}$ L/min	$F_{w\ cv}$ L/min
90,2	70,7	89,1	71,6	3,733	3,760
0,0	0,1	0,0	0,1	0,045	0,029
90,0	70,1	88,9	70,8	3,542	3,681
90,4	71,1	89,2	71,9	3,871	3,830

Bijlage 3 Invloed ventilatieopeningen en leidingisolatie

Bijlage 3.1 Meetresultaten vergroten ventilatieopeningen en aanbrengen isolatie meting 4.1 (100 cm², geen leidingisolatie)

Luchttemperaturen meting 4.1 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T_{omg} °C	$T_{mk\ bodem}$ °C	$T_{mk\ midden}$ °C	$T_{mk\ boven}$ °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T_{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	18,3	23,2	30,6	30,6	18,3	27,4	18,1	18,3	17,6
st.deviate	0,1	0,1	0,3	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1
minimum	18,0	22,3	29,3	29,5	18,1	26,5	18,0	18,0	17,5
maximum	18,6	23,4	31,0	31,0	18,4	27,8	18,3	18,6	17,6

Temperaturen koudwaterleidingen meting 4.1 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	20,7	20,9	21,8	22,2	22,4	20,5	18,2	17,5
st.deviate	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2	1,0	0,6	0,5
minimum	11,5	13,5	11,6	11,9	12,4	11,5	11,7	11,6
maximum	21,2	21,4	22,3	22,7	23,0	20,8	18,3	17,6

Temperaturen afleverset met cv-functie meting 4.1 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

$T_{a\ sv}$ °C	$T_{r\ sv}$ °C	$T_{a\ cv}$ °C	$T_{r\ cv}$ °C	Fw_{prim} L/min	Fw_{cv} L/min
89,3	69,7	89,0	70,0	4,696	4,724
0,1	0,1	0,1	0,1	0,081	0,055
88,9	68,4	88,6	69,7	4,339	4,584
89,8	69,9	89,6	70,2	4,969	4,899

Bijlage 3.2 Meetresultaten vergroten ventilatieopeningen en aanbrengen isolatie meting 4.2 (100 cm² met leidingisolatie)

Luchttemperaturen meting 4.2 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T_{omg} °C	$T_{mk\ bodem}$ °C	$T_{mk\ midden}$ °C	$T_{mk\ boven}$ °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T_{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	18,0	22,5	29,8	29,8	18,5	27,0	18,3	18,0	17,7
st.deviate	0,1	0,4	0,5	0,5	0,0	0,5	0,0	0,1	0,0
minimum	17,8	20,1	26,4	26,3	18,2	23,6	18,2	17,8	17,6
maximum	18,3	23,0	30,2	30,3	18,7	27,5	18,5	18,3	17,8

Temperaturen koudwaterleidingen meting 4.2 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	20,5	20,7	21,1	21,3	21,5	20,5	18,1	17,6
st.deviate	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	0,8	0,4	0,4
minimum	12,2	14,1	12,3	12,3	12,7	12,4	12,5	12,4
maximum	21,0	21,2	21,6	21,8	22,0	20,9	18,3	17,7

Temperaturen afleverset met cv-functie meting 4.2 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

$T_{a\ sv}$ °C	$T_{r\ sv}$ °C	$T_{a\ cv}$ °C	$T_{r\ cv}$ °C	Fw_{prim} L/min	Fw_{cv} L/min
89,5	70,0	89,2	70,1	50586	5,091
0,1	0,2	0,1	0,1	0,128	0,109
89,3	69,7	89,0	69,8	4,564	4,818
89,8	72,2	89,6	72,5	5,571	5,448

Bijlage 3.3 Meetresultaten vergroten ventilatieopeningen en aanbrengen isolatie meting 4.3 (200 cm², geen leidingisolatie)

Luchttemperaturen meting 4.3 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T_{omg} °C	$T_{mk\ bodem}$ °C	$T_{mk\ midden}$ °C	$T_{mk\ boven}$ °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T_{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	18,6	21,6	29,8	29,6	18,4	28,6	18,4	18,6	17,8
st.deviate	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
minimum	18,1	20,4	28,5	28,4	18,2	27,5	18,1	18,1	17,5
maximum	18,9	21,9	30,2	29,9	18,6	28,9	18,5	18,9	17,9

Temperaturen koudwaterleidingen meting 4.3 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	20,2	20,3	21,1	21,5	21,5	20,2	18,3	17,6
st.deviate	1,1	1,0	1,3	1,1	1,0	1,0	0,6	0,5
minimum	11,6	13,7	11,7	12,1	12,6	11,7	11,9	11,8
maximum	20,6	20,7	21,5	21,9	21,8	20,6	18,5	17,8

Temperaturen afleverset met cv-functie meting 4.3 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

$T_{a\ sv}$ °C	$T_{r\ sv}$ °C	$T_{a\ cv}$ °C	$T_{r\ cv}$ °C	Fw_{prim} L/min	Fw_{cv} L/min
89,3	69,8	89,0	70,0	4,776	4,805
0,1	0,1	0,0	0,1	0,085	0,059
88,9	67,9	88,7	69,7	4,429	4,638
89,8	69,9	89,6	70,2	5,087	5,013

Bijlage 3.4 Meetresultaten vergroten ventilatieopeningen en aanbrengen isolatie meting 4.4 (200 cm², met leidingisolatie)

Luchttemperaturen meting 4.4 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T_{omg} °C	$T_{mk\ bodem}$ °C	$T_{mk\ midden}$ °C	$T_{mk\ boven}$ °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T_{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	17,8	21,8	29,2	29,2	18,4	28,3	18,3	17,8	17,8
st.deviate	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
minimum	17,7	20,5	28,6	28,7	18,3	27,8	18,2	17,7	17,7
maximum	18,0	22,1	29,5	29,6	18,5	28,6	18,5	18,0	17,9

Temperaturen koudwaterleidingen meting 4.4 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	koudwaterleiding in mk			Ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	20,2	20,3	20,7	20,8	21,1	20,0	18,4	17,7
st.deviate	0,9	0,8	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4
minimum	12,2	14,1	12,2	12,4	12,9	12,3	12,4	12,4
maximum	20,6	20,7	21,2	21,2	21,4	20,4	18,5	17,8

Temperaturen afleverset met cv-functie meting 4.4 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

$T_{a\ sv}$ °C	$T_{r\ sv}$ °C	$T_{a\ cv}$ °C	$T_{r\ cv}$ °C	Fw_{prim} L/min	Fw_{cv} L/min
89,4	69,9	89,1	70,1	4,886	4,805
0,0	0,1	0,0	0,1	0,086	0,059
89,2	69,7	89,0	69,9	4,429	4,638
89,9	70,0	89,7	70,3	5,087	5,013

Bijlage 4 Nieuw type afleverset

Bijlage 4.1 Meetresultaten meting 1

Luchttemperaturen meting 1 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T_{omg} °C	$T_{mk\ bodem}$ °C	$T_{mk\ midden}$ °C	$T_{mk\ boven}$ °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T_{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	17,9	21,0	25,9	25,5	18,3	23,3	18,4	17,9	17,8
st.deviate	0,1	0,3	0,3	0,2	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0
minimum	17,8	20,0	24,3	23,8	18,3	21,6	18,3	17,8	17,7
maximum	18,1	21,3	26,8	26,0	18,4	23,9	18,5	18,1	17,8

Temperaturen koudwaterleiding meting 1.

	koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	T_{w1} °C	T_{w2} °C	T_{w3} °C	T_{w7} °C	T_{w8} °C	T_{w4} °C	T_{w5} °C	T_{w6} °C
gemiddeld	11,3	13,0	11,4	11,5	11,9	14,8	18,3	17,8
st. deviate	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0
minimum	10,9	12,2	11,0	11,0	11,5	14,6	18,1	17,7
maximum	11,6	13,2	11,7	11,8	12,2	15,2	18,4	17,9

Temperaturen warmwater meting 1.

grootheid	Taanv. SV °C	Tret. SV °C	T aanv. cv °C	Tret. cv °C	Tk tapwater °C	Tw tapwater °C
gemiddeld	90,1	38,9	89,8	70,1	11,9	58,8
st.deviate	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2
minimum	90,0	38,4	89,6	69,5	11,5	58,3
maximum	90,2	39,3	89,9	70,4	12,2	59,8

Bijlage 4.2 Meetresultaten meting 2

Luchttemperaturen meting 2.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T _{omg} °C	T _{mk bodem} °C	T _{mk midden} °C	T _{mk boven} °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T _{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	18,1	23,3	26,8	26,7	18,5	24,1	18,4	18,1	17,8
st.deviate	0,1	0,4	0,3	0,3	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0
minimum	17,8	21,3	25,3	24,6	18,4	22,4	18,3	17,8	17,7
maximum	18,4	24,1	27,6	27,3	18,7	24,7	18,6	18,4	17,9

Temperaturen koudwaterleidingen meting 2.

	Koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	15,8	16,8	16,3	17,5	18,5	16,9	16,7	16,3
st.deviate	2,8	2,1	3,0	2,9	3,0	2,4	2,0	1,8
minimum	10,9	13,0	11,0	11,1	11,6	11,4	11,4	11,4
maximum	20,9	20,9	21,2	21,8	22,2	19,8	18,4	18,8

Bijlage 5 Invloed ventilatieopeningen en leidingisolatie

Bijlage 5.1 Meetresultaten van een nieuw type afleverset, effecten bij vergroten ventilatieopeningen en aanbrengen isolatie: meting 1.2 (100 cm², met leidingisolatie)

Luchttemperaturen meting 1.2 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T_{omg} °C	T_{mk} bodem °C	T_{mk} midden °C	T_{mk} boven °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T_{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	18,0	21,7	24,3	24,4	18,4	21,1	18,2	18,0	17,7
st.deviate	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0
minimum	17,9	21,5	24,1	24,2	18,3	20,6	18,1	17,9	17,7
maximum	18,2	21,9	24,6	24,6	18,5	21,6	18,3	18,2	17,8

Temperaturen koudwaterleidingen meting 1.2 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	11,5	13,3	11,6	11,7	12,1	15,1	17,6	17,4
st.deviate	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1
minimum	11,1	13,1	11,3	11,2	11,8	14,7	17,4	17,2
maximum	11,7	13,4	11,8	11,9	12,3	17,2	17,7	17,6

Temperaturen afleverset met cv-functie meting 1.2 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

grootheid	Taanv. SV °C	Tret. SV °C	T aanv. cv °C	Tret. cv °C	Tk tapwater °C	Tw tapwater °C
gemiddeld	90,7	38,5	90,4	70,1	12,1	61,8
st.deviate	0,6	0,2	0,6	0,3	0,1	0,2
minimum	89,7	37,6	89,6	69,6	11,8	61,2
maximum	92,0	39,4	91,8	71,1	12,3	62,4

Bijlage 5.2 Meetresultaten van een nieuw type afleverset, effecten bij vergroten ventilatieopeningen en aanbrengen isolatie: meting 1.3, ventilatieopening 200 cm², geen isolatie

Luchttemperaturen meting 1.3 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T_{omg} °C	$T_{mk\ bodem}$ °C	$T_{mk\ midden}$ °C	$T_{mk\ boven}$ °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T_{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	18,0	19,1	26,2	25,3	18,3	24,2	18,4	18,0	17,8
st.deviate	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
minimum	17,8	18,9	25,5	25,0	18,2	24,0	18,3	17,8	17,7
maximum	18,1	19,3	26,7	25,5	18,4	24,4	18,5	18,1	17,8

Temperaturen koudwaterleidingen meting 1.3 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	11,3	13,0	11,4	11,5	11,9	14,7	18,2	17,7
st.deviate	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
minimum	10,9	12,8	11,0	11,0	11,5	14,5	18,2	17,7
maximum	11,6	13,2	11,7	11,7	12,2	14,9	18,3	17,8

Temperaturen afleverset met cv-functie meting 1.3 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

grootheid	Taanv. SV °C	Tret. SV °C	T aanv. cv °C	Tret. cv °C	Tk tapwater °C	Tw tapwater °C
gemiddeld	90,1	39,1	89,8	70,2	11,9	58,9
st.deviate	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
minimum	90,0	38,7	89,6	70,0	11,5	58,6
maximum	90,3	39,5	89,9	70,3	12,2	59,2

Bijlage 5.3 Meetresultaten van een nieuw type afleverset, effect bij vergroten ventilatieopeningen en aanbrengen isolatie: meting 1.4, ventilatieopening 200 cm², met leidingisolatie

Luchttemperaturen meting 1.4 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

	omgeving	luchttemperatuur in meterkast			rooster mk		omgeving		
					inlaat	uitlaat	voor mk (verticaal)		
	h = 1,5 m	+0,1 m	+1,2 m	+1,8 m	voor	na	+0,2 m	+1,5 m	+2,2 m
	T_{omg} °C	T_{mk} bodem °C	T_{mk} midden °C	T_{mk} boven °C	TI 1 °C	TI 3 °C	TI 5 °C	T_{omg} °C	TI 7 °C
gemiddeld	18,0	20,7	23,7	23,7	18,4	21,9	18,4	18,0	17,7
st.deviate	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0
minimum	17,8	20,6	23,4	23,3	18,3	21,3	18,2	17,8	17,7
maximum	18,1	20,9	23,9	24,0	18,5	22,2	18,5	18,1	17,8

Temperaturen koudwaterleidingen meting 1.4 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

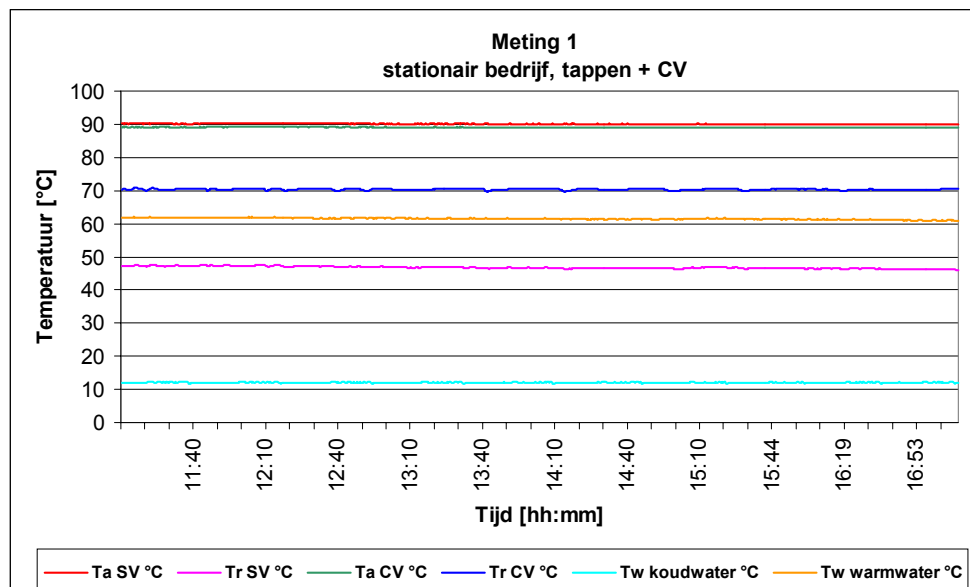
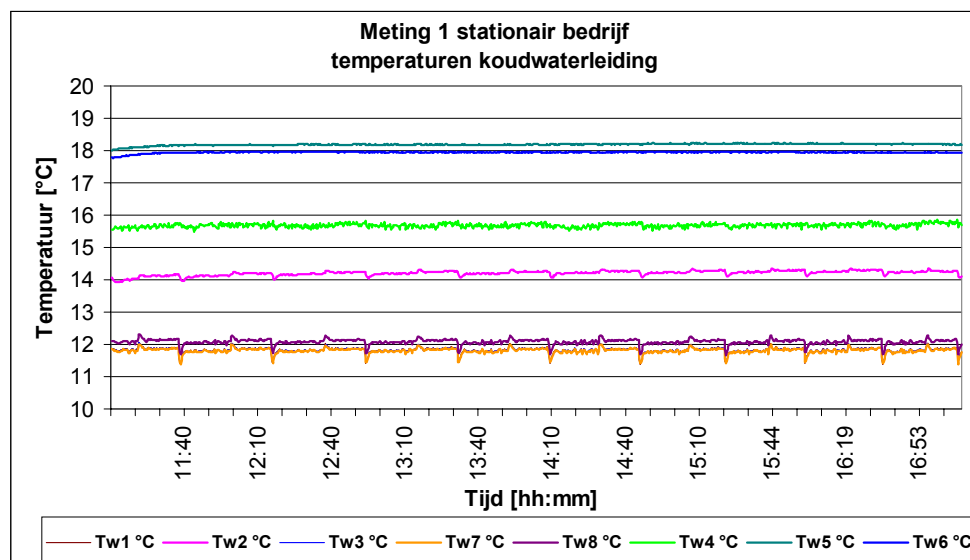
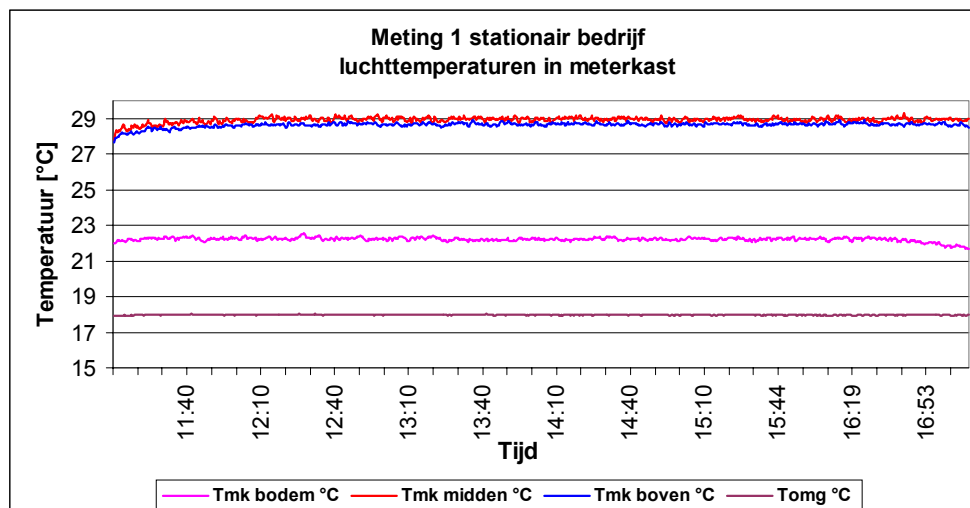
	koudwaterleiding in mk			ww tap	ww tap	afstand vanaf splitsing in mk		
				toevoer	toevoer	koudwaterleiding buiten mk		
	voor WM	op WM	na WM	na splitsing	inlaat	op 0,2 m	op 0,6 m	op 1,0 m
	Tw1 °C	Tw2 °C	Tw3 °C	Tw7 °C	Tw8 °C	Tw4 °C	Tw5 °C	Tw6 °C
gemiddeld	11,3	13,0	11,4	11,4	11,9	14,8	18,0	17,7
st.deviate	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
minimum	10,9	12,7	11,0	11,0	11,5	14,6	18,0	17,6
maximum	11,6	13,1	11,7	11,7	12,2	14,9	18,1	17,7

Temperaturen afleverset met cv-functie meting 1.4 bij $T_{omgeving} = 18^{\circ}\text{C}$.

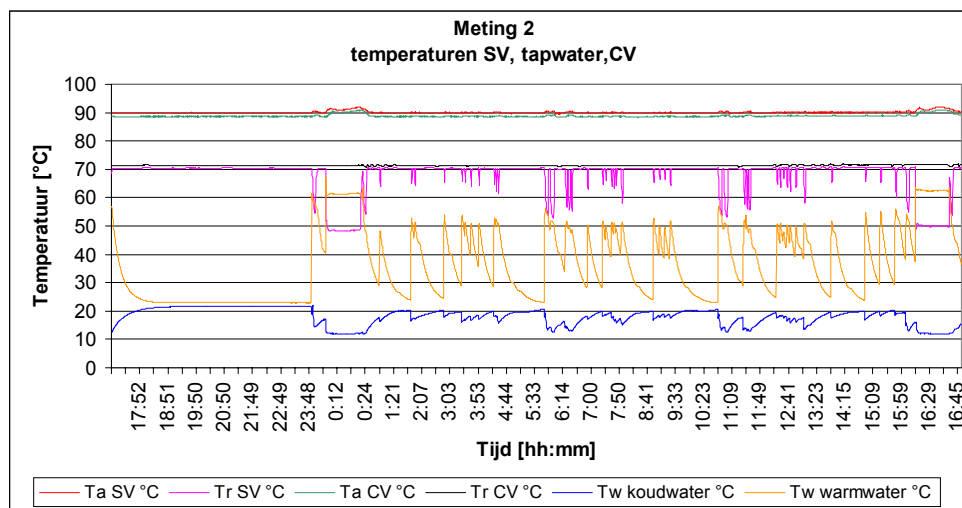
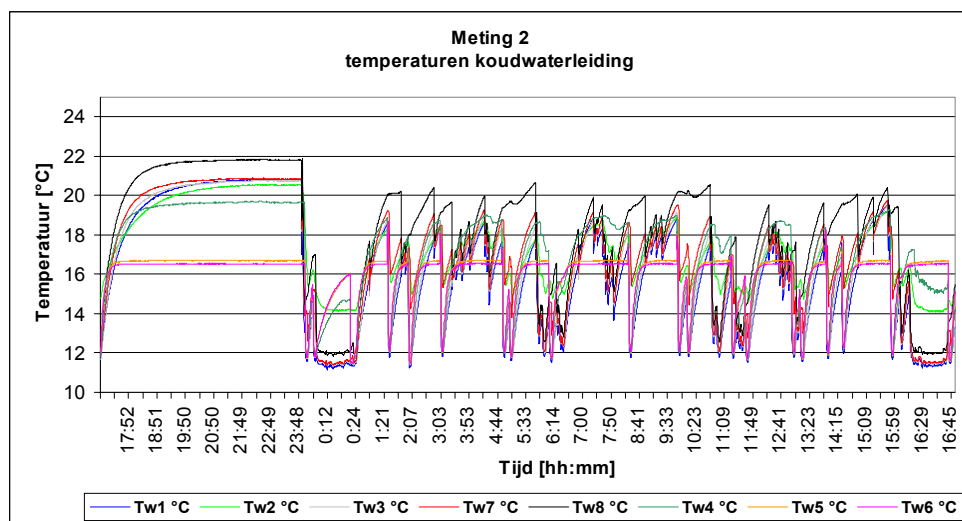
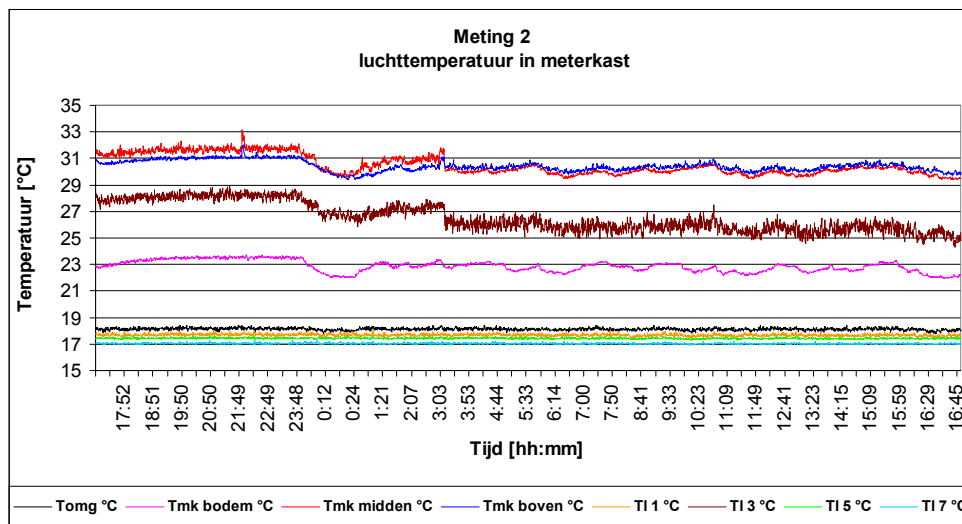
grootheid	Taanv. SV °C	Tret. SV °C	T aanv. cv °C	Tret. cv °C	Tk tapwater °C	Tw tapwater °C
gemiddeld	90,1	39,1	89,9	70,1	11,9	59,3
st.deviate	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2
minimum	90,0	38,7	89,7	70,0	11,5	58,8
maximum	90,3	40,0	90,0	70,2	12,2	59,7

Bijlage 6 Grafische weergave van de metingen met het oude type afleverset

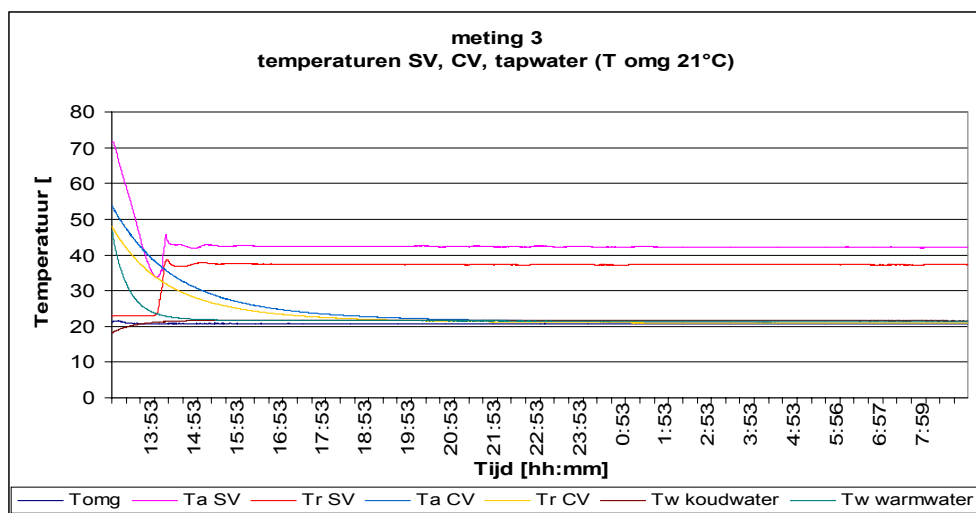
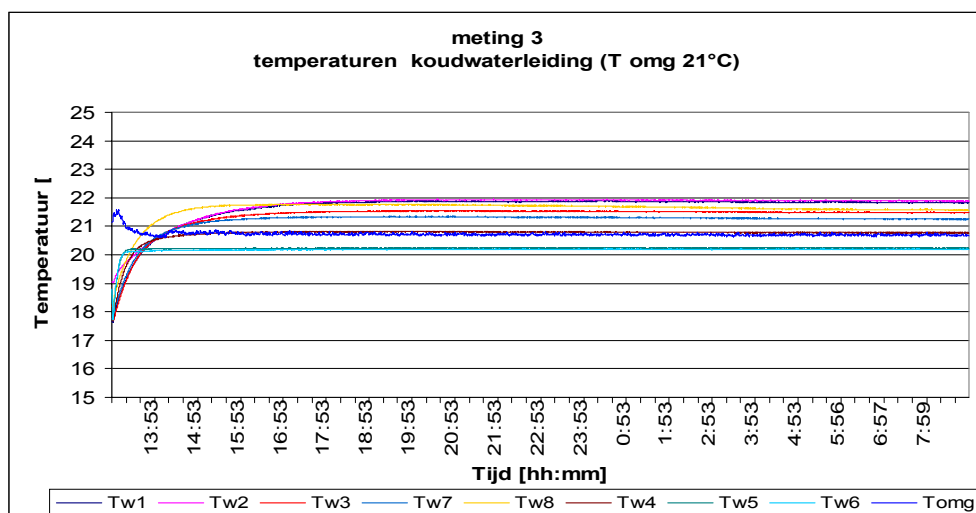
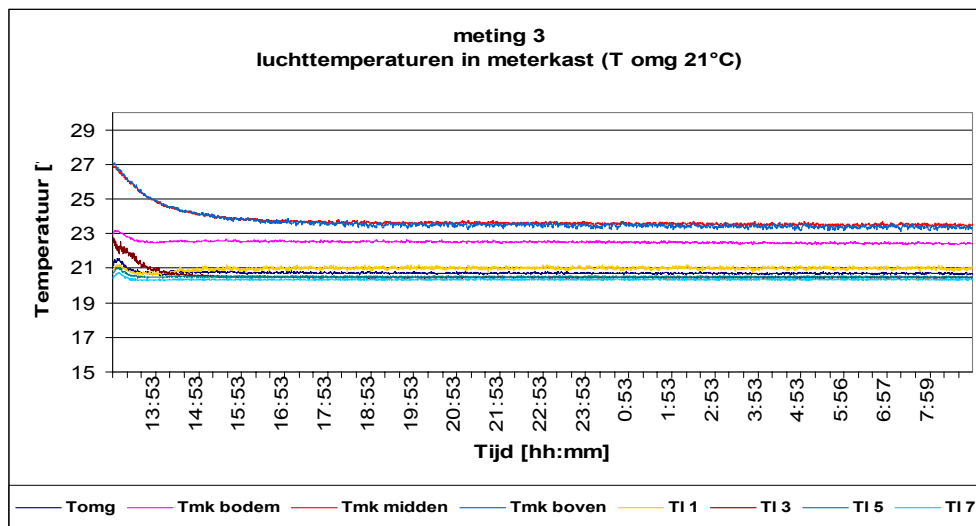
Temperatuurregistratie “oud type afleverset” meting 1 vollastbedrijf, ventilatie openingen 100 cm^2 , geen leidingisolatie.



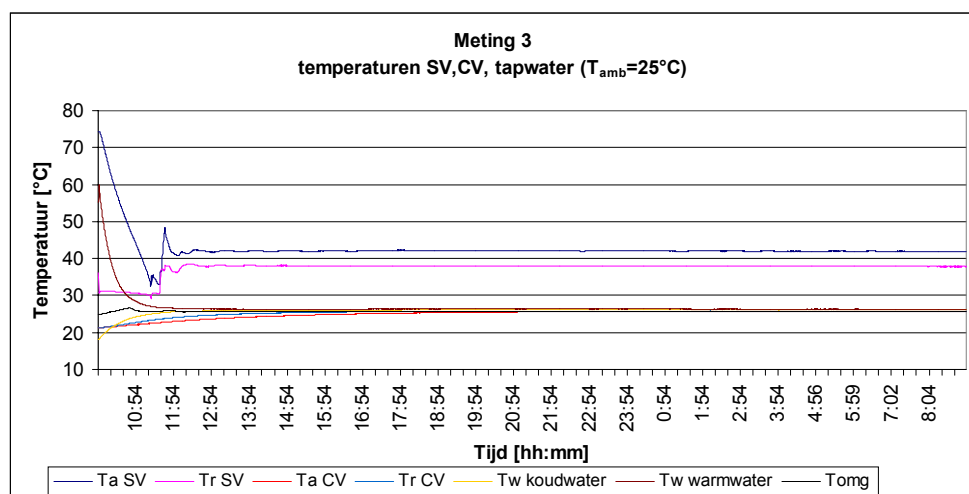
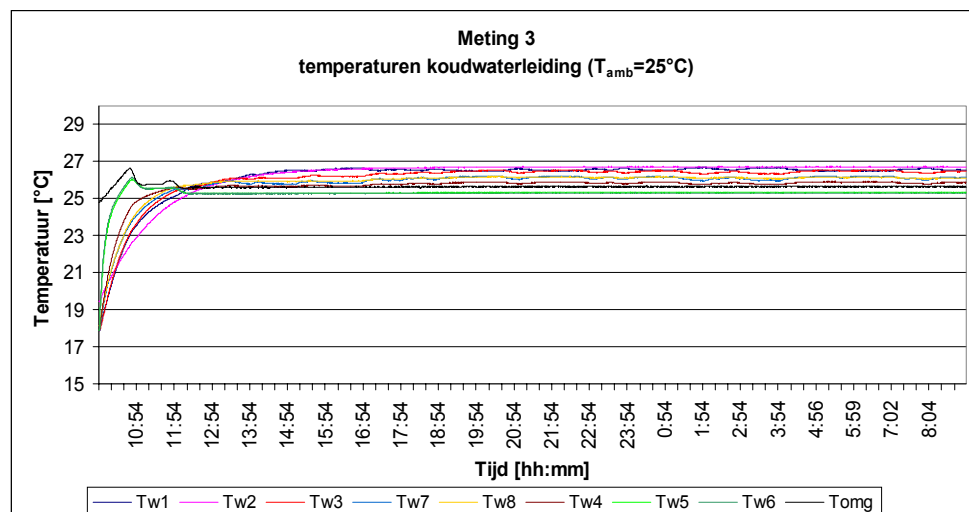
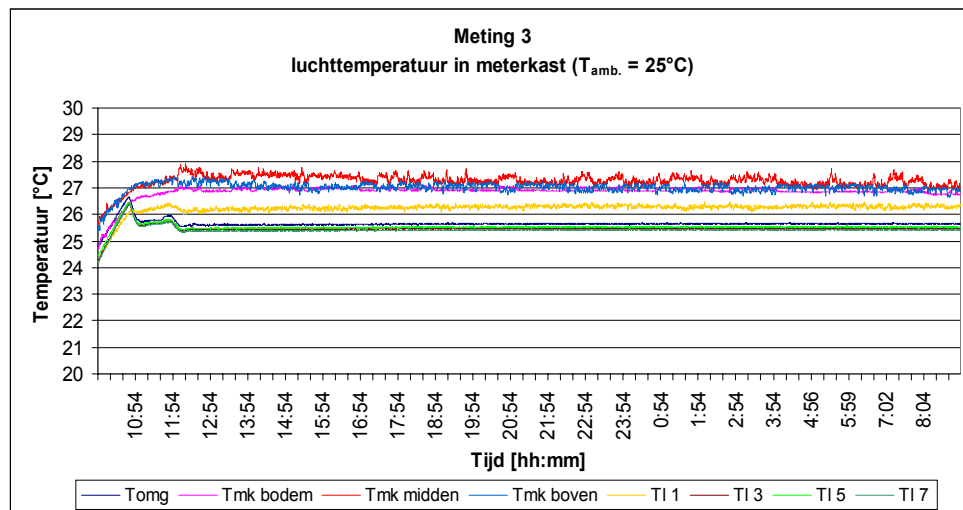
Temperatuurregistratie “oud type afleverset” meting 2 CV-bedrijf + tapprogramma warm/koud, ventilatie openingen 100 cm², geen leidingisolatie.



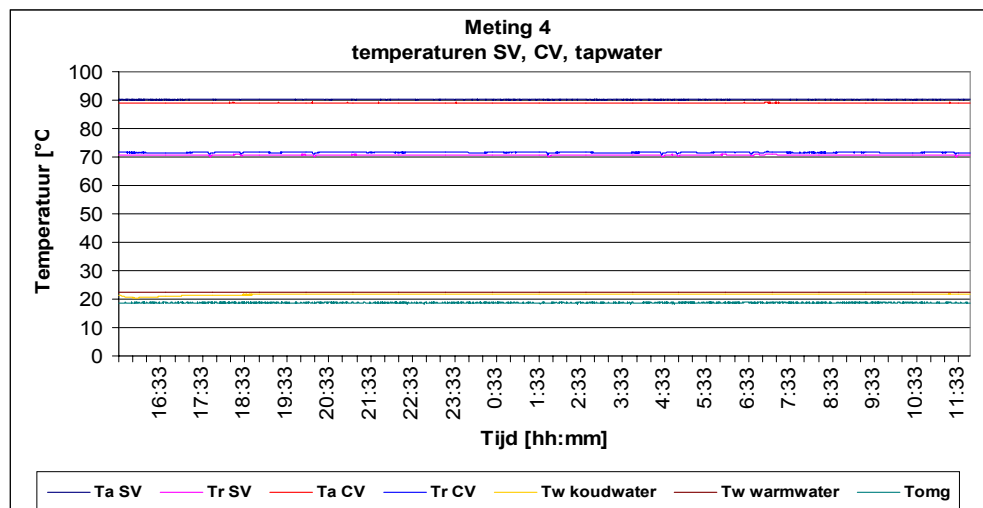
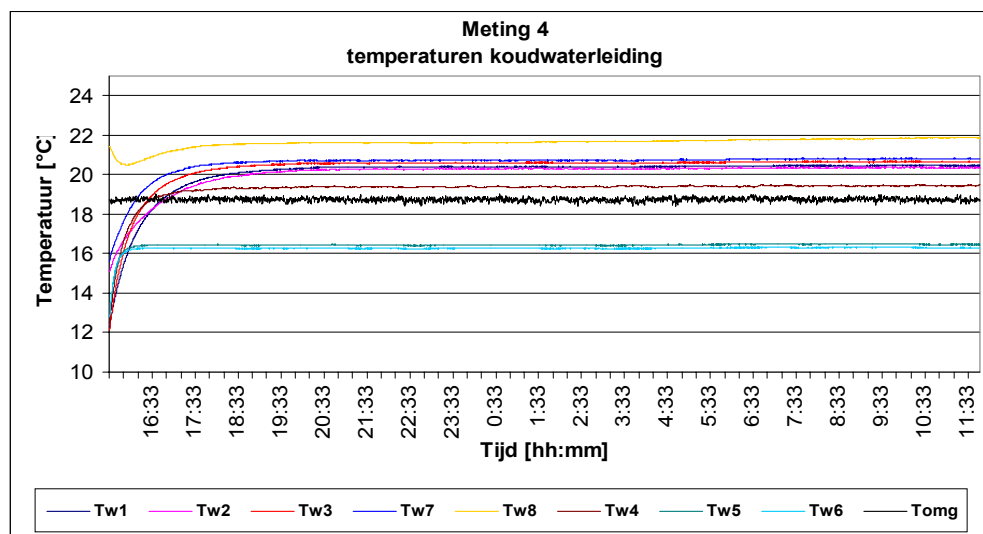
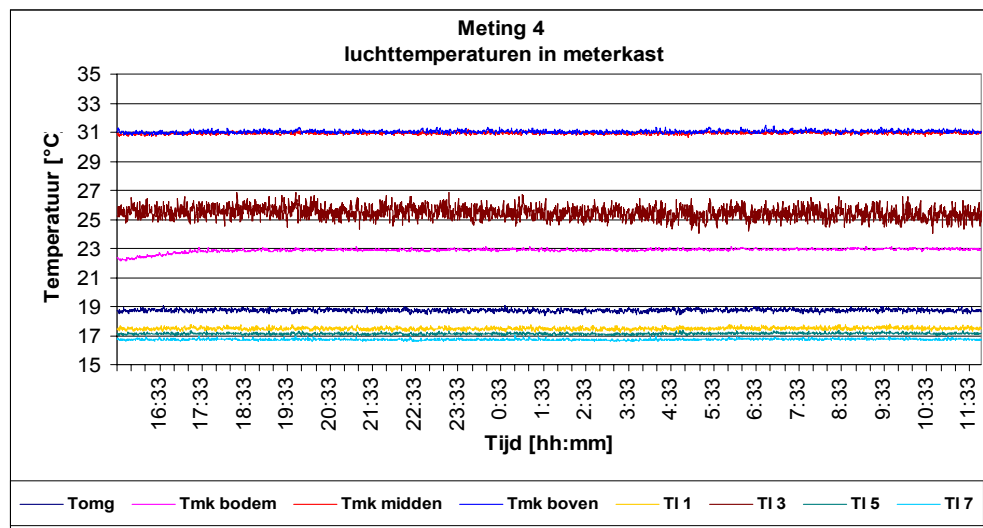
Temperatuurregistratie “oud type afleverset” meting 3 zomersituatie, $T_{omgeving}$ is 21°C , ventilatie openingen 100 cm^2 , geen leidingisolatie.



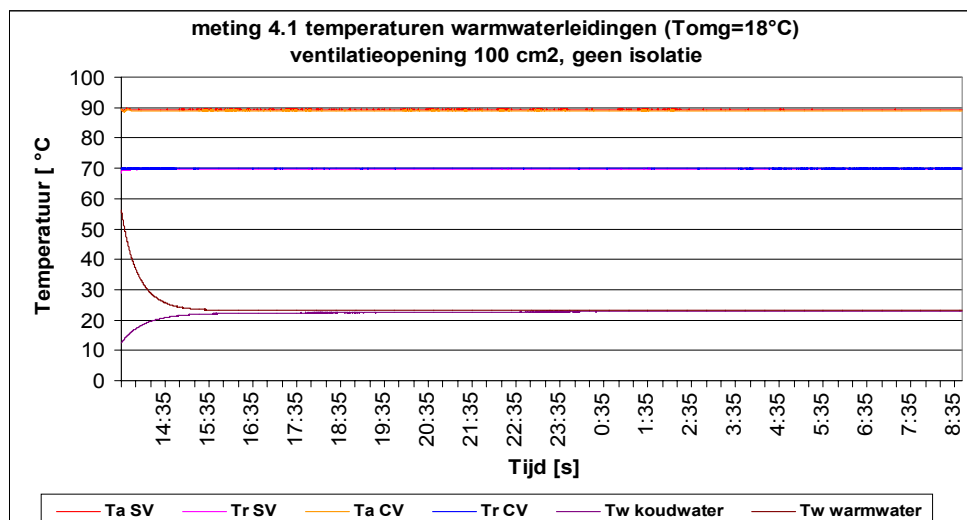
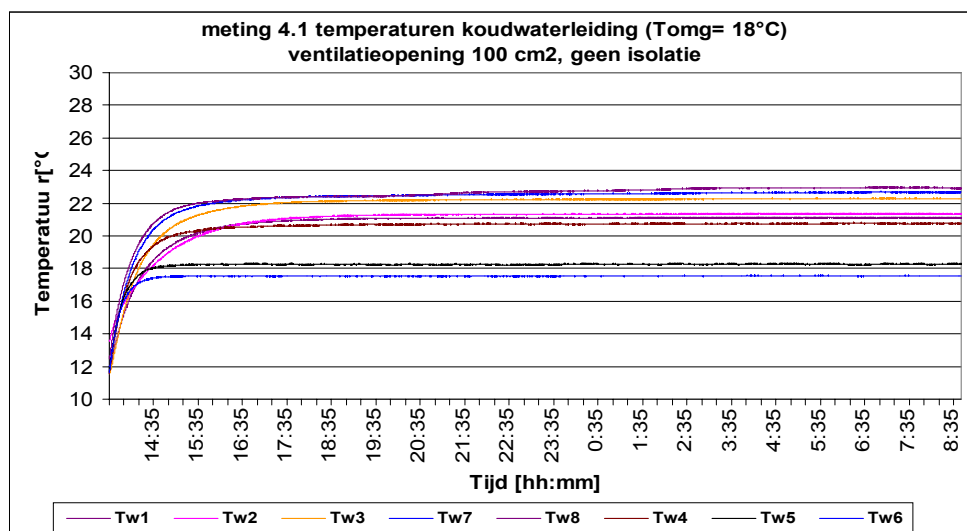
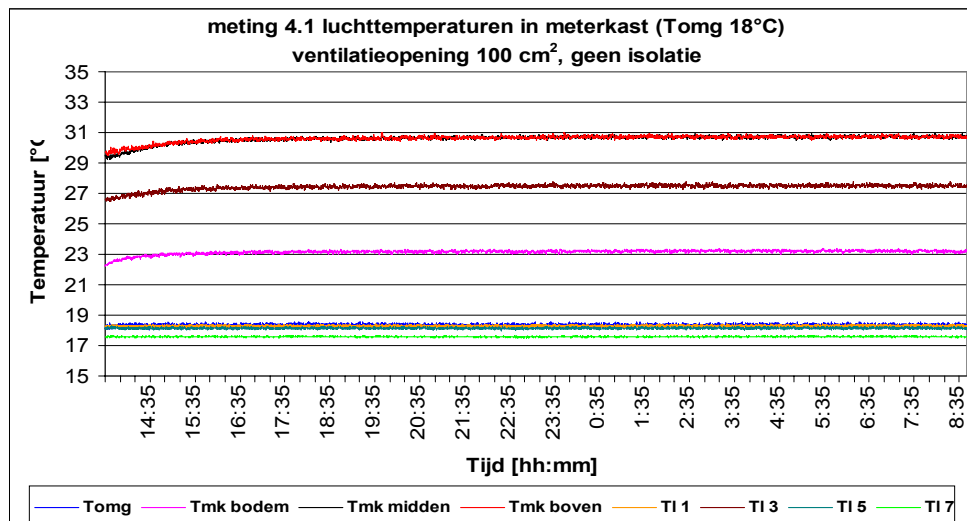
Temperatuurregistratie “oud type afleverset” meting 3 zomersituatie, T_{omgeving} is 25°C , ventilatie openingen 100 cm^2 , geen leidingisolatie.



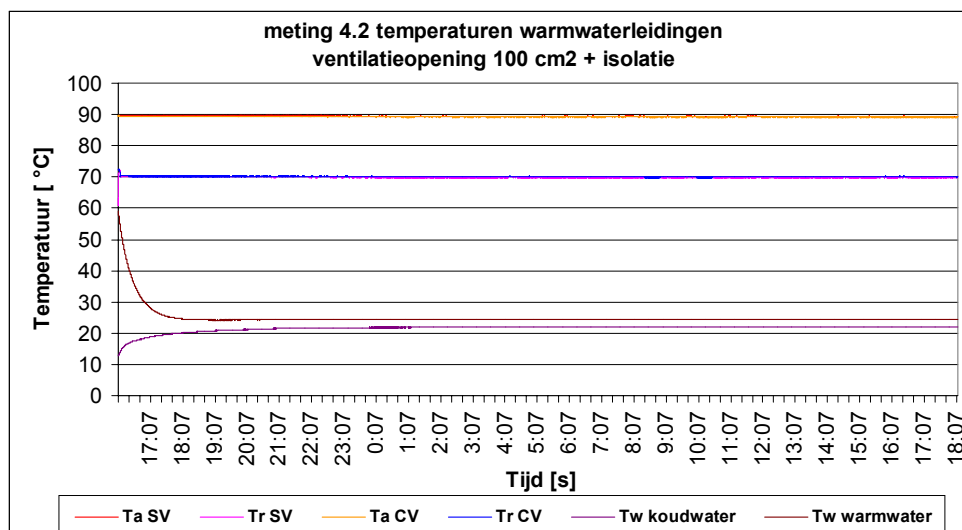
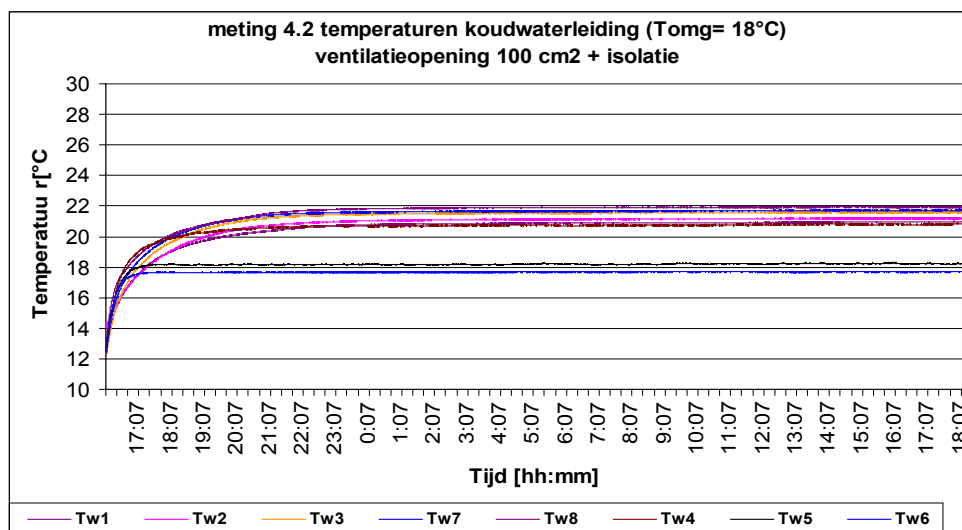
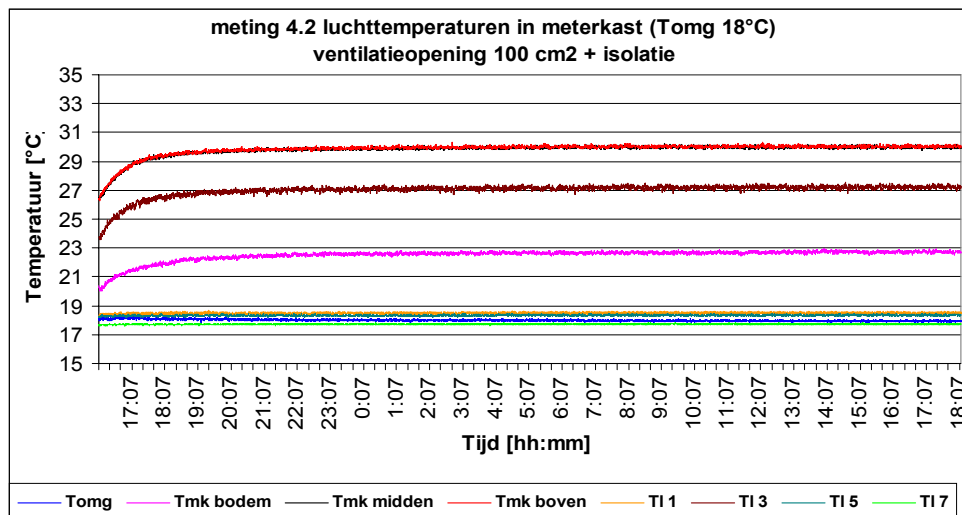
Temperatuurregistratie “oud type afleverset” meting 4 wintersituatie, $T_{omgeving}$ is 18°C , ventilatie openingen 100 cm^2 , geen leidingisolatie.



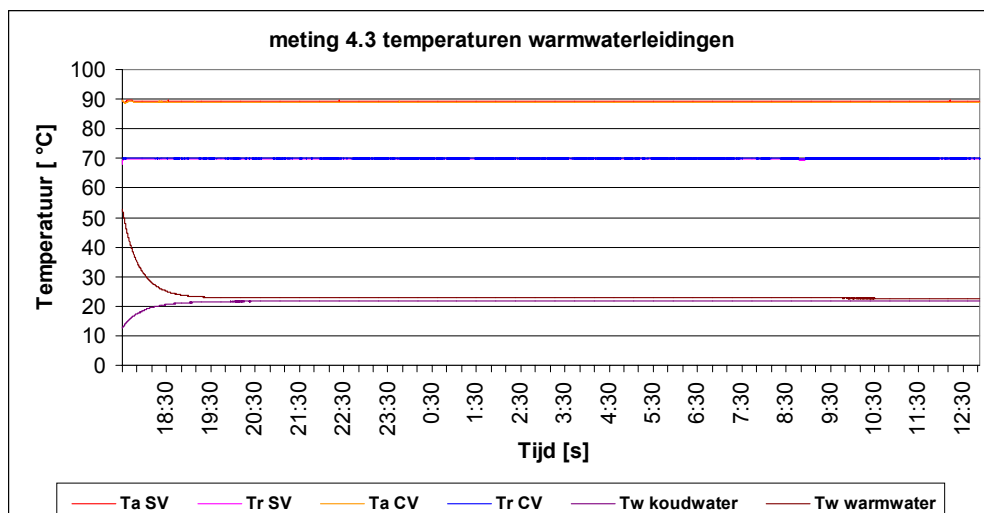
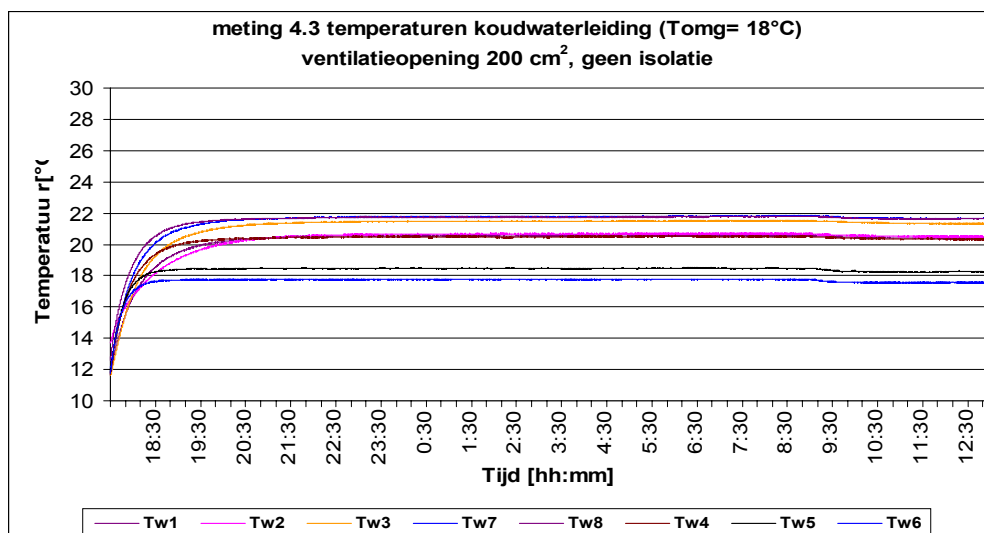
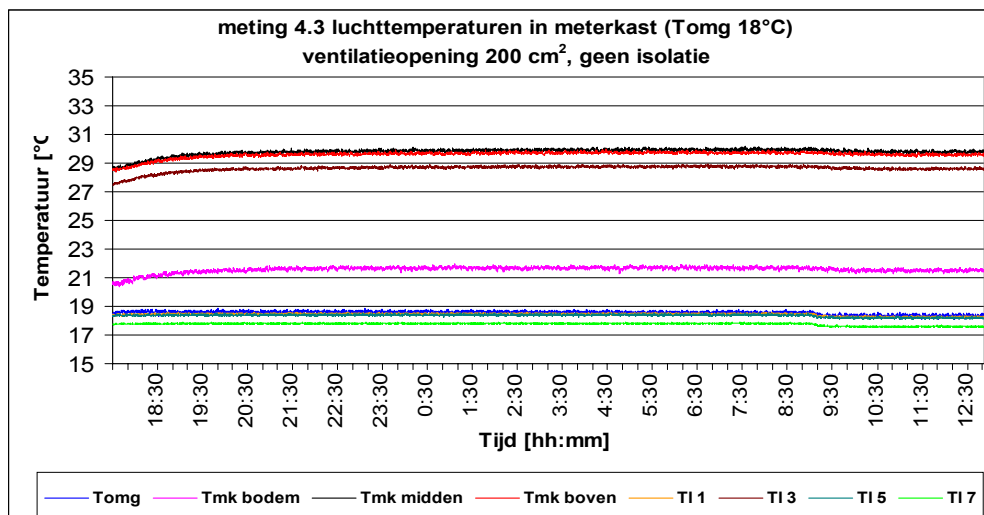
Temperatuurregistratie “oud type afleverset” meting 4.1 wintersituatie, $T_{omgeving}$ is 18°C , ventilatie openingen 100 cm^2 , geen leidingisolatie.



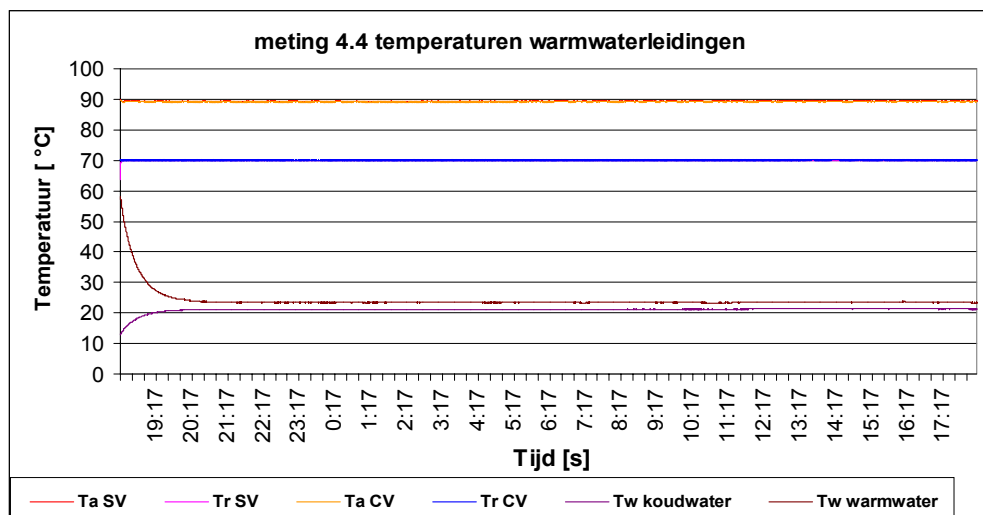
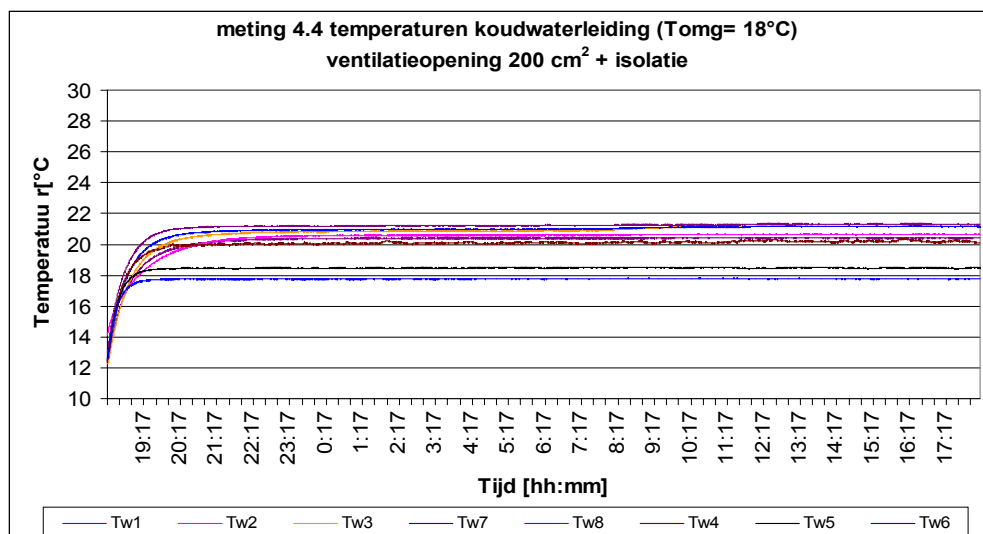
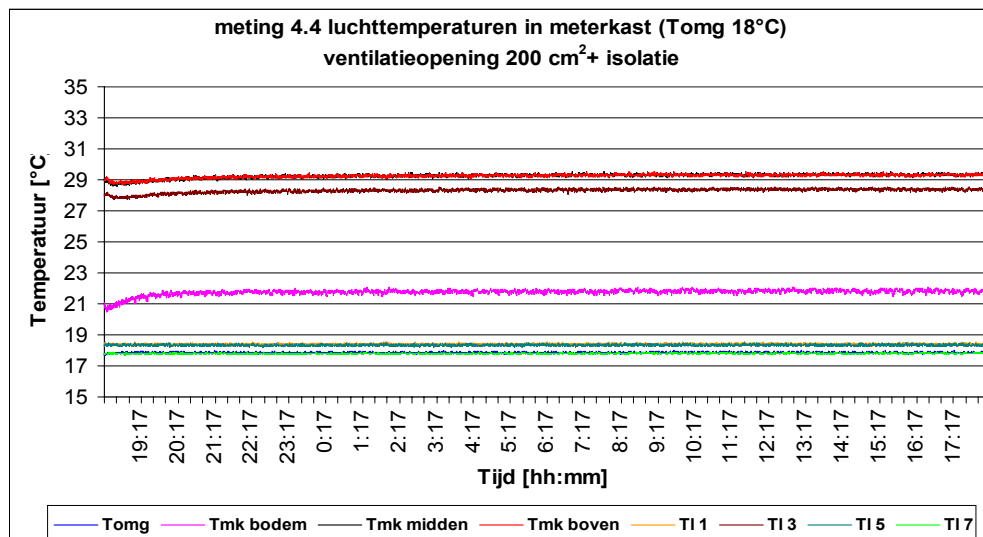
Temperatuurregistratie “oud type afleverset” meting 4.2 wintersituatie, $T_{omgeving}$ is 18°C , ventilatie openingen 100 cm^2 + leidingisolatie.



Temperatuurregistratie “oud type afleverset” meting 4.3 wintersituatie, $T_{omgeving}$ is 18°C , ventilatie openingen 200 cm^2 , geen leidingisolatie.

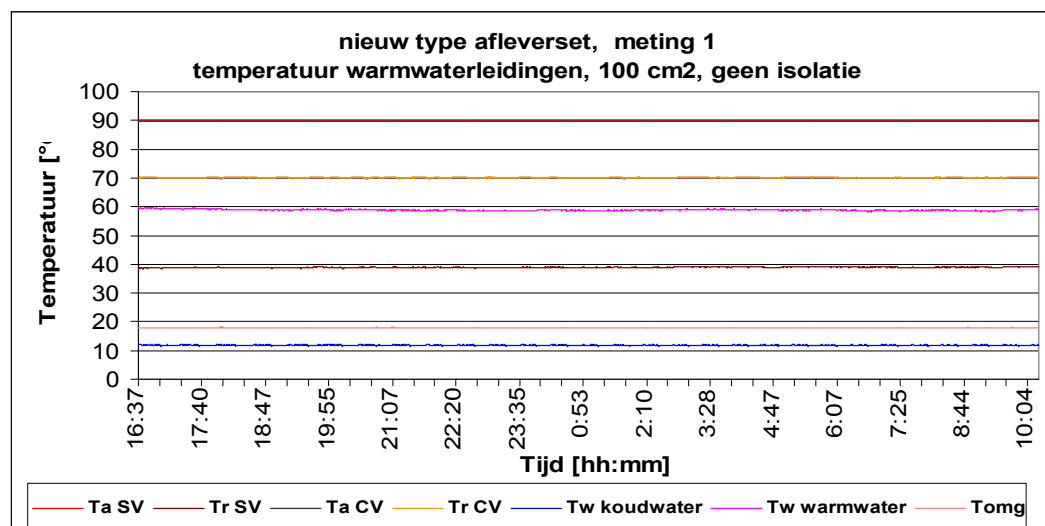
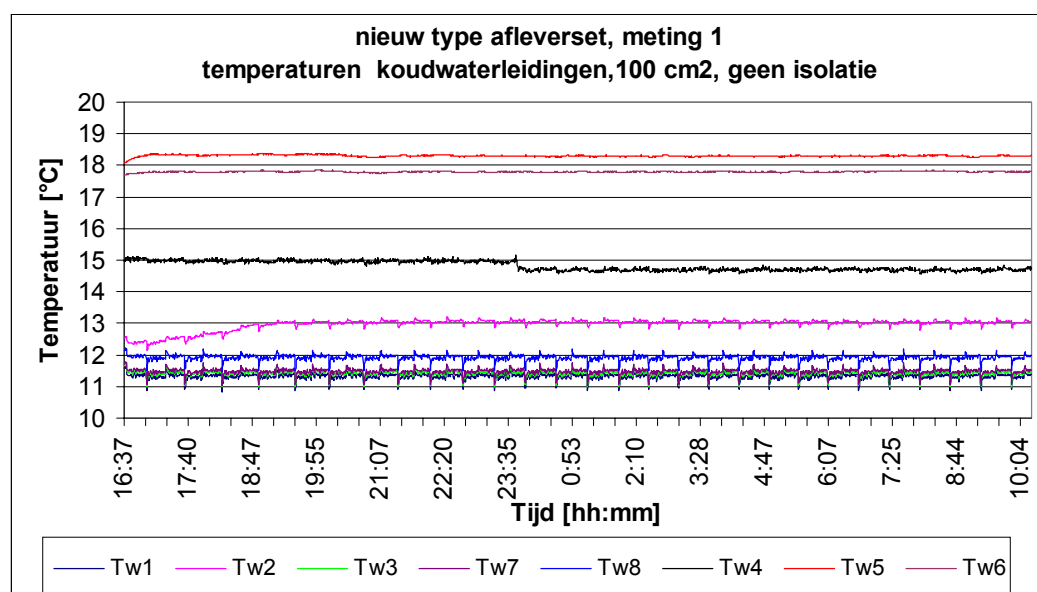
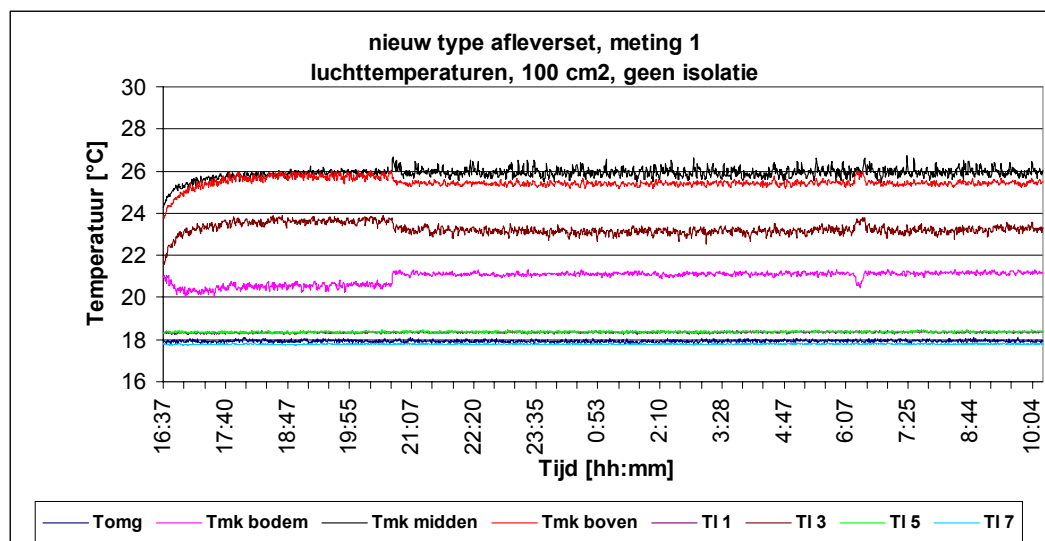


Temperatuurregistratie “oud type afleverset” meting 4.4 wintersituatie, $T_{omgeving}$ is 18°C , ventilatie openingen 200 cm^2 + leidingisolatie.

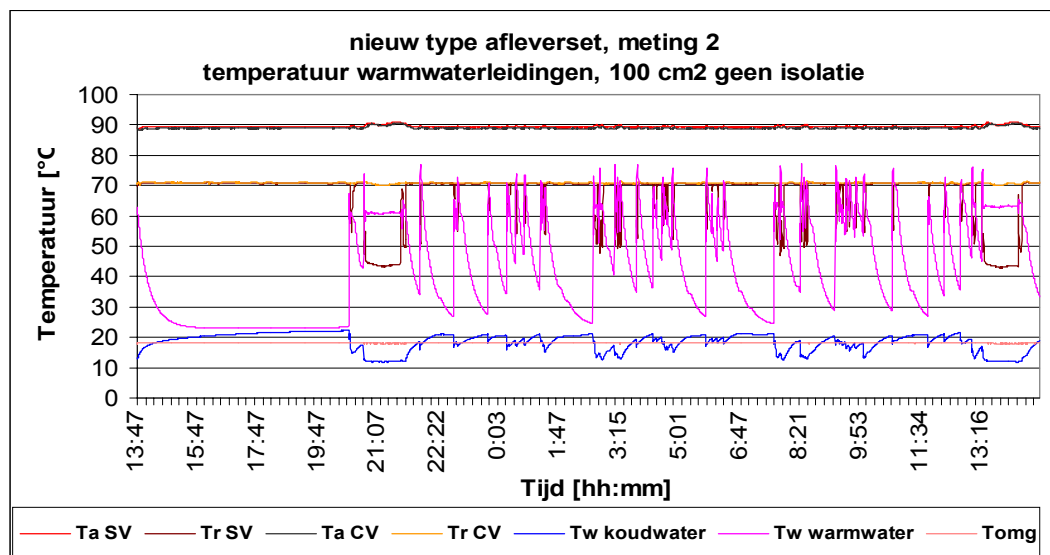
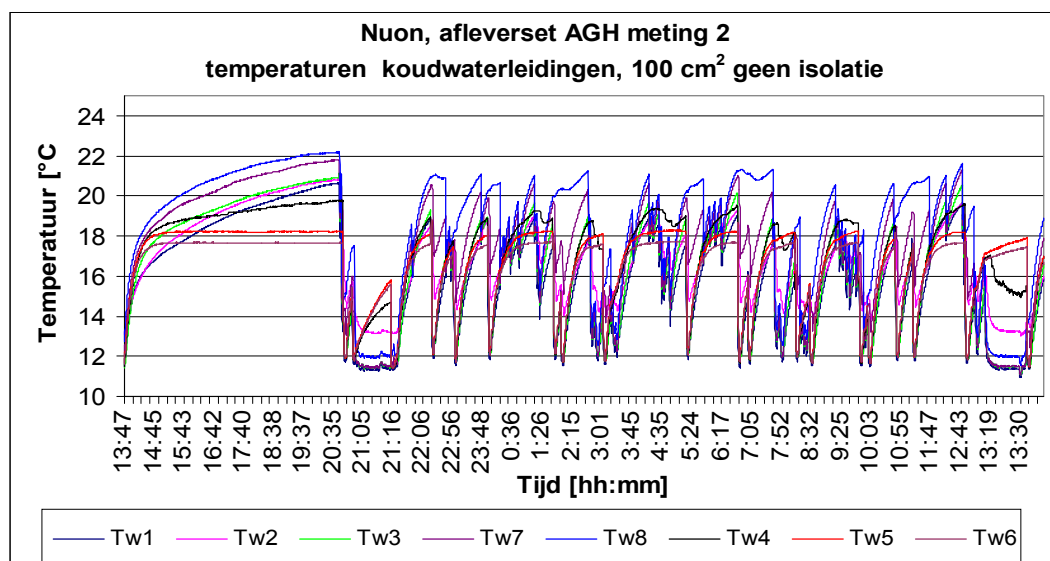
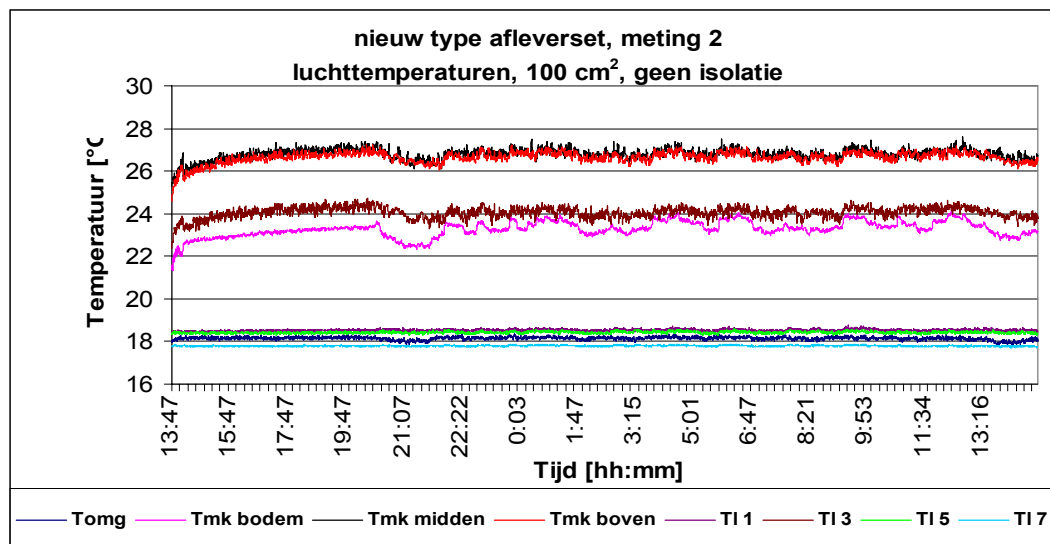


Bijlage 7 Grafische weergave van de metingen met het nieuwe type afleverset

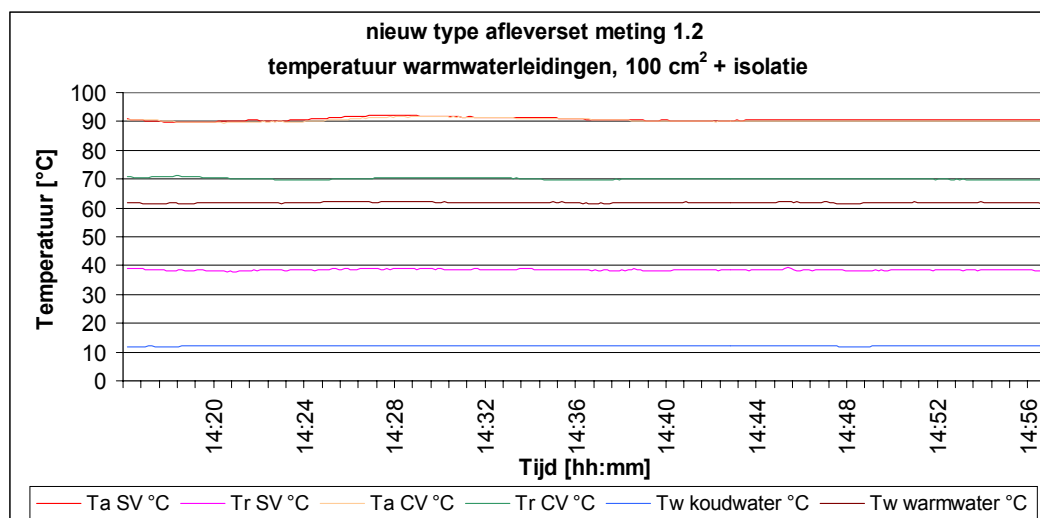
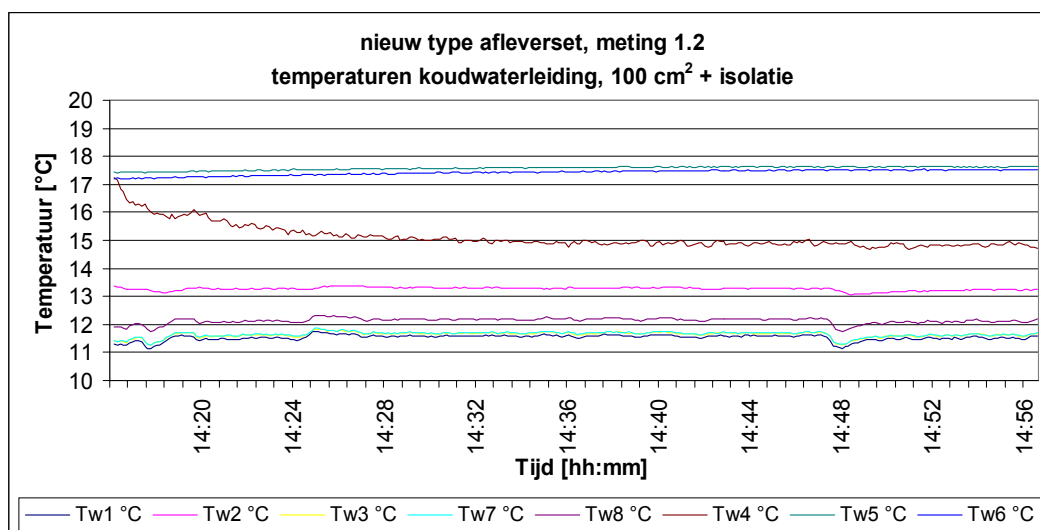
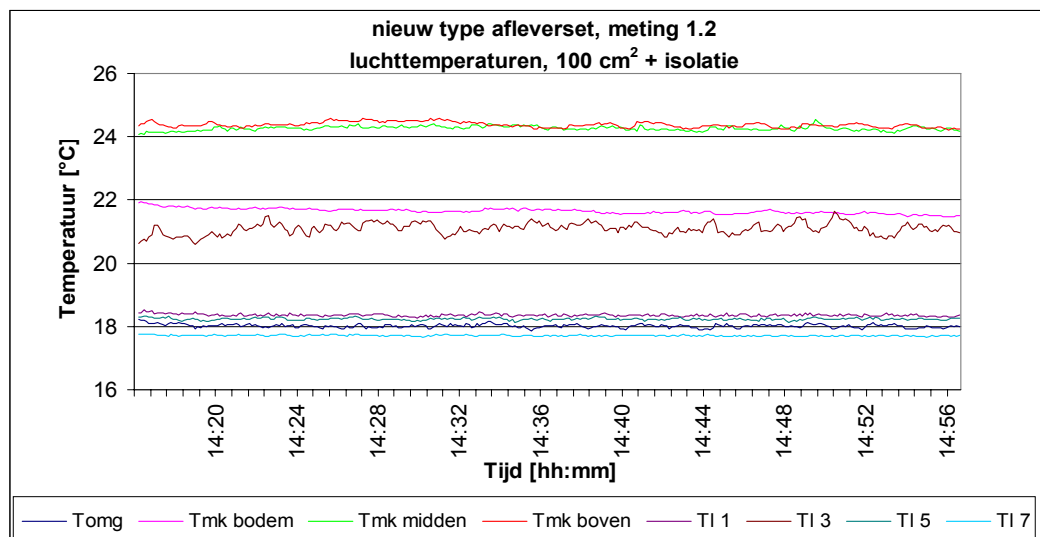
Temperatuurregistratie nieuw type afleverset meting 1, bij vollastbedrijf, ventilatie openingen 100 cm², geen leiding isolatie.



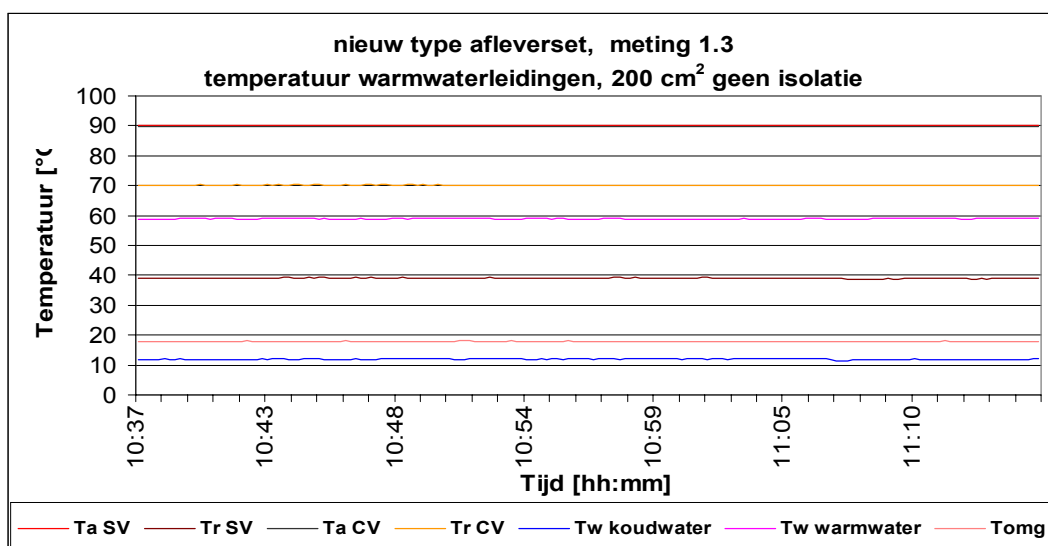
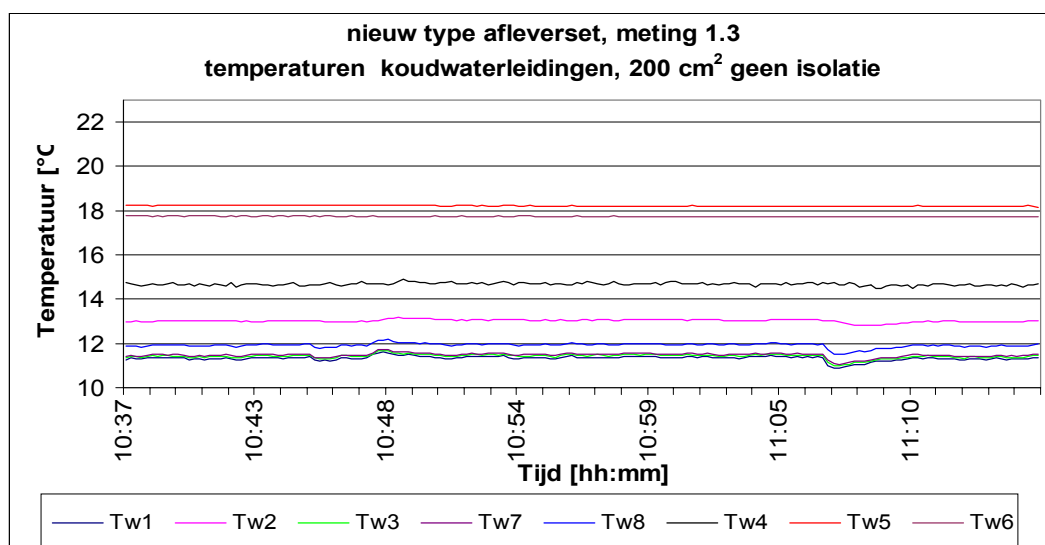
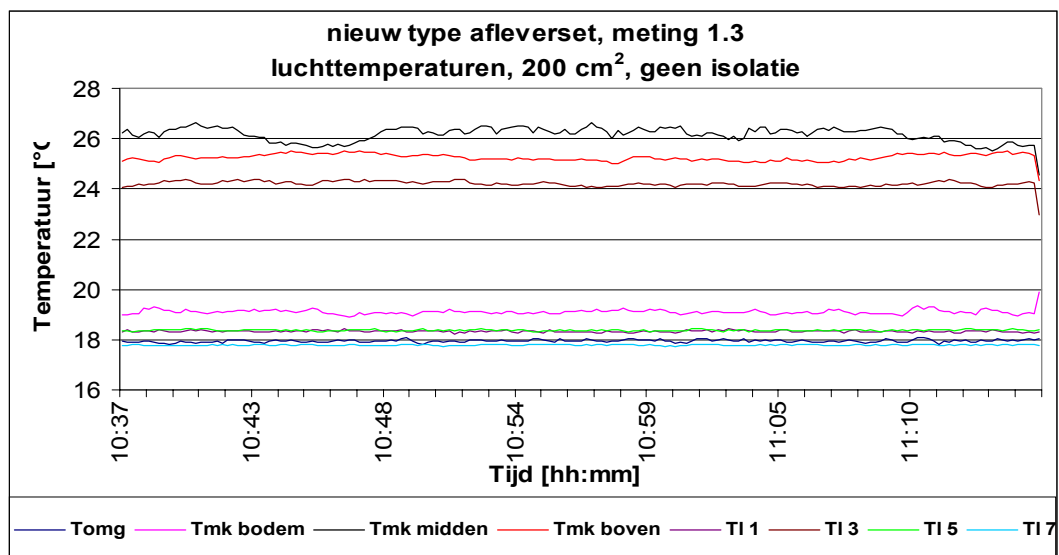
Temperatuurregistratie nieuw type afleverset meting 2: 24-uurs tapprogramma, ventilatie openingen 100 cm², geen leiding isolatie.



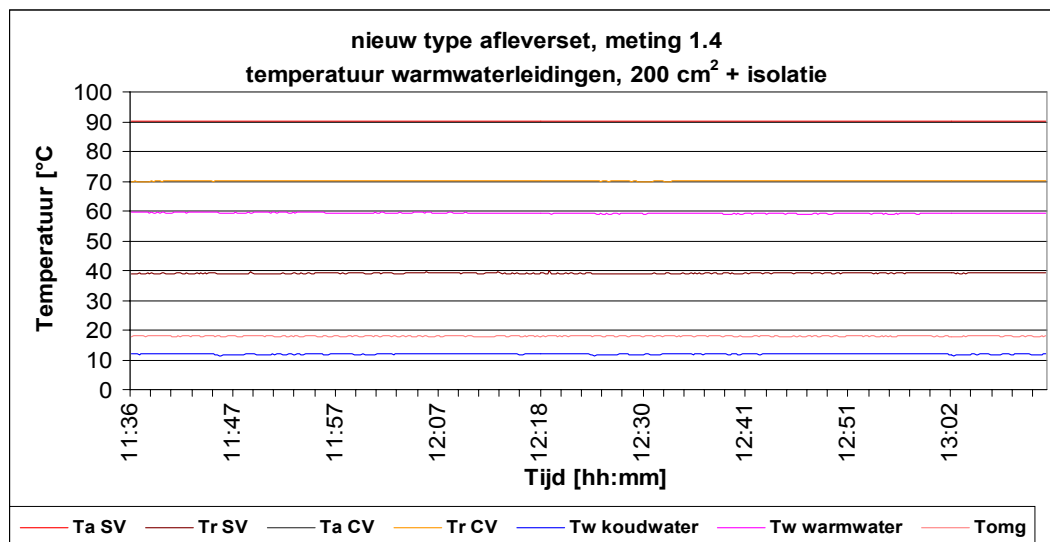
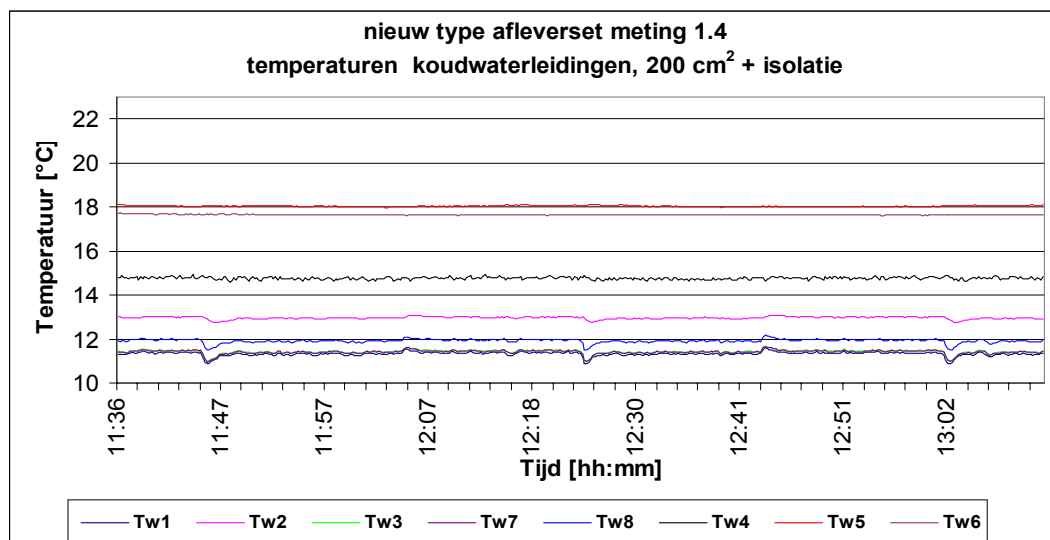
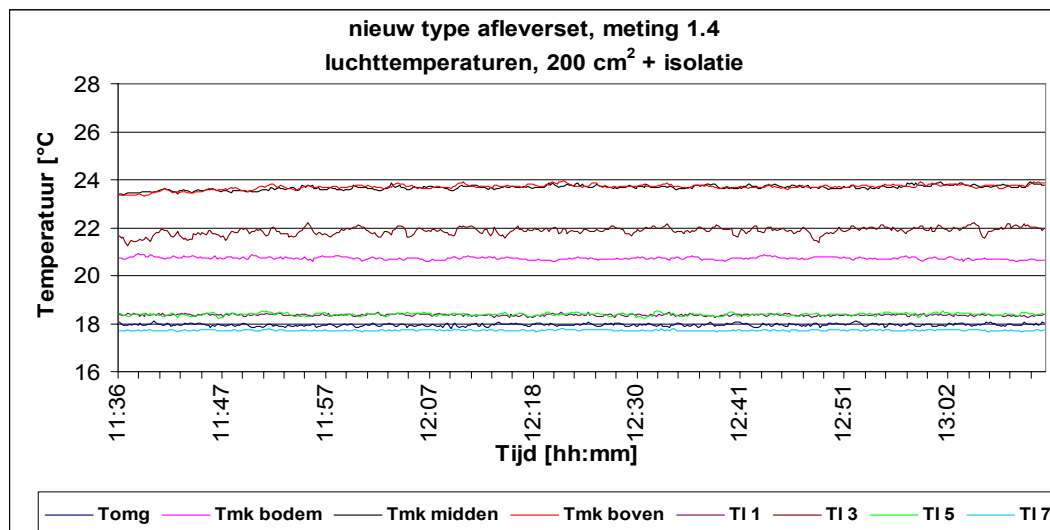
Temperatuurregistratie nieuw type afleverset, meting 1.2 bij vollastbedrijf, ventilatie openingen 100 cm^2 + leiding isolatie.



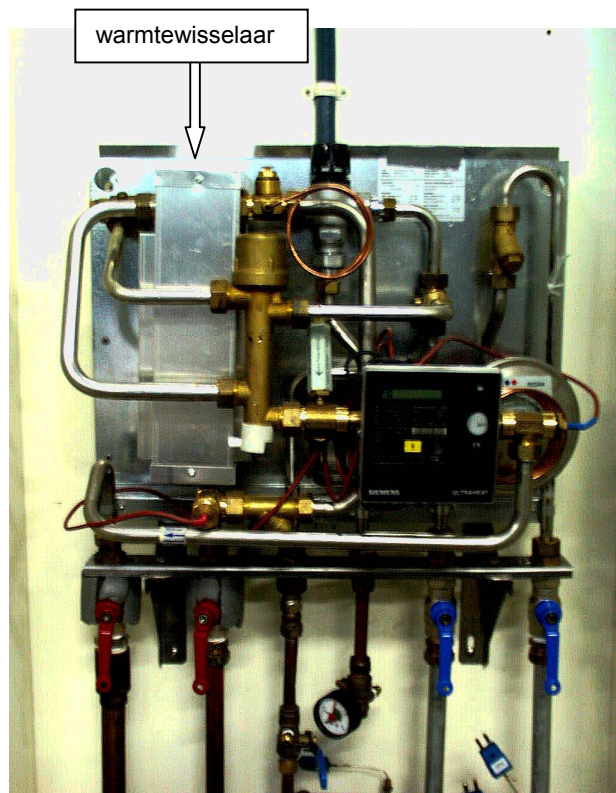
Temperatuurregistratie nieuw type afleverset meting 1.3 bij vollastbedrijf ventilatie openingen 200 cm², geen leiding isolatie.



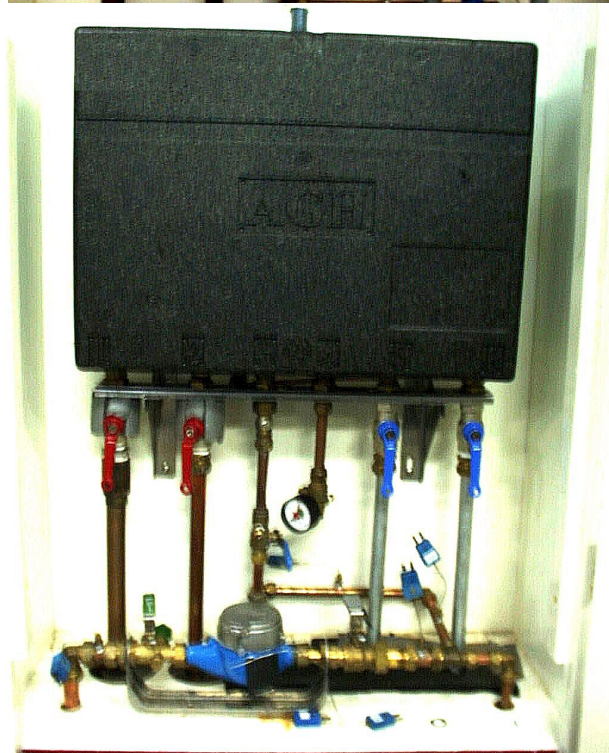
Temperatuurregistratie nieuw type afleverset, meting 1.4 bij vollastbedrijf ventilatie openingen 200 cm^2 + leiding isolatie.



Bijlage 8 Foto's van het oude en nieuwe type afleverset



Oud type afleverset waarvan alleen de warmtewisselaar voor tapwaterbereiding is geïsoleerd.



Nieuw type afleverset, geheel geïsoleerd (mantel bestaat uit twee isolatieschalen).