

Stratifierløsninger til el-opvarmede varmtvandsbeholdere



Janne Dragsted

Simon Furbo

Mikael Schrøder

Torben Schifter-Holm

Kasper Korsholm Østergaard

Martin Spanggaard

Tilde Schwaner

Rapport

Institut for Byggeri og Anlæg
2014

DTU Byg-Rapport R-325 (DK)
Januar 2015

Indholdsfortegnelse

Forord	4
1. Introduktion.....	5
2. Undersøgelser af lagdeling i tank uden stratifier	7
3. Undersøgelser af lagdeling i tank med plastrør i forskellige diametre	10
4. Undersøgelser af lagdeling i tank med forskellige løsninger.....	14
Plastrør 110 mm konisk plasttop med pexrør	15
Plastrør 110 mm konisk plasttop med stratifier.....	17
Stålrør 110 mm flad ståltop med pexrør	20
Stålrør 110 mm konisk plasttop med pexrør.....	23
Stålrør 110 mm konisk plasttop med 3 forskellige stratifiere	25
5. Bestemmelse af optimal effekt for elpatroner.....	30
6. Sammenligning af resultater	32
7. Holdbarhedstest af varmtvandsbeholder med stratifier	34
8. Afprøvning af varmtvandsbeholder med stratifier med standardtappeprofil	40
9. Perspektivering.....	46
Energibesparelser ved akkumulering	46
Brugsvandsbeholdere med differentieret timetakst.....	50
10. Konklusioner og anbefalinger.....	52
Bilag A:.....	53
Undersøgelser af lagdeling i tank uden stratifier	53
Undersøgelser af lagdeling i tank med plastrør fuld længde	55
Undersøgelser af lagdeling i tank med forskellige løsninger.....	61
Holdbarhedstest	84

Forord

Denne rapport afslutter projektet "Off peaking af elforbrug til el-opvarmede energilagre", sagsnr.: s2012-1109. Projektet, som er støttet af ELFORSK programmet, er gennemført i et samarbejde mellem DTU Byg, METRO THERM A/S og EyeCular Technologies ApS.

Projektets formål er at undersøge hvor god temperaturlagdeling der ved hjælp af en stratifikationsløsning kan skabes i en elopvarmet varmtvandsbeholder med en lodret elpatron placeret i nederste del af beholderen. Kan der skabes en god temperaturlagdeling, er der mulighed for at flytte elforbrug til opvarmning af varmtvandstanke fra spidsbelastede perioder til off peak perioder og for at reducere varmtvandstankenes varmetab og dermed spare elektricitet, idet varmtvandstankene ofte kun har behov for at være delvist opvarmede.

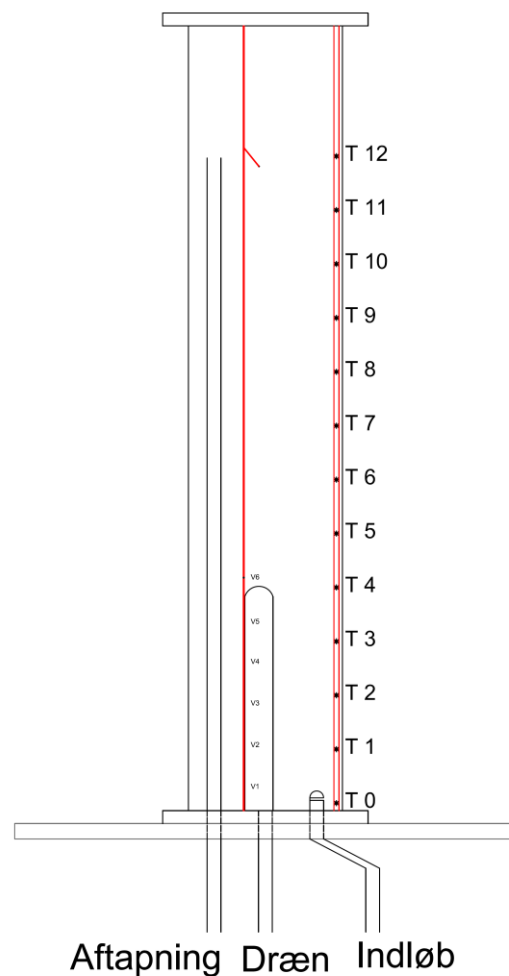
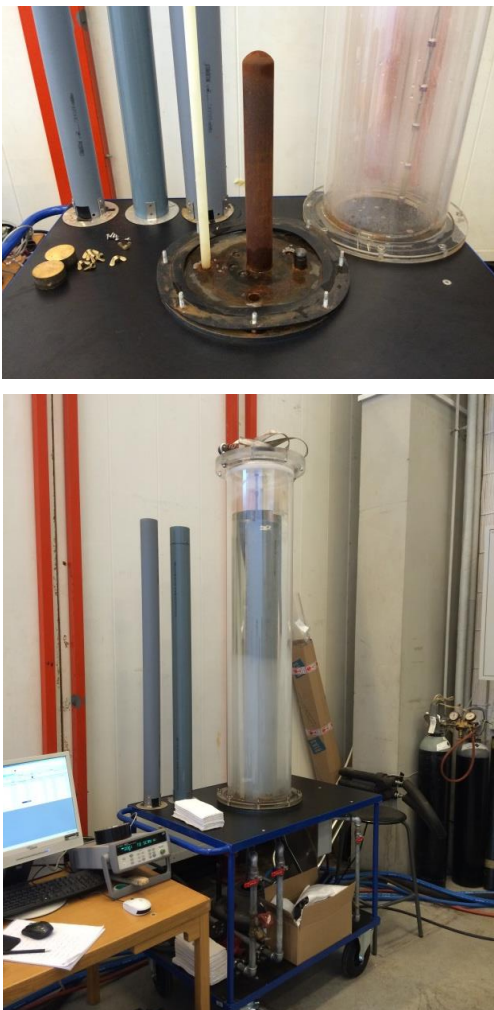
1. Introduktion

Projektets undersøgelser blev gennemført dels på DTU BYG, dels hos METRO THERM A/S. Undersøgelserne på DTU BYG blev gennemført med et specielt designet forsøgsbord og med en 110 liter varmtvandsbeholder fra METRO THERM A/S. Undersøgelserne hos METRO THERM A/S blev gennemført med en tilsvarende 110 liter varmtvandsbeholder.

Undersøgelserne med det specielt designet forsøgsbord, som er i beskrevet i kapitel 2-6, klarlagde egnetheden af forskelligt udformede stratifiereløsninger til elopvarmede varmtvandsbeholdere med en lodret placeret elpatron. Undersøgelserne på DTU BYG med varmtvandsbeholderen, som er beskrevet i kapitel 7, klarlagde om den udviklede stratifiereløsning er sårbar overfor kalkaflejringer. Undersøgelserne hos METRO THERM A/S, som er beskrevet i kapitel 8, klarlagde om beholderen med stratifiereløsningen opfylder standardkravene til varmtvandskomfort.

Forsøgsopstilling på DTU BYG

Det specielt designede forsøgsbord ses på Figur 1. Stålbunden inklusive varmelegeme, kappe til varmelegemet og ind- og udløb blev udarbejdet af METRO THERM A/S og blev designet så den passede til en gennemsigtig akryltank, som ligeledes ses på Figur 1.



Figur 1 Special designet forsøgsbord samt principskitse.

Akryltankens indvendige diameter er 239 mm og den indvendige højde er 1500 mm. Tankens volumen er ca. 70 liter.

Temperaturen måles i bunden (T0) af tanken samt i 12 andre niveauer (T1-T12) som det ses på tegningen til højre på Figur 1. Derudover blev der under visse forsøg også målt temperatur omkring varmelegemet (V1-V6) og i toppen af tanken i midten (Udløb) som vist på principskitsen. Det vil i teksten hvor forsøgene beskrives fremgå hvilke målepunkter der er aktive under det pågældende forsøg.

Varmelegemet er installeret så det er muligt at måle dets effekt under forsøgene, samt at variere effekten.

Temperaturene måles med kobber/ konstantan termoelementråde der har et anvendelsesområde fra -40 °C til 350 °C og en nøjagtighed på $\pm 0,5$ K.

Effekten fra varmelegemet måles med en 'Three-Phase Energy Meter' fra Malmbergs, der har nøjagtighed 'class 1'.

Dataene opsamles med en Agilent datalogger 34970a.

Figurerne der vises i rapporten, findes i en større udgave i bilag 1.

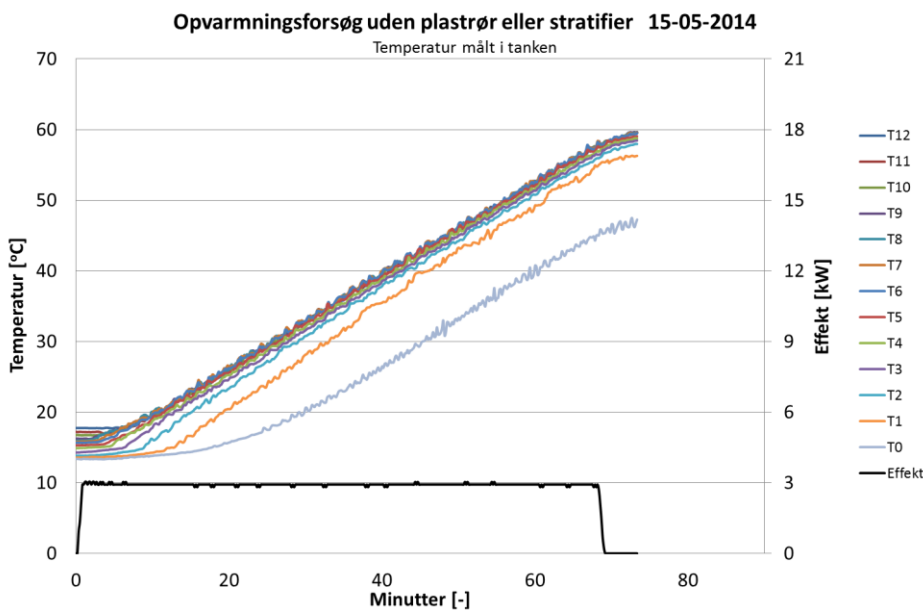
2. Undersøgelser af lagdeling i tank uden stratifier

Som en start og til brug som reference, måles lagdelingen i tanken under opvarmningsforsøg uden plastrør og stratifier, se Figur 2. Effektilførslen til varmelegemet er ca. 3 kW. Der er her udført to forsøg, hhv. den 15. maj og den 14. august. Ved første forsøg (den 15. maj) måles temperaturen i tanken i 12 niveauer samt varmelegemets energiforbrug. Ved andet forsøg (den 14. august) er der udover temperaturmålingerne i tanken og måling af energiforbruget, tilføjet temperaturmålinger tæt på varmelegemet i 6 niveauer, se Figur 2 til højre. Begge forsøg er stoppet når der måles 58 °C idet akryltanken ikke kan klare højere temperaturer.



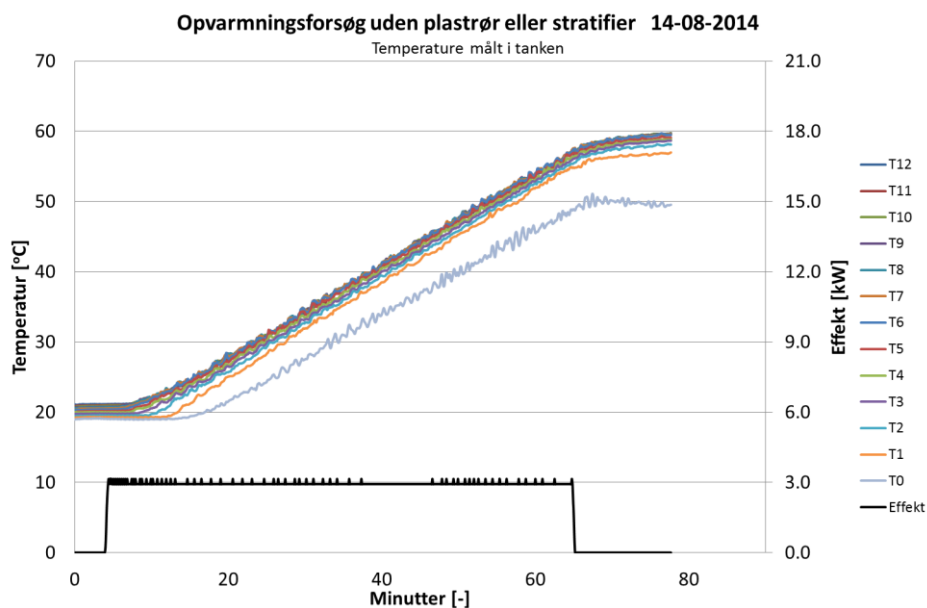
Figur 2 Billeder af forsøgsopstillingen ved test uden plastrør og stratifier.

Under første opvarmningsforsøg af tanken uden plastrør og stratifier opvarmes tanken fra 15 °C til 57 °C på 68 minutter og der tilføres 3,32 kWh til tanken i løbet af forsøget. Temperaturudviklingen i tanken er vist på Figur 3. Det ses at der sker en ensartet opvarmning af hele tankens volumen. Der opbygges ingen temperaturlagdeling i tanken, da vandbevægelsen forårsaget af varmetilførslen fra varmelegemet er så kraftig at der skabes omrøring i hele tanken.



Figur 3 Temperaturer i tanken under første forsøg uden plastrør og stratifier den 15. maj 2014.

Under andet opvarmningsforsøg af tanken uden plastrør og stratifier opvarmes tanken fra 20 °C til 57 °C på 61 minutter og der tilføres 2,99 kWh til tanken i løbet af forsøget. Her kan temperaturudviklingen ses på Figur 4.

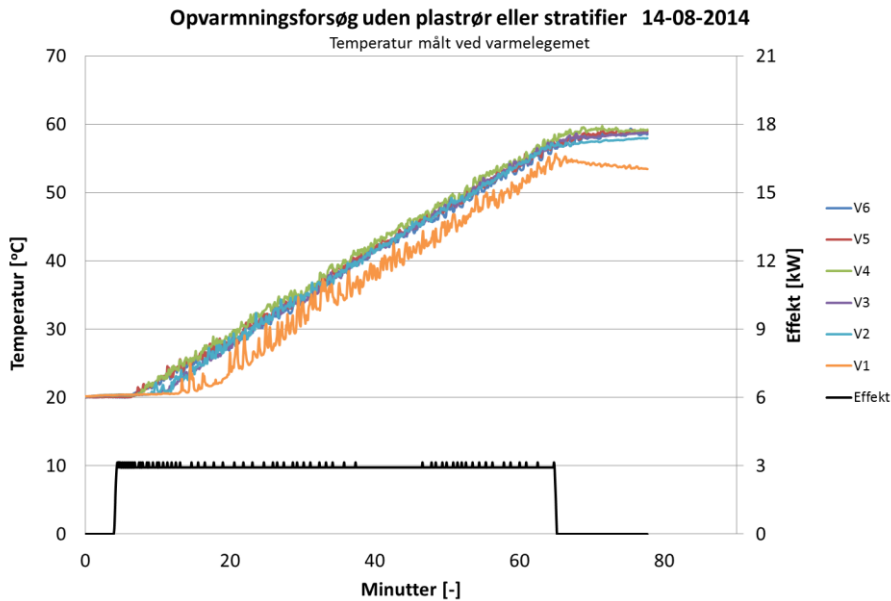


Figur 4 Temperaturer i tanken under andet forsøg uden plastrør og stratifier den 14. august 2014.

Også dette opvarmningsforsøg viser at tanken opvarmes uden lagdeling, dvs. at hele volumenet opvarmes ensartet.

T0 som viser en lavere temperatur end resten af tanken i begge forsøg, er placeret under den effektive del af varmelegemet. Den del af tanken som er placeret under den aktive del af varmelegemet tager altså ikke fuldstændig del i omrøringen i tanken.

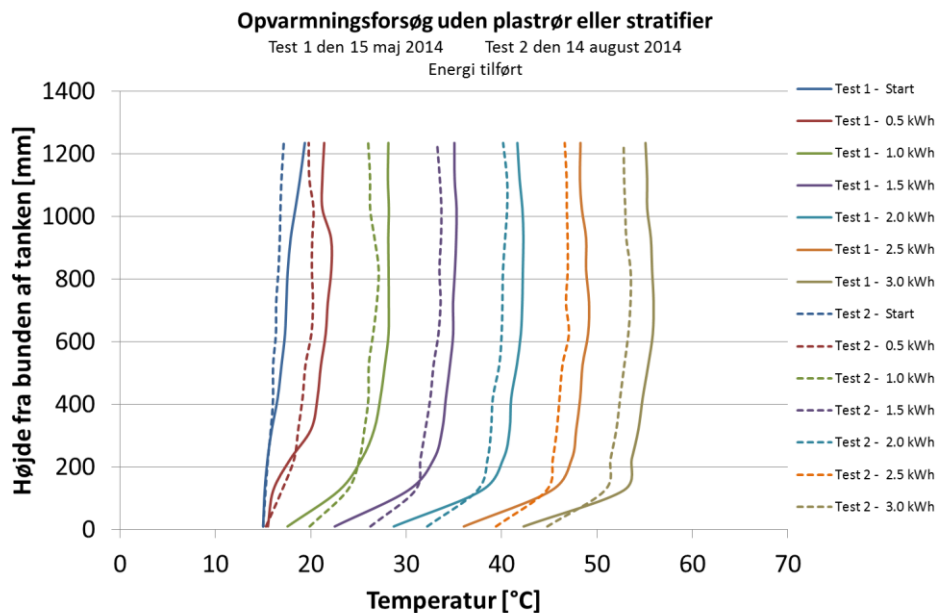
På Figur 5 er vist de tilføjede temperaturmålinger omkring varmelegemet i andet forsøg, hvor V1 sidder i bunden og V6 er placeret øverst. Her ses det at temperaturen omkring varmelegemet ikke er højere end i resten af tanken, men derimod har samme temperatur. Vandbevægelserne er altså så kraftige at der ikke er højere temperaturer tæt på varmelegemet end i resten af tanken.



Figur 5 Temperaturer omkring varmelegemet i andet forsøg uden plastrør og stratifier den 14. august 2014.

En sammenligning af de to forsøg kan ses på Figur 6. Her er forsøgene vist med temperaturen på x-aksen og placeringen af føleren på y-aksen. Kurverne angiver temperaturer i tanken under opvarmningerne ved forskellige størrelser af den tilførte energi. De fuldptrukne kurver viser forsøg 1 og de stiplede kurver viser forsøg 2. Af hensyn til sammenligningen er temperaturmålingen i bunden af tanken i begge forsøg kunstigt 'trukket tilbage' til et udgangspunkt på 15 °C.

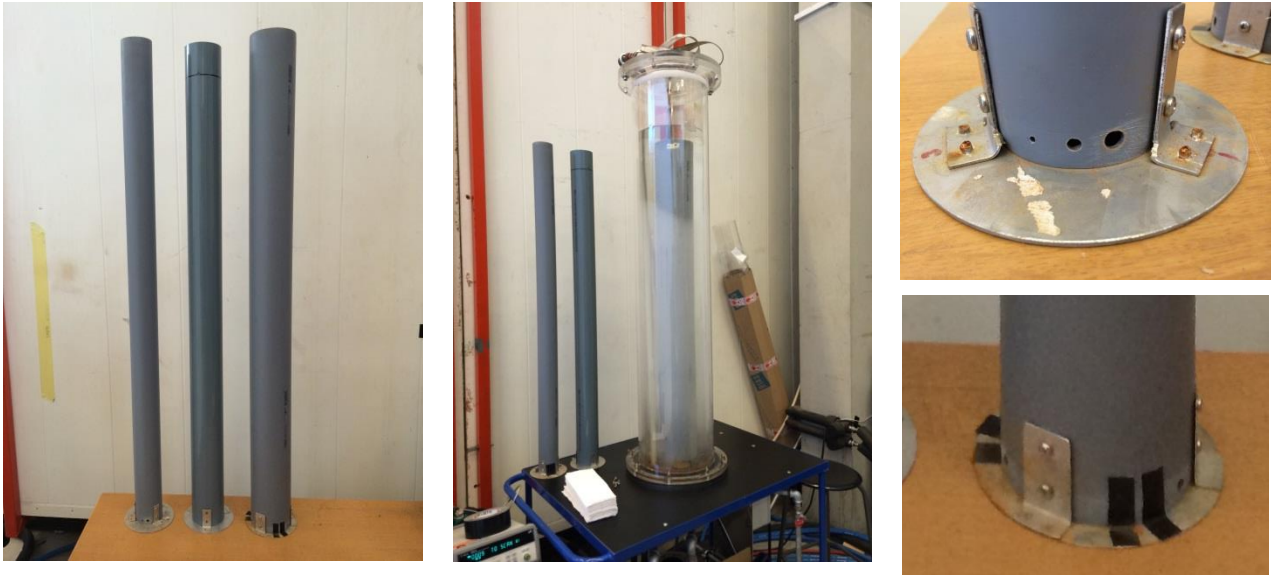
Figuren viser, som også tidligere nævnt, at tanken opvarmes uden lagdeling. Forskellen der ses i de to forsøg skyldes en større forskel i starttemperatur mellem top og bund i tanken ved første forsøg end ved andet forsøg.



Figur 6 Sammenligning af de to forsøg uden plastrør og stratifier.

3. Undersøgelser af lagdeling i tank med plastrør i forskellige diametre

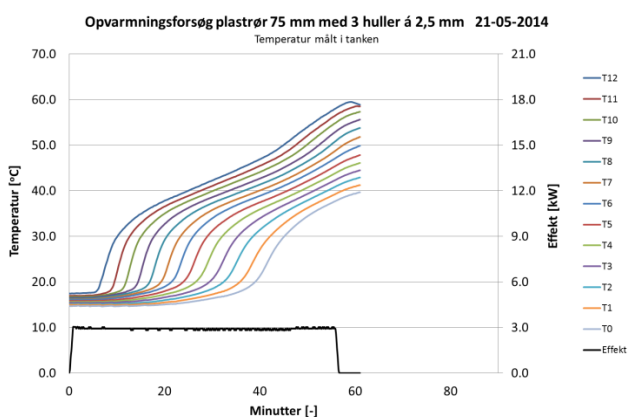
Det undersøges her hvordan der kan opbygges lagdeling i tanken under opvarmningsforsøg med plastrør der omkranser varmelegemet, som tilføres en effekt på ca. 3 kW. Plastrøret er i fuld længde fra bund til top af tanken, se Figur 7 venstre og midt. I bunden er boret 9 huller i 3 forskellige størrelser, hhv. 2,5 mm, 5,0 mm og 7,5 mm, se Figur 7 øverst til højre. Forsøgene blev udført hvor kun 3 ens hulstørrelser var åbne, de resterende 6 huller var dækket til med tape, se Figur 7 nederst til højre.



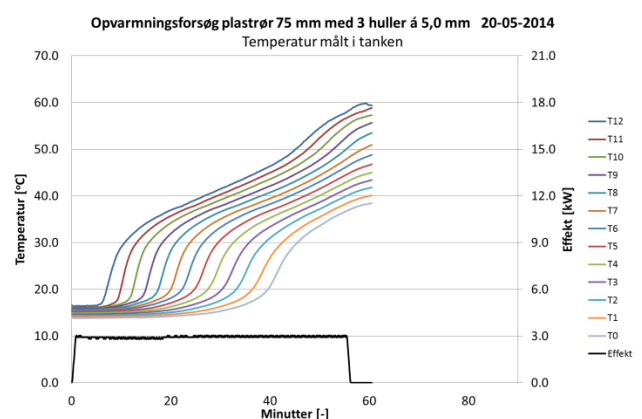
Figur 7 Billeder af forsøgsopstillingen ved test med plastrør i fuld længde.

Der er ved disse forsøg målt temperaturer i tanken i 12 niveauer, samt varmelegemets energiforbrug.

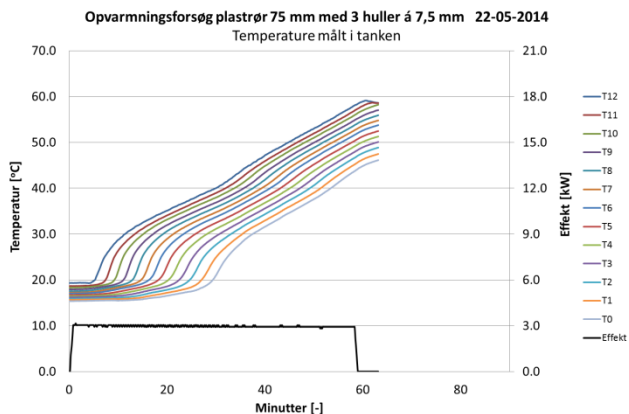
På Figur 8, Figur 9 og Figur 10 ses resultaterne med de forskellige hulstørrelser i bunden, med et plastrør i fuld længde. Plastrørets diameter er 75 mm. Opvarmningsforsøgene stoppes når temperaturen i toppen af tanken når 58 °C. Opvarmningstiden for forsøgene defineres som tiden fra start af opvarmning af en koldt tank til temperaturen i toppen af tanken er 58 °C, som er en ønsket maksimaltemperatur i varmtvandsbeholdere på grund af risiko for kalkaflejringer og skoldningsfare. Jo længere opvarmningstiden er des dårligere opbygges temperaturlagdelingen i beholderen.



Figur 8 Temperaturer i tank med 75 mm plastrør med 2,5 mm huller.



Figur 9 Temperaturer i tank med 75 mm plastrør med 5,0 mm huller.



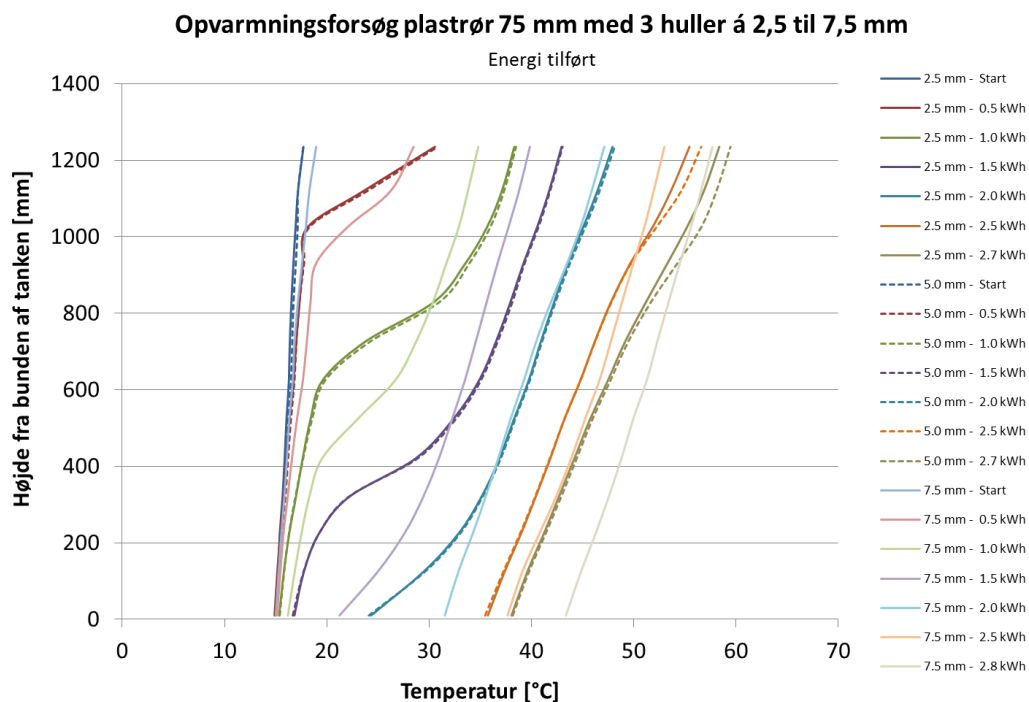
Tabel 1 Tilført energi og opvarmningstid for tanken med 75 mm plastrør

	Hulstørrelse		
	2,5 mm	5,0 mm	7,5 mm
Opvarmnings- tid	56 min	56 min	58 min
Energi	2,7 kWh	2,7 kWh	2,9 kWh

Figur 10 Temperaturer i tank med 75 mm plastrør med 7,5 mm huller.

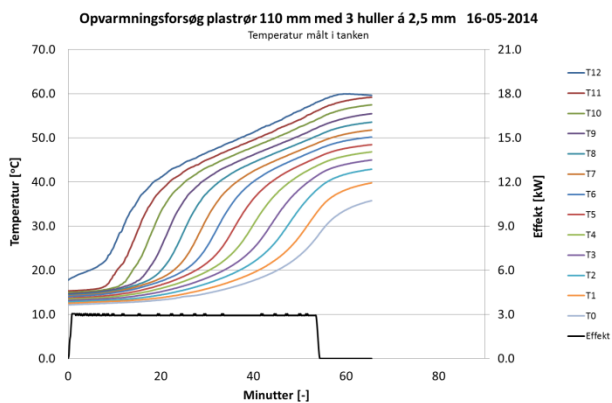
Resultatet viser at der med plastrøret opbygges lagdeling i tanken. Lagdelingen er tydeligst for hulstørrelserne 2,5 mm og 5,0 mm. Ved 7,5 mm er opvarmningstiden lidt længere, temperaturlagdelingen mindre og energiforbruget lidt højere, se Tabel 1.

Forskellen i opbygning af lagdeling ses på Figur 11, hvor det fremgår at der ikke er stor forskel på lagdelingen med 2,5 mm og 5,0 mm huller, hvorimod 7,5 mm huller resulterer i lavere toptemperatur ved samme energiforbrug, sammenlignet med 2,5 mm og 5,0 mm.

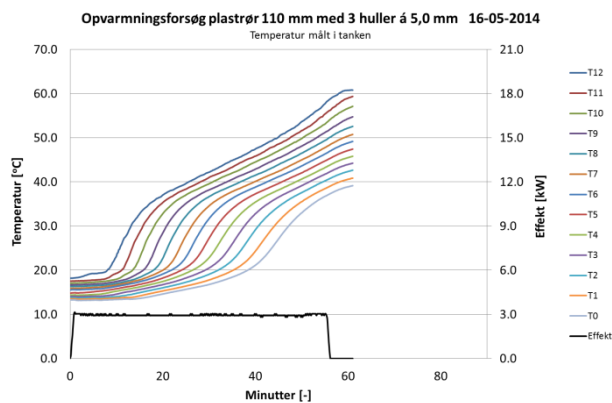


Figur 11 Sammenligning af temperaturer i tanken under opvarmning med 75 mm plastrør med forskellige hulstørrelser.

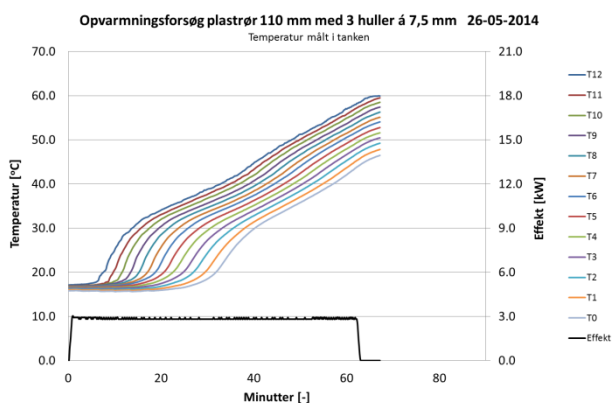
Forsøgene blev gentaget nu med et plastrør med en diameter på 110 mm, også med 9 huller i bunden. Figur 12, Figur 13 og Figur 14 viser temperaturudviklingen i tanken med hhv. 2,5 mm, 5,0 mm og 7,5 mm huller. Den bedste lagdeling opnås også her med helt små huller på 2,5 mm.



Figur 12 Temperaturer i tank med 110 mm plastrør med 2,5 mm huller.



Figur 13 Temperaturer i tank med 110 mm plastrør med 5,0 mm huller.



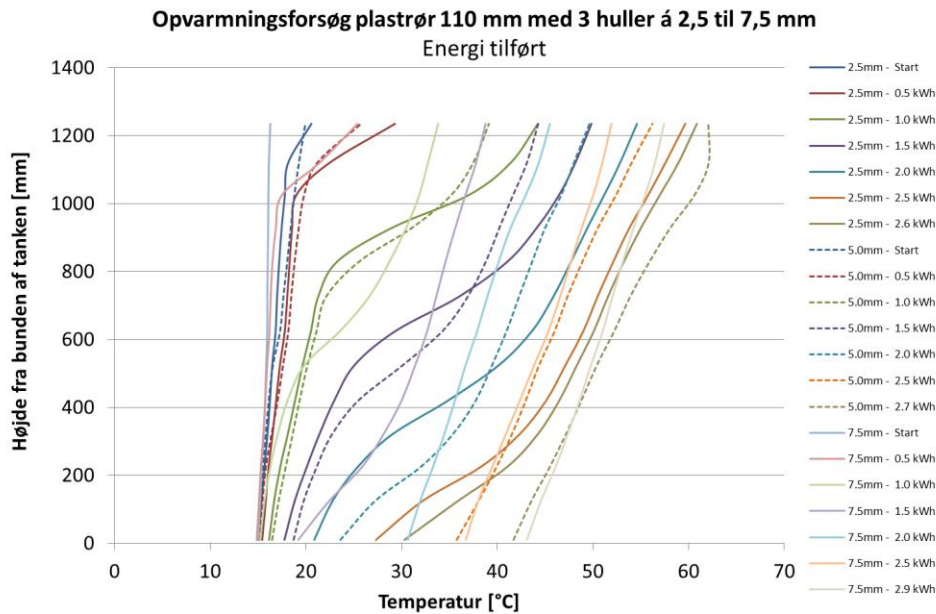
Figur 14 Temperaturer i tank med 110 mm plastrør med 7,5 mm huller.

Tabel 2 Tilført energi og opvarmningstid for 110 mm plastrør

	<i>Hulstørrelse</i>		
	2,5 mm	5,0 mm	7,5 mm
Opvarmnings- tid	54 min	55 min	58 min
Energi	2,6 kWh	2,7 kWh	2,9 kWh

Opvarmningstiden er størst med de store huller, se Tabel 2.

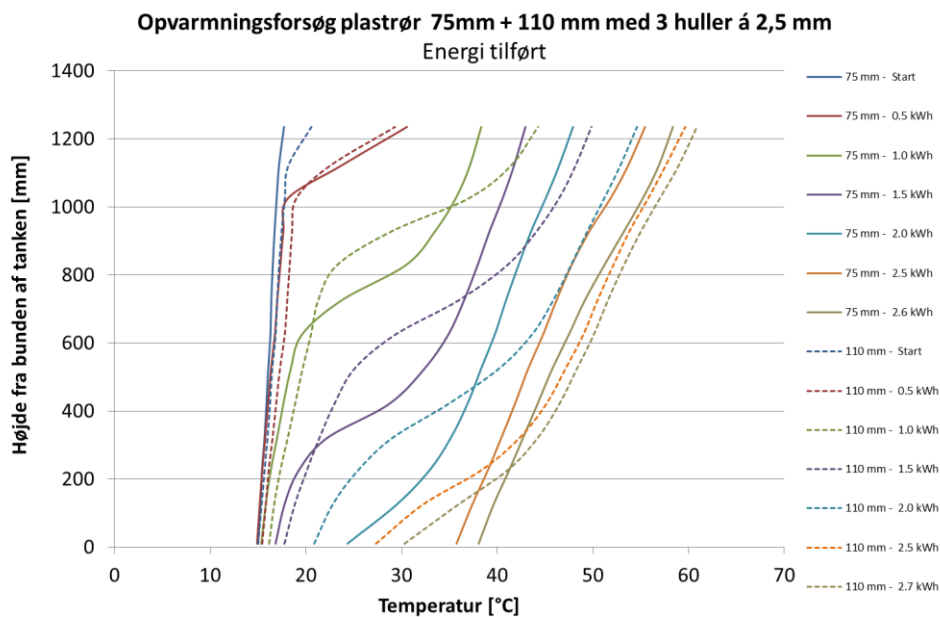
På Figur 15 ses sammenligningen mellem de forskellige åbningsarealer, hvor det ses at 2,5 mm huller giver en lidt bedre lagdeling end 5,0 mm huller som igen er bedre end 7,5 mm huller.



Figur 15 Sammenligning af temperaturer i tanken under opvarmning med 110 mm plastrør med forskellige hulstørrelser.

Tanktemperaturer under opvarmningerne med de to plastrør med 2,5 mm huller er vist på Figur 16, da de små huller har den bedste temperaturlagdeling for begge rør.

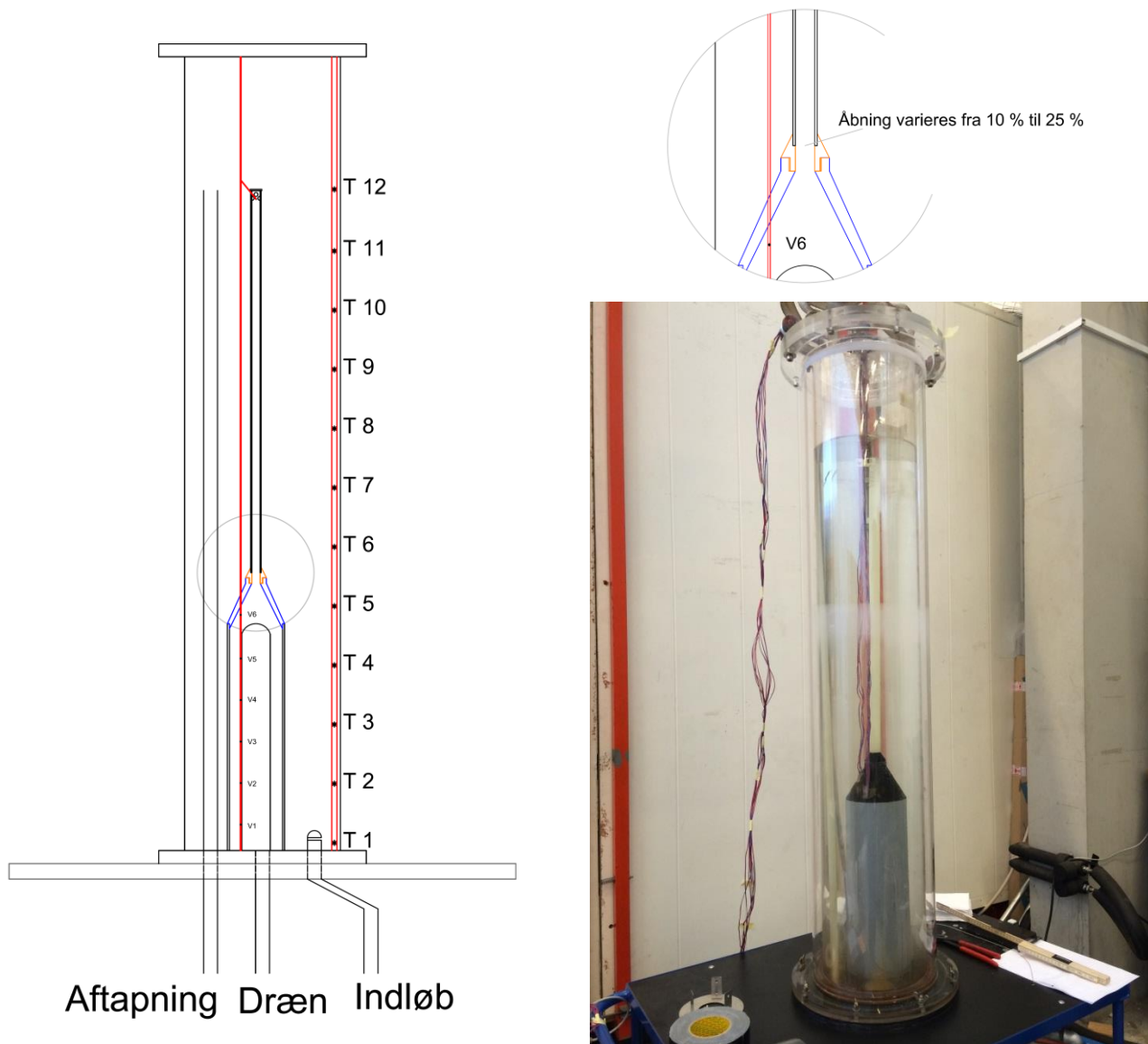
Det ses at plastrøret på 110 mm giver en bedre lagdeling end 75 mm røret. De resterende forsøg gennemføres derfor med en rørdiameter på 110 mm.



Figur 16 Tanktemperaturer under opvarmningen med 75 mm og 110 mm plastrør med 3 huller á 2,5 mm.

4. Undersøgelser af lagdeling i tank med forskellige løsninger

På baggrund af de indledende undersøgelser er der udviklet en konisk top til 110 mm plastrøret hvor åbningen kan varieres og der kan monteres forskellige stratifierløsninger ovenpå. På Figur 17 ses indsnævringen samt hvor åbningen kan varieres, øverst til højre. Løsningen er her vist hvor der er monteret et pexrør som går til tankens top. I pexrørets top er der åbninger i de lodrette vægge der leder vandet vandret ud. Stratifiere udviklet af EyeCular Technologies ApS er også undersøgt i en tilsvarende konstruktion.



Figur 17 Principskitse og billede af indsnævringen hvorpå der er monteret et pexrør.

Forskellige stratifikationsløsninger er undersøgt. Det drejer sig om forskellige bundkapper omkring elpatronen, overgange, tværsnitsarealer for åbning og topløsninger.

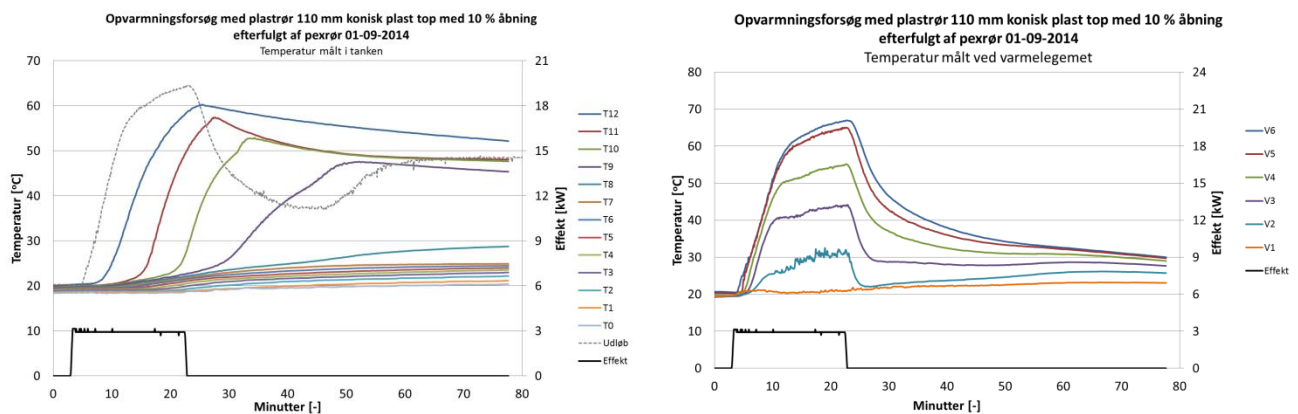
Plastrør 110 mm konisk plasttop med pexrør

Bundkappe	Overgang	Åbning	Topløsning
Plast	Konisk plast	10 % 15 % 20 % 25 %	PEX rør

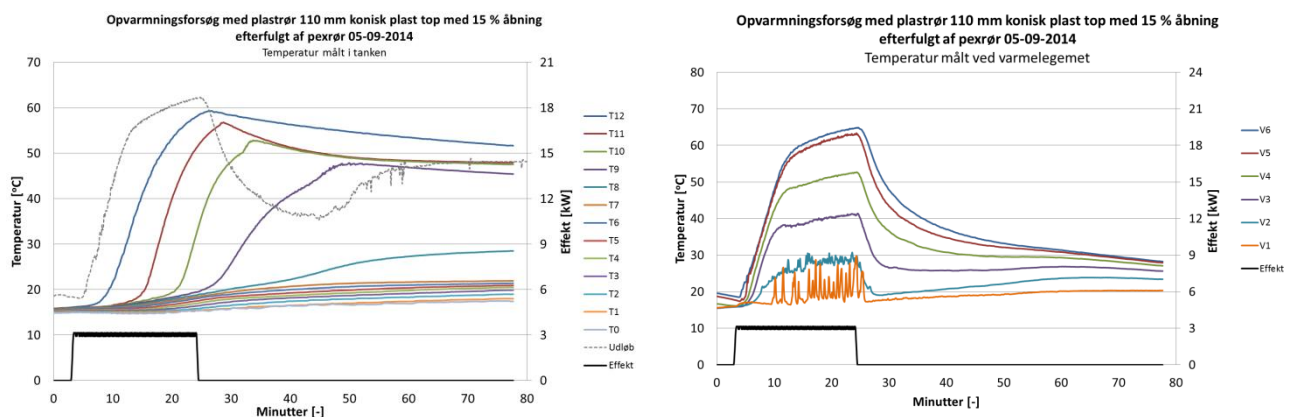
Der er her undersøgt effekten af designet hvor der er monteret et pexrør efter indsnævringen. Pexrøret har en indre diameter på 15 mm og en godstykkelse på 2,5 mm. Åbningen mod pexrøret varieres fra 10 % til 25 % af pexrørets tværsnitsareal. Temperaturer måles i tanken samt inde ved varmelegemet som vist på Figur 17. Derudover er der i pexrørets top indsat en føler der måler vandtemperaturen ved udløbet fra pexrøret. Opvarmningen blev afsluttet da der blev målt 58 °C i toppen af tanken.

Temperaturmålingerne fra forsøgene med åbning fra 10 % til 25 % er vist på Figur 18, Figur 19, Figur 20 og Figur 21. Her ses det at de nye design forbedrer lagdelingen i tanken.

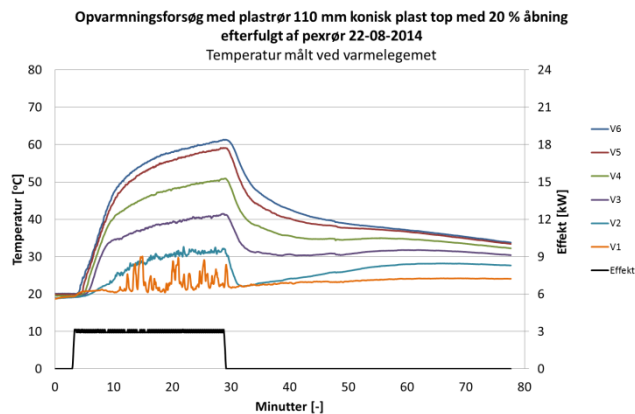
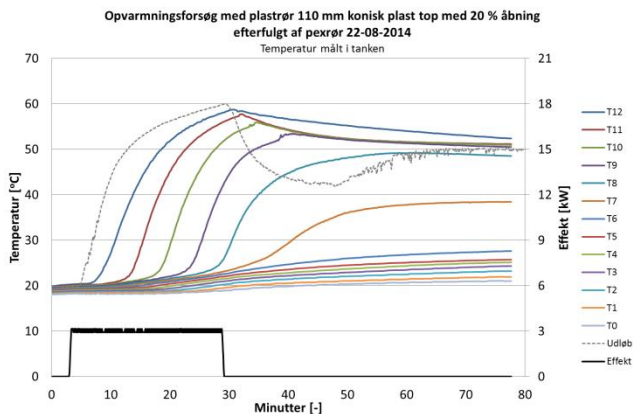
Temperaturen inde ved varmelegemet er vist til højre på figurerne og her ses det at den højeste temperatur på 67 °C, forekommer med et åbningsareal på 10 %. For åbningsareal på 25 % er den højeste temperatur ved varmelegemet 61 °C.



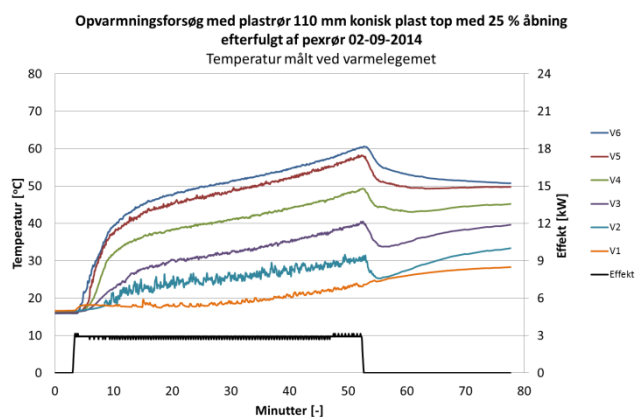
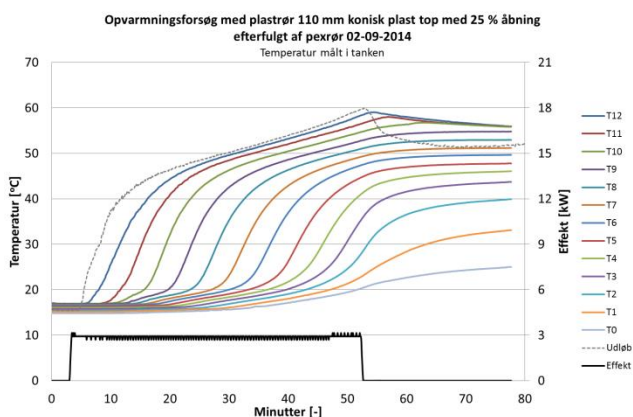
Figur 18 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm plastrør og konisk plasttop med 10 % åbning efterfulgt af pexrør.



Figur 19 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm plastrør og konisk plasttop med 15 % åbning efterfulgt af pexrør.



Figur 20 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm plastrør og konisk plasttop med 20 % åbning efterfulgt af pexrør.



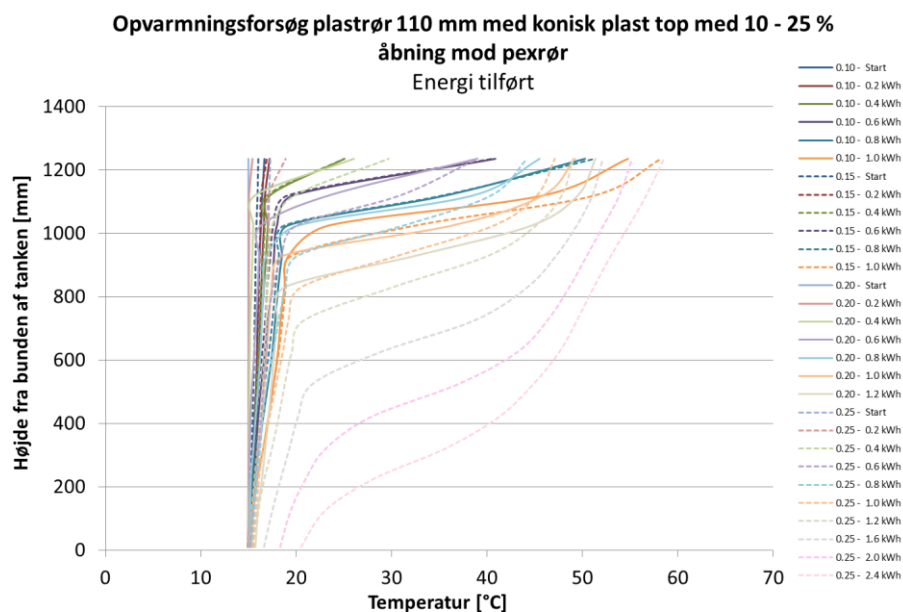
Figur 21 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm plastrør og konisk plasttop med 25 % åbning efterfulgt af pexrør.

Målingerne viser at opvarmningstiden stiger og at temperaturlagdelingen bliver mindre jo større åbningsarealet er. Opvarmningstiden varierer fra 23 min til 53 min, se Tabel 3.

Tabel 3 Tilført energi og opvarmningstid for tanken med 110 mm plastrør med pexrør

	Åbning efter konisk top mod pexrør			
	10 %	15 %	20 %	25 %
Max. Temperatur V6	68 °C	64 °C	62 °C	61 °C
Opvarmningstid	23 min	24 min	29 min	53 min
Energi	1,0 kWh	1,0 kWh	1,3 kWh	2,4 kWh

Sammenligningen mellem de forskellige åbninger er vist på Figur 22. Her ses det at der med alle åbningsarealerne opbygges en god lagdeling i tanken. Den bedste lagdeling opnås med 15 % åbningsareal, idet toppen er opvarmet til den højeste temperatur samtidig med at temperaturen nederst i tanken er lav.



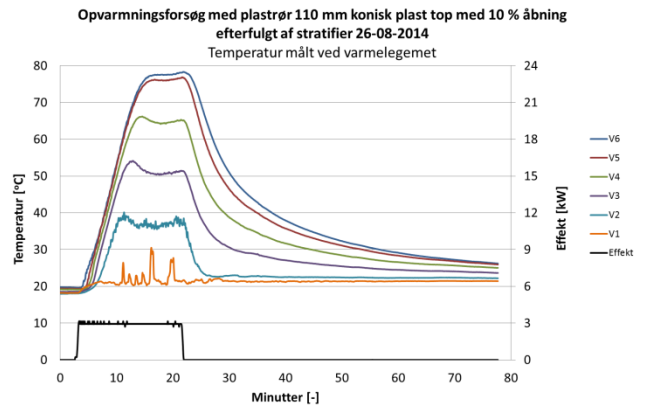
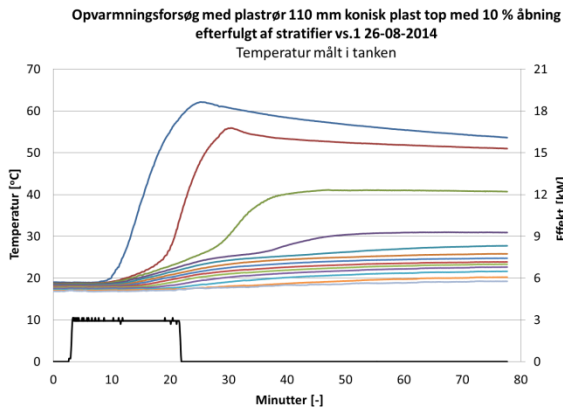
Figur 22 Sammenligning med 110 mm plastrør og konisk plasttop med 10-25 % åbning mod pexrør.

Plastrør 110 mm konisk plasttop med stratifier

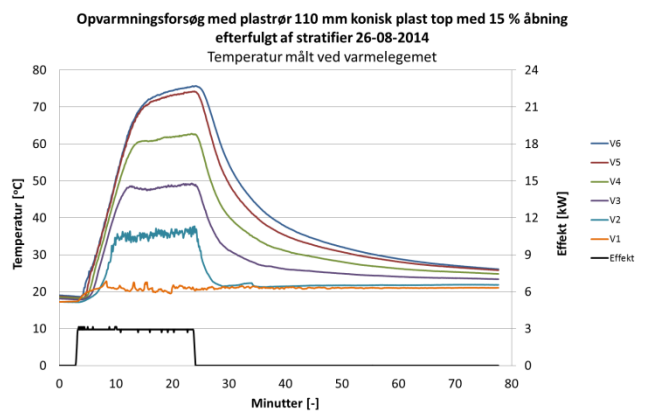
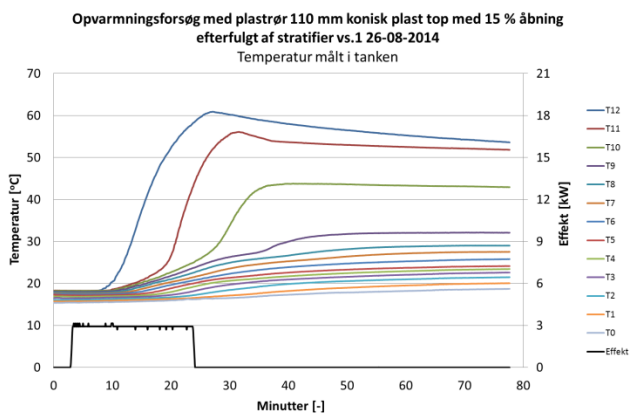
Bundkappe	Overgang	Åbning	Topløsning
Plast	Konisk plast	10 % 15 % 20 % 25 %	Stratifier 1

I det følgende er vist resultaterne hvor pexrøret er udskiftet med en stratifier fra EyeCular Technologies ApS. Her er der ligeledes udført test med åbningsareal fra 10 % til 25 %. Udover temperaturmålingerne i tanken er temperaturer målt inde ved varmelegemet. Pga. af fleksibiliteten i stratifieren er det ikke muligt at måle udløbstemperaturen.

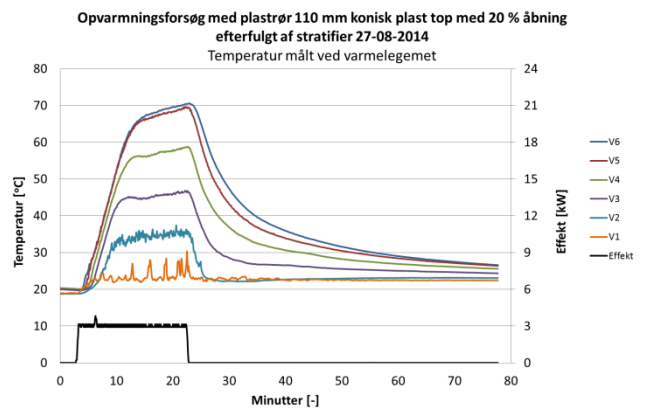
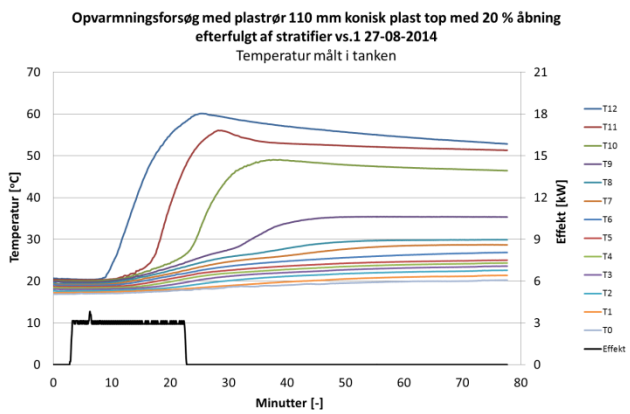
Resultaterne er vist på Figur 23, Figur 24, Figur 25 og Figur 26. Her ses det at opvarmningstiden stiger fra 22 min til 35 min med hhv. 10 % åbning til 25 % åbning, hvilket er den samme tendens som med pexrøret. Opvarmningstiden med stratifieren er kortere for åbningsarealerne på 20 % og 25 % sammenlignet med pexrøret, se Tabel 3 og Tabel 4. Også for stratifieren vokser temperaturlagdelingen med aftagende åbningsareal.



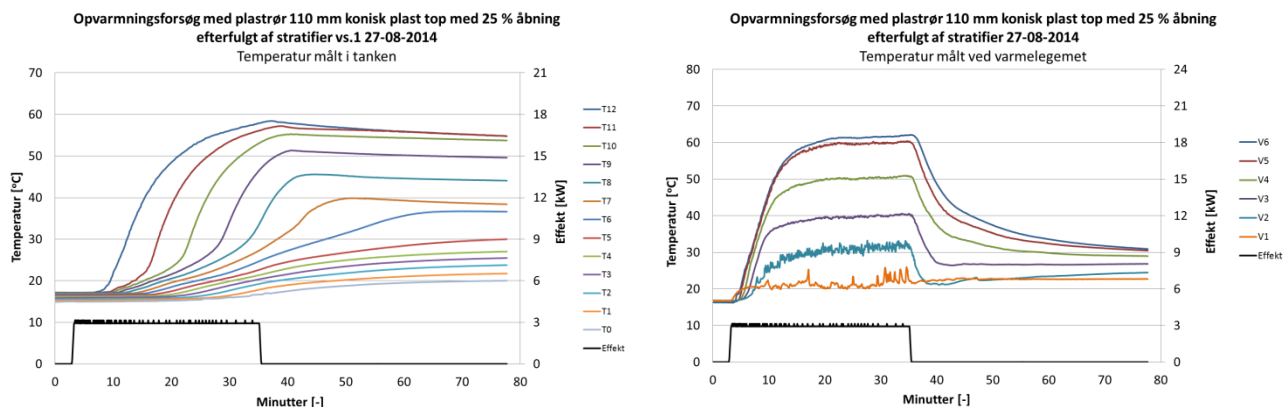
Figur 23 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm plastrør og konisk plasttop med 10 % åbning efterfulgt af stratifier.



Figur 24 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm plastrør og konisk plasttop med 15 % åbning efterfulgt af stratifier.



Figur 25 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm plastrør og konisk plasttop med 20 % åbning efterfulgt af stratifier.



Figur 26 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm plastrør og konisk plasttop med 25 % åbning efterfulgt af stratifier.

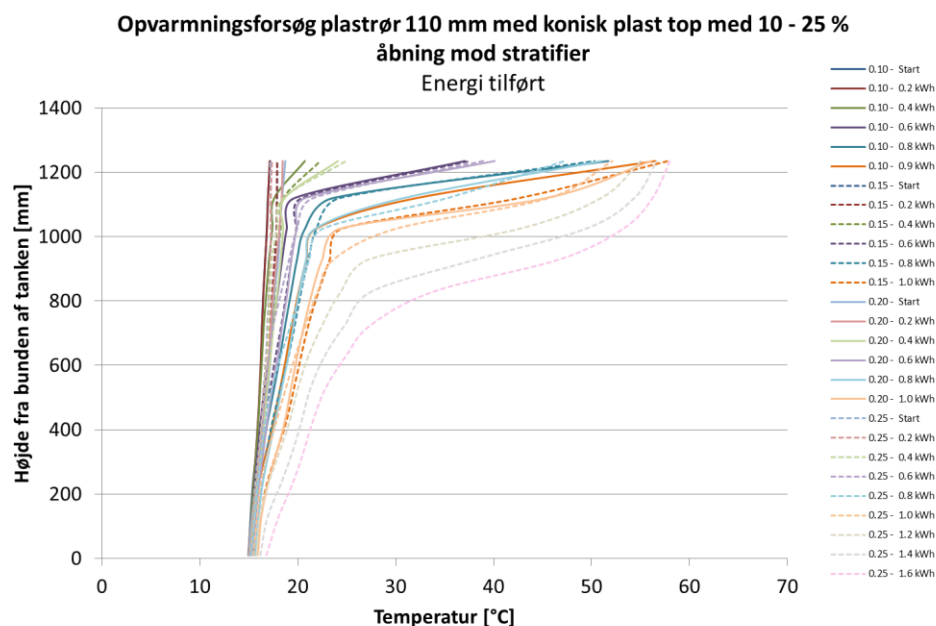
På figurerne til højre ses temperaturerne omkring varmelegemet. Her ses det igen at temperaturen stiger med mindre åbningsareal. Den højeste temperatur ved varmelegemet er målt til 78 °C for åbningsarealet på 10 %. Det er 11 °C højere end med pexrøret.

Derudover ses der for en åbning på 25 % at temperaturen omkring varmelegemet næsten stabiliseres omkring 60 °C. Det er den eneste løsning hvor temperaturen ved varmelegemet ikke fortsætter med at have en stigende tendens, samtidig med at opvarmningstiden til 60 °C kun er 35 minutter.

Tabel 4 Tilført energi og opvarmningstid for tanken med 110 mm plastrør med stratifier

	Åbning efter konisk top mod stratifier			
	10 %	15 %	20 %	25 %
Max. Temperatur V6	78 °C	76 °C	71 °C	62 °C
Opvarmningstid	22 min	24 min	23 min	35 min
Energi	0,9 kWh	1,0 kWh	1,0 kWh	1,6 kWh

Sammenligning mellem de forskellige åbningsarealer for stratifierløsningen ses på Figur 27. Her ses det at alle åbningsarealer resulterer i en lagdelt tank. Åbningsarealet på 10 % giver den bedste lagdeling idet påvirkningen i bunden af tanken er mindst under opvarmningen.



Figur 27 Sammenligning med 110 mm plastrør og konisk plasttop med 10-25 % åbning mod stratifler.

Stålrør 110 mm flad ståltop med pexrør

Bundkappe	Overgang	Åbning	Topløsning
Stål	Flad stål	10 % 15 % 20 % 25 %	PEX rør

Til undersøgelse af stålrør vs. plastrør har METRO THERM A/S udarbejdet en stålkappe med en diameter på 110 mm og en flad top hvor åbningsarealet og forskellige stratifierløsninger kan afprøves, se Figur 28.

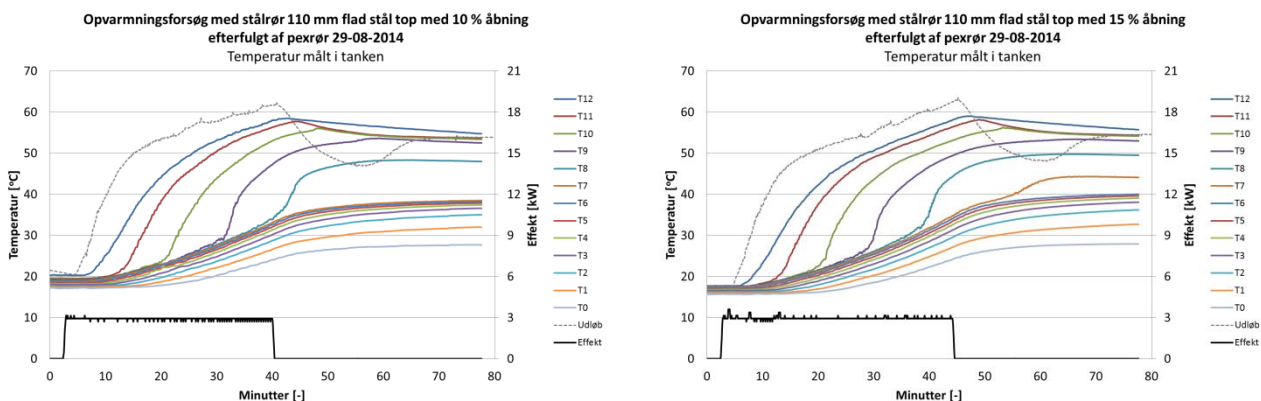
Der er her kun målt temperaturer i tanken og udløbstemperatur ved pexrørets top, og ikke inde ved varmelegemet. Opvarmningen afsluttes når der er 58 °C i toppen af tanken.

Resultaterne ses på Figur 29 og Figur 30 hvor udløbstemperaturerne er vist med stiplede kurver. Det ses at temperaturerne i den nederste del af tanken stiger relativt hurtigt, idet varmen overføres via stålkappen til det omkringliggende vand. Opvarmningstiden varierer fra 44 min til 53 min for et stigende åbningsareal fra 10 % til 25 %, se Tabel 5.

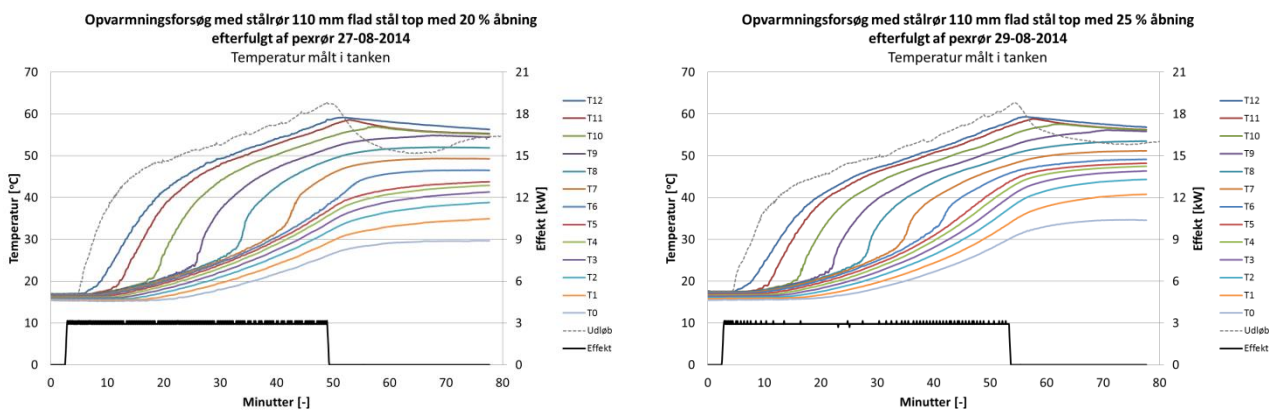


Figur 28 Billede af 110 mm stålrør med flad top mod pexrør.

Opvarmningstiden er derved væsentlig forlænget ved de mindre åbninger i forhold til de tidligere forsøg med konisk top. Herudover ses det at temperaturerne i den nederste del af tanken stiger relativt hurtigt, idet varmen overføres via stålkappen til det omkringliggende vand.



Figur 29 Temperaturer i tank med 110mm stålør flad ståltop med 10 % og 15 % åbning efterfulgt af pexør.

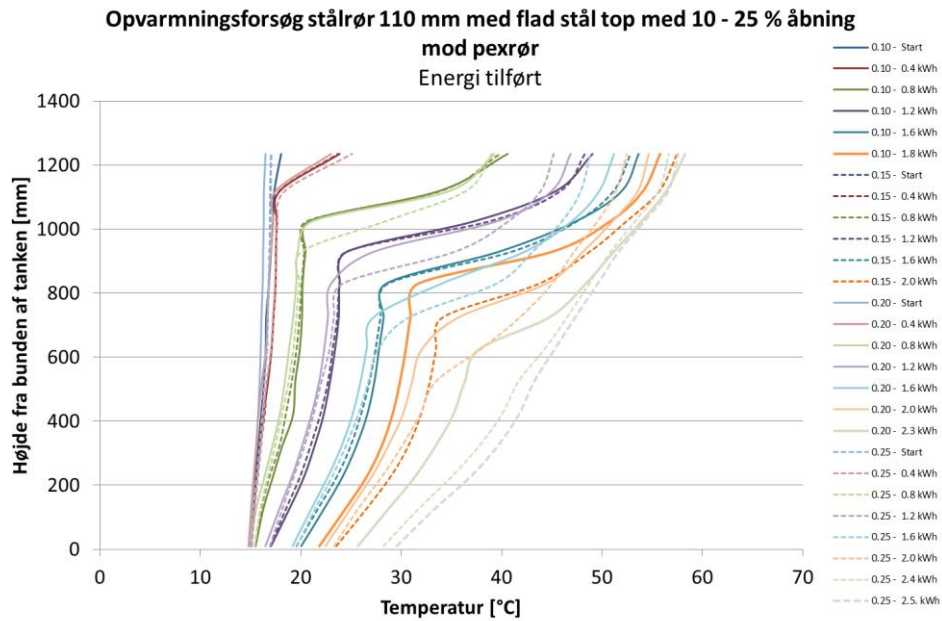


Figur 30 Temperaturer i tank med 110mm stålør flad ståltop med 20 % og 25 % åbning efterfulgt af pexør.

Tabel 5 Tilført energi og opvarmningstid for 110 mm stålør med flad top mod pexør

	Åbning efter flad top mod pexør			
	10 %	15 %	20 %	25 %
Opvarmningstid	40 min	44 min	49 min	53 min
Energi	1,8 kWh	2,0 kWh	2,3 kWh	2,5 kWh

Sammenligningen mellem åbningsarealerne ses på Figur 31. Her ses det igen at der sker en opvarmning i nederste del af tanken gennem stålkappen, hvilket forringer opbygningen af lagdelingen i tanken. Den bedste opbygning sker med et åbningsareal på 10 %.



Figur 31 Sammenligning af temperaturer med 110 mm stålør med flad ståltop med 10-25 % åbning mod pexør.

Undersøgelserne med en flad top viser en større varmeoverførsel vandret ud gennem stålkappen, hvilket kan skyldes at den flade top skaber turbulens i toppen og tvinger det varme vand ned langs siderne af stålkappen.

Stålrør 110 mm konisk plasttop med pexrør

Bundkappe	Overgang	Åbning	Topopløsning
Stål	Konisk plast	10 % 15 %	PEX rør

På baggrund af de foregående undersøgelser er det besluttet at skære den flade top af og montere den koniske plasttop, se Figur 32.

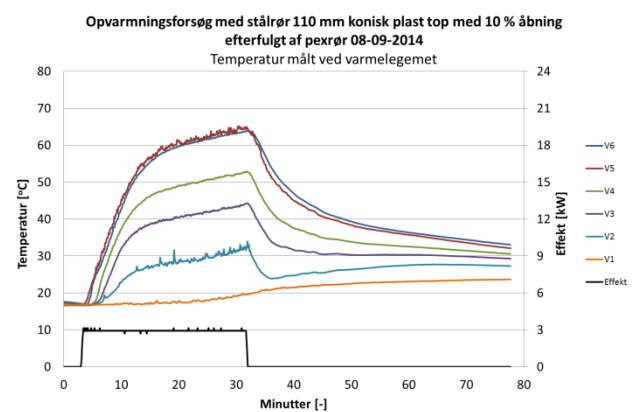
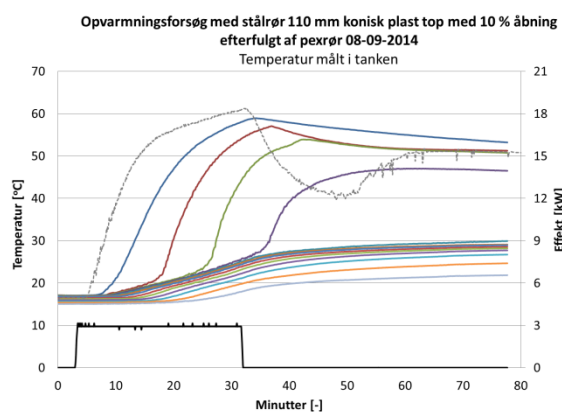
Det nye design er undersøgt med åbningsareal på 10 % og 15 %.

Temperaturen måles i tanken, ved varmelegemet og ved udløbet fra pexrøret. Opvarmningen afsluttes når der måles 58 °C i toppen af tanken.

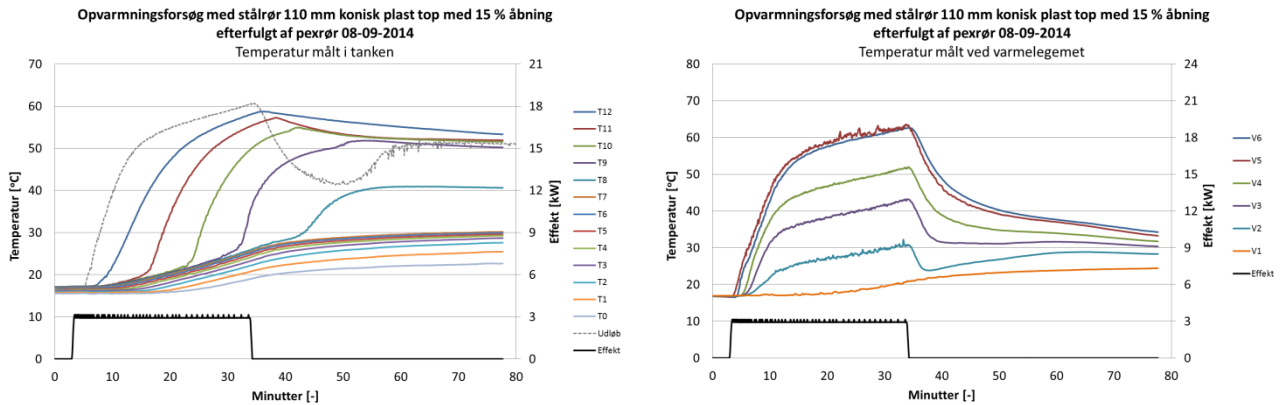
Resultaterne ses på Figur 33 og Figur 34. Her ses det at den koniske top resulterer i en bedre lagdeling i tanken sammenlignet med resultaterne fra stålrøret med den flade top. Påvirkningen vandret ud gennem stålkappen er blevet reduceret, men er stadig ikke ligeså god som med plastrøret. Opvarmningstiden er på 32 min og 34 min for hhv. 10 % og 15 % åbning. Temperaturen ved varmelegemet er maksimalt 65 °C for åbningsareal på 10 %, se Tabel 6.



Figur 32 Billede af 110 mm stålrør med konisk plasttop mod pexrør.



Figur 33 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm stålrør med konisk plasttop med 10 % åbning efterfulgt af pexrør.

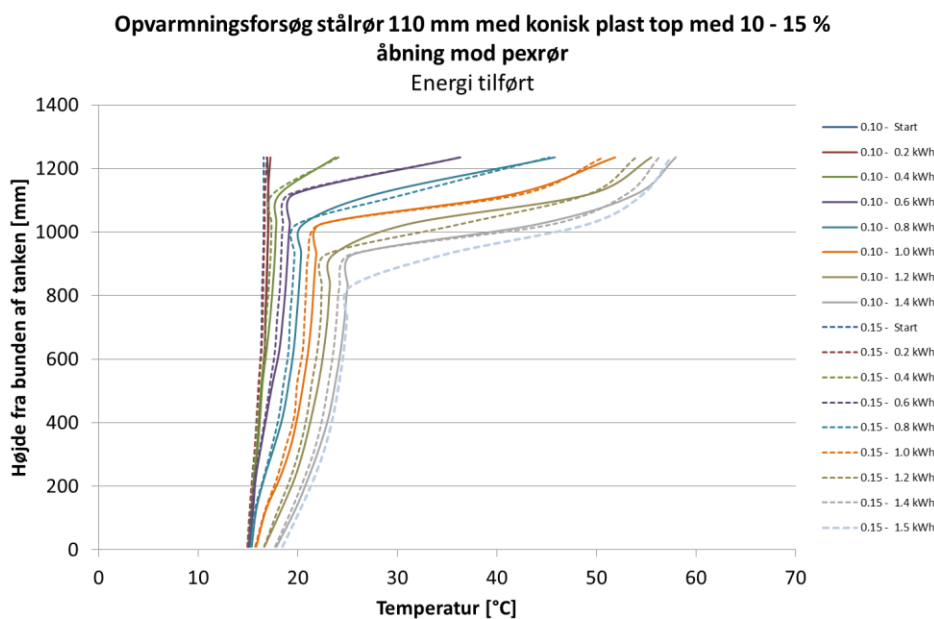


Figur 34 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm stålør med konisk plasttop med 15 % åbning efterfulgt af pexør.

Tabel 6 Tilført energi og opvarmningstid for 110 mm stålør med konisk plasttop med pexør

<i>Åbning efter konisk top mod pexør</i>		
	10 %	15 %
Max. Temperatur V6	65 °C	63 °C
Opvarmningstid	32 min	34 min
Effekt	1,4 kWh	1,5 kWh

Sammenligningen af temperaturer med åbningsarealet 10 % og 15 % er vist på Figur 35. Her ses det at der ikke er stor forskel mellem de to arealer. Begge arealer opbygger en god lagdeling i tanken.



Figur 35 Sammenligning af temperaturer med 110 mm stålør med konisk plasttop med 10 % og 15 % åbning mod pexør.

Stålrør 110 mm konisk plasttop med 3 forskellige stratifiere

Bundkappe	Overgang	Åbning	Topløsning
Stål	Konisk plast	10 % 15 %	Stratifier 1, 2 og 3

Det nye design med 110 mm stålkappe efterfulgt af den koniske plasttop undersøges hvor der er monteret 3 stratifierløsninger fra EyeCular Technologies ApS. Hver løsning testes med 10 % og 15 % åbning.

Den første stratifierløsning er en standard stratifier, der består af en 3-lags polymerfilm af 35 µm polypropylen, der fastgøres til den koniske plasttop med en ¾" bundstuds med en O-ring. Stratifieren holdes vertikal af en skumflyder af polymer, der er monteret i toppen af filmen og skaber en meropdrift. Polymerfilmen har 50 mm høje huller langs svejsningen i den ene side med 10 mm mellemrum, hvorfra det opvarmede vand kan forlade stratifieren, se Figur 36



Figur 36 Skumflyder på stratifier 1.

Den anden stratifierløsning består af et Ø20mm PEX rør med en polymerfilm, som beskrevet ovenfor, fastgjort med en O-ring udenpå røret. Halvdelen af røret er udsparet, så vandet frit kan forlade røret, se Figur 37 og Figur 38.



Figur 37 PEX rør, udsparet.



Figur 38 Stratifier 2 - PEX rør, udsparet med polymerfilm

Den tredje stratifierløsning består ligesom stratifier 2 af en polymerfilm fastgjort uden på et PEX rør. Dog er PEX røret ikke udsparet, men i stedet er der opboret 3 rækker af Ø6mm huller i den ene halvdel af PEX røret, se Figur 39 og Figur 40.



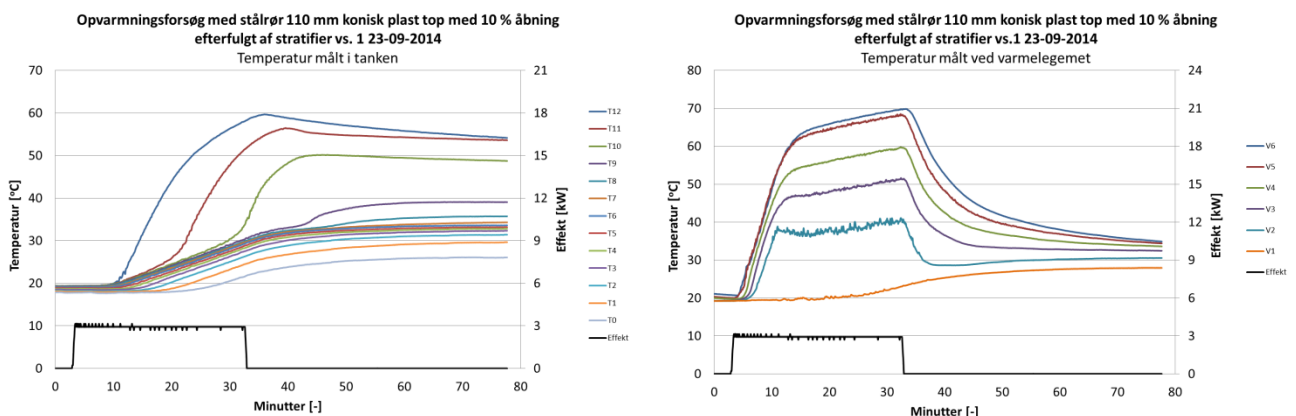
Figur 39 PEX rør, opboret



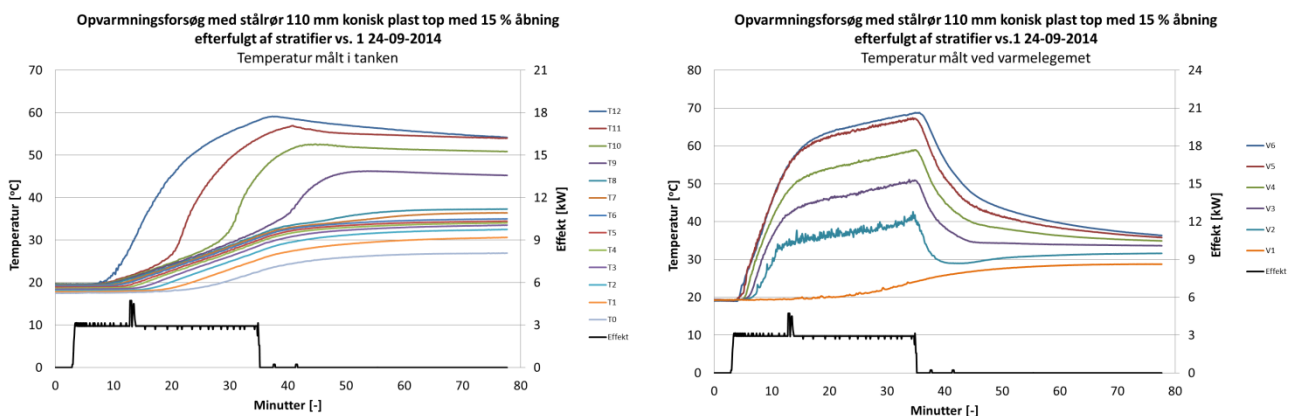
Figur 40 Stratifier 3, PEX rør, opboret med polymerfilm

Stratifier 1

Resultaterne for stratifierløsning nr. 1 er vist på Figur 41 og Figur 42, hvor det ses at opvarmningstiden er hhv. 33 min og 35 min for 10 % og 15 % åbning. Begge arealer resulterer i en god lagdeling i tanken.



Figur 41 Temperaturer i tank og ved varmelegemet med 110 mm stålrør med konisk plasttop med 10 % åbning efterfulgt af stratifier 1.



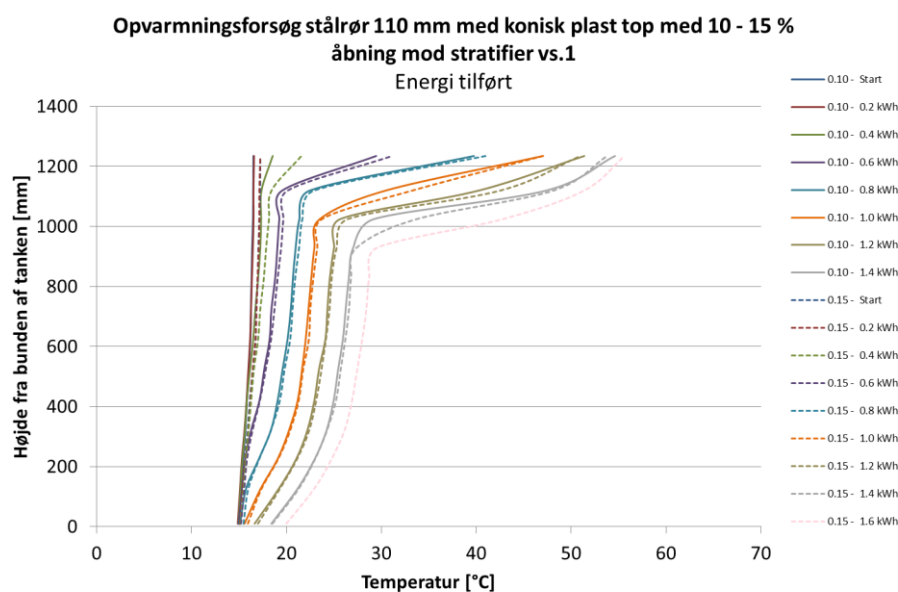
Figur 42 Temperaturer i tank og ved varmelegemet med 110 mm stålrør med konisk plasttop med 15 % åbning efterfulgt af stratifier 1.

Den højeste temperatur målt ved varmelegemet er 70 °C med 10 % åbningsareal, se Tabel 7.

Tabel 7 Tilført energi og opvarmningstid for 110 mm stålør med konisk plasttop med stratifier 1

Åbning efter konisk top mod stratifier 1		
	10 %	15 %
Max. Temperatur V6	70 °C	69 °C
Opvarmningstid	33 min	35 min
Energi	1,4 kWh	1,6 kWh

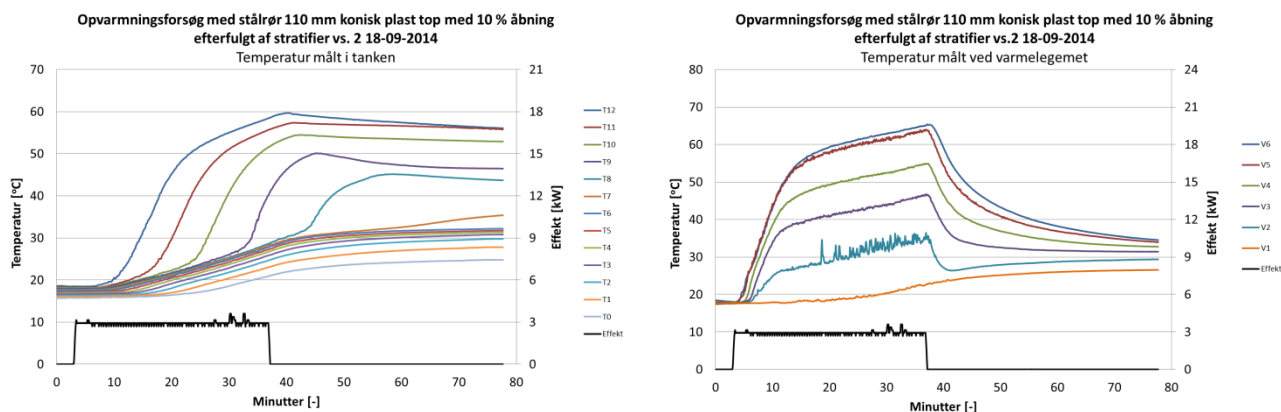
Sammenligningen af temperaturer for de to åbningsarealer er vist på Figur 43. Her ses det at åbningsarealet ikke påvirker lagdelingen i tanken væsentligt.



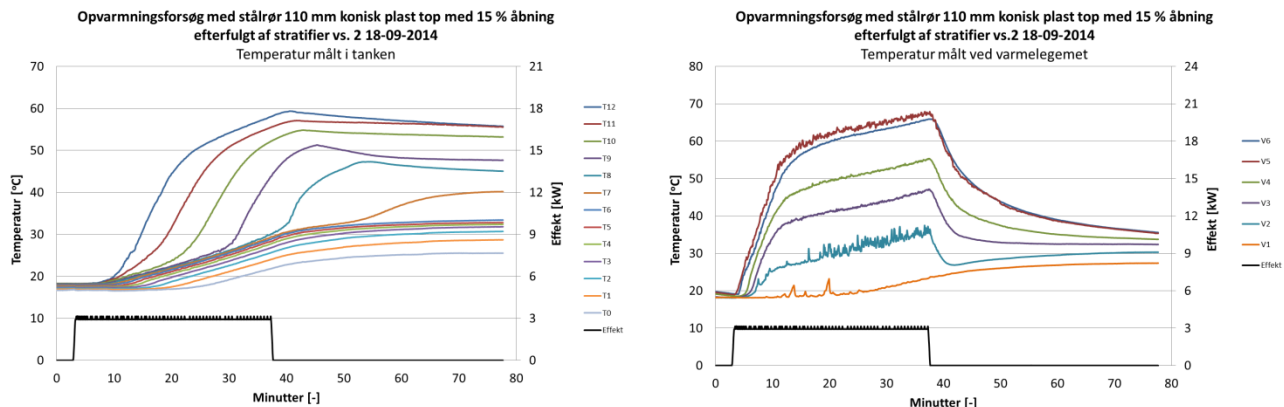
Figur 43 Sammenligning af temperaturer med 110 mm stålør med konisk plasttop med 10 % og 15 % åbning mod stratifier 1.

Stratifier 2

Resultater med stratifierløsning nr. 2 er vist på Figur 44 og Figur 45. Her er opvarmningstiden steget til 37 min og 38 min for hhv. 10 % og 15 % åbningsareal, se Tabel 8. Den øgede opvarmningstid skyldes en reduceret modstand i stratifieren, og dermed højere flow og lavere temperatur.



Figur 44 Temperaturer i tank og ved varmelegemet med 110 mm stålør med konisk plasttop med 10 % åbning efterfulgt af stratifier 2.

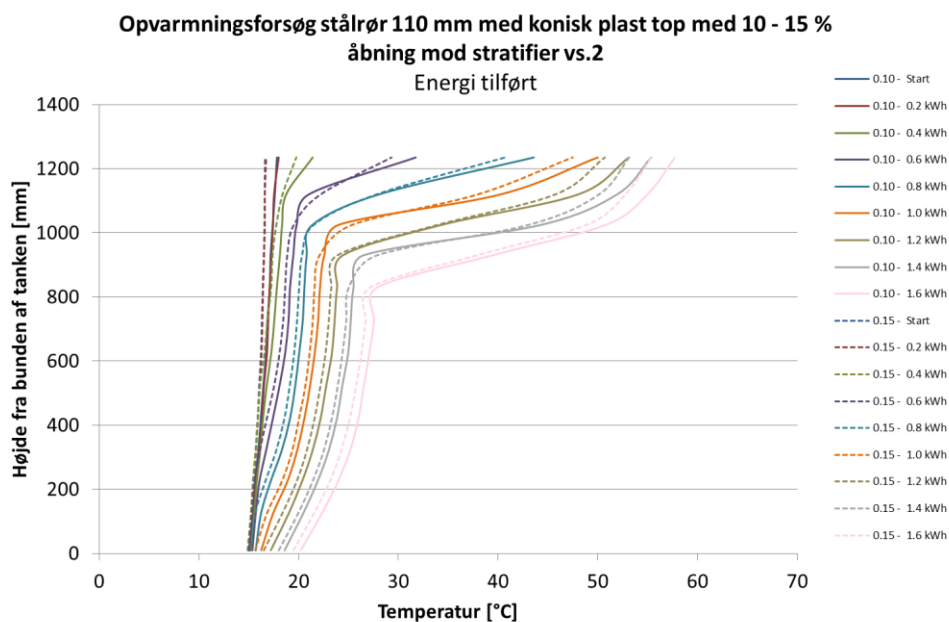


Figur 45 Temperaturer i tank og ved varmelegemet med 110 mm stålør med konisk plasttop med 15 % åbning efterfulgt af stratifier 2.

Tabel 8 Tilført energi og opvarmningstid for 110 mm stålør med konisk plasttop med stratifier 2

Stålør 110 mm		
Åbning efter konisk top mod stratifier 2		
	10 %	15 %
Max. Temperatur V6	65 °C	68 °C
Opvarmningstid	37 min	38 min
Energi	1,6 kWh	1,7 kWh

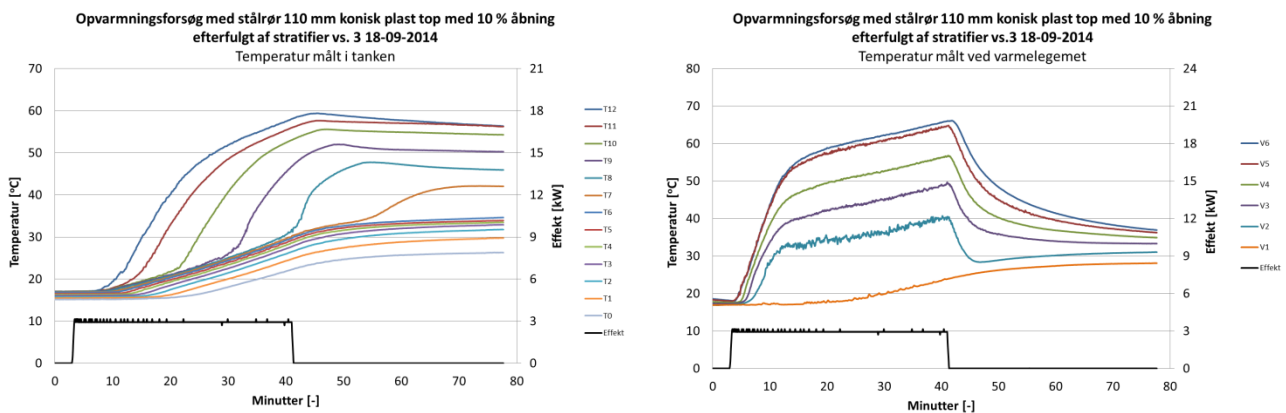
Sammenligningen af temperaturer med 10 % og 15 % åbning er vist på Figur 46. Heller ikke for stratifier 2 påvirker åbningsarealet lagdelingen nævneværdigt, når åbningsarealet er i intervallet 10 % - 15 %.



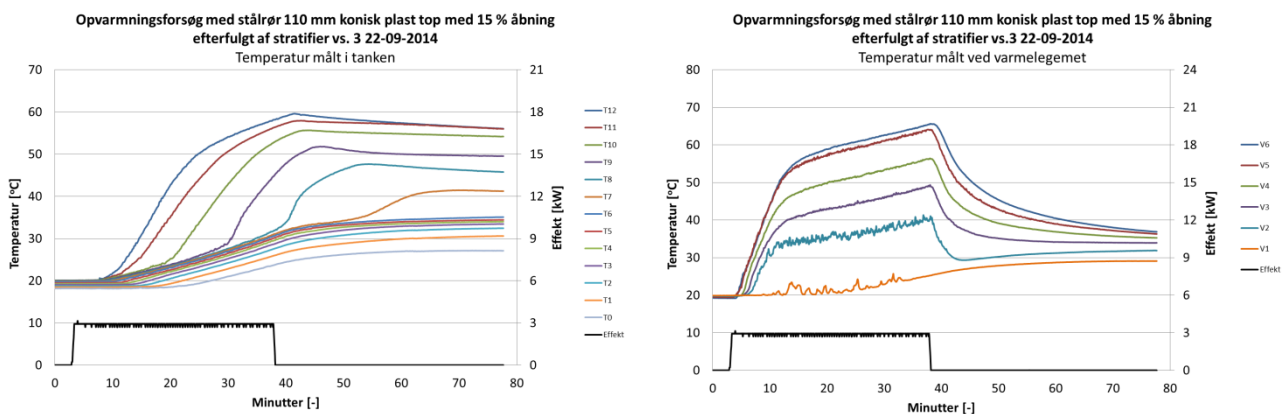
Figur 46 Sammenligning af temperaturer for 110 mm stålør med konisk plasttop med 10 % og 15 % åbning mod stratifier 2.

Stratifier 3

Resultater med stratifierløsning nr. 3 er vist på Figur 47 og Figur 48. Opvarmningstiden er på 41 min og 38 min for hhv. 10 % og 15 % åbningsareal, se Tabel 9.



Figur 47 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm stålør med konisk plasttop med 10 % åbning efterfulgt af stratifier 3.

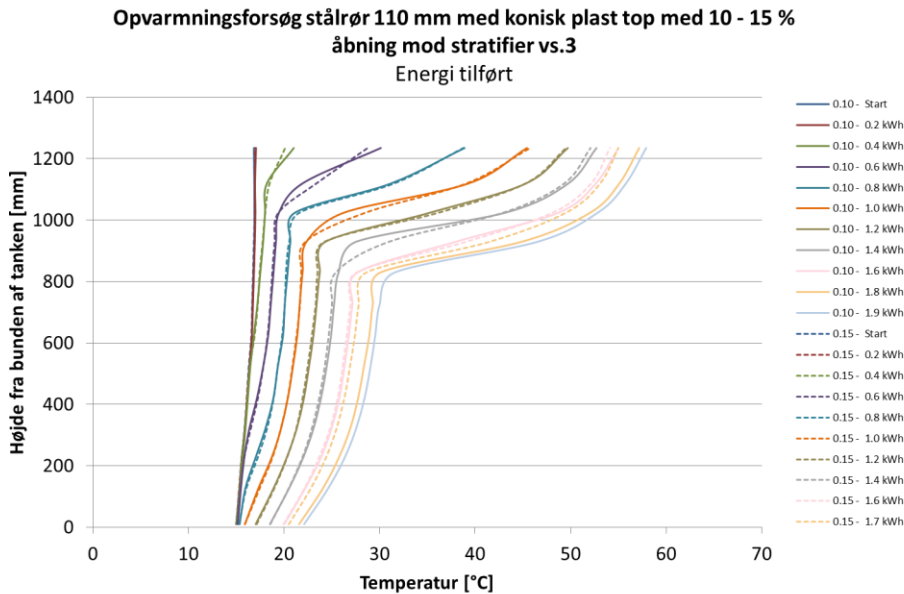


Figur 48 Temperaturer i tank og ved varmelegeme med 110 mm stålør med konisk plasttop med 15 % åbning efterfulgt af stratifier 3.

Tabel 9 Tilført energi og opvarmningstid for 110 mm stålør med konisk plasttop med stratifier 3

Stålør 110 mm		
Åbning efter konisk top mod stratifier 3		
	10 %	15 %
Max. Temperatur V6	66 °C	65 °C
Opvarmningstid	41 min	38 min
Energi	1,9 kWh	1,7 kWh

Sammenligning mellem åbningsarealerne 10 % og 15 % er vist på Figur 49. For et åbningsareal på 10 % er lagdelingen lidt bedre end for åbningsareal på 15 %.



Figur 49 Sammenligning af temperaturer med 110 mm stålør med konisk plasttop med 10 % og 15 % åbning mod stratifier 3.

5. Bestemmelse af optimal effekt for elpatroner

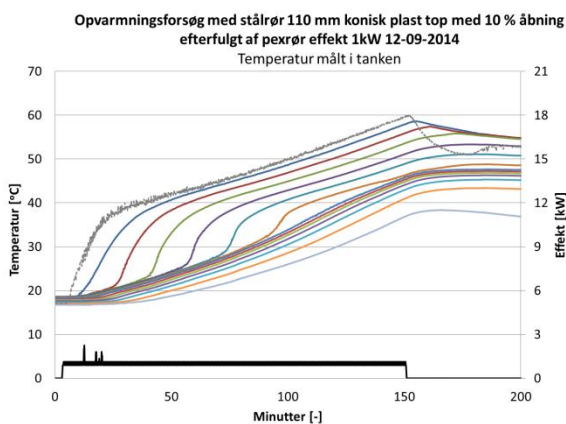
Bundkappe	Overgang	Åbning	Topopløsning
Stål	Konisk plast	10 %	PEX rør

Effekten på varmelegemet varierer her fra 1 kW til 3 kW. Undersøgelsen er udført med 110 mm stålappen med konisk plasttop med 10 % åbning efterfulgt af pexrør.

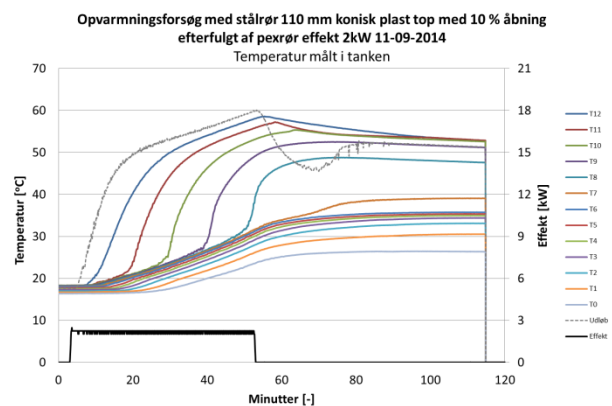
Opvarmningen stoppes når der måles 58 °C i toppen af tanken.

Resultatet er vist på Figur 50, Figur 51 og Figur 52. Her ses det som forventet at opvarmningstiden stiger ved en lavere effekt. Opvarmningstiden er 32 min og 151 min for hhv. 3 kW og 1 kW, se Tabel 10.

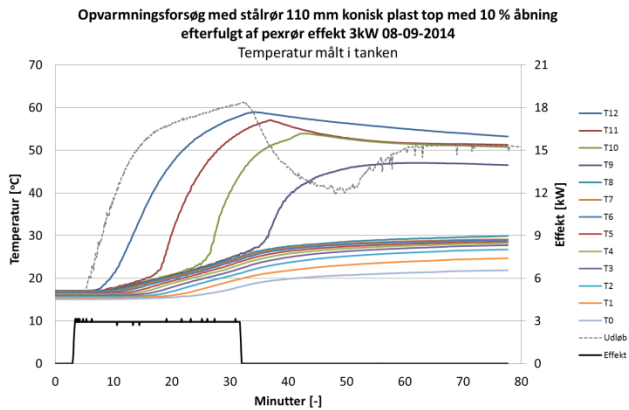
Herudover ses en øget varmtransport vandret gennem stålappen ved en lavere effekt.



Figur 50 Temperaturer i tank med 110 mm stålør og 1 kW effekt.



Figur 51 Temperaturer i tank med 110 mm stålør og 2 kW effekt

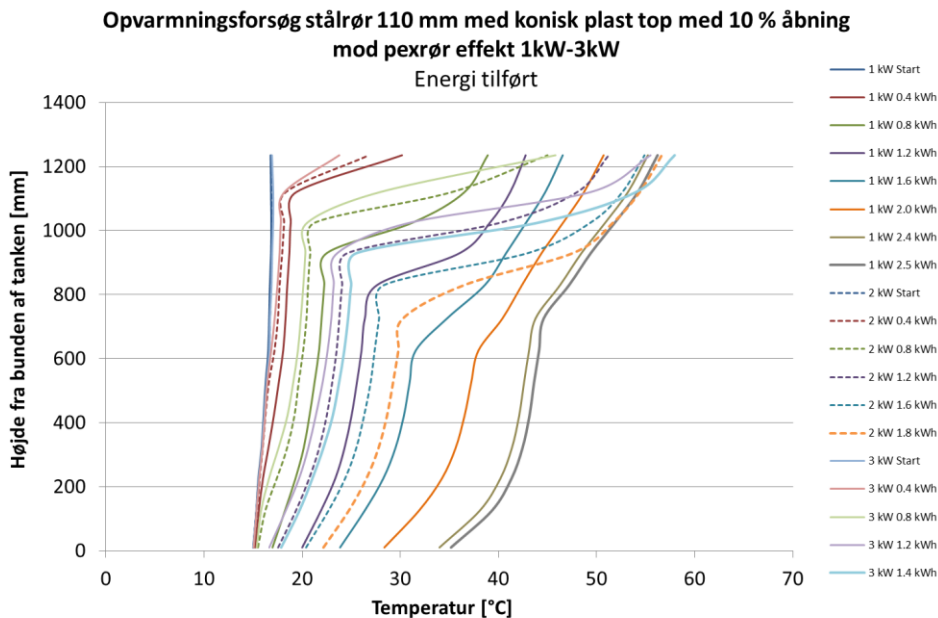


Tabel 10 Tilført energi og opvarmningstid for 110 mm stålrør

	Effekt		
	1 kW	2 kW	3 kW
Opvarmnings- tid	151 min	53 min	32 min
Energi	1,8 kWh	2,5 kWh	1,4 kWh

Figur 52 Temperaturer i tank med 110 mm stålrør og 3 kW effekt.

Sammenligningen af temperaturer med 1 kW til 3 kW ses på Figur 53. Ved en effekt på 1 kW opbygges en ringere lagdeling i tanken sammenlignet med lagdelingen opbygget med 3 kW.



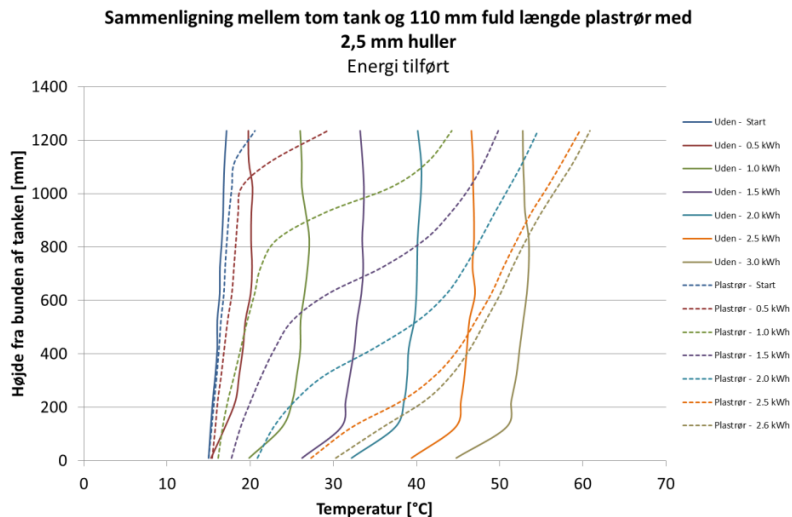
Figur 53 Sammenligning af temperaturer med 110 mm stålrør med konisk plasttop med 10 % åbning mod pexrør med 1 kW, 2 kW og 3 kW.

6. Sammenligning af resultater

I det følgende er resultaterne fra de foregående afsnit sammenlignet med henblik på at få belyst den bedste løsning til de videre tests. Sammenligningerne er baseret på 15 % åbning.

Sammenligning mellem tank uden og med 110 mm plastrør i fuld længde

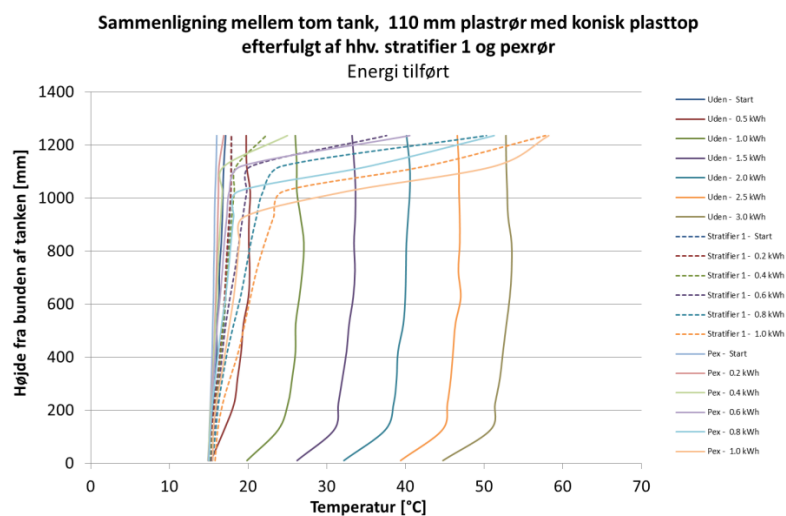
På Figur 54 ses effekten af at indsætte et plastrør der omkranser varmelegemet og løber fra bund til top af tanken. Plastrøret introducerer en lagdeling i tanken på ca. 30 K.



Figur 54 Sammenligning af temperaturer med og uden plastrør omkring varmelegeme.

Sammenligning mellem tank uden og tank med 110 mm plastrør med konisk plasttop med hhv. stratifier og pexrør med 15 % åbning

På Figur 55 ses effekten af 110 mm plastrør med en konisk plasttop med 15 % åbning mod en stratifier og et pexrør sammenlignet med tanken uden en stratifierløsning. Både med stratifier og pexrør opbygges temperaturlagdelingen bedre end med løsningen med plastrør i fuld længde fra bund til top. Både med stratifier og pexrør opbygges lagdelingen i tanken udmærket.

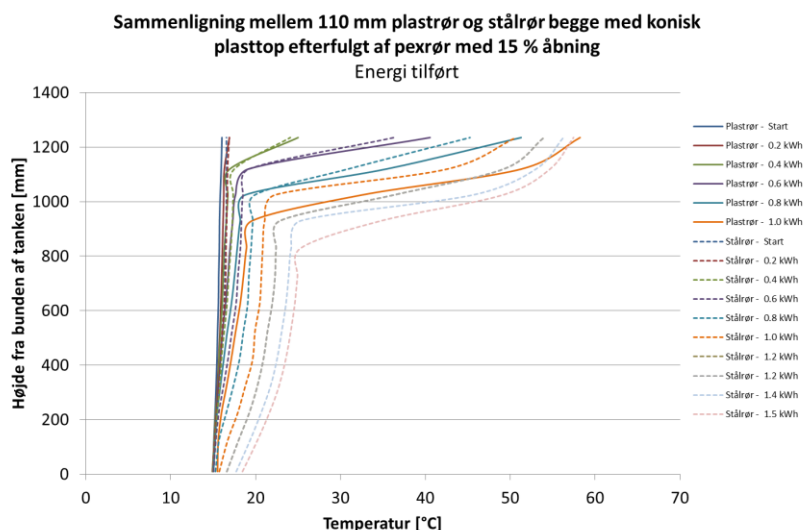


Figur 55 Sammenligning af temperaturer uden og med 110 mm plastrør med konisk plasttop med 15 % åbning mod stratifier og pexrør.

Sammenligning mellem 110 mm stålrør og 110 mm plastrør begge med konisk plasttop efterfulgt af pexrør med 15 % åbning

Figur 56 viser sammenligningen mellem 110 mm stålrør og 110 mm plastrør, begge med konisk plasttop efterfulgt af et pexrør med 15 % åbning.

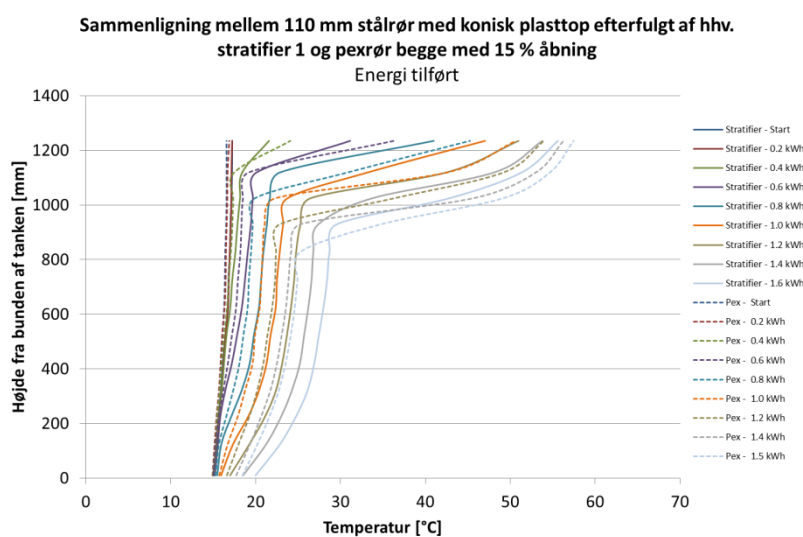
Resultaterne viser at temperaturlagdelingen opbygges noget bedre med plastrøret end med stålrøret. Da stålrøret vurderes som værende bedre egnet til industriel produktion end plastrøret vælges stålrøret som løsning.



Figur 56 Sammenligning af temperaturer med 110 mm stålrør og plastrør med konisk plasttop med 15 % åbning mod pexrør.

Sammenligning mellem 110 mm stålrør med konisk plasttop med hhv. stratifier og pexrør begge med 15 % åbning

Figur 57 viser sammenligning mellem pexrør og stratifier. På figuren er vist temperaturer målt i tanken under opvarmninger med 110 mm stålrør med konisk plasttop med hhv. stratifier og pexrør, begge med 15 % åbning. Der opbygges med begge løsninger en udmærket temperaturlagdeling i tanken.



Figur 57 Sammenligning af temperaturer med 110 mm stålrør med konisk plasttop med 15 % åbning mod pexrør og stratifier.

Forsøgene viste altså at der opbygges en udmærket temperaturlagdeling i tanken med et 110 mm stålrør og et pexrør med 15 % åbning. Forsøgene viste også at der ikke er stor forskel på den temperaturlagdeling, der opbygges med 15 % åbning og 20 % åbning. Forsøgene viste desuden at temperaturerne tæt på elpatronen er noget lavere med en åbning på 20 % end med en åbning på 15 %.

7. Holdbarhedstest af varmtvandsbeholder med stratifier

På baggrund af resultaterne fra de foregående tests, er det besluttet at gennemføre forsøg med METRO THERMs 110 l varmtvandsbeholder med en løsning der består af et 110 mm stålrør med konisk top efterfulgt af et pexrør med en åbning på 20 %.

Stålrøret blev valgt frem for et plastrør da det vurderes at være bedre egnet til industriel produktion.

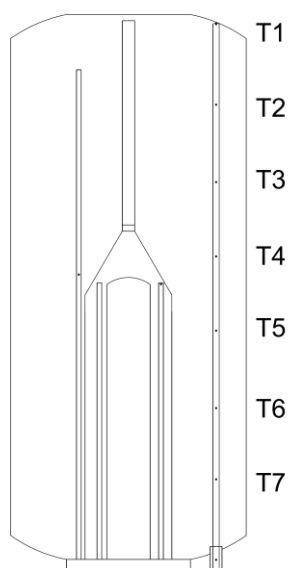
Pexrøret blev valgt da det er en billigere løsning end stratifieren.

Åbningen på 20 % blev valgt fremfor åbningen på 15 % for at opnå et lavere temperaturniveau tæt ved elpatronen.

<i>Bundkappe</i>	<i>Overgang</i>	<i>Åbning</i>	<i>Topløsning</i>
Stål	Stål	20 %	PEX rør

Herudover vælges en styring der kan skifte mellem ca. 3 og ca. 1 kW under opvarmningen.

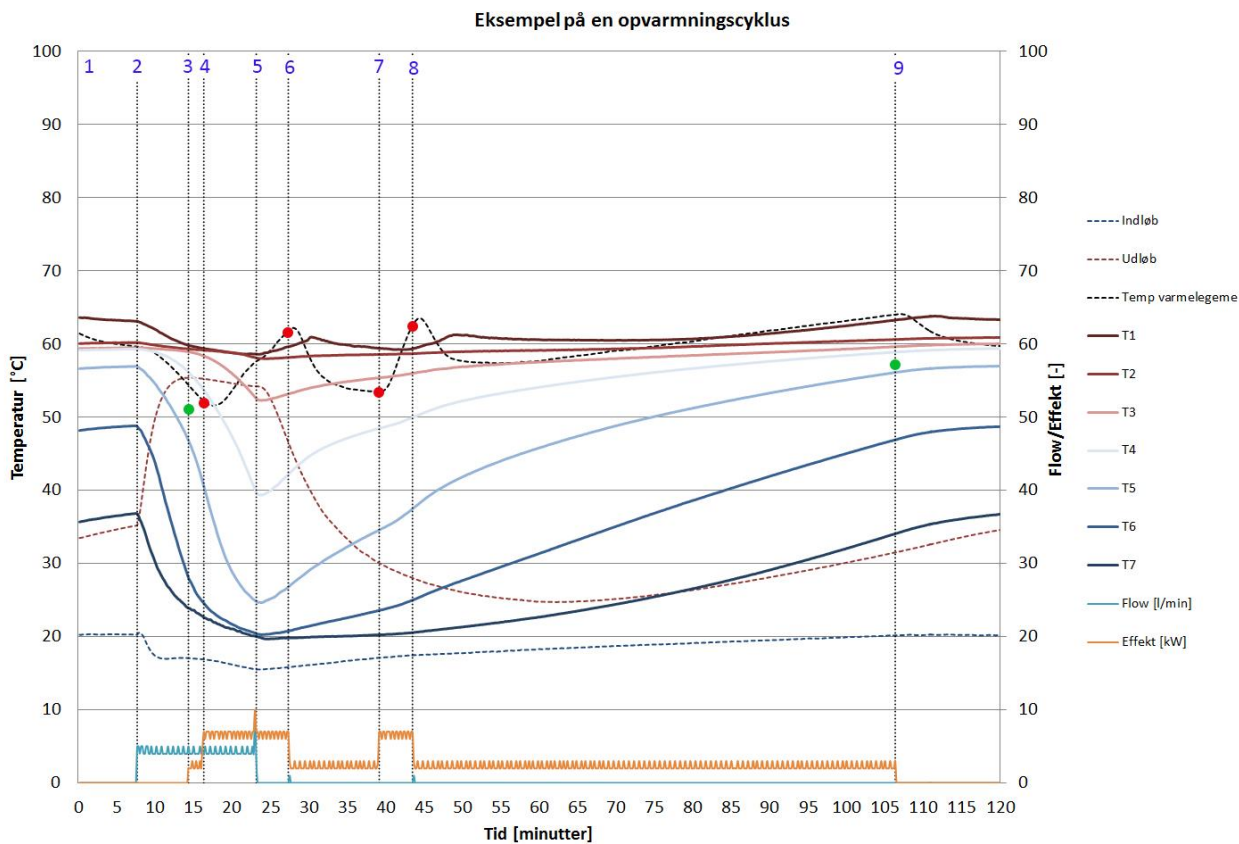
Opvarmningen styres af 2 temperaturfølere, der er placeret hhv. ved varmelegemet top samt mellem T4 og T5, se Figur 58. Den første føler styrer effekten på varmelegemet og skifter mellem 1 kW og 3 kW, den anden føler slukker og tænder for varmelegemet efter behov.



Figur 58 Principskitse af varmtvandsbeholder samt billede af stålkappen med pexrør (midt) og varmtvandsbeholder (til højre).

Der er gennemført holdbarhedsforsøg i DTUs lagerprøvestand, hvor varmtvandsbeholderen først opvarmes, hvorefter der tappes varmt vand fra beholderen. Derefter gentages forsøgscyklussen mange gange indtil forsøget blev afsluttet. Elpatronens energiforbrug, det tappede varmtvandsvolumen og den tappede energimængde måles for alle forsøgscyklusser. Hver forsøgscyklus varer 2 timer med 15 min stilstand i slutningen af hver cyklus. Der tappes i gennemsnit 40 l fra tanken på 15 min. På Figur 59 er vist et eksempel på en forsøgscyklus på 2 timer.

1. Cyklusstart med en fuldt opvarmet tank.
2. Varmtvandstapningen starter (tyrkis kurve)
3. Varmelegemet slår til med 1 kW da temperaturen ved føleren mellem T4 og T5 falder til under 52 °C (markeret med grøn)
4. Varmelegemet skruer effekten op til 3 kW da temperaturen ved føleren ved varmelegemet er faldet til under 52 °C (markeret med rød).
5. Varmtvandstapningen stopper.
6. Varmelegemet skruer effekten ned på 1 kW da temperaturen ved varmelegemet's føler er steget til 62 °C (markeret med rød).
7. Varmelegemet skruer effekten op til 3 kW da temperaturen ved varmelegemet's føler er faldet til under 52 °C (markeret med rød).
8. Varmelegemet skruer effekten ned på 1 kW da temperaturen ved varmelegemet's føler er steget til 62 °C (markeret med rød).
9. Varmelegemet slukker da der måles 57 °C ved føleren mellem T4 og T5 (markeret med grøn).



Figur 59 Målingerne fra en opvarmningscyklus.

Efter 2 timer starter næste varmtvandstapning.

Forsøgene startede den 25/11-2014 og blev afsluttede den 21/1-2015. I alt er der gennemført 668 forsøgscyklus. Det svarer til at der er opvarmet og tappet 28710 l brugsvand. Hårdheden af brugsvandet er placeret i intervallet fra 18 dH til 21 dH. Det vil sige at vandet er hårdt og indeholder store mængder kalk. I Danmark er det kun visse steder i Københavnsområdet at brugsvandet indeholder mere kalk end vandet, der er benyttet i disse forsøg.

Resultater fra holdbarhedstest

Der har desværre været 4 afbrydelser i datalogningen hvor måledata er gået tabt.

Cyklus 58→70

Cyklus 92→94

Cyklus 233→238

Cyklus 403→405

Cyklus 502→530

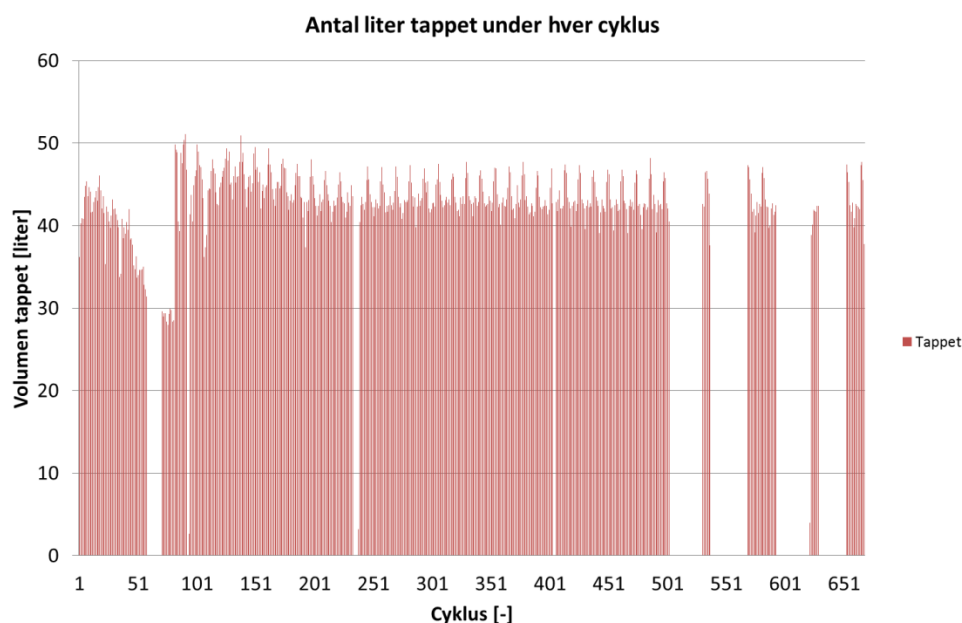
Cyklus 537→568

Cyklus 593→622

Cyklus 629→652

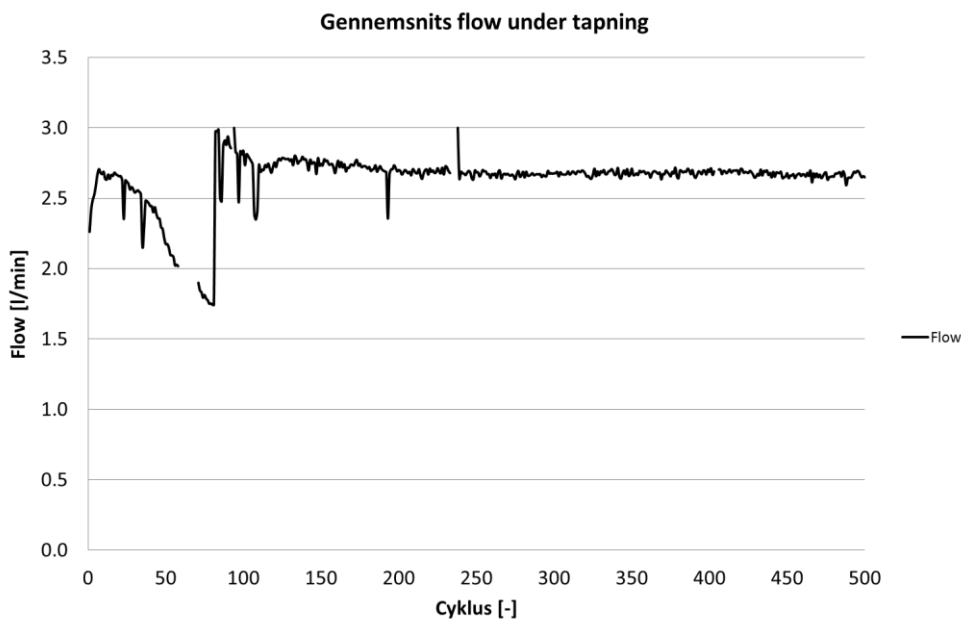
Selve opvarmningen og aftapningen er fortsat, men målingerne fra sensorerne er ikke blevet registeret.

På Figur 60 er vist volumen af varmtvandstapningerne under hver cyklus fra Metro tanken. Efter de første 70 cyklusser er det aftappede volumen faldet til under 30 l, hvorfor indreguleringsventilen blev justeret så aftapningsvolumenerne blev forøget til ca. 40-45 l.



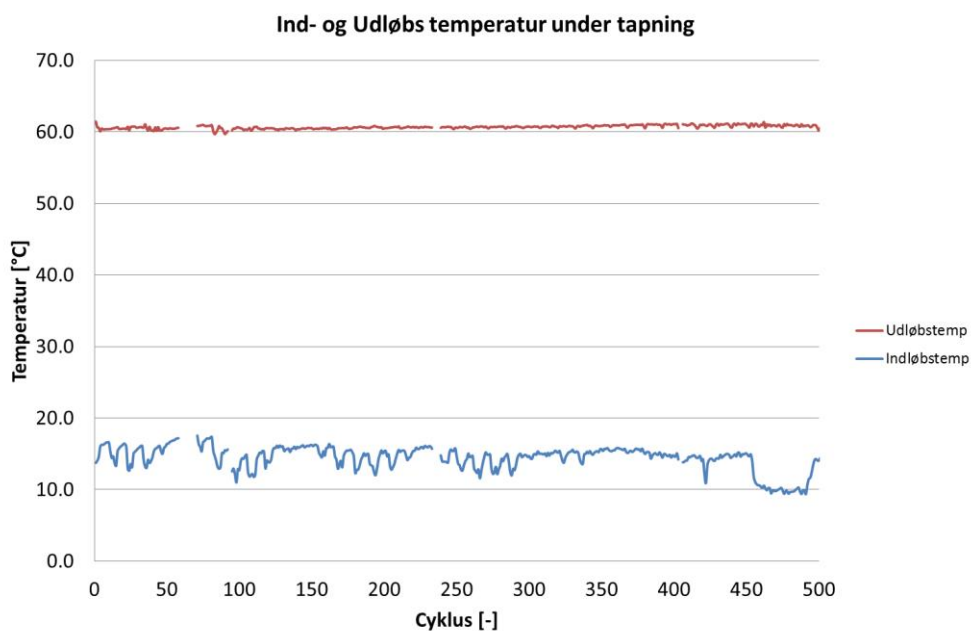
Figur 60 Antal liter aftappet under holdbarhedsforsøgene.

Gennemsnitsflowet under varmtvandstapningerne ses på Figur 61. Her starter flowet på 2,7 l/min men falder ned til 1,8 l/min indenfor de første 70 cyklusser. Herefter reguleres flowet til ca. 2,7 l/min.



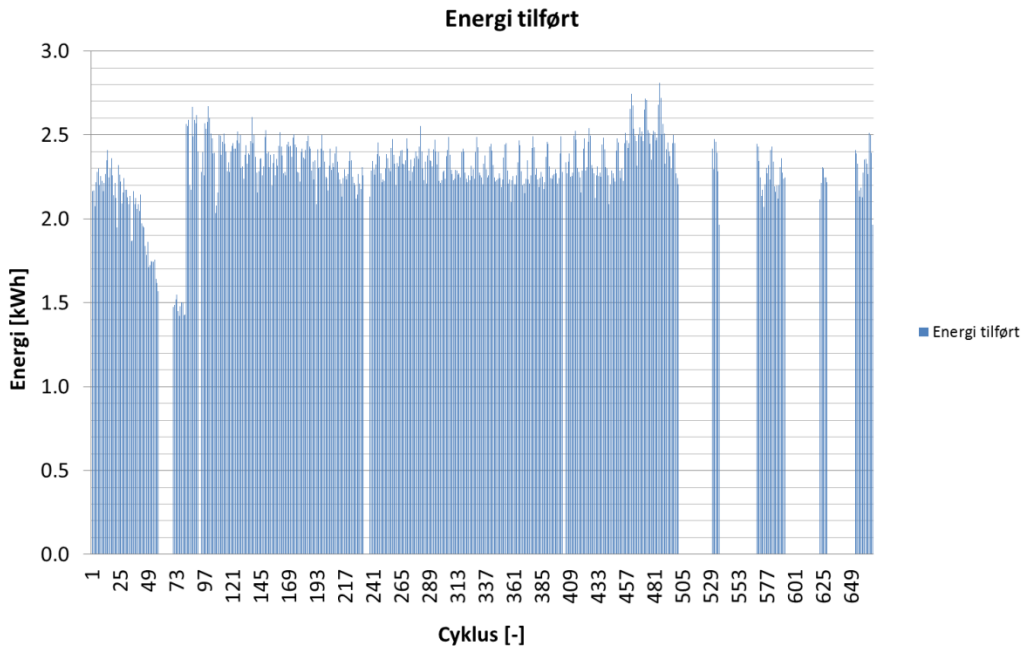
Figur 61 Gennemsnitsflow under aftapningerne i holdbarhedsforsøgene.

På Figur 62 er vist gennemsnitstemperaturerne for koldt vandstilførsel og varmt vandstapning under aftapningerne. Variationen i koldt vandstemperaturen viser forskellen mellem ugedage og weekender, hvor koldt vandstemperaturen er konstant højere. Ligeledes ses juleferien fra cyklus 350 frem til cyklus 450, hvor temperaturen falder efter ferien.



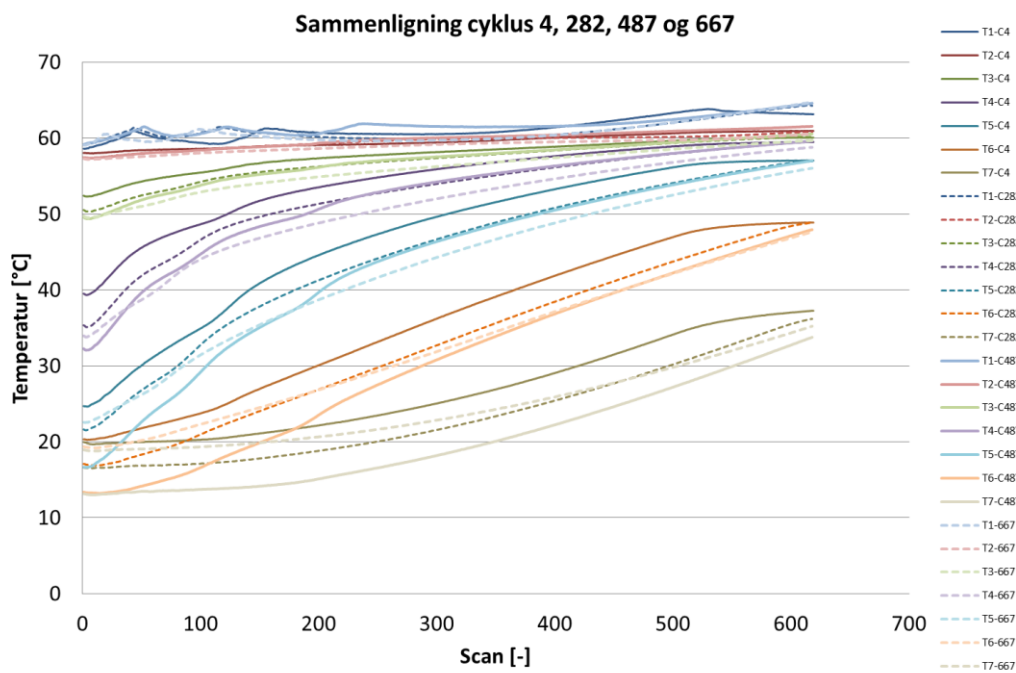
Figur 62 Gennemsnits ind- og udløbstemperatur under aftapningerne i holdbarhedsforsøgene.

Energiforbruget af varmelegemet for hver opvarmning ses på Figur 63, hvor effekten af den faldende varmt vandstapning i starten ses som et lavere energiforbrug. Ligeledes ses et større energiforbrug henimod slutningen hvor koldt vandstemperaturen falder.



Figur 63 Tilført energi til varmelegemet for hver opvarmning i holdbarhedsforsøgene.

På Figur 64 er vist temperaturprofilerne for 4 forskellige cyklusser; 4, 282, 487 og 667. Her ses der ikke væsentlig forskel i opvarmningen under de forskellige cyklusser.



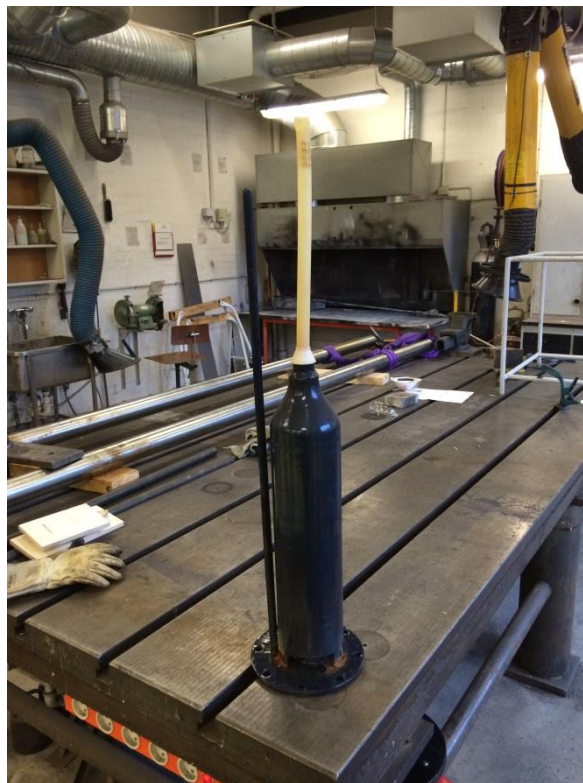
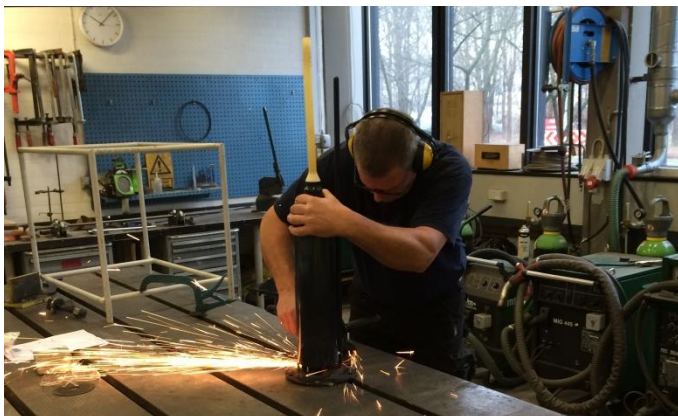
Figur 64 Sammenligning af temperaturmålinger fra cyklus 4, 282. 487 og 667.

Åbning af Metrotank

Forsøgene afsluttedes den 21. januar 2015 og tanken tømtes for vand hvorefter stratifieren tages ud, se Figur 65 til højre.

På ydersiden af kappen og pex røret ses der ikke kalkaflejringer. Der er dannet rust ved svejsningerne mellem kappen og bundpladen.

For at kunne inspicere kalkaflejringerne på varmelegemet og på den indvendige side af kappen skæres kappen fri fra bunden, se Figur 65 til venstre.



Figur 65 Stratifierløsning efter 668 cyklusser. Kappen skæres fri fra bund til inspektion.

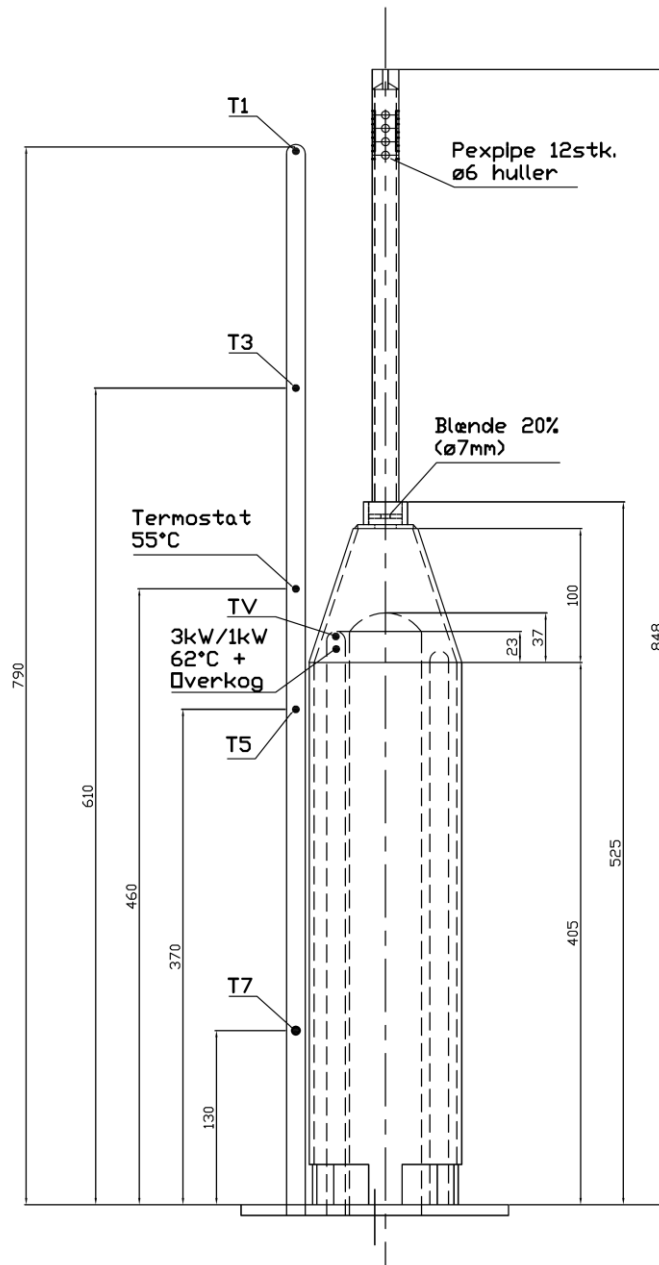
På Figur 66 ses billeder af kalkaflejringerne på varmelegemet efter 668 cyklusser. På kappens indvendige side er der en smule hvidfarvning. I indsnævringen til pexrøret ses der ikke nogen aflejringer, se Figur 66 til højre. Det vurderes at kalkaflejringerne har et så beskedent omfang at stratifierløsningen har en lang levetid.



Figur 66 Kalkaflejringer på varmelegemet samt åbningen til pexrøret.

8. Afprøvning af varmtvandsbeholder med stratifier med standardtappeprofil

METRO THERM's 110 l varmtvandsbeholder blev afprøvet med et standard tappeprofil i henhold til vandnormen DS439 brusebad (uden karbad). Et $\varnothing 114 \times 3,6$ mm stålør er placeret omkring elpatronen. Ovenpå ståløret er placeret en konisk ståltop samt et pexør med 20 % åbning i blænden, se Figur 67.



Figur 67 Standard 100 l vandvarmer med 1 stk. 3 kW 400 V / 1 kW 230 V varmelegeme i center af $\varnothing 114$ mm rør.

Beholderen er forsynet med temperaturfølere, der måler temperaturen i beholderen. Målepunkternes placering T1, T3, T5, T7 er vist på Figur 67 og en driftstermostat sat til 55°C er placeret i følerør uden for $\varnothing 114$ mm rør.

Målepunkt TV, omskifter termostaten mellem 3 kW og 1 kW ved 62°C. En overkogstermostat er placeret i følerøret inden for $\varnothing 114$ mm røret.

Standard tappeprofil iht. DS439 brusebad (uden badekar)

Tabel 11 Tapninger og tappeprogram for varmtvandstapsteder i helårsboliger (enkelte lejligheder, enfamiliehuse o.l.)

	data for tapning		enhed	tapsted			
				badekar	bruser	køkken- vask	hånd- vask
tapninger fra et tapsted	mindste blandet vandstrøm	$q_{b,min}$	l/s	0,21	0,14	0,10	0,056
	passende temperatur (blandet vand)	T_b	°C	40	40	45	40
	forudsat varmtvands- mængde (blandet vand)	V_b	l	125	42	15	10
	tappetid for én tapning		s	600	300	150	180
	tapsteds effektbehov $T_x = 10\text{ °C}$ $T_x = 5\text{ °C}$		kW kW	26,3 30,6	17,6 20,6	14,7 16,8	7,0 8,2
	tapsteds energibehov $T_x = 10\text{ °C}$ $T_x = 5\text{ °C}$		kWh kWh	4,36 5,09	1,47 1,71	0,61 0,70	0,35 0,41
tappeprogram	antal tapninger			2	4	2	4
	tappeinterval = tid mellem start af to tapninger		min	30	20	20	20
	tappeperiode = tid mellem gentagelse af tapninger		h	12	12	3	6

Tabellen anvendes ved dimensionering af vandvarmere, der forsyner enkelte tapsteder, og som grundlag for tappeprogrammer for vandvarmere, der forsyner flere tapsteder i en helårsbolig.

Vandvarmere, der forsyner flere tapsteder i samme helårsbolig, bør have en ydelse, der hver 12. time kan tilfredsstille følgende tappeprogram:

For installation uden badekar

4 brusebade

2 tapninger til køkkenvask

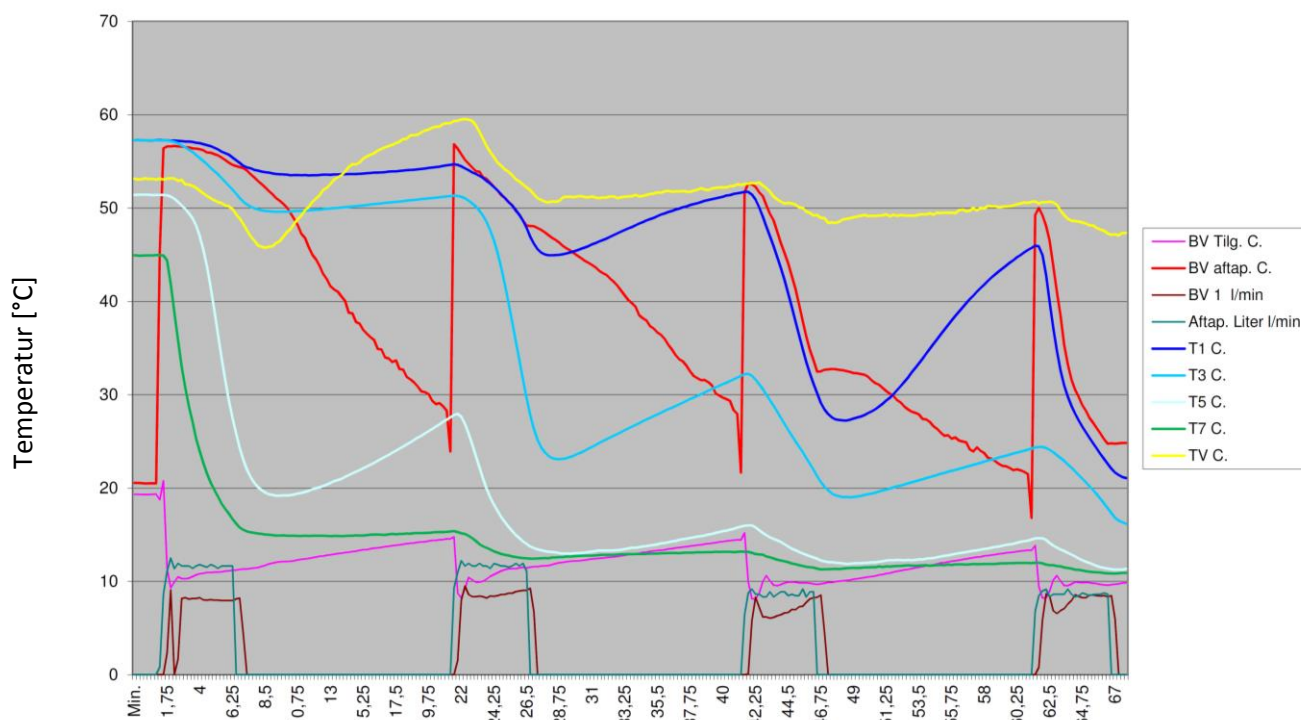
Badene regnes at forgå med de i Tabel 11 angivne tapninger og tappeintervallet mv.

Tapning til køkkenvask regnes at kunne foregå samtidigt med tapning til brusebad med det i Tabel 11 angivne tappeprogram.

Standard tappeprofil for brusebad er således:

4 brusebade (start 0, 20, 40, 60 min) og 2 tapninger køkkenvask (start 0, 20 min), som gentages hver 12. time. Altså et samlet energiforbrug på 7,1 kWh ved 10 °C koldt vand.

Driftstermostat 55 °C placeret 460 mm over bund (fire først tapninger)



Figur 68 Målte beholder temperaturer og flow under tappeforsøg.

Udgangspunktet er en helt opvarmet beholder, med 55 °C ved driftstermostaten 460 mm over bund,

T1 = 58 °C, T3 = 58 °C, T5 = 52 °C, T7 = 44 °C, se Figur 68. Som forventet er T7 væsentligt lavere end hvad der er tilfældet for en "normal" elvandvarmer uden stratifierløsningen. Her ligger T7 normalt omkring 50 °C, grundet den større opblanding af vandet i beholderen under opvarmningen.

Første og anden aftapning (brusebad + køkkenvask) overholder kravet om 45 °C på BV aftapning.

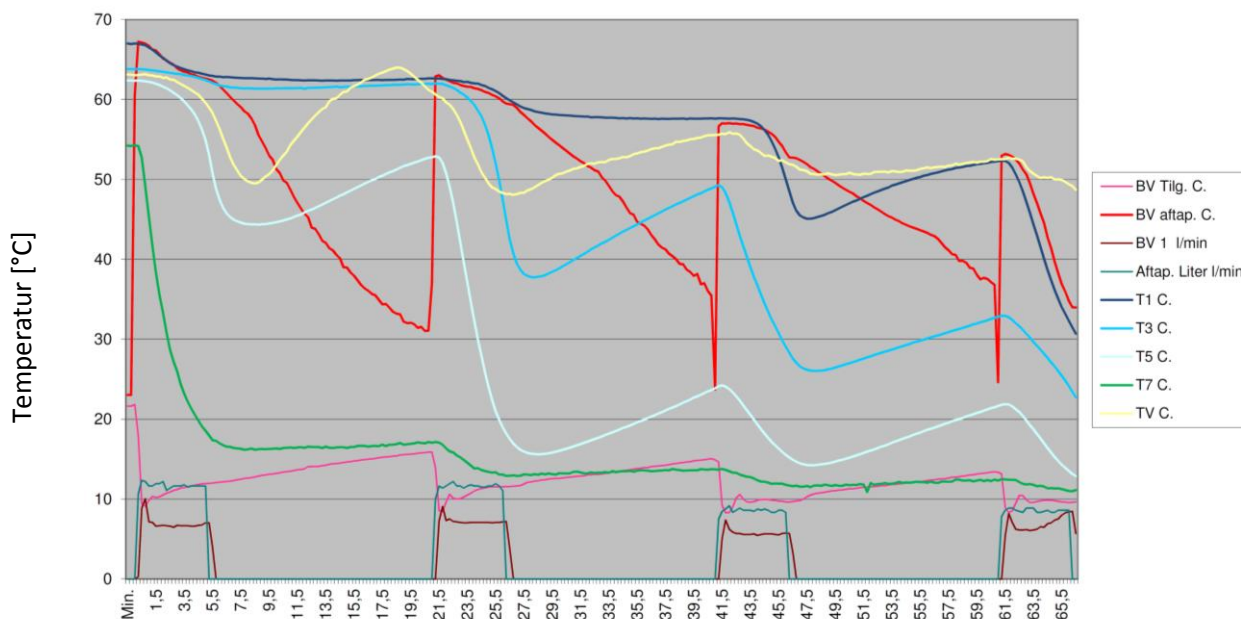
Tredje aftapning (brusebad) overholder ikke kravet om 40 °C på BV aftapning, da 40 °C krydses 70 % inde i tapningen, og der sluttes på 32 °C.

Fjerde aftapning (brusebad) overholder ikke kravet om 40 °C på BV aftapning, da 40 °C krydses 30% inde i tapningen, og der sluttes på 25 °C.

Under hele denne første times aftapning holder TV sig under 62 °C og varmelegemet kører således med 3 kW – 400 V.

Grunden til at aftapningskravet ikke kan overholdes, skyldes den bedre temperaturlagdeling som stratifierløsningen giver under opvarmning af beholderen. Og dermed en lavere bundtemperatur og mindre oplagret energi.

Driftstermostat 55 °C placeret 250 mm over bund (fire først tapninger)



Figur 69 Målte beholder temperaturer og flow under tappeforsøg.

Udgangspunktet er en helt opvarmet beholder, med 55 °C ved driftstermostaten 250 mm over bund,

T1 = 67 °C, T3 = 64 °C, T5 = 62 °C, T7 = 53 °C, se Figur 69. T7 er nu fint nok oppe på det normale temperaturniveau. T1 må ikke blive højere da DS439 også har et krav om max 65 °C p.g.a. skoldningsfare.

Første og anden aftapning (brusebad + køkkenvask) overholder kravet om 45 °C på BV aftapning.

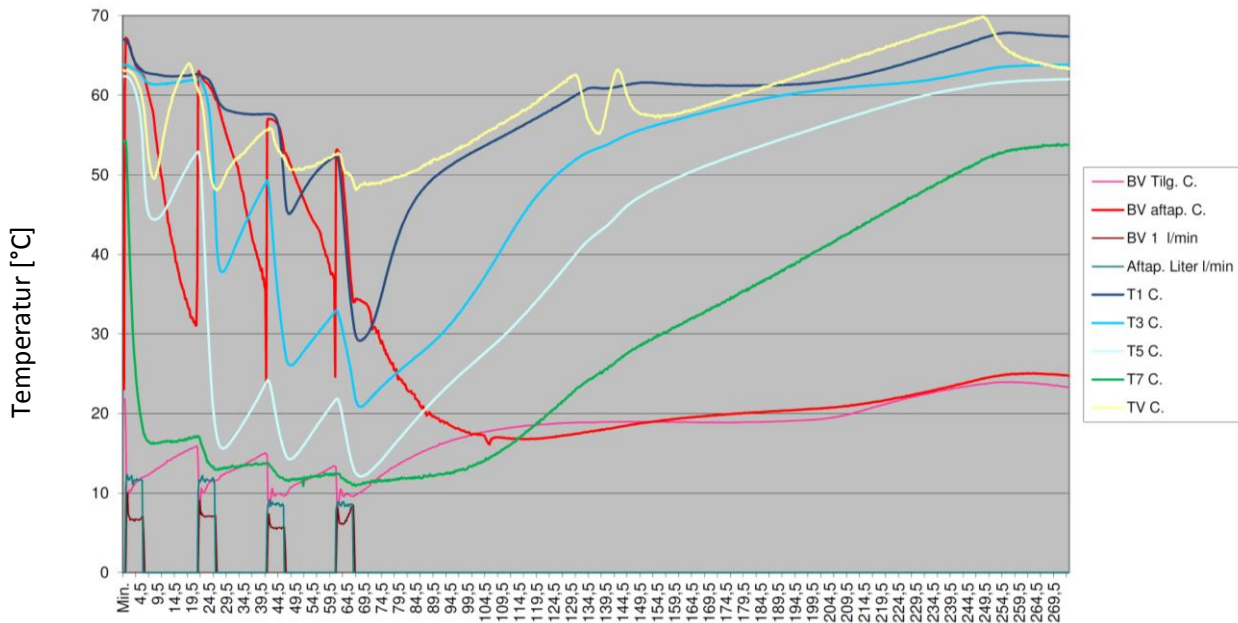
Tredje aftapning (brusebad) overholder kravet om 40 °C på BV aftapning.

Fjerde aftapning (brusebad) overholder ikke helt kravet om 40 °C på BV aftapning, da 40 °C krydses 75 % inde i tapningen, og der sluttes på 35 °C.

Det vurderes at dette dog ligger så tæt på tappekraevet, at dette godt kan opnås ved den endelige finjustering af driftstermostatens placering, og set-temperatur.

Da TV kommer over 62 °C efter 18 minutter skiftes der fra 3 kW-400 V ned til 1 kW-230 V, og ved 56 °C efter 24 minutter tilbage igen til fuld effekt.

Driftstermostat 55 °C placeret 250 mm over bund (fire først tapninger + genopvarmning af beholderen)



Figur 70 Målte beholder temperaturer og flow under tappeforsøg.

De fire første aftapninger på Figur 70 er identiske med temperaturerne i Figur 68 og Figur 69, altså fra tid = 0 til 65 minutter.

Fra 65. minut og frem er der således ikke flere aftapninger af brugsvand, men ren genopvarmning af beholderen.

Der køres med 3 kW-400 V frem til 130. minut, hvor TV kommer over 62 °C. Her skiftes der så ned til 1 kW-230 V som anvendes frem til 137. minut, hvor TV kommer ned på 56 °C. Der skiftes derfor tilbage til 3 kW-400 V som anvendes frem til 142. minut, hvor TV igen kommer over 62 °C. Her skiftes så igen ned på 1 kW-230 V som anvendes frem til slutningen af opvarmningen ved 250. minut.

Selv om der fra 142. minut køres med ren 1 kW-230 V, stiger TV dog fortsat helt op til 70 °C ved slutningen af opvarmning = 250. minut, altså hvor der igen er 55 °C ved driftstermostaten 250 mm over bunden.

De øvrige temperaturer stiger fortsat en smule og har max ved 254. minut: T1 = 68 °C, T3 = 64 °C, T5 = 62 °C, T7 = 53 °C, altså som ved start af aftapningen med fuldt opvarmet beholder.

T1 må som tidligere nævnt ikke blive højere, da DS439 har et krav om max 65 °C p.g.a. skoldningsfare. Ligeledes må de 70 °C ved TV også betragtes som et maksimum, da kalkudfældningen omkring varmelegemet ellers vil øges for meget. Placeringen af driftstermostaten 250 mm over bunden skal derfor ikke længere ned.

Selv om der anvendes en effekt på 1 kW-230 V i ca. 48 % af opvarmningstiden, er beholderen allerede fuldt genopvarmet efter 250. minutter. Altså langt hurtigere end nødvendigt, hvor de fire aftapninger igen skal begynde i 720. minut.

Det skønnes dog ikke at omskiftningstidspunktet fra 3 kW-400 V til 1 kW-230 V, ved $T_V = 62\text{ °C}$ bør sænkes yderligere. Dette vil ikke sænke T_V som til slut kommer op på de 70 °C , men bare give en længere opvarmningstid.

Det samlede energiforbrug under de fire aftapninger samt genopvarmning af beholderen, fra tid = 0 til 250. minut, er målt til 7,6 kWh.

9. Perspektivering

Energibesparelser ved akkumulering

Det ønskes at finde de økonomiske fordele, der kan opnås i et smart-grid system med en stratifier-løsning for forskellige varme- og brugsvands-behov ved forskellige elpriser.

For at finde disse, laves først beregninger for traditionelle løsninger og med dette som udgangspunkt, ses på besparelser ved stratifier- løsninger ved forskellige elværkspriser og afgifter.

De samlede el afgifter er ca. 6 gange højere end produktionsprisen, så hvis afgifts- provenuet i kr/øre skal være uforandret, vil differentierede energipriser, akkumulering og stratifier-løsninger kun give mindre besparelser for forbrugeren.

Der vil for den enkelte bruger være besparelser at hente ved akkumulering, hvis der er asymmetrier i afgifterne.

Der kan være besparelser i varmetabet fra en beholder, hvis en mindre del af beholderen holdes opvarmet, svarende til den energimængde der skal oplagres.

Ligeledes vil en stratifier kunne udnytte en kortvarig lavere elpris til at producere varmt vand ved en højere og dermed brugbar temperatur.

Forudsætninger

For at gennemføre energibesparelser ved at udnytte en tids differentieret el takst, skal nogle forskellige punkter være opfyldt:

1. Energileverandøren skal kunne levere målere, der kan registrere energiforbrug opgjort på timebasis.
2. Der skal findes et smart-grid system, der kan styre de enkelte energi-producerende eller forbrugende genstande.
3. Der skal være en på forhånd kendt tids-differentieret energitakst.
4. Der bør være en energiakkumulator som kan forskyde energi-opsamling og forbrug.
5. De opnåede besparelser bygger på at der er et forbrug af en rimelig størrelse.

Der skal være et samspil mellem disse 5 punkter, for at det er økonomisk rentabelt for forbrugeren at lave en investering i et smart-grid system, og der må ikke være brugsulemper.

Da energiprisen indeholder en del afgifter, vil der sikkert være et politisk ønske om at kunne opnå de samme afgifter på årsbasis, - før og efter indførelsen af en differentieret time takst.

Der har flere gange været sat tider på indførelsen af en differentieret el takst, men i dag virker det ikke, som om den politiske interesse er stor.

Ønsket fra myndigheder og energi-leverandørers side, om at indføre differentieringen, begrundes med en begrænsning af den maksimale installerede kraft værks effekt. En begrænsning udskyder kraftværks udbygningen, hvorved driften og dermed miljøet forbedres. Det maximale effektbehov skal dog altid kunne dækkes.

På tilsvarende måde vil behovet for en udbygning af distributionsnettet begrænses, når spidsbelastningerne reduceres.

Grundlag

De steder hvor systemerne skal bruges, er i almindelige en familie boliger. Disse er kendetegnet ved at have et årligt elforbrug på 4.000 kWh til husholdningsapparater og IT og er der tale om brugsvand, vil dette typisk udgøre yderligere 3.500 kWh pr. år.

Får boligen installeret en varmepumpe stiger elforbruget med 6.000 kWh (idet boligens energiforbrug sættes til 14.600 kWh pr. år), og bliver der købt en el-bil, stiger forbruger typisk med yderligere 3.500 kWh.

1. Ca. halvdelen af alle husstande i Danmark har i dag installeret digitale målere, der er i stand til at registrere energiforbrug på timebasis.
2. Flere firmaer (bl. a. Greenwave Reality) kan levere systemer, der er i stand til at modtage signaler om time-priser og ud fra det stoppe og starte husholdnings apparater i afhængighed af energiprisen. Systemet kan også registrere en energiproduktion og sammenholde den med forbruget.
3. 12 timer før start af et døgn, vil energiprisen pr. time for døgnet blive fastlagt. Det skal derfor være muligt at modtage denne energi-pris og lade den indgå i vurderingen af energi producerende og forbrugende genstande.
4. En energi akkumulering kan forskyde tidspunktet mellem varmekonsum og opsamling. Det er typisk en beholder der el-oplades med en billig energipris og forbruges når prisen er høj.
5. Det er svært at forestille sig, at et større energiforbrug vil belønnes med lavere energifgifter på marginalforbruget, eller at der vil være væsentlige produktions-fordele.

Der skelnes mellem brugsvand og boligopvarmning.

Ved akkumulering kan beholderen toplades, sådan at selv korte perioder med alternativ energi eller en lavere el-takst, kan udnyttes.

En typisk families brugsvandsbehov vil typisk være 10 kWh pr. døgn. Oplagres det i en 200 l beholder, vil en opvarmning fra 10 til 60° C, kræve 11,6 kWh. Energien i en fuldt opladet beholder vil altså dække et døgns forbrug.

Brugsvandsbehovet varierer ikke væsentligt gennem året.

Beløb er beregnet med en afgiftsfaktor x på 6,667.

Det skraverede felt er den mest attraktive løsning, hvor der er behov for en stratifier.

Boligopvarmningen i et gennemsnits hus vil som års-gennemsnit have et døgnforbrug der er ca. 40 kWh. Her vil 2 stk. 300 l beholdere opvarmet fra 30 – 60° C (10,5 kWh) og 1 stk. 300 l beholder opvarmet fra 30 – 90° C (21 kWh) indeholde 42 kWh.

Ønsket er, at lade de 2 stk. 300 l beholdere opvarme af en varmepumpe eller solpaneler og lade den sidste beholder opvarme af el.

Beregninger

Der er lavet en række beregninger:

Hovedopdelingen er situationer hvor brugsvand og boligopvarmningen sker

uden akkumulering (U)

akkumuleres i mindre grad hen over hele døgnet (D) og

akkumuleres kun om natten (N).

For hver af disse situationer er der beregninger hvor:

produktionsprisen er fast og afgiften er fast

produktionsprisen er variabel og afgiften er fast og

Produktionsprisen er variabel og afgiften er variabel med faktoren

x mere end produktionsprisen

Energiprisen fra leverandører ligger på mellem 30 og 40 øre pr. kWh., og den samlede elpris varierer mellem 2,25 og 2,45 kr.¹ Dette betyder at afgiften kan beregnes som en afgift på 2,00 kr/kWh og den faste elværkspris kan være 35 øre.

Der er endnu ikke eksempler på time differentierede energipriser, hvorfor disse er vurderet.

Beregninger på en bolig opvarmet med varmepumpe/akkumulering og el vandvarmer/ akkumulering er udeladt, da de vil være proportionale med disse beregninger.

Der optræder større og mindre forbrug gennem året, ligesom priser på energien varierer gennem året.

Uden akkumulering U

En el opvarmet bolig kan med et 40 (39,6) kWh gennemsnitligt døgn energiforbrug, forventes uden akkumulering at have et sinusformet forbrug med et natforbrug på 2 gange dags max forbruget.

Brugsvandet leveres af en gennemstrømningsvandvarmer.

Døgn akkumulering D

Der anvendes samme energimængde som for en bolig uden akkumulering, og energitilførslen sker hen over hele døgnet. Det samme gælder brugsvandet. Dette kræver forrådsbeholdere af en vis størrelse.

Nat akkumulering N

Der anvendes samme energimængde som for en bolig uden akkumulering, og energitilførslen sker hen over hele døgnet. Det samme gælder brugsvandet. Energiakkumulatorer som kan rumme et døgn energiforbrug skal anvendes.

Forbrugerpriser

Med de energimængder og tider der er anført - med og uden akkumulering, beregnes forbrugerpriserne for faste og variable produktionspriser og afgifter.

1

<http://www.elpristavlen.dk/Elpristavlen/Soegeresultat.aspx?kwh=4000&postnr=2830&netcompany=DONGnet&customer-group=private&ratetype=FlatRate>

Besparelserne er dem der fremkommer ved den lavere elværks produktionspris og vil i dette regneeksempel være 1 – 16 kr. i døgnet.

Elværk produktionsomkostninger

Det forudsættes, at elværkernes produktionspriser kan variere med +/- 10 % gennem døgnet i afhængighed af produktion, belastning, alternativ energi og import.

Med de energimængder og tider der er anført - med og uden akkumulering, beregnes elværksprisen for en fast og variabel produktionspris.

Den lavere elværkspris er på 1 – 2 kr. i døgnet og skal være den besparelse som værkerne får, ved at den maksimale effekt begrænses og udbygningen forsinkes.

Afgifter

Afgiften kan være fast eller variere. Når den varierer, er det med en faktor x , som kan sættes vilkårligt i forhold til elværk produktionsprisen.

Med de energimængder og tider der er anført - med og uden akkumulering, beregnes afgiften for en fast og variabel produktionspris.

Ved målsøgning på afgift faktoren x , er den totale døgns energi afgift fundet til 99,20 kr.

Det giver forbrugeren en besparelse på 7,30 – 16,10 kr. pr. døgns ved at indføre akkumulering.

Stratifier løsning

Set i forhold til en almindelig beholder løsning, vil stratifier løsningen hen over døgnet have det samme energi behov som andre systemer.

Laves der energi akkumulering, vil beholderen være opvarmet en stor del af døgnet, varierende fra 0 til 100 % af beholdernes kapacitet. I forhold til en almindelig vandvarmer vil ændringen være et 50 % reduceret varmetab fra beholderen.

Med en mere detaljeret varmetabsberegning og tappe cyklus, er det muligt at finde den eksakte værdi af det reducerede varmetab. Ud fra resultaterne på brugsvand af den intelligente ECO-design styring er det set, at det vil kunne indbringe en ca. 10 % energi besparelse. Da der her er tale om en halvt opvarmet beholder, vil besparelsen sikkert kun være det halve eller 5 %.

Denne besparelse vil kunne indregnes som et mindre døgns-energiforbrug for både bolig og brugsvand.

Konklusion

Set som en energioplagringsenhed vil alle forhold i besparelser og omlægninger være afhængige af den afgiftspolitik som findes. Hvis det forventes, at det samlede afgifts-provenu skal være uændret, vil der kun opnås mindre besparelser.

Med en afgiftsfaktor på 6,67 opnås afgifts beløbet 99,20 kr. ved variable priser og fuld akkumulering.

Den enkelte forbruger vil kunne opnå fordele, hvis energipriserne får forskellige faste afgiftssatser hen over døgnet.

Brugsvandsbeholdere med differentieret timetakst

Ud fra de tidligere beregninger af energiomkostninger for en bolig, er brugsvandet her behandlet separat.

De tidligere beregninger er suppleret med en timetakst afhængig pris.

En typisk families brugsvandsbehov vil typisk være 10 kWh pr. døgn. Oplagres det i en 200 l beholder, vil en opvarmning fra 10 til 60° C, kræve 11,6 kWh. Energien i en fuldt opladet beholder vil altså dække et døgn forbrug.

Brugsvandsbehovet varierer ikke væsentligt gennem året.

Beregninger

Der er lavet en række beregninger:

Hovedopdelingen er situationer hvor brugsvandsopvarmningen sker

Uden akkumulering (U)

Akkumuleres i mindre grad hen over hele døgn (D) og

Akkumuleres kun om natten (N).

For hver af disse situationer er der lavet beregninger hvor:

Produktionsprisen er fast og afgiften er fast

Produktionsprisen er variabel og afgiften er fast

Produktionsprisen er variabel og afgiften er variabel med faktoren

x mere end produktionsprisen

Den samlede energipris er fast, men overlejreres med en time differentieret takst

y som ændrer nat/dag taksten

Energiprisen fra leverandører ligger på mellem 30 og 40 øre pr. kWh., og den samlede elpris er 2,35 kr. Dette betyder at afgiften, kan beregnes som en afgift på 2,00 kr/kWh og den faste elværkspris kan være 35 øre.

Ved akkumulering kan beholderen toplades, sådan at selv korte perioder med alternativ energi eller en lavere el-takst, kan udnyttes.

Teknik		Akkumulering		
		Uden 0 % Gennemstr.	Døgn 50 % Udjævning	Nat 100 % 5 timer
Priser	Fast/Fast Total kr.	23,50	23,50	23,50
	Vari/Fast Total kr.	23,60	23,50	23,00
	Vari/Vari Total kr.	27,60	26,83	23,00
	Priskurve Total kr.	23,20	23,50	12,00

Beløb er beregnet med en afgiftsfaktor x på 6,667 og en nat/dag priskurve y med faktor 1,00

Uden akkumulering U

El opvarmet brugsvand, kan med et 10 (11,6) kWh gennemsnitligt døgn energiforbrug, forbruge energien medens der sker en tapning.

Døgn akkumulering D

Der anvendes samme energimængde som uden akkumulering, og energitilførslen sker over en længere periode medens vandet opvarmes.

Dette kræver forrådsbeholdere af en vis størrelse. Med de anførte tapninger vil en 110 ltr. vandvarmer kunne klare forsyningen.

Nat akkumulering N

Der anvendes samme energimængde som for en vandvarmer uden akkumulering, og energitilførslen sker kun om natten.

Vandvarmeren skal kunne rumme et døgn energiforbrug og her være på 200 l.

Priser

Det er meget afgørende hvordan timetaksten ser ud, og om tapninger eller energiforbruget ligger i en billig eller dyr periode.

Med den her skitserede timetakst bliver nat akkumuleringen ca. halv så dyr som de to andre priser.

Det er denne forskel som skal være med til at betale prisen for en større beholder.

Timetakster

De skitserede differentierede timetakster er lavet som et gennemsnit på 2,35 kr./kWh og har en lige stor del af taksten over de 2,35 som under de 2,35 kr/kWh.

Konklusion

Som nævnt har døgnkurven og tidspunkterne for forbruget stor betydning for den samlede pris og det vil derfor være svært at finde et endegyldigt svar.

Døgnbesparelsen er dog i størrelsesordenen 10 – 12 kr. Det er derfor sandsynligt, at investering i en 200 ltr. beholder vil være en god løsning. På den måde vil det være muligt at styre opladningen, til tidspunkter hvor prisen er lav.

10. Konklusioner og anbefalinger

Undersøgelser klarlagde hvorledes temperaturlagdeling opbygges under opvarmningsperioder i varmtvandsbeholdere med en lodretplaceret elpatron, som er indsat i bunden af beholderen. Forskelligt udformede stratifierløsninger blev undersøgt.

Laboratorieforsøg viste at en stratifierløsning, som består af et 110 mm stålrør med konisk top efterfulgt af et pexrør med en åbning på 20 %, er en udmærket løsning, som opbygger temperaturlagdelingen på en god måde. Erstattes pexrøret med en stratifier bestående af plastfolie med en 25 % åbning fås også en udmærket løsning. Pexrøret blev i projektet valgt da det er en billigere løsning end stratifieren af plastfolie.

Den valgte stratifierløsning tillader samtidig at størstedelen af beholderen kan opvarmes til mindst 55 °C. Det vurderes at der er tale om en solid løsning med en lang levetid uden kalkproblemer af betydning.

Den udviklede stratifierløsning vil især blive attraktiv når variable elafgifter er indført. Princippet for stratifieren kan både anvendes til brugsvandsbeholdere og til lagertanke, som kan benyttes til at supplere bygninger med varme og varmt brugsvand. Brugsvandsbeholdere og lagertanken med den udviklede stratifierløsning kan bidrage til at lette overgangen til fremtidens energisystem baseret på vedvarende energi. I den forbindelse bør det bemærkes at brugsvandsopvarmning i fremtiden vil være endnu vigtigere end i dag, da bygningers varmebehov vil blive reduceret.

Stratifierløsningen er i projektet undersøgt i en forsøgsbeholder med en højde på 1200 mm og i en 110 l varmtvandsbeholder, som er METRO THERM's mest udbredte varmtvandsbeholder. Beholderen inklusive stratifierløsning er velegnet til forbrugere med daglige varmtvandsforbrug op til ca. 100 l.

Stratifierløsningen kan forbedres på en række punkter og tilpasses varmtvandsbeholdere og varmelagre af forskellige størrelser. Det vil for eksempel være interessant at undersøge hvor meget der vindes med andre stratifierløsninger. Det foreslås derfor at sammenligne projektets måleresultater med CFD (Computational Fluid Dynamics) beregninger, og at gennemføre beregninger med en valideret CFD model for forskellige udformninger af stratifieren. Herved kan udformningen af stratifierløsningen optimeres, for eksempel med hensyn til diameter, rørtykkelse og materiale for røret omkring elpatronen, tragtens udformning, skivens åbning, PEX rørets diameter og rørtykkelse samt udformningen og antallet af huller i PEX røret.

Det vil også være interessant at undersøge hvor store fordele der kan opnås med intelligente selvlærende styresystemer samt at undersøge forskellige stratifierløsninger og disses fordele for større varmtvandsbeholdere, for eksempel 300 l tanke.

Det vil også være interessant at undersøge hvorledes elpatronens udformning og effektafgivelse pr. cm² påvirker forskellige stratifierløsningers egnethed og at vurdere stratifierløsningens egnethed til andre anvendelsesområder.

Det skal også nævnes at fordelene ved den udviklede stratifierløsning sandsynligvis i mange tilfælde kan være større i praksis end beregningerne tyder på, da varmtvandsforbruget i praksis ofte er mindre end forudsat. Derfor kan stratifieren sandsynligvis alene på grund af lavere varmetab fra varmtvandsbeholderen være attraktiv selv uden variable elpriser. Det vil derfor være interessant at gennemføre undersøgelser af konceptet i en række enfamiliehuse for at få erfaringer fra praksis.

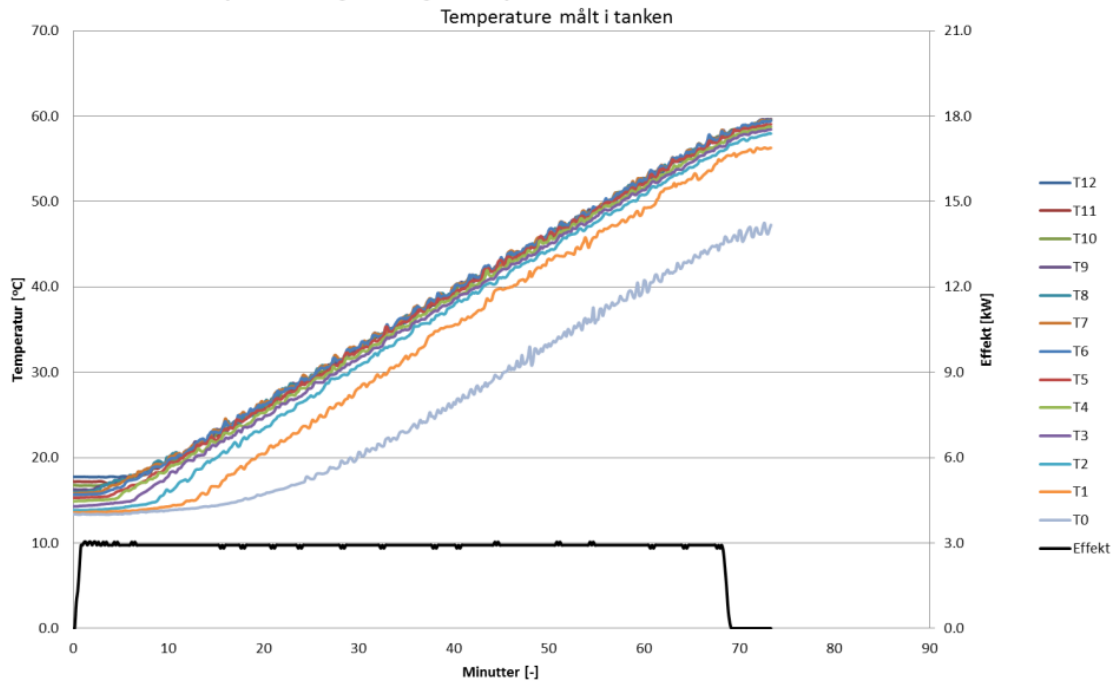
Det vurderes at en markedsmodningsperiode hos METRO THERM på 6 måneder vurderes er realistisk.

Bilag A:

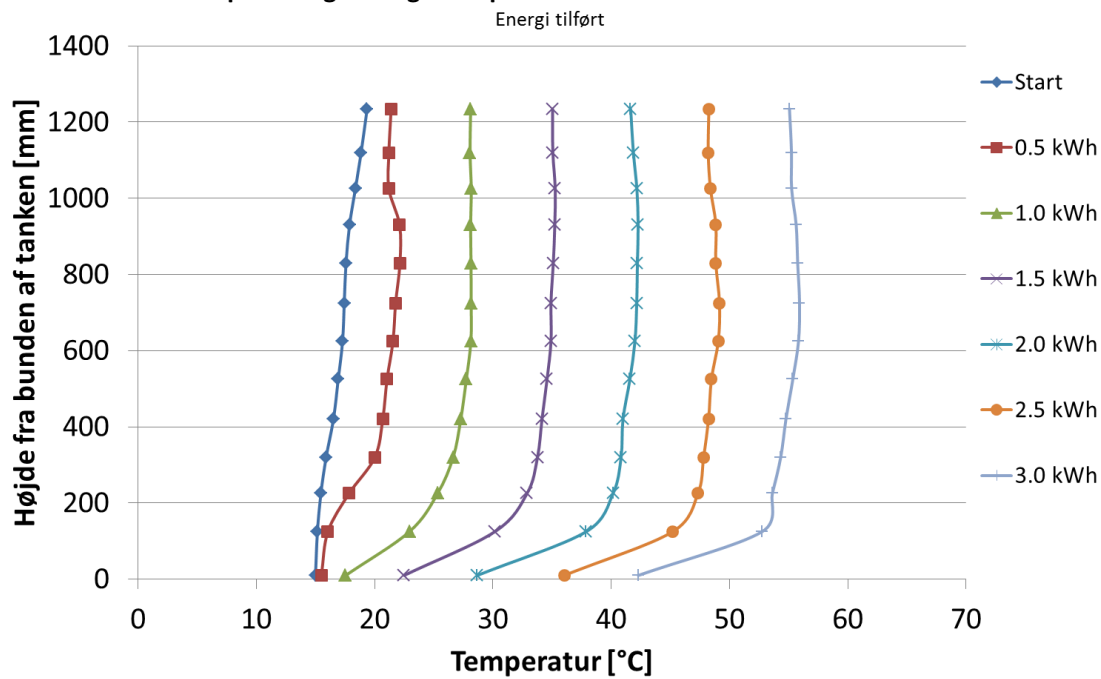
Undersøgelser af lagdeling i tank uden stratifler

Test 1 den 15. maj 2014

Opvarmningsforsøg uden plastrør eller stratifler 15-05-2014

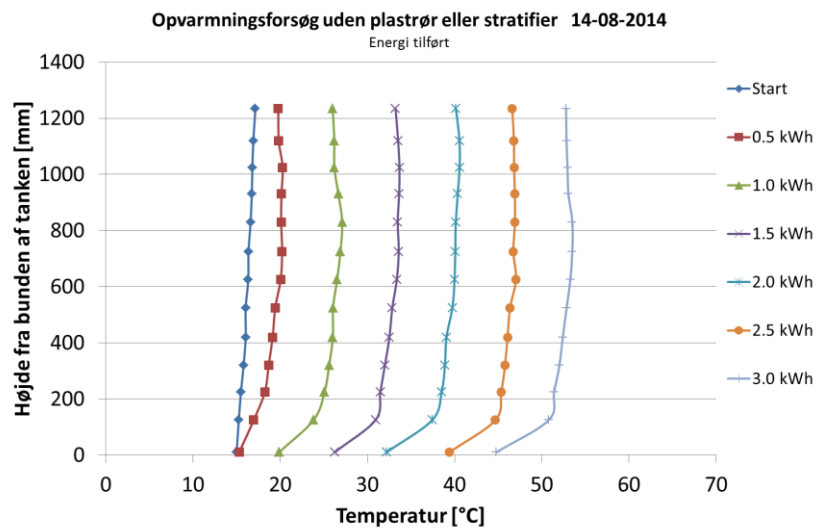
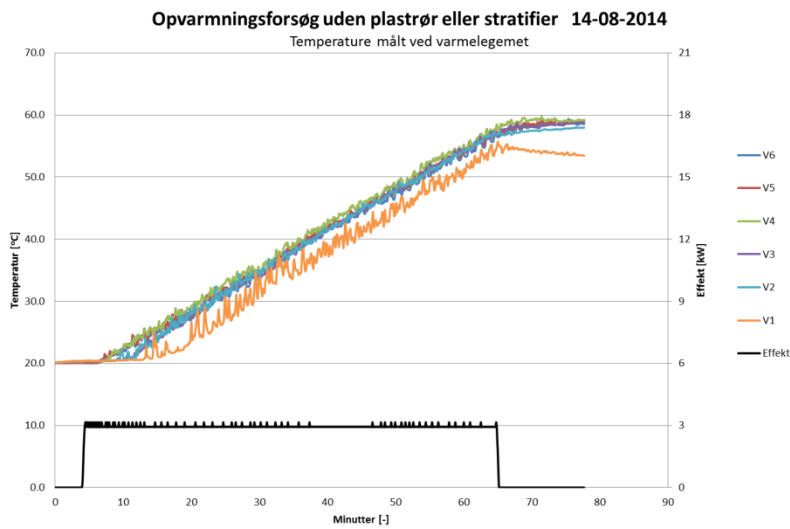
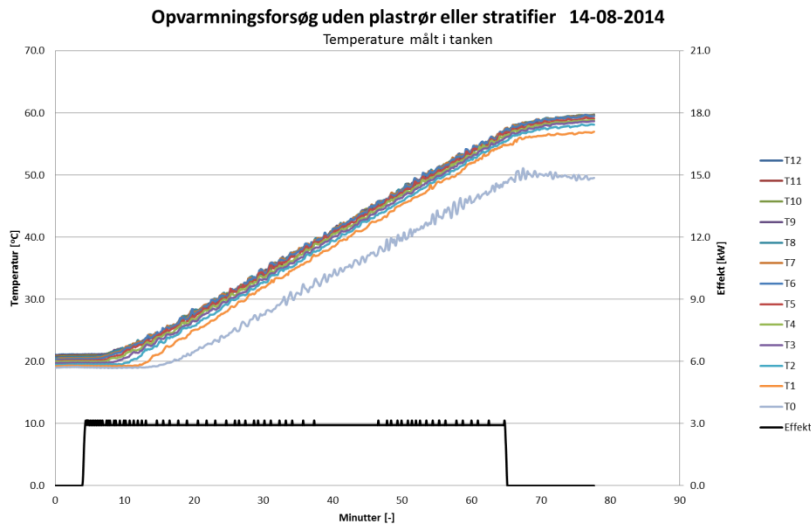


Opvarmningsforsøg uden plastrør eller stratifler 14-08-2014



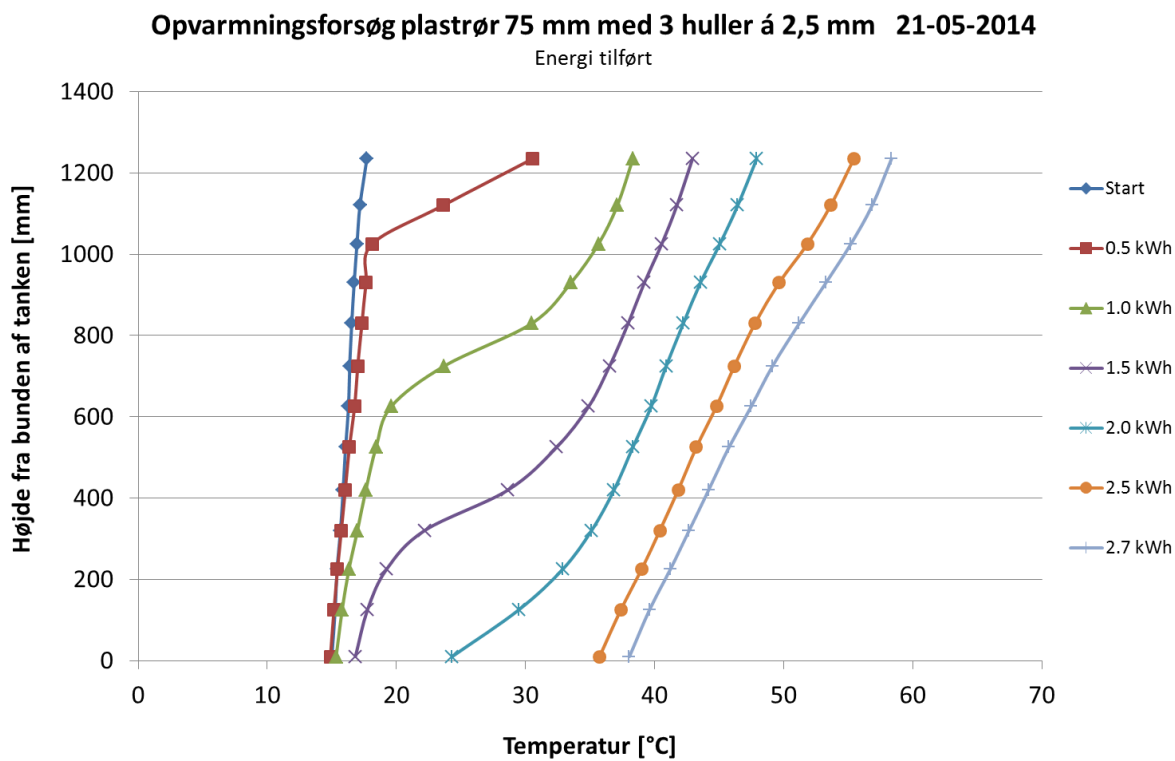
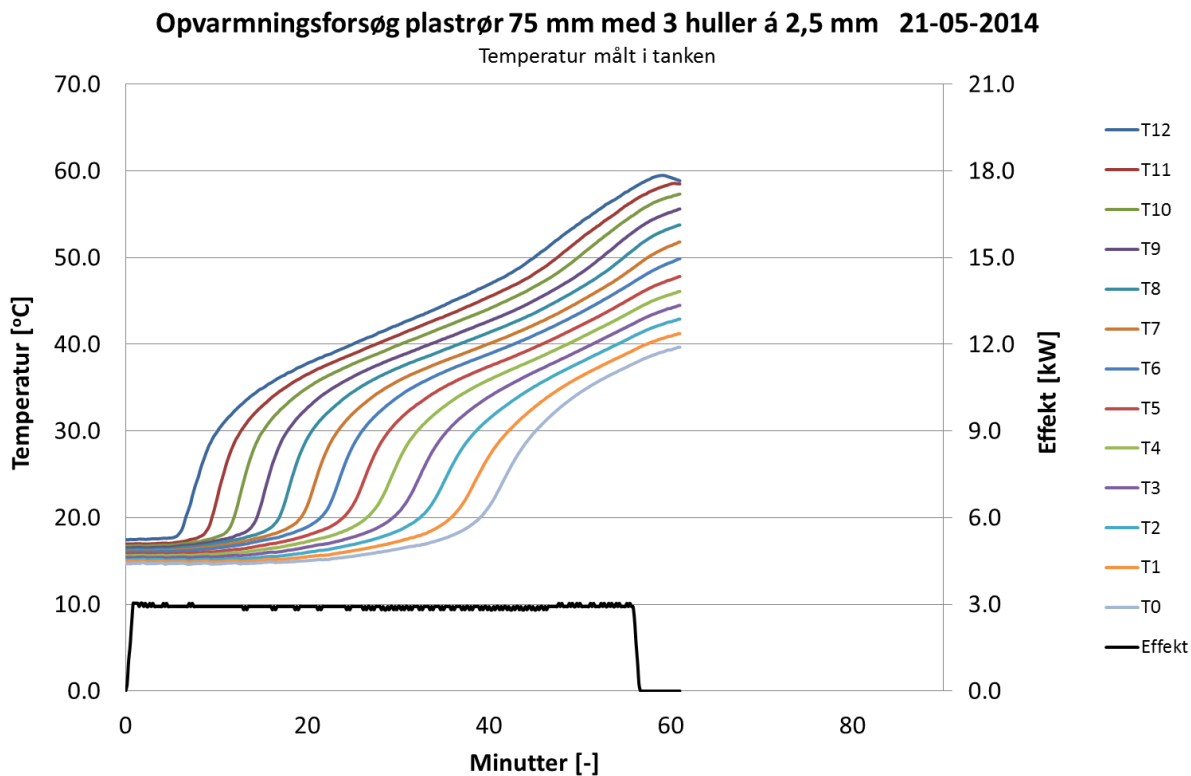
Test 2 den 14. august 2014

Temperatur målinger tæt på varmelegemet tilføjet



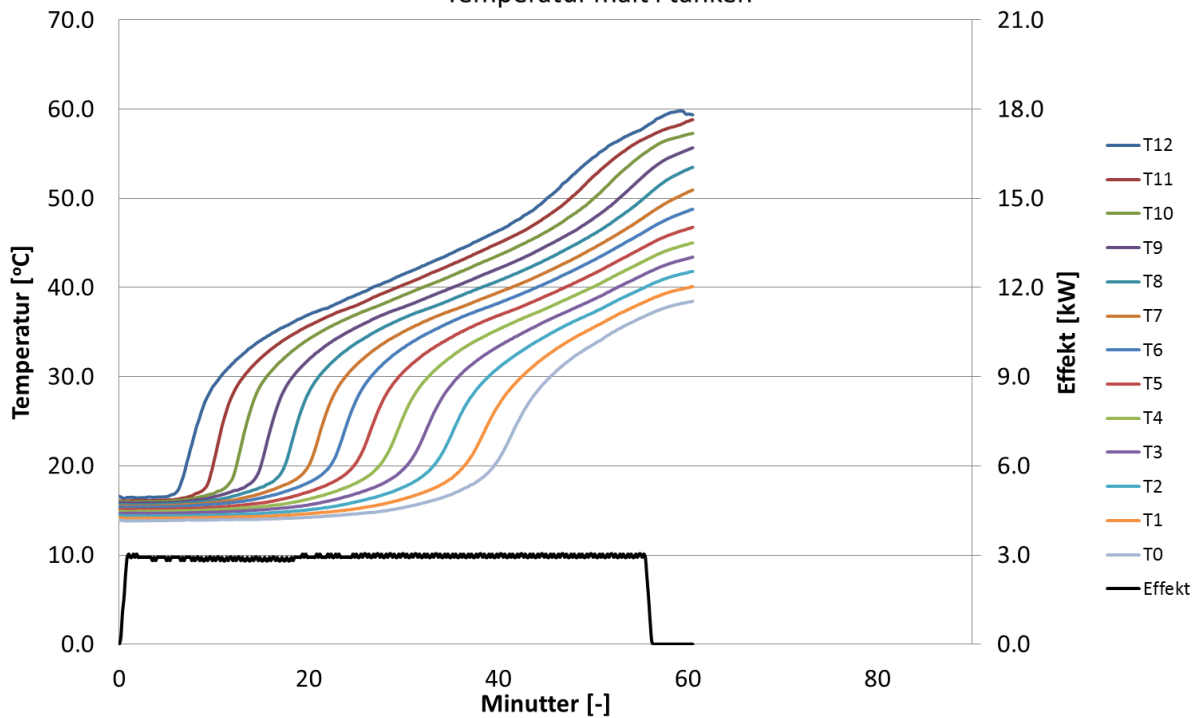
Undersøgelser af lagdeling i tank med plastrør fuld længde

Plastrør 75 mm med 3 huller á 2,5 mm 21. maj 2014

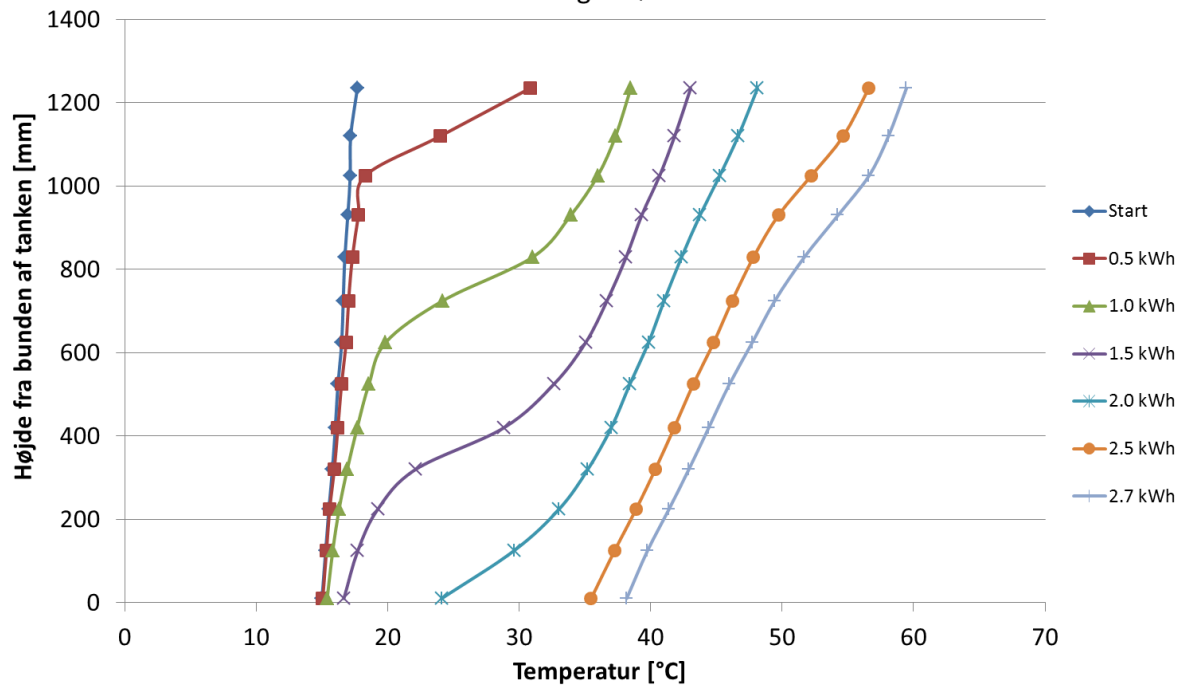


Plastrør 75 mm med 3 huller á 5,0 mm 20. maj 2014

Opvarmningsforsøg plastrør 75 mm med 3 huller á 5,0 mm 20-05-2014
Temperatur målt i tanken

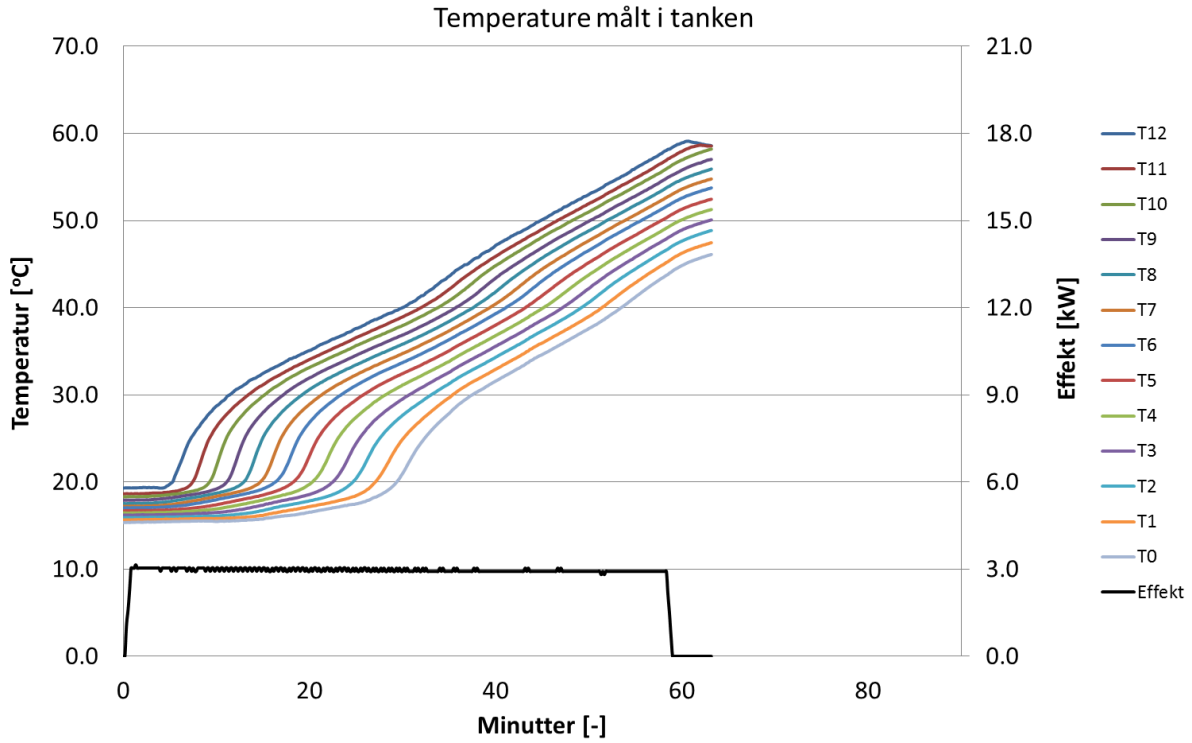


Opvarmningsforsøg plastrør 75 mm med 3 huller á 5,0 mm 20-05-2014
Energi tilført

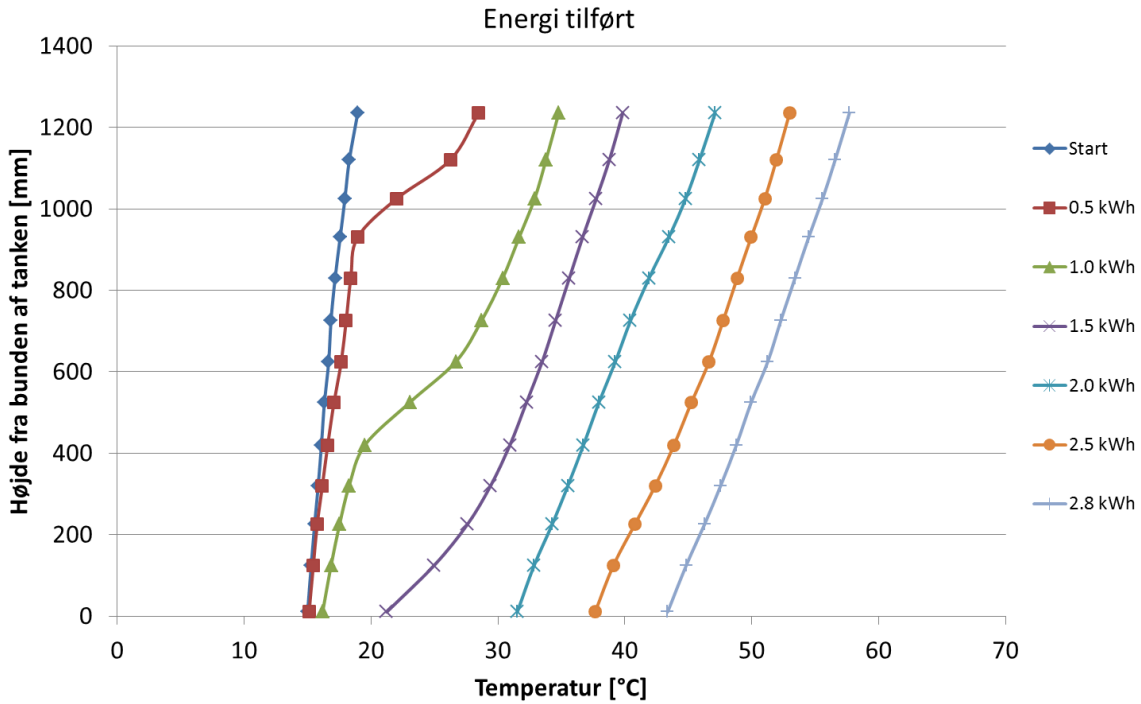


Plastrør 75 mm med 3 huller á 7,5 mm 22. maj 2014

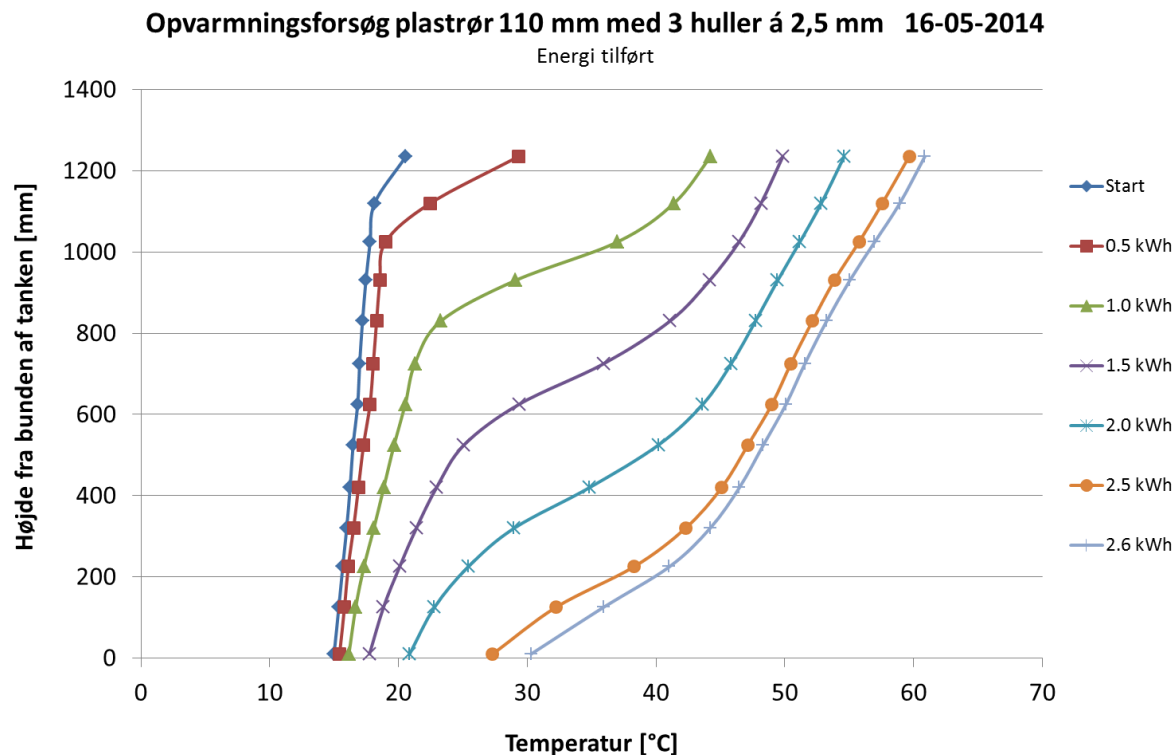
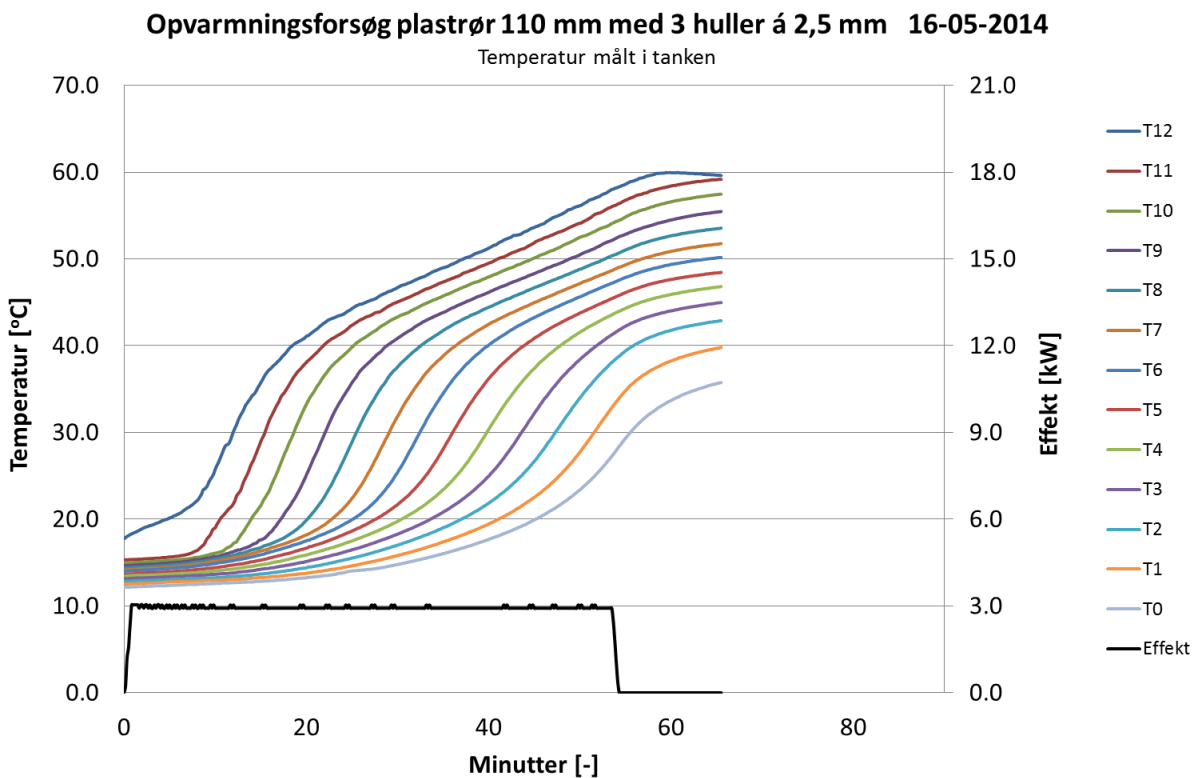
Opvarmningsforsøg plastrør 75 mm med 3 huller á 7,5 mm 22-05-2014



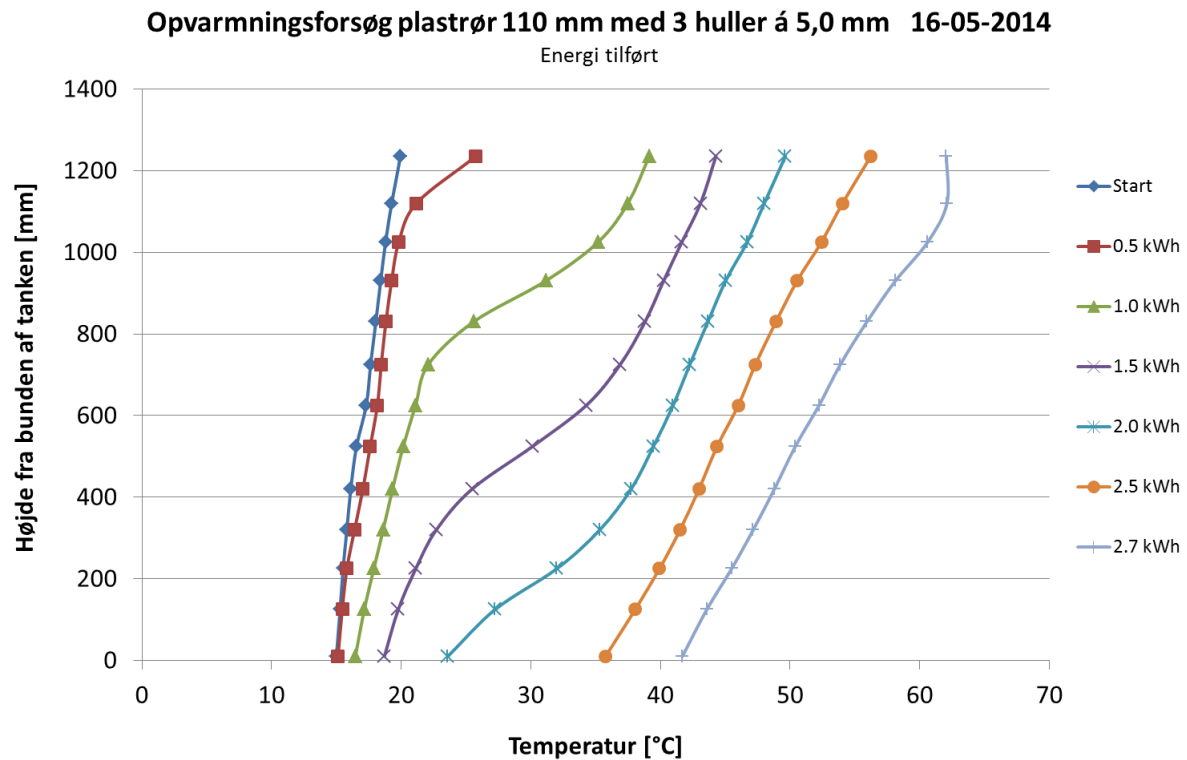
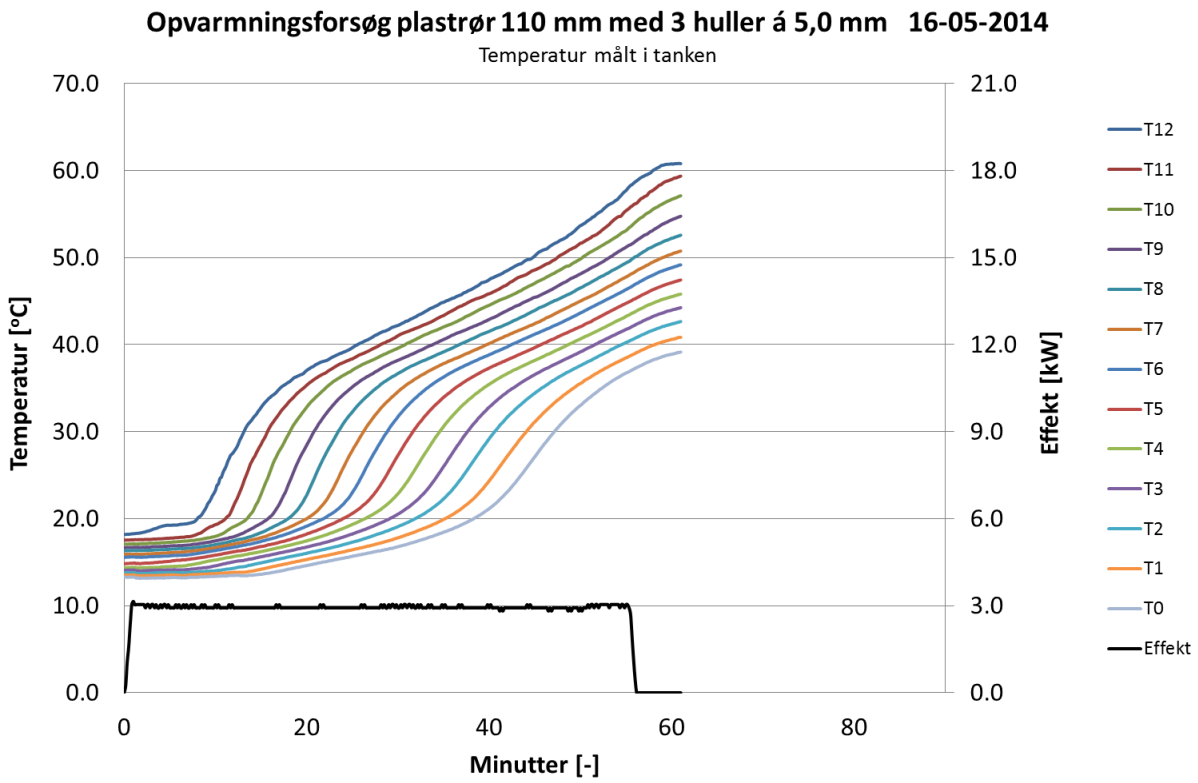
Opvarmningsforsøg plastrør 75 mm med 3 huller á 7,5 mm 22-05-2014



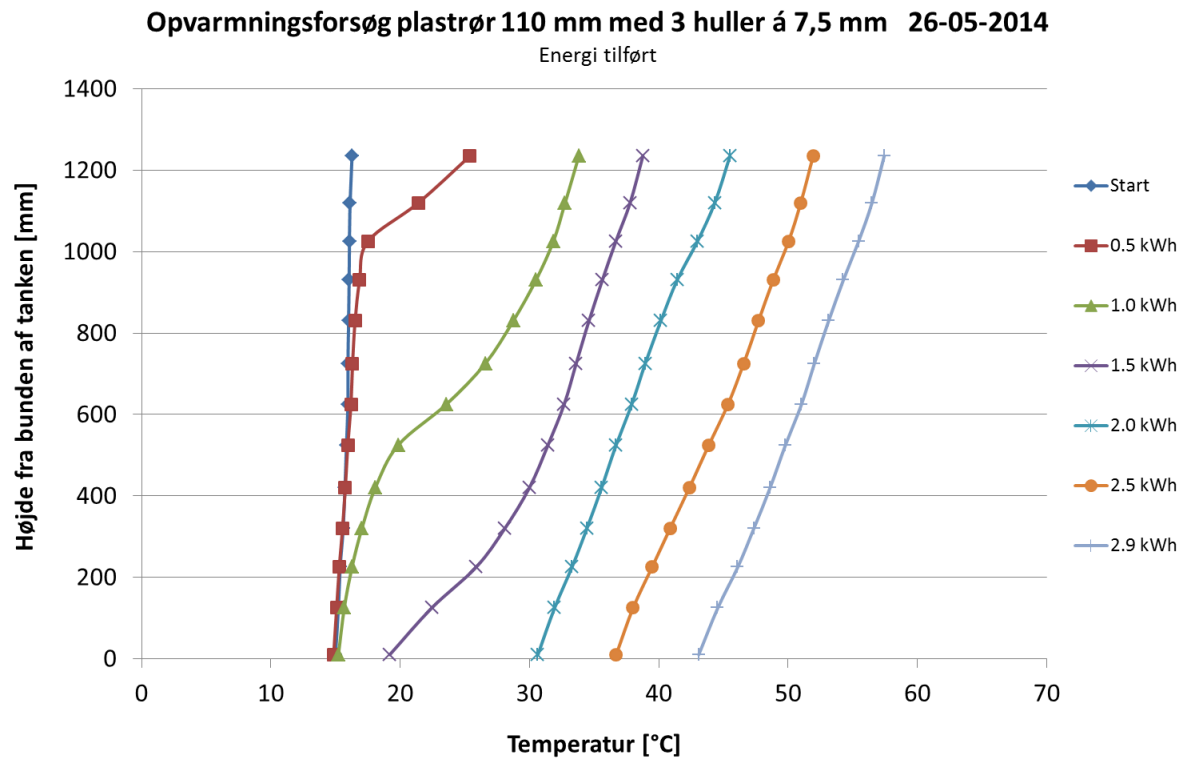
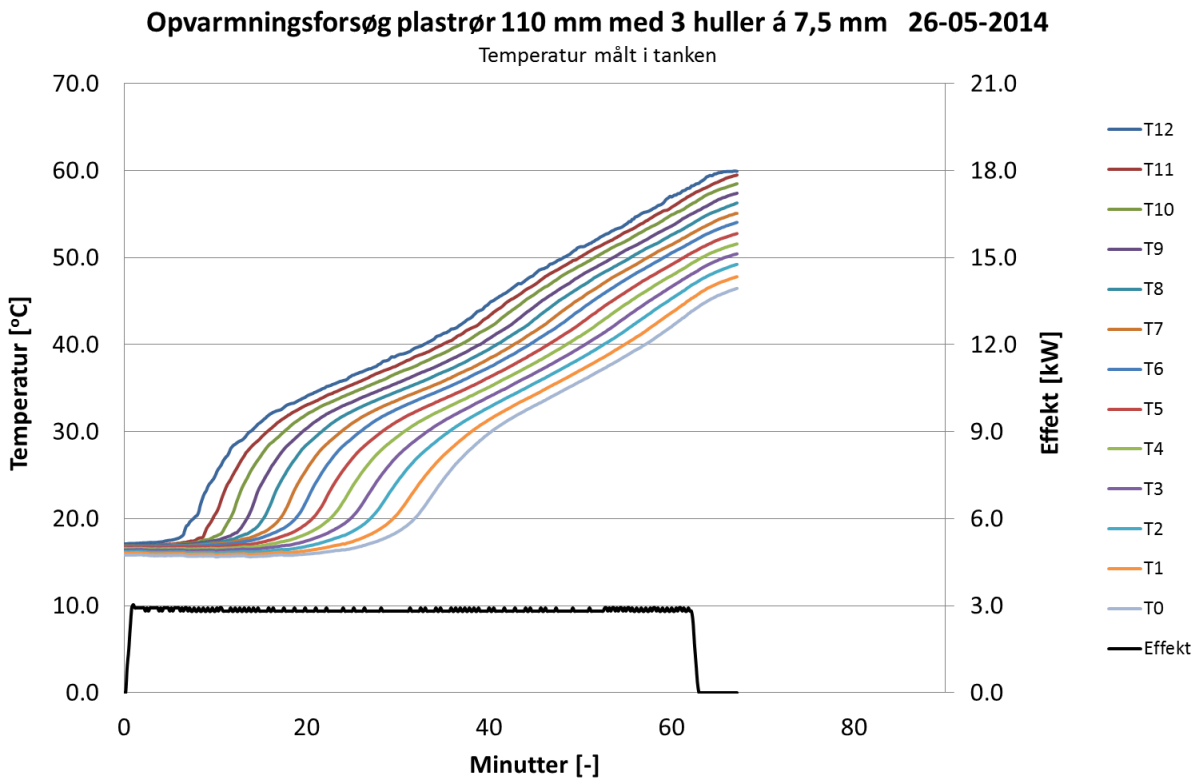
Plastrør 110 mm med 3 huller á 2,5 mm 16. maj 2014



Plastrør 110 mm med 3 huller á 5,0 mm 16. maj 2014

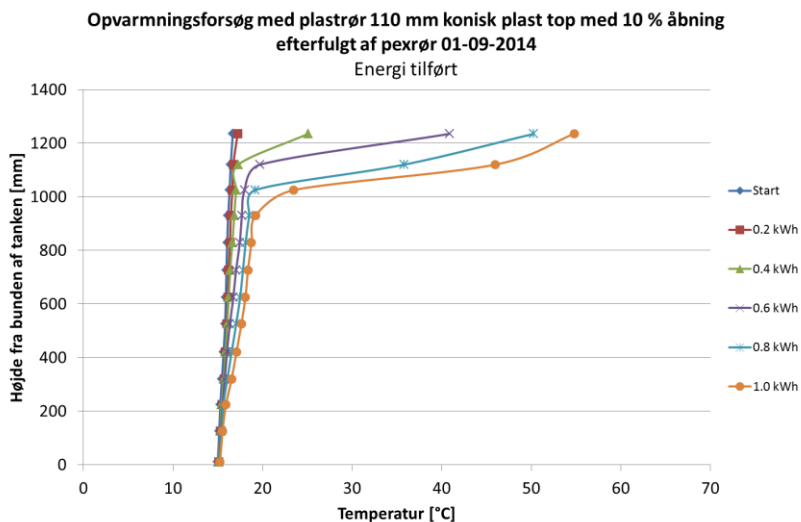
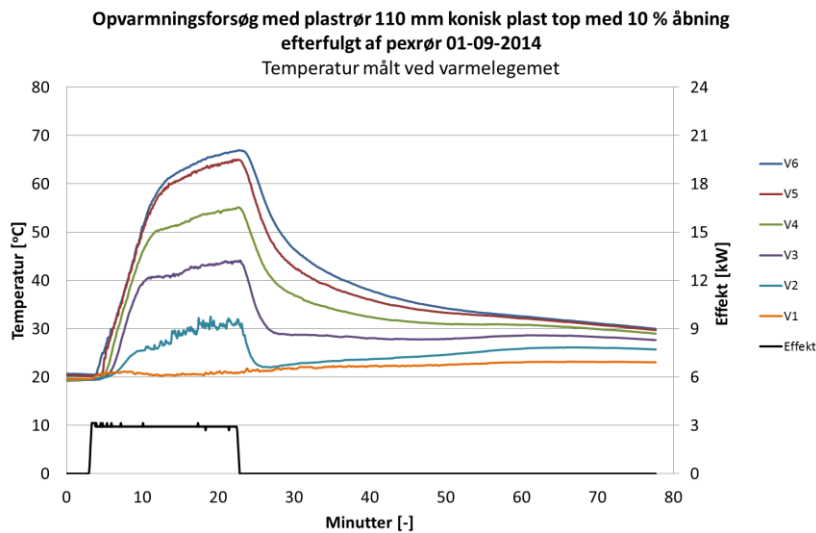
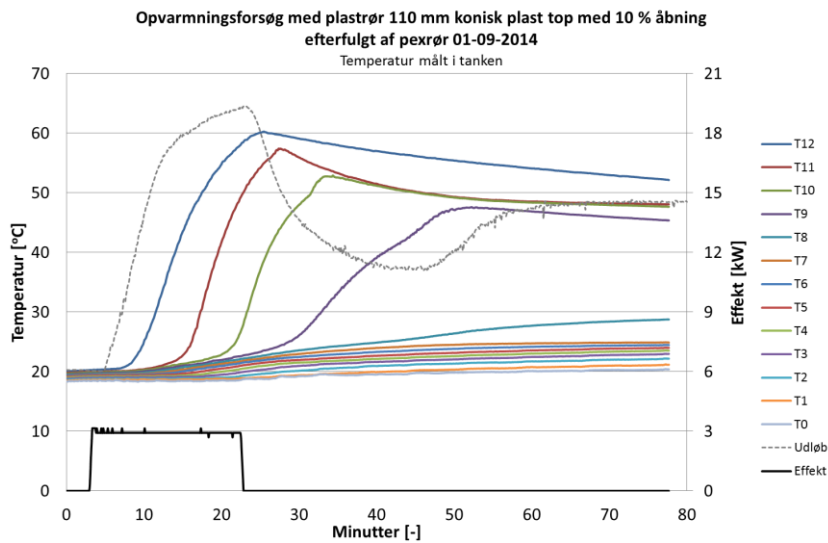


Plastrør 110 mm med 3 huller á 7,5 mm 26. maj 2014



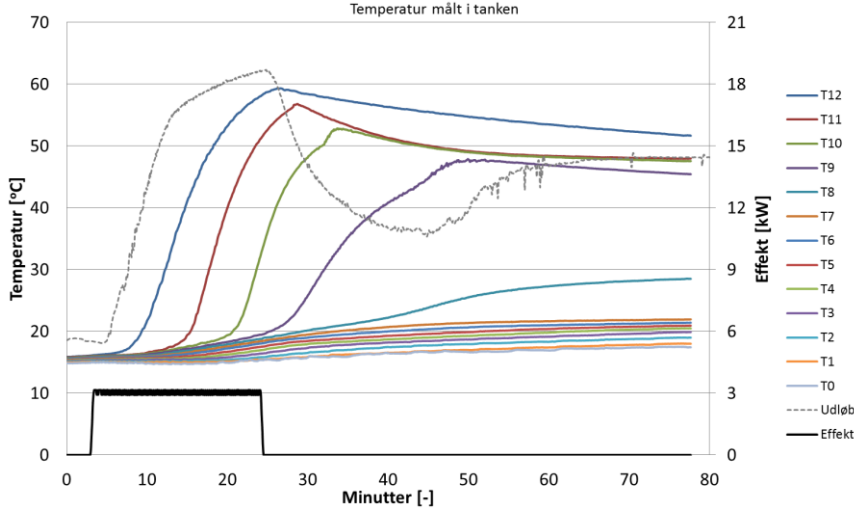
Undersøgelser af lagdeling i tank med forskellige løsninger

Plastrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af pexrør 1. september 2014

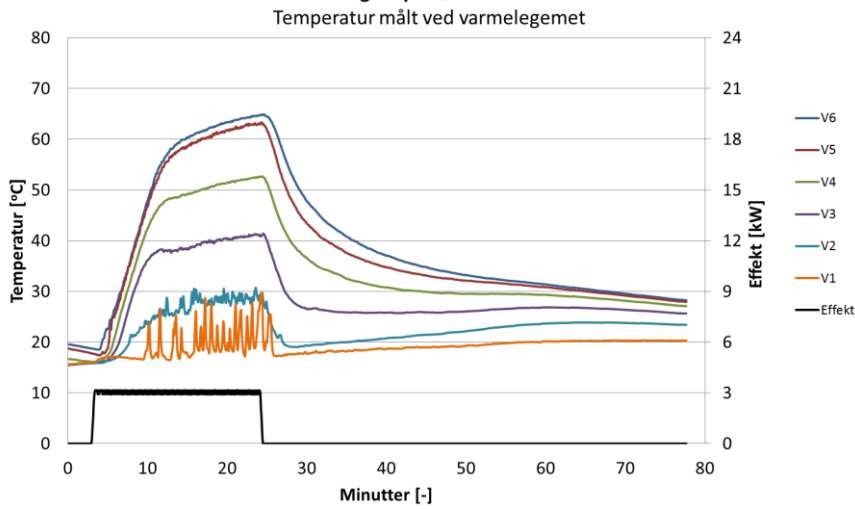


Plastrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af pexrør 5. september 2014

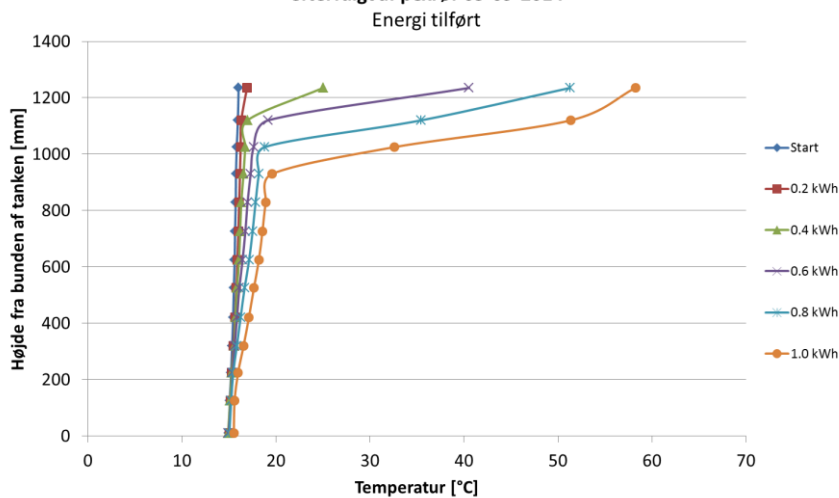
Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af pexrør 05-09-2014



Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af pexrør 05-09-2014

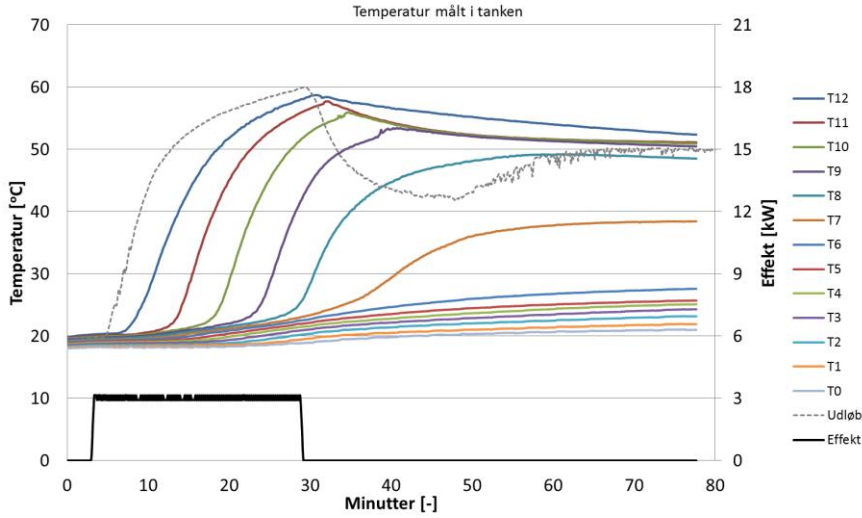


Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af pexrør 05-09-2014

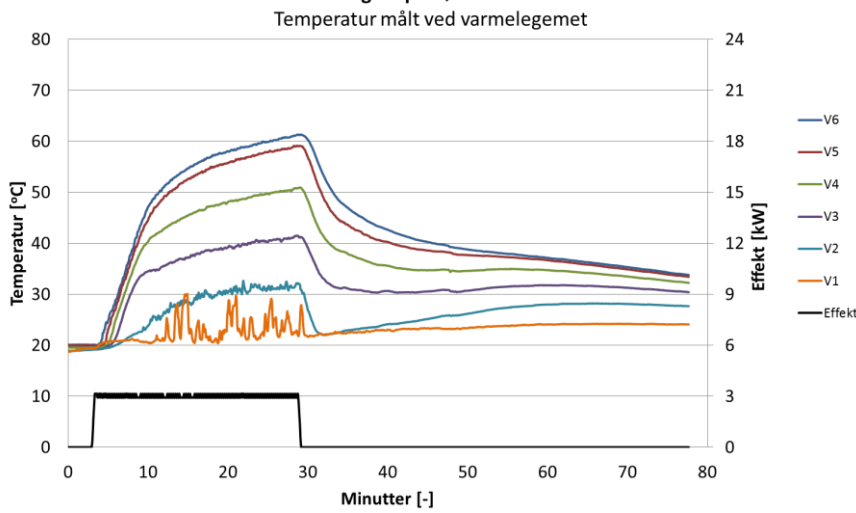


Plastrør 110 mm konisk plast top med 20% åbning efterfulgt af pexrør 22. august 2014

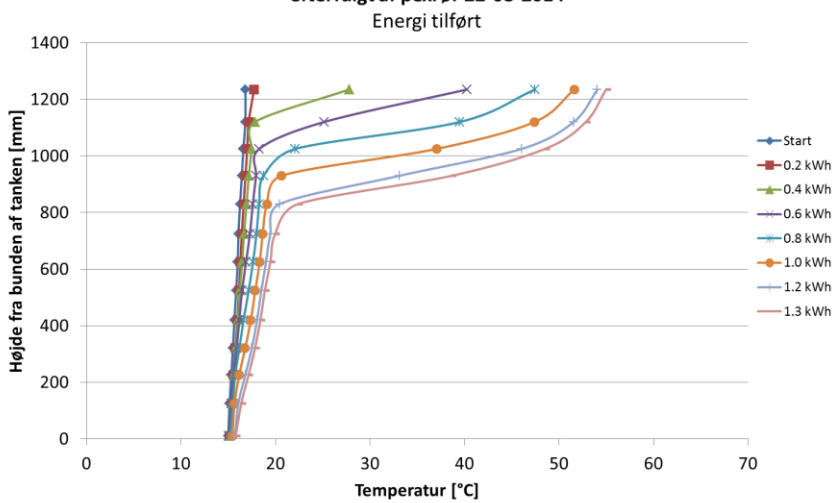
Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 20 % åbning efterfulgt af pexrør 22-08-2014



Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 20 % åbning efterfulgt af pexrør 22-08-2014

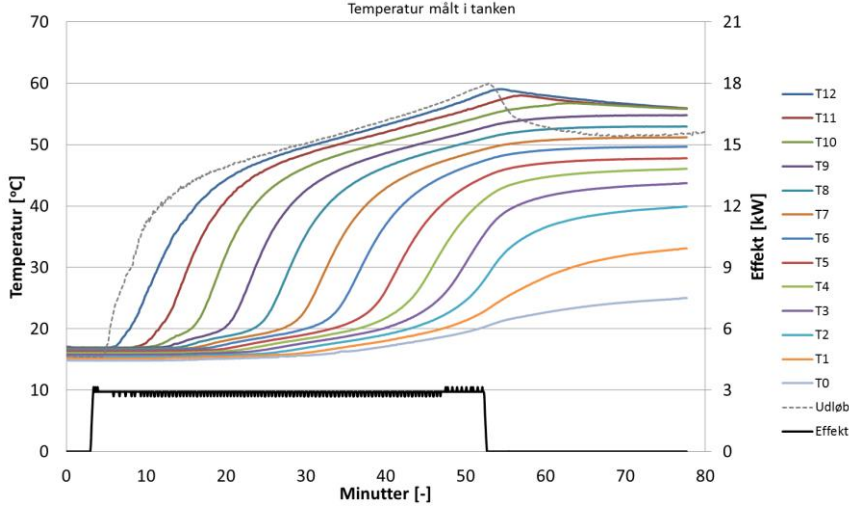


Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 20 % åbning efterfulgt af pexrør 22-08-2014

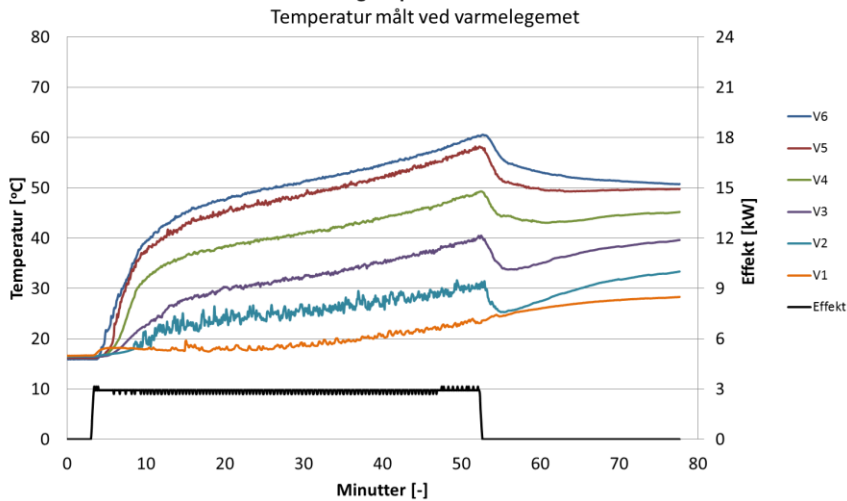


Plastrør 110 mm konisk plast top med 25% åbning efterfulgt af pexrør 2. september 2014

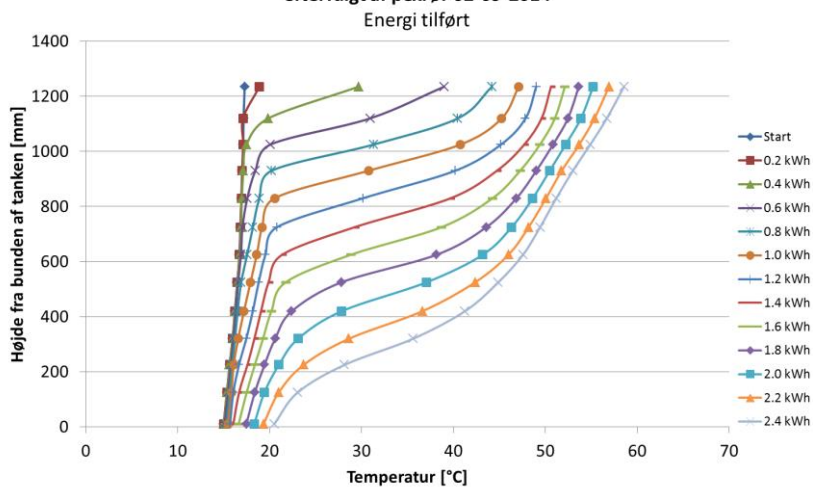
Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 25 % åbning efterfulgt af pexrør 02-09-2014



Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 25 % åbning efterfulgt af pexrør 02-09-2014

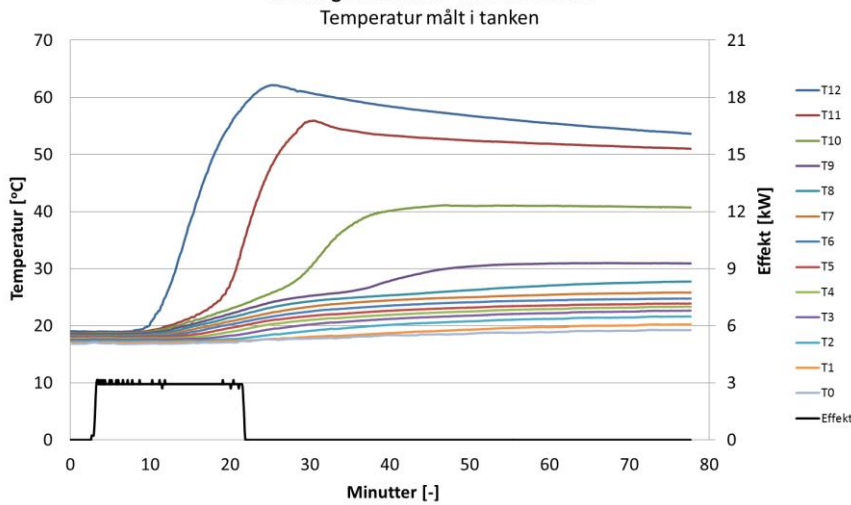


Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 25 % åbning efterfulgt af pexrør 02-09-2014

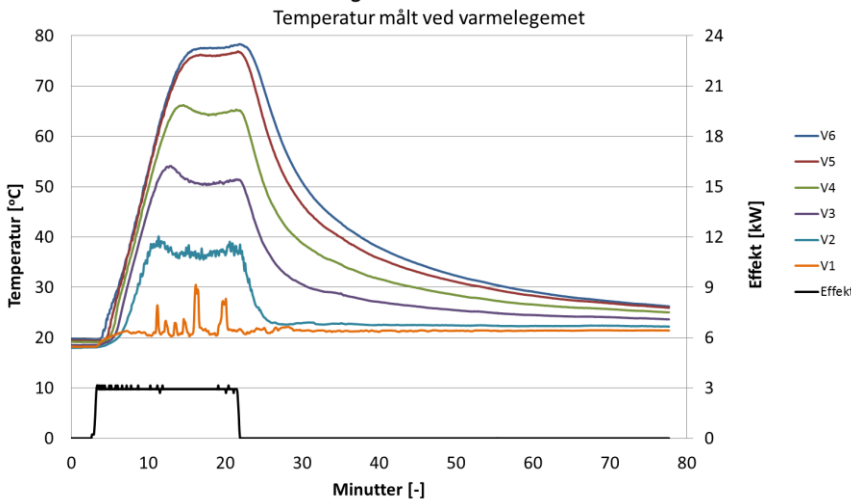


Plastrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af stratifier 26. august 2014

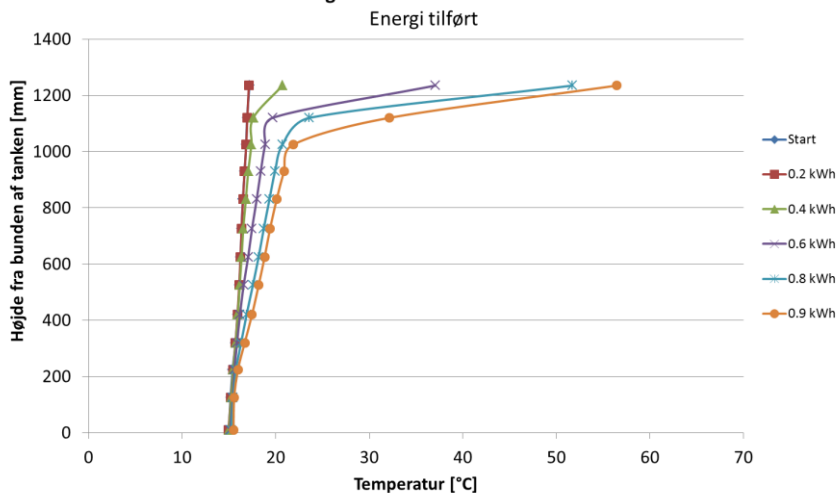
Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af stratifier vs.1 26-08-2014



Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af stratifier 26-08-2014

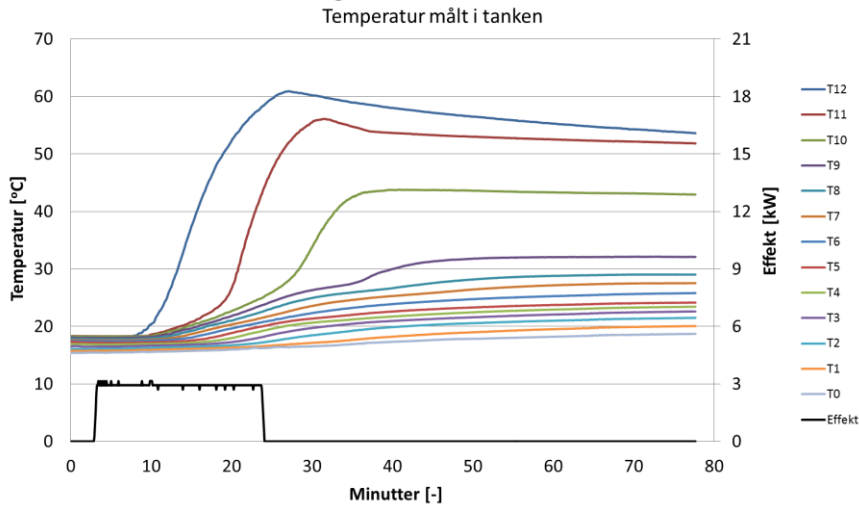


Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af stratifier vs.1 26-08-2014

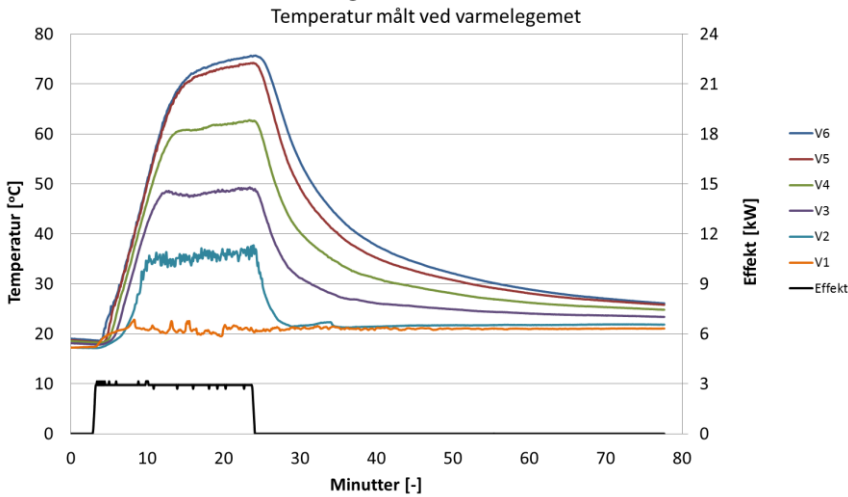


Plastrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af stratifier 26. august 2014

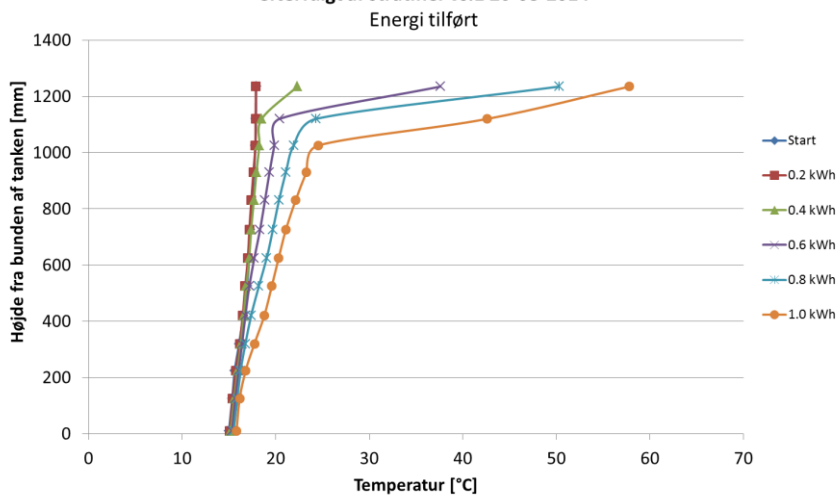
Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af stratifier vs.1 26-08-2014



Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af stratifier 26-08-2014

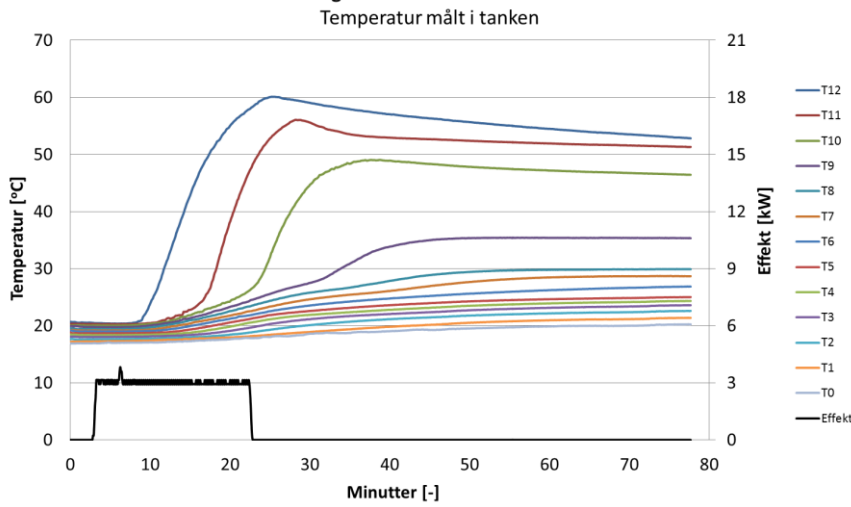


Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af stratifier vs.1 26-08-2014

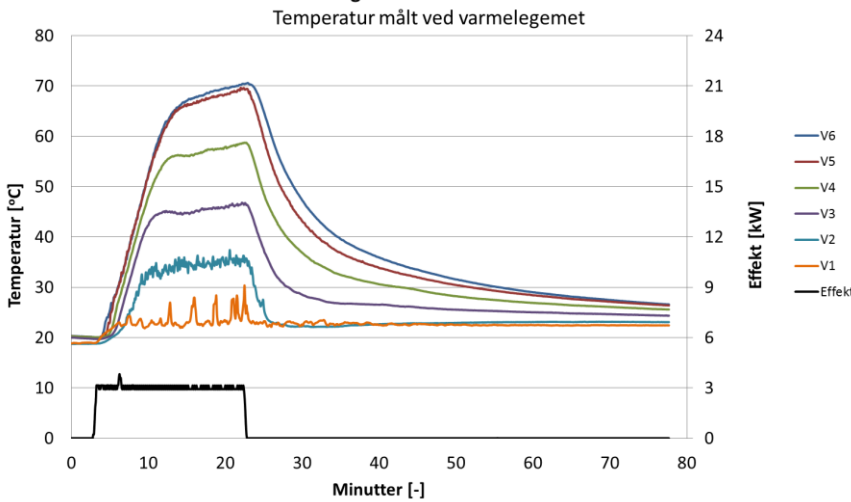


Plastrør 110 mm konisk plast top med 20% åbning efterfulgt af stratifier 27. august 2014

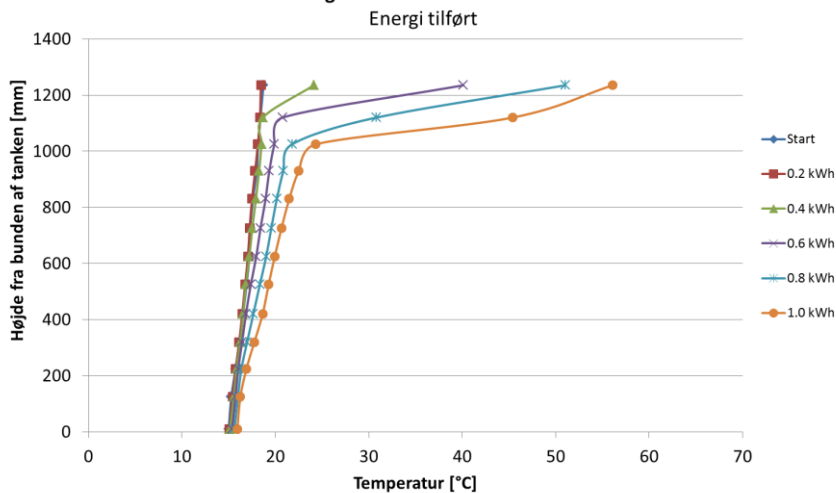
Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 20 % åbning efterfulgt af stratifier vs.1 27-08-2014



Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 20 % åbning efterfulgt af stratifier 27-08-2014

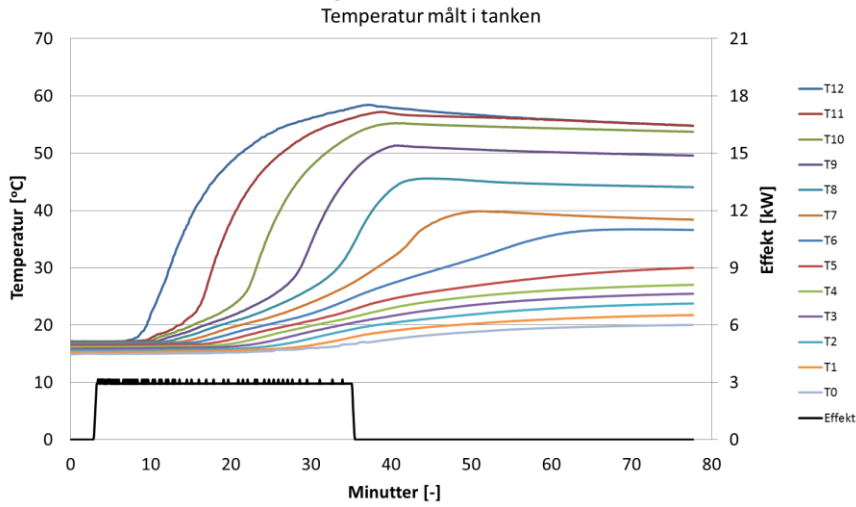


Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 20 % åbning efterfulgt af stratifier vs.1 27-08-2014

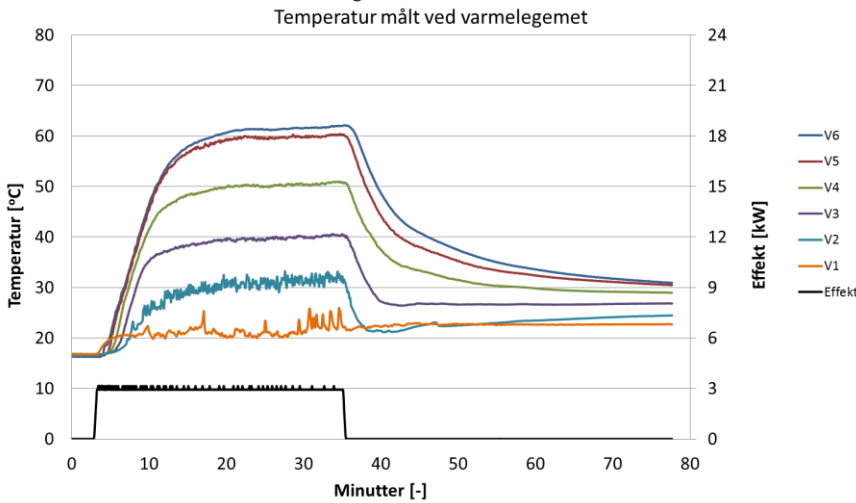


Plastrør 110 mm konisk plast top med 25% åbning efterfulgt af stratifier 27. august 2014

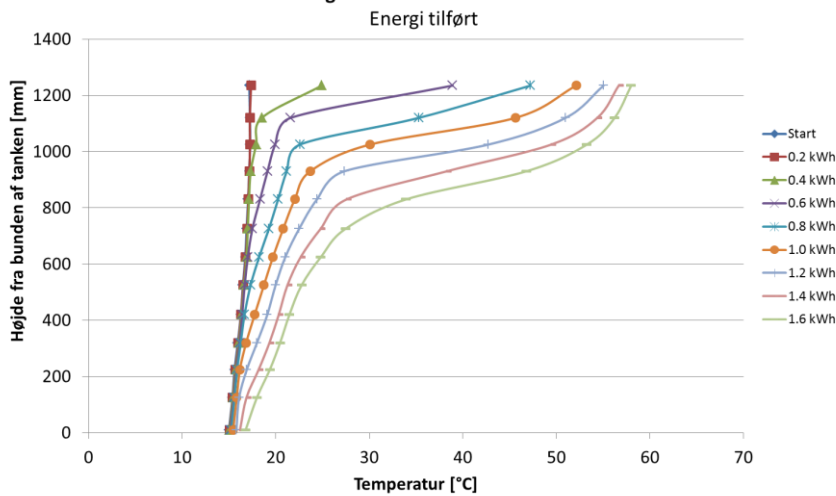
Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 25 % åbning efterfulgt af stratifier vs.1 27-08-2014



Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 25 % åbning efterfulgt af stratifier 27-08-2014



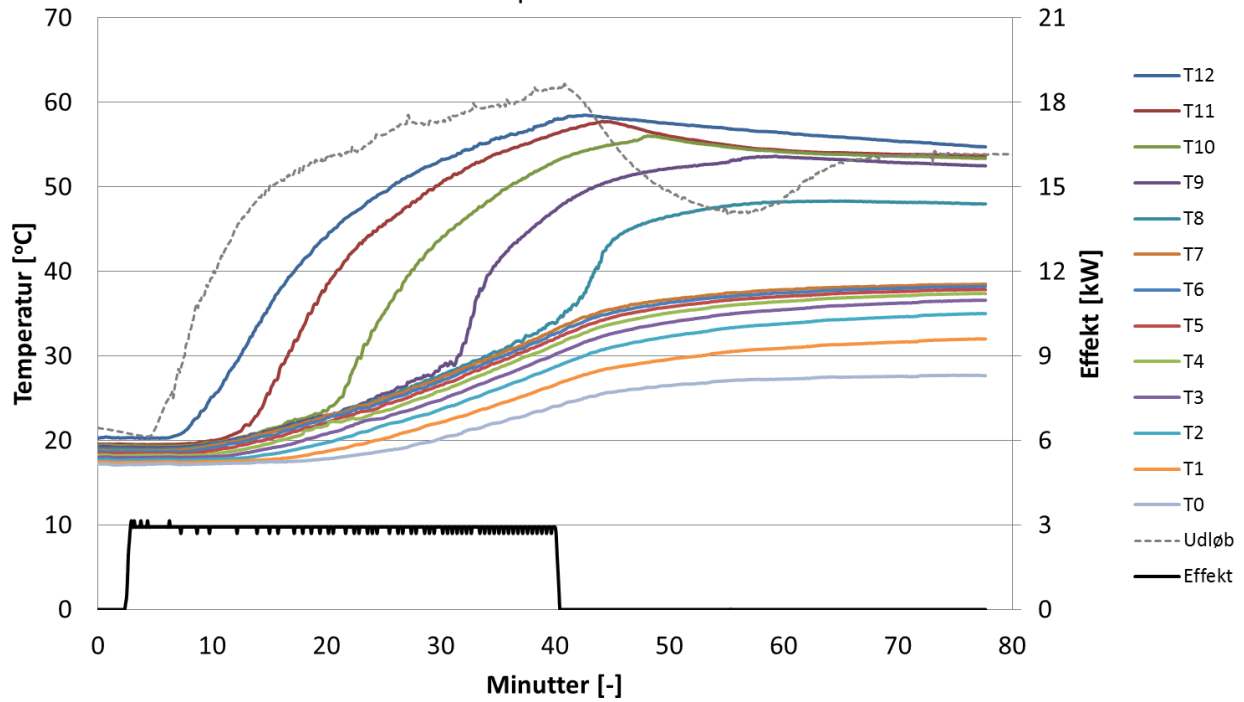
Opvarmningsforsøg med plastrør 110 mm konisk plast top med 25 % åbning efterfulgt af stratifier vs.1 27-08-2014



Stålrør 110 mm flad stål top med 10% åbning efterfulgt af pexrør 29. august 2014

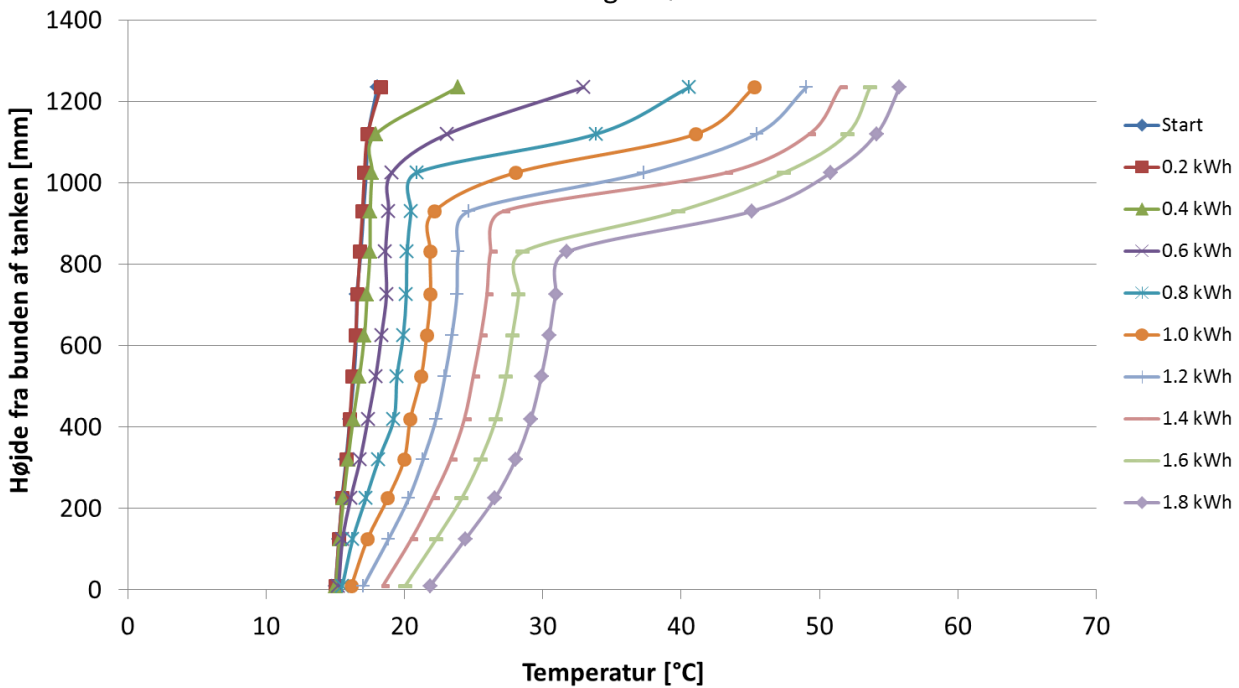
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm flad stål top med 10 % åbning efterfulgt af pexrør 29-08-2014

Temperatur målt i tanken



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm flad stål top med 10 % åbning efterfulgt af pexrør 29-08-2014

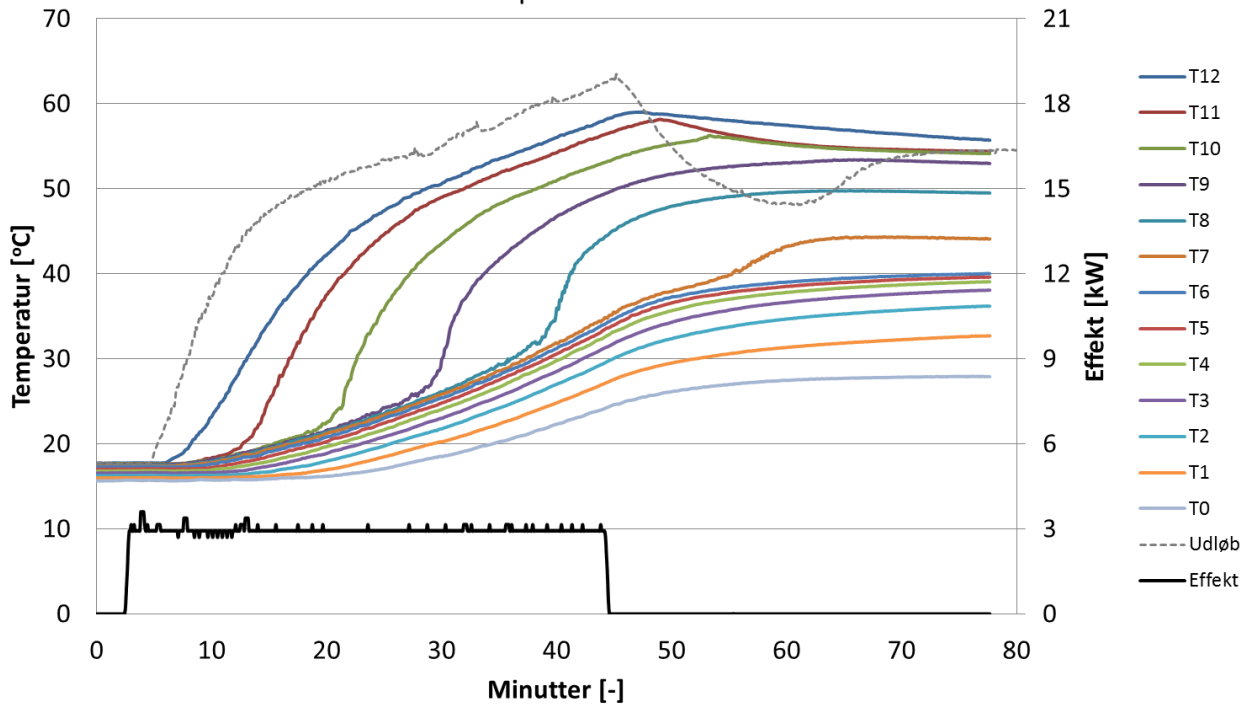
Energi tilført



Stålrør 110 mm flad stål top med 15% åbning efterfulgt af pexrør 29. august 2014

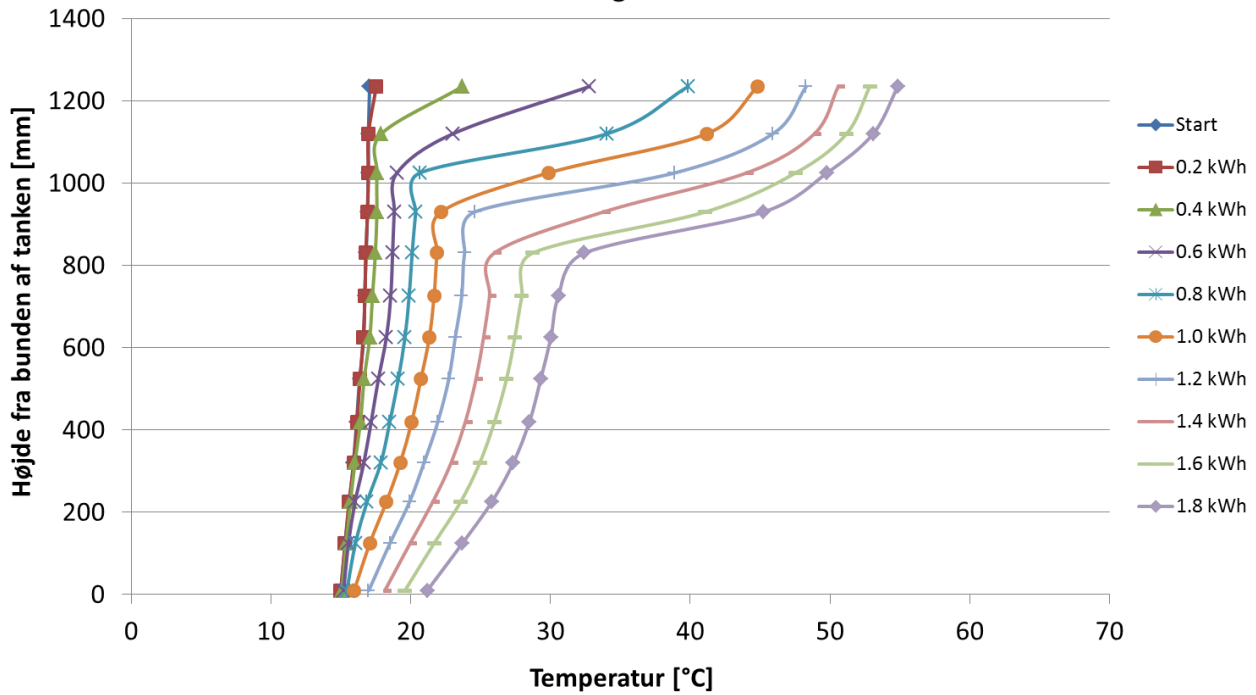
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm flad stål top med 15 % åbning efterfulgt af pexrør 29-08-2014

Temperatur målt i tanken



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm flad stål top med 15 % åbning efterfulgt af pexrør 29-08-2014

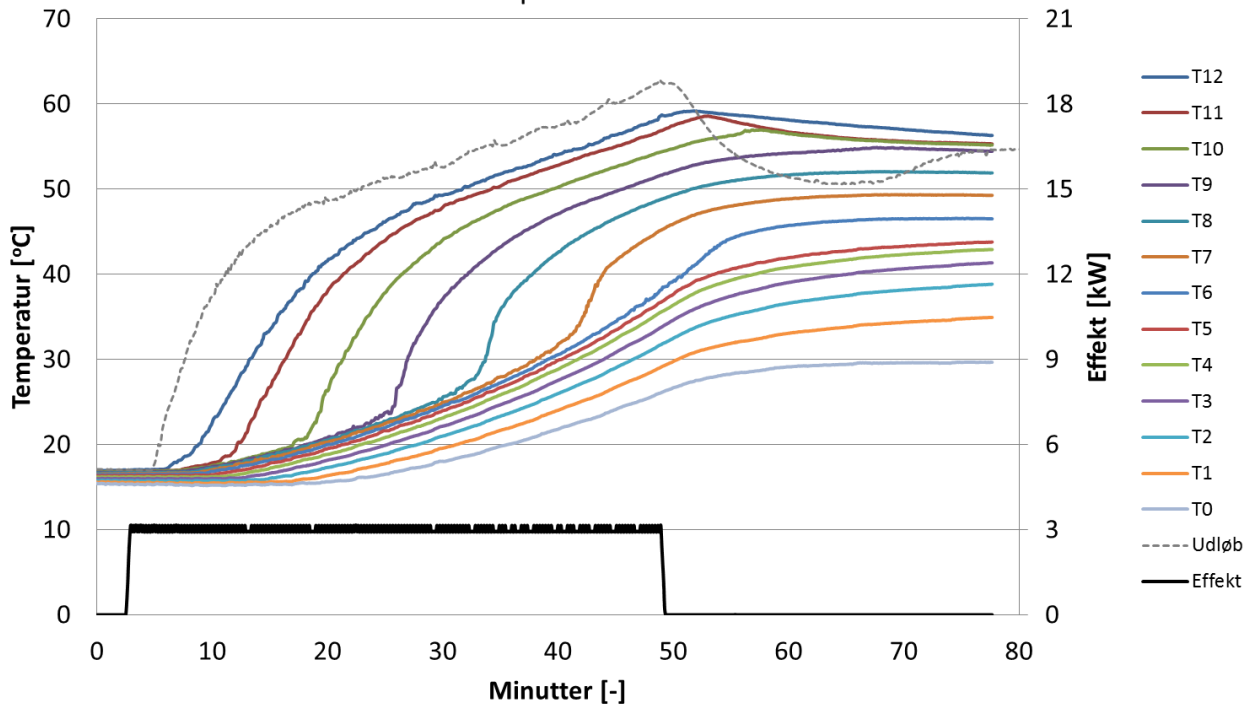
Energi tilført



Stålrør 110 mm flad stål top med 20% åbning efterfulgt af pexrør 27. august 2014

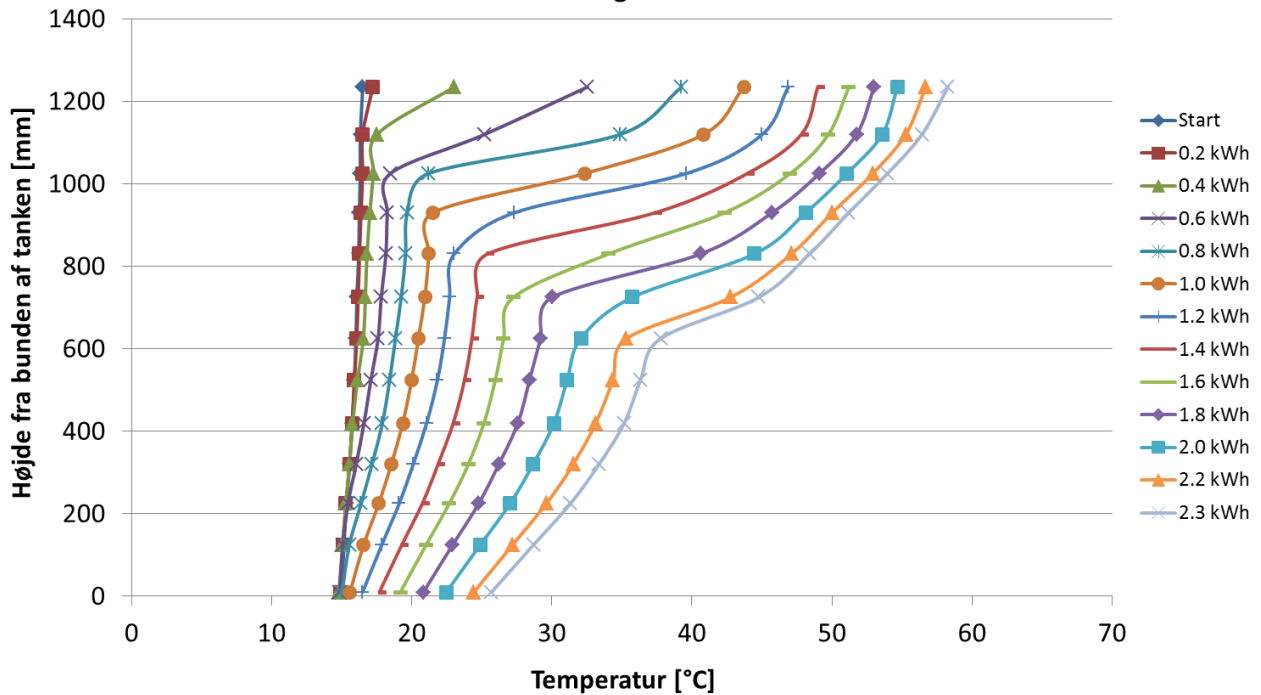
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm flad stål top med 20 % åbning efterfulgt af pexrør 27-08-2014

Temperatur målt i tanken



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm flad stål top med 20 % åbning efterfulgt af pexrør 27-08-2014

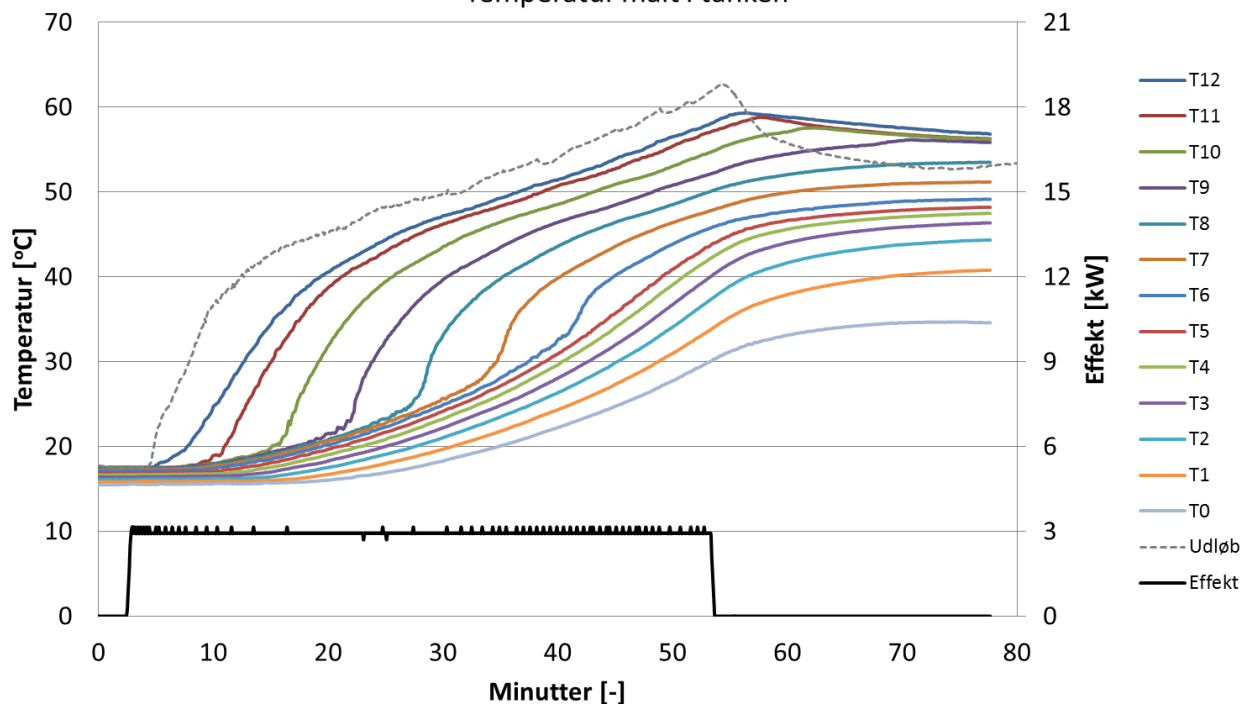
Energi tilført



Stålrør 110 mm flad stål top med 25% åbning efterfulgt af pexrør 22. august 2014

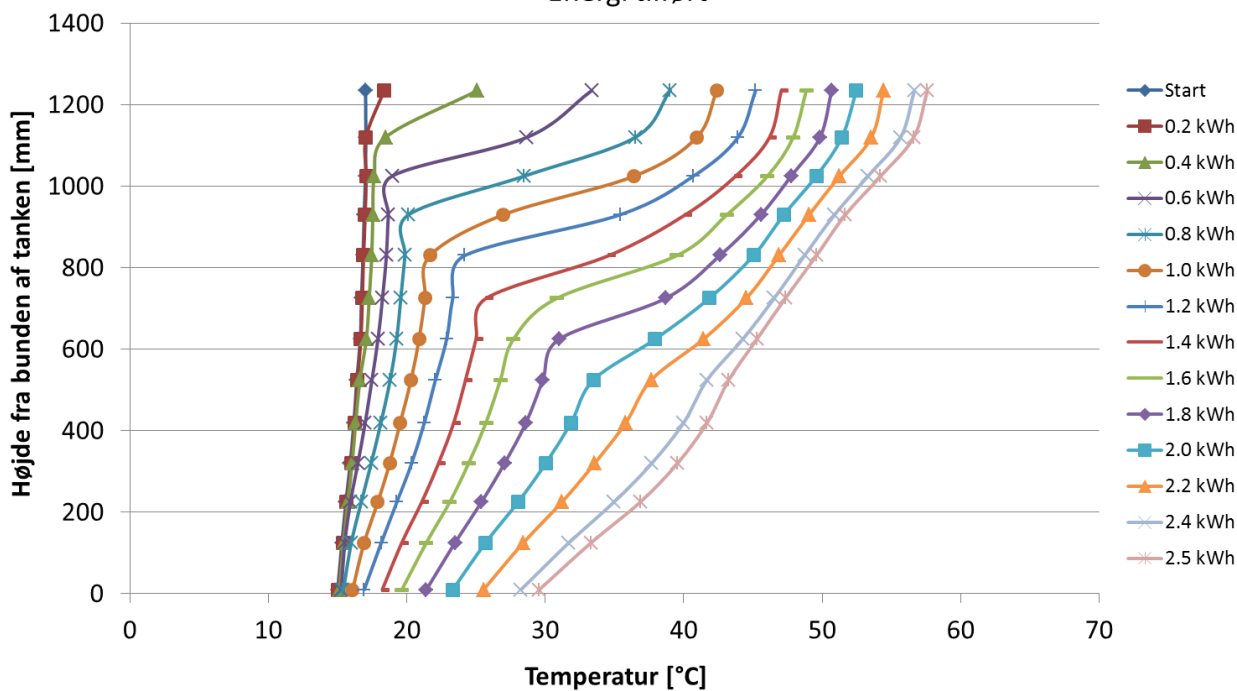
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm flad stål top med 25 % åbning efterfulgt af pexrør 29-08-2014

Temperatur målt i tanken



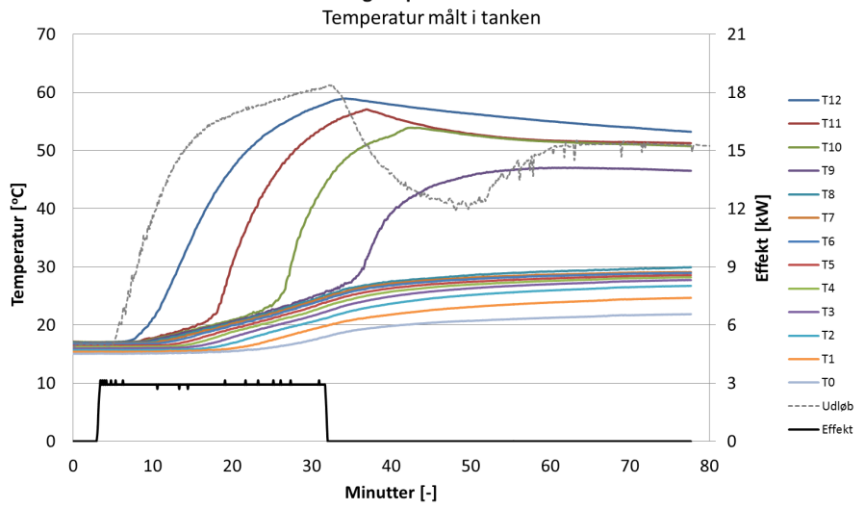
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm flad stål top med 25 % åbning efterfulgt af pexrør 29-08-2014

Energi tilført

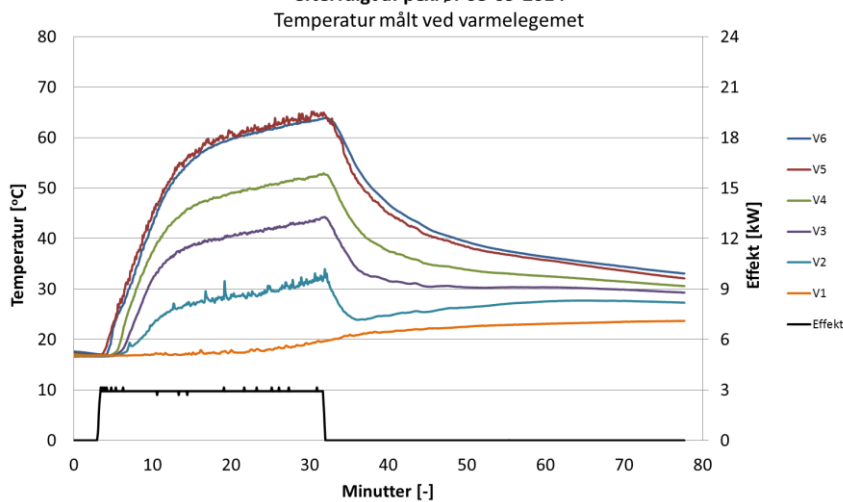


Stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af pexrør 8. september 2014

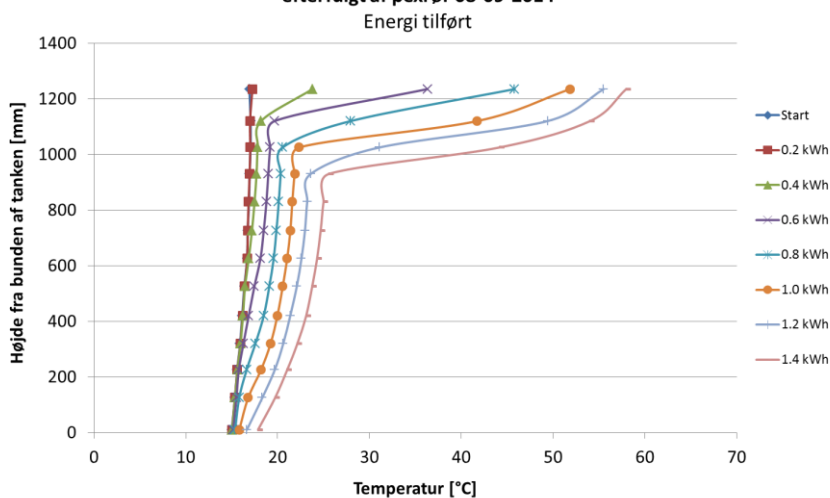
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af pexrør 08-09-2014



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af pexrør 08-09-2014

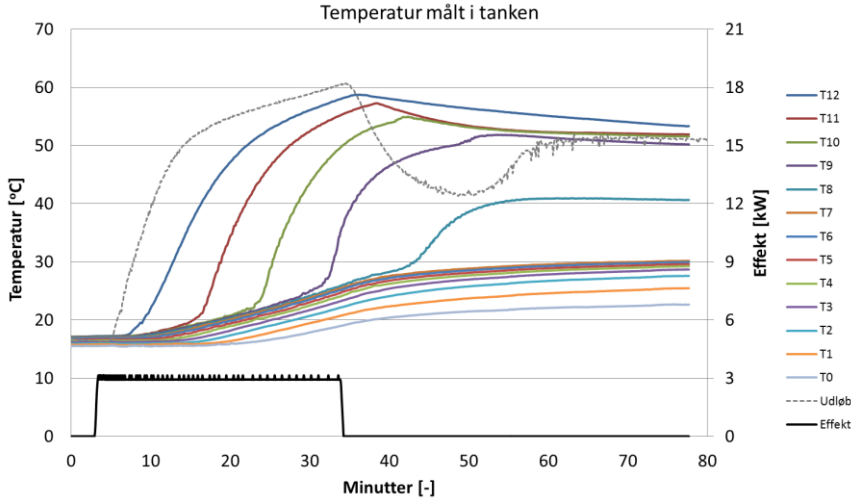


Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af pexrør 08-09-2014

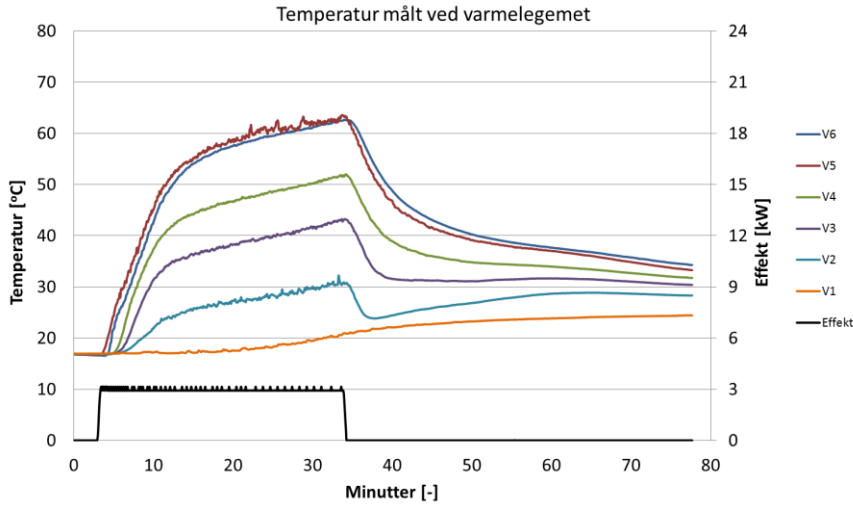


Stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af pexrør 8. september 2014

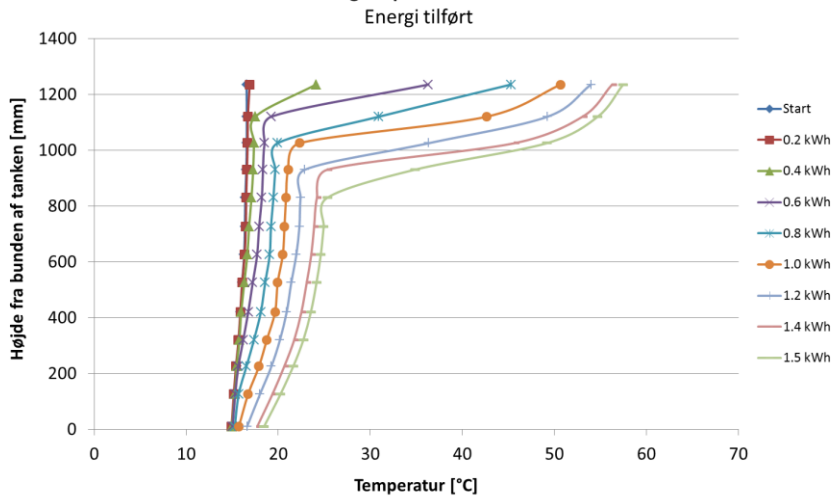
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af pexrør 08-09-2014



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af pexrør 08-09-2014

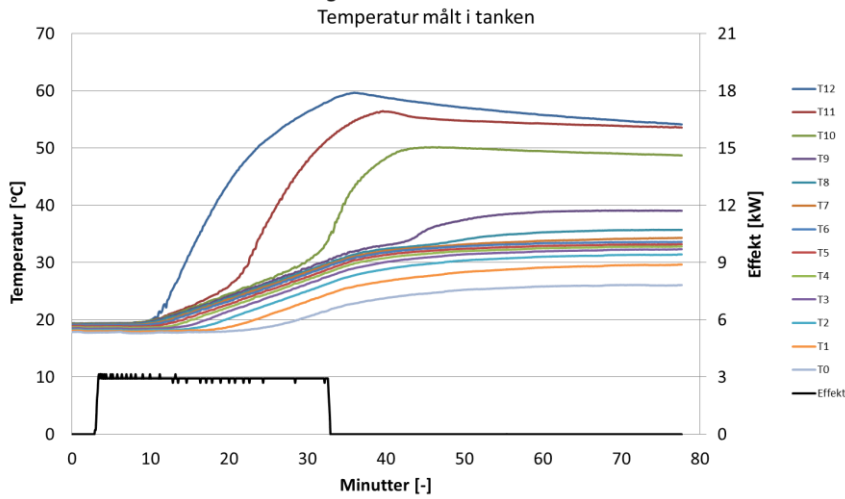


Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af pexrør 08-09-2014

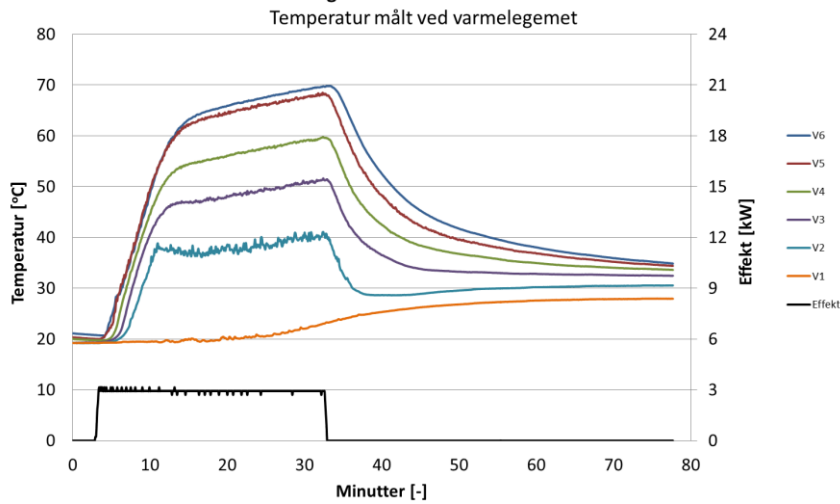


Stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af stratifier vs.1 23. september 2014

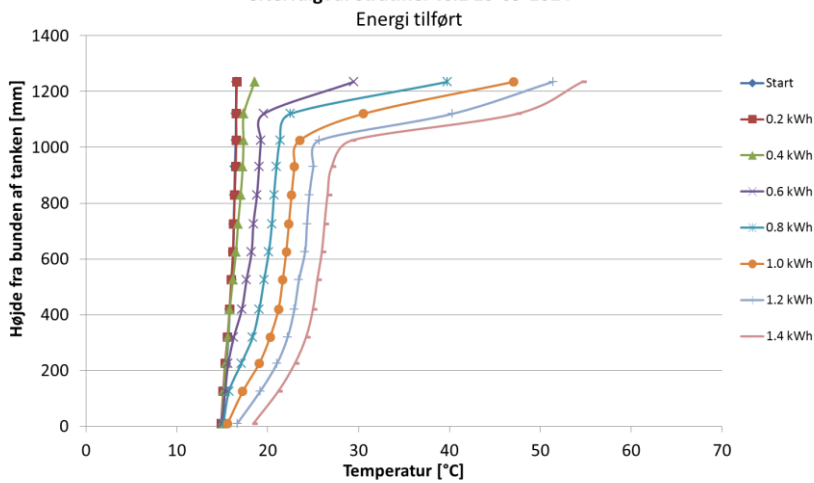
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af stratifier vs. 1 23-09-2014



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af stratifier vs.1 23-09-2014

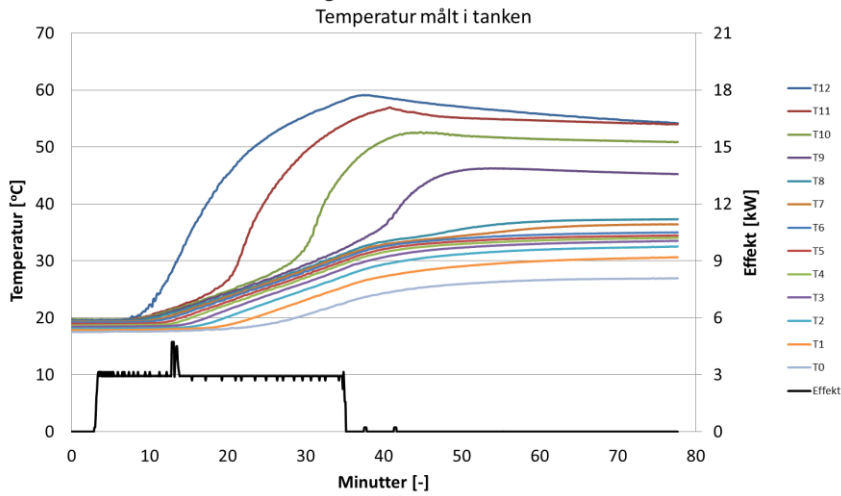


Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af stratifier vs.1 23-09-2014

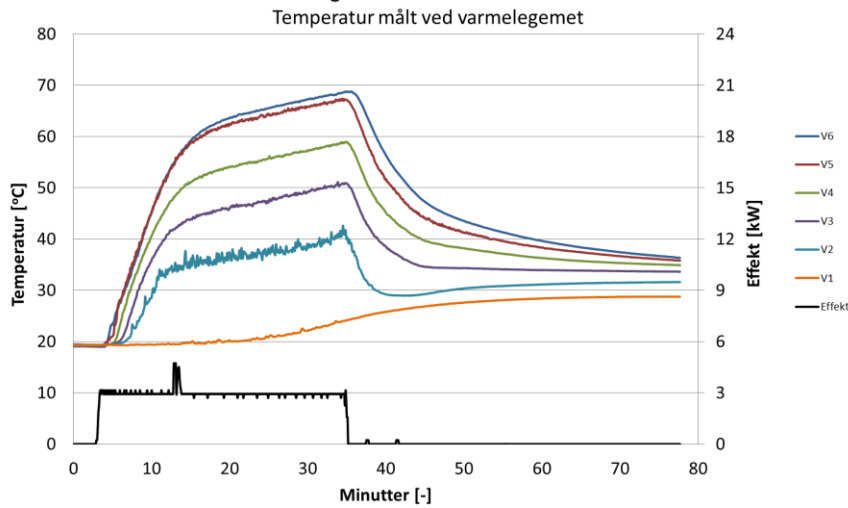


Stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af stratifier vs. 1 24. september 2014

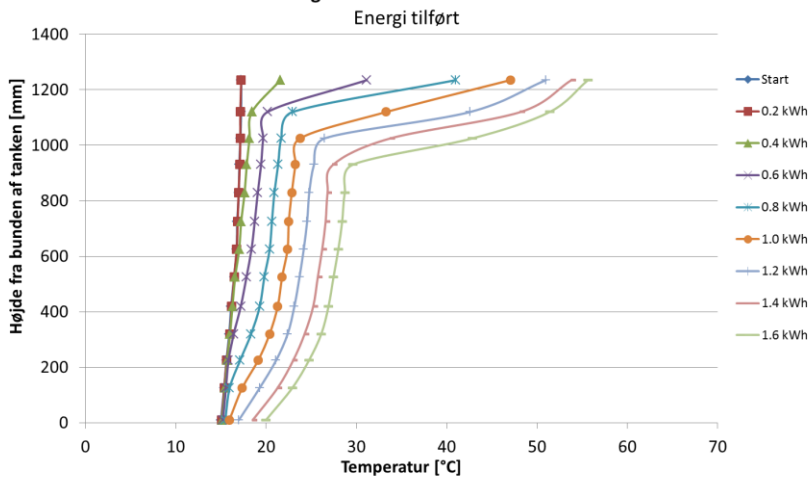
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af stratifier vs. 1 24-09-2014



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af stratifier vs. 1 24-09-2014

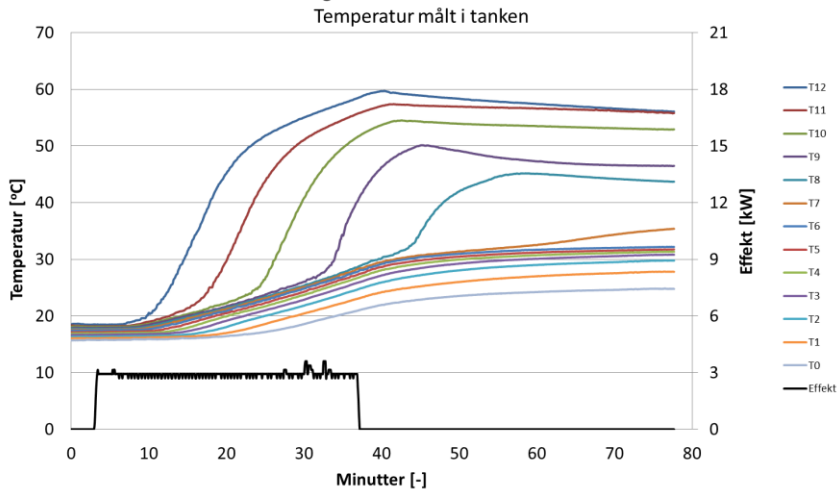


Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15 % åbning efterfulgt af stratifier vs. 1 24-09-2014

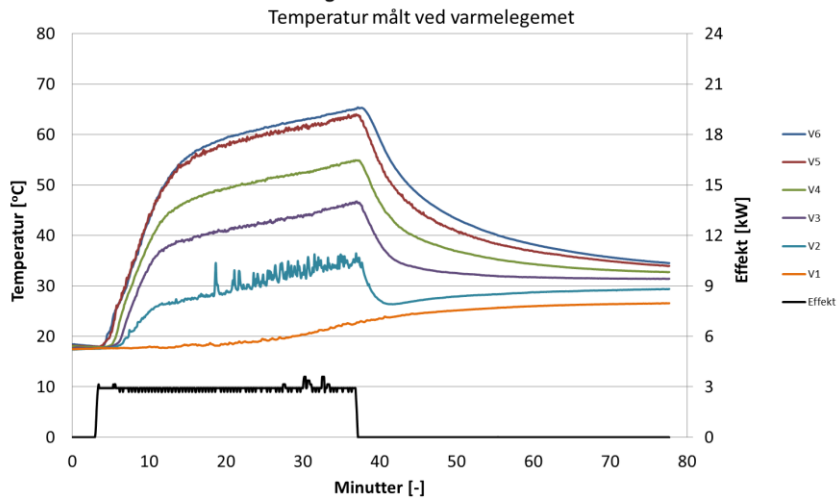


Stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af stratifier vs.2 18. september 2014

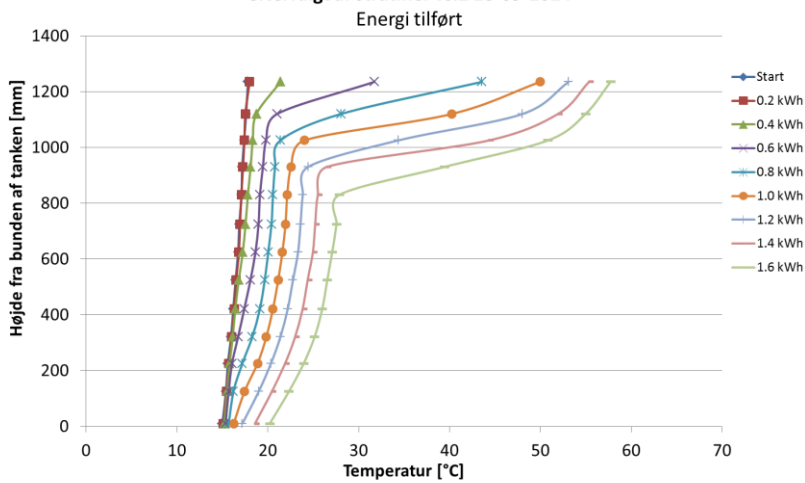
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af stratifier vs.2 18-09-2014



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af stratifier vs.2 18-09-2014

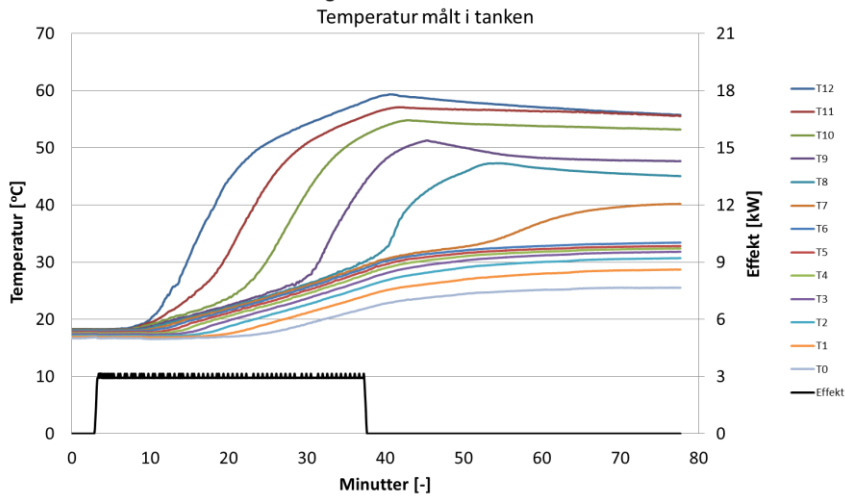


Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af stratifier vs.2 18-09-2014

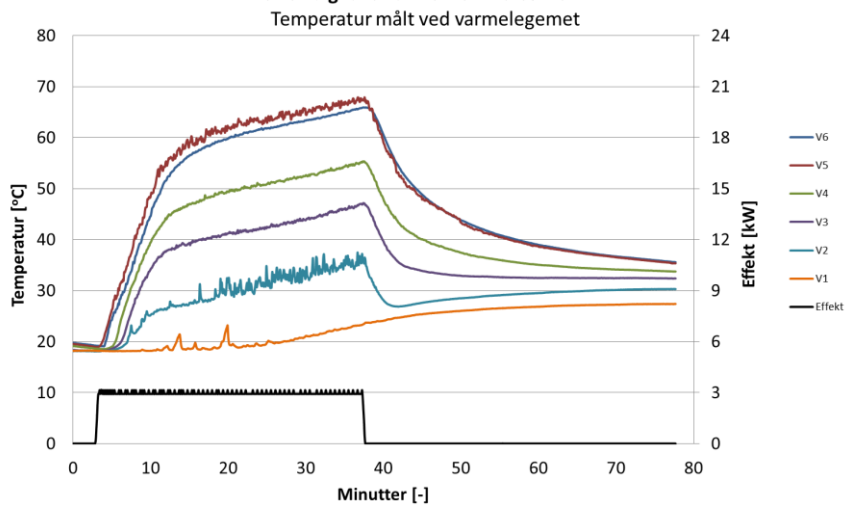


Stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af stratifier vs.2 18. september 2014

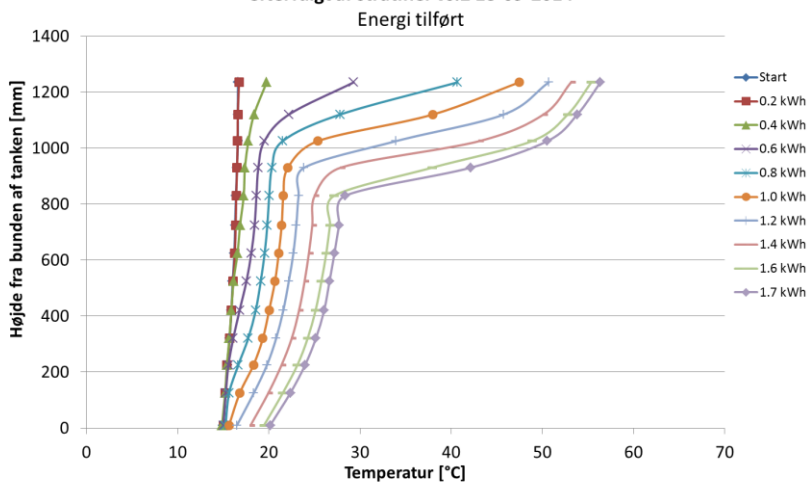
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af stratifier vs.2 18-09-2014



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af stratifier vs.2 18-09-2014

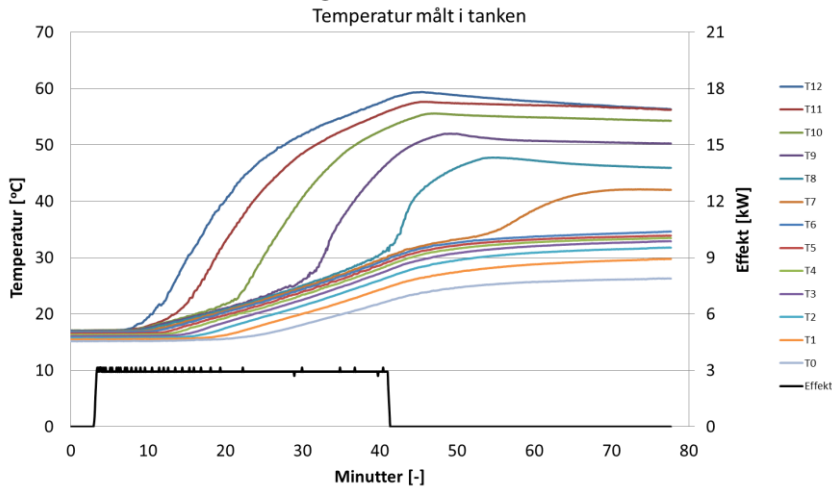


Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af stratifier vs.2 18-09-2014

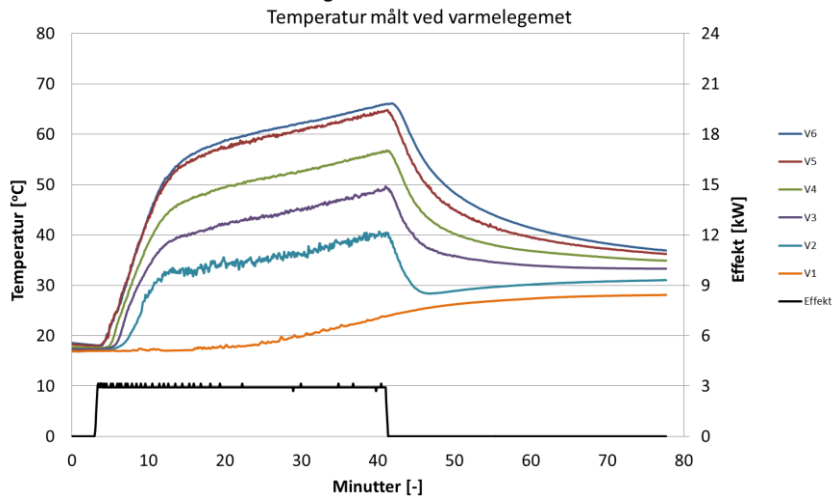


Stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af stratifier vs.3 18. september 2014

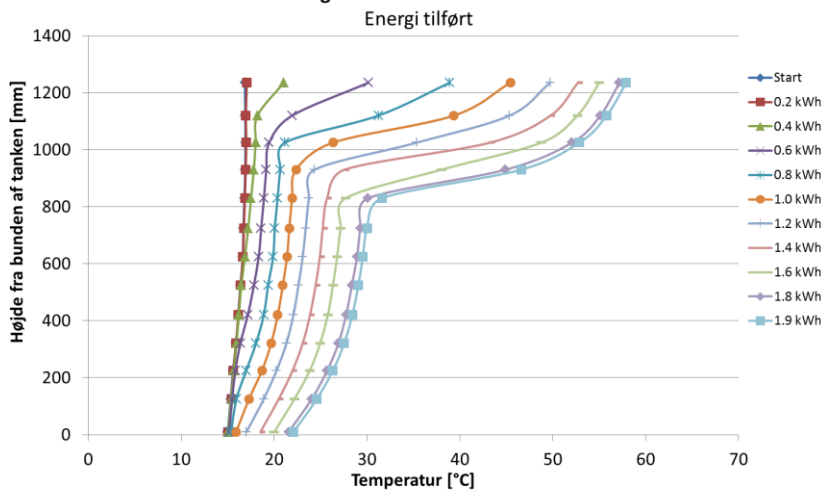
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af stratifier vs.3 18-09-2014



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af stratifier vs.3 18-09-2014

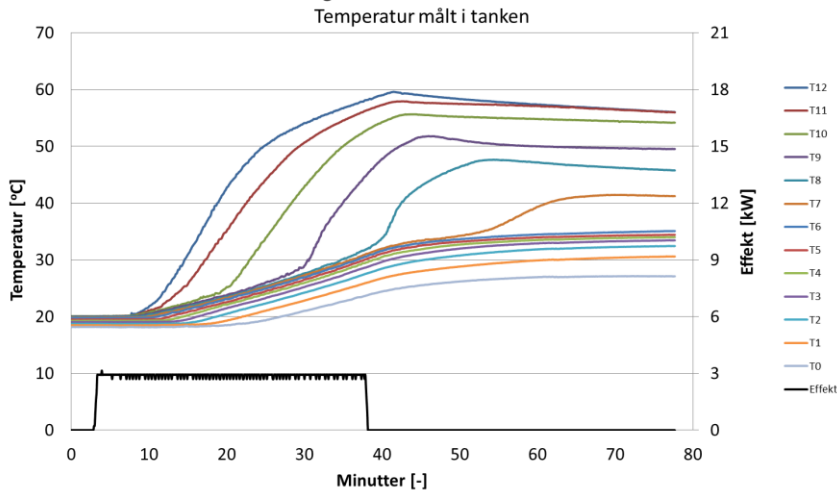


Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af stratifier vs.3 18-09-2014

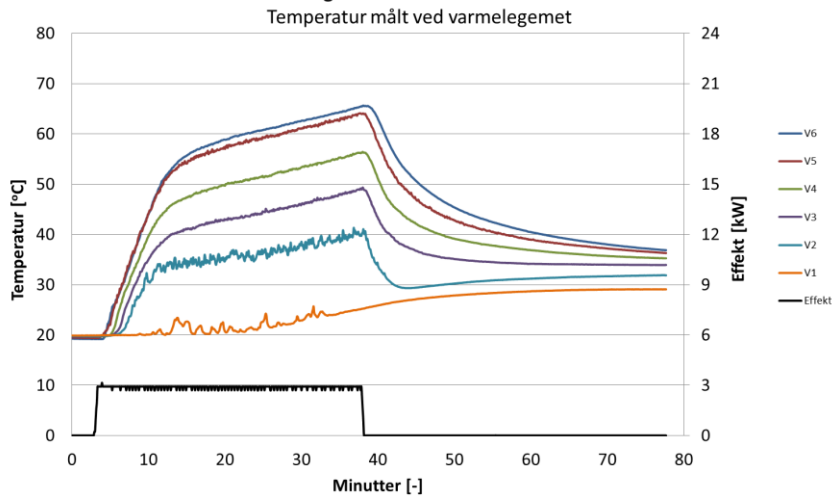


Stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af stratifier vs.3 22. september 2014

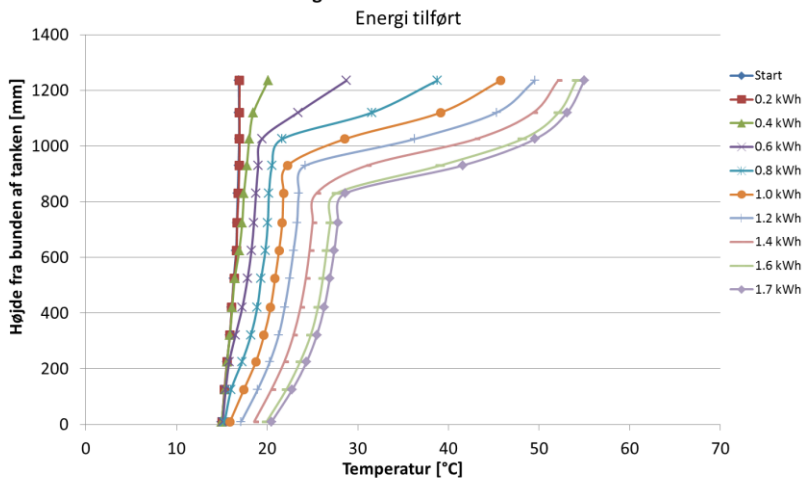
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af stratifier vs.3 22-09-2014



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af stratifier vs.3 22-09-2014

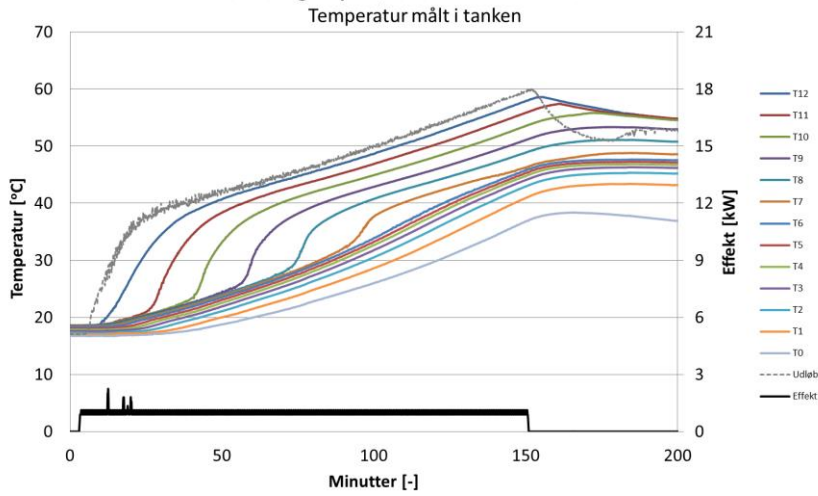


Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af stratifier vs.3 22-09-2014

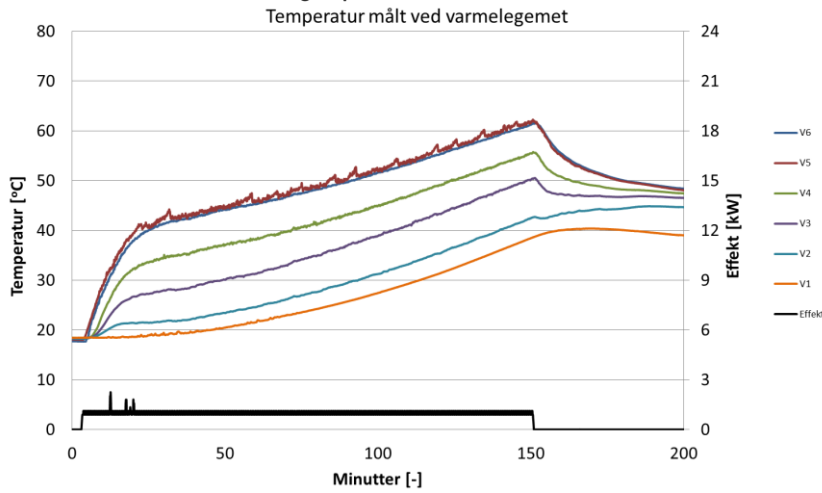


Stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af pexrør effekt 1kW 12. september 2014

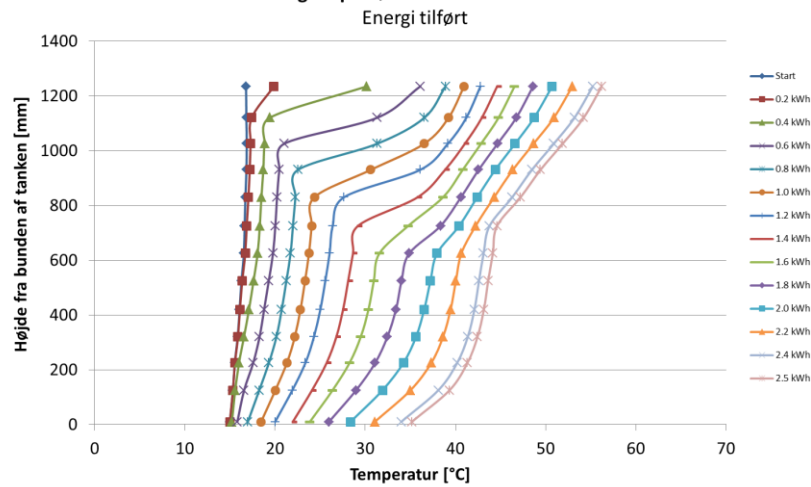
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af pexrør effekt 1kW 12-09-2014



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af pexrør effekt 1kW 12-09-2014

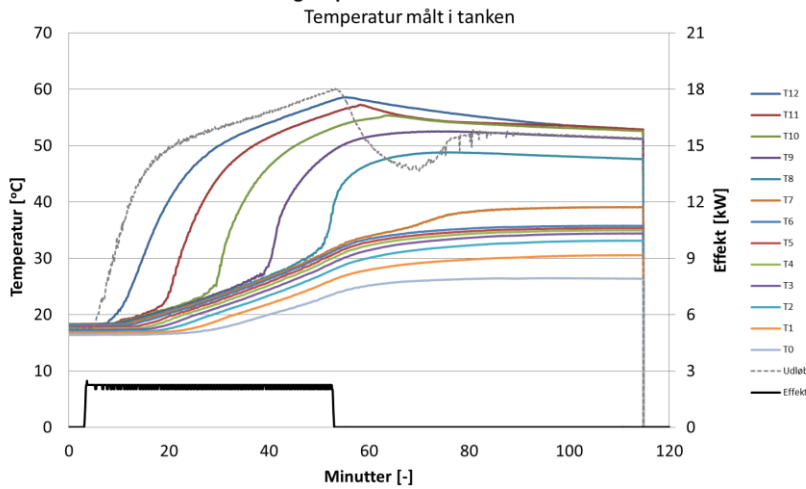


Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af pexrør effekt 1kW 12-09-2014

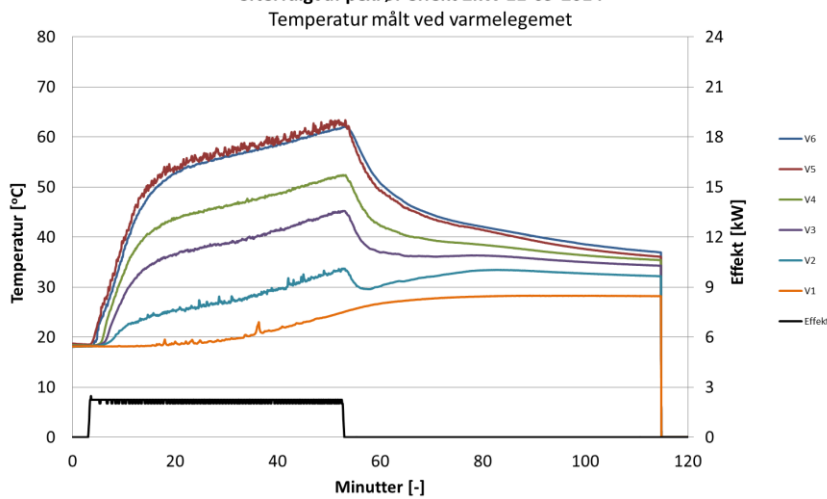


Stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af pexrør effekt 2kW 11. september 2014

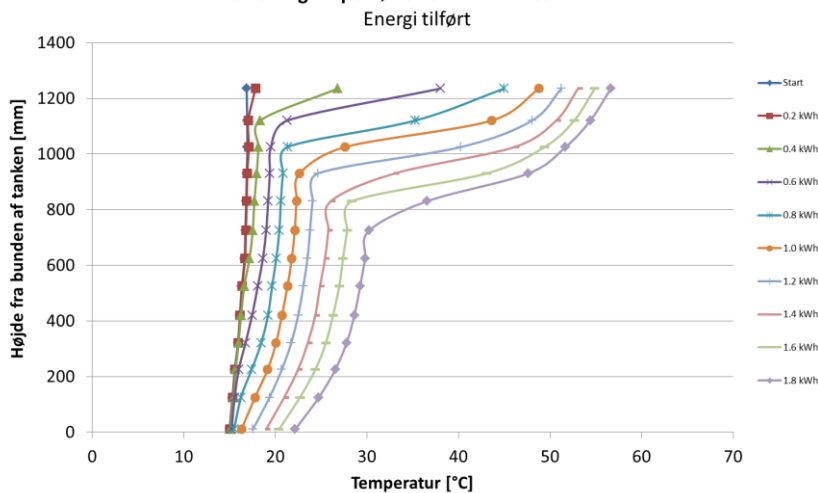
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af pexrør effekt 2kW 11-09-2014



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af pexrør effekt 2kW 11-09-2014

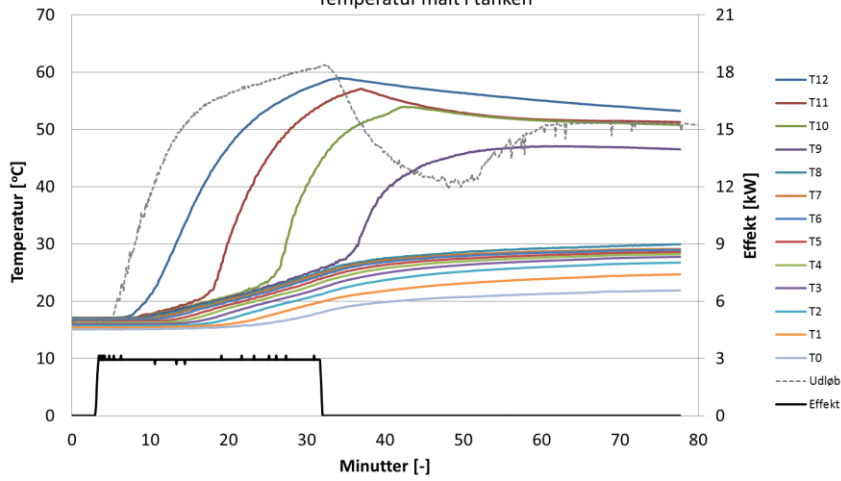


Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10 % åbning efterfulgt af pexrør effekt 2kW 11-09-2014

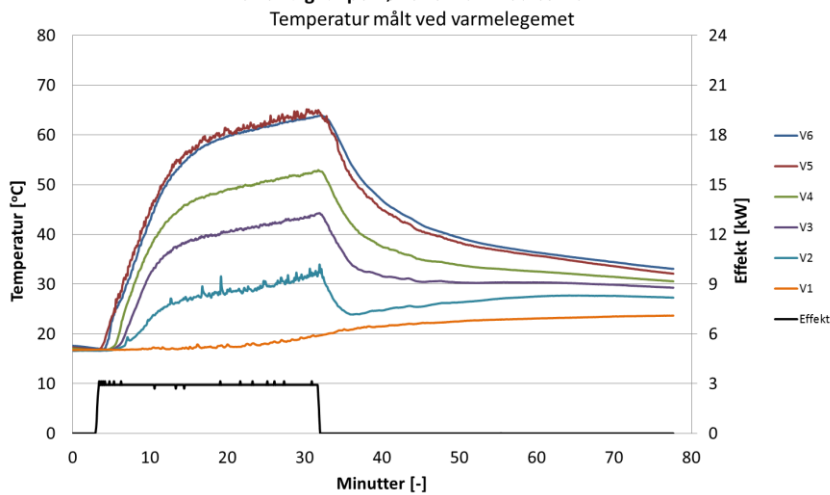


Stålrør 110 mm konisk plast top med 15% åbning efterfulgt af pexrør effekt 3kW 08. september 2014

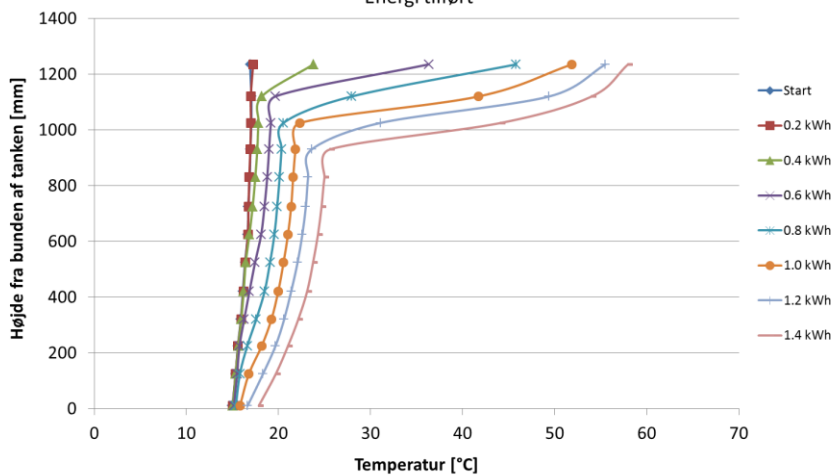
Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af pexrør effekt 3kW 08-09-2014
Temperatur målt i tanken



Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af pexrør effekt 3kW 08-09-2014
Temperatur målt ved varmelegemet

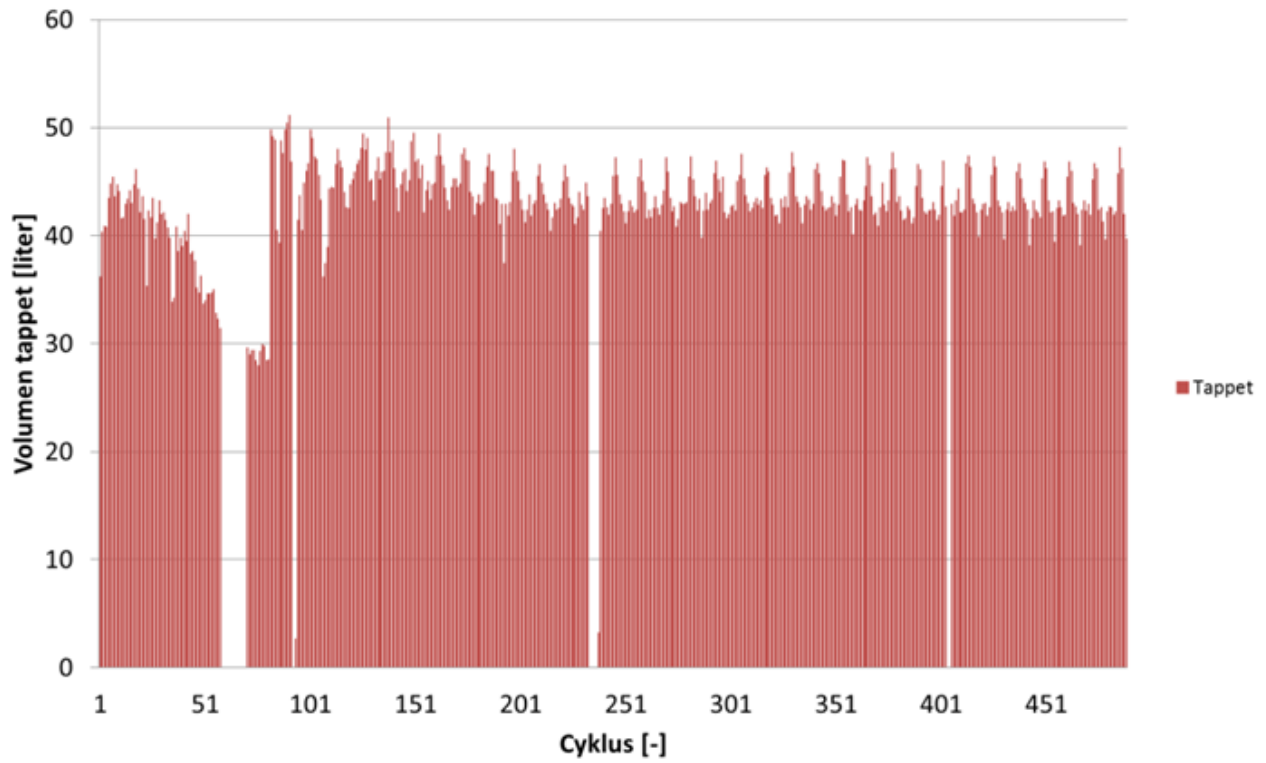


Opvarmningsforsøg med stålrør 110 mm konisk plast top med 10% åbning efterfulgt af pexrør effekt 3kW 08-09-2014
Energi tilført

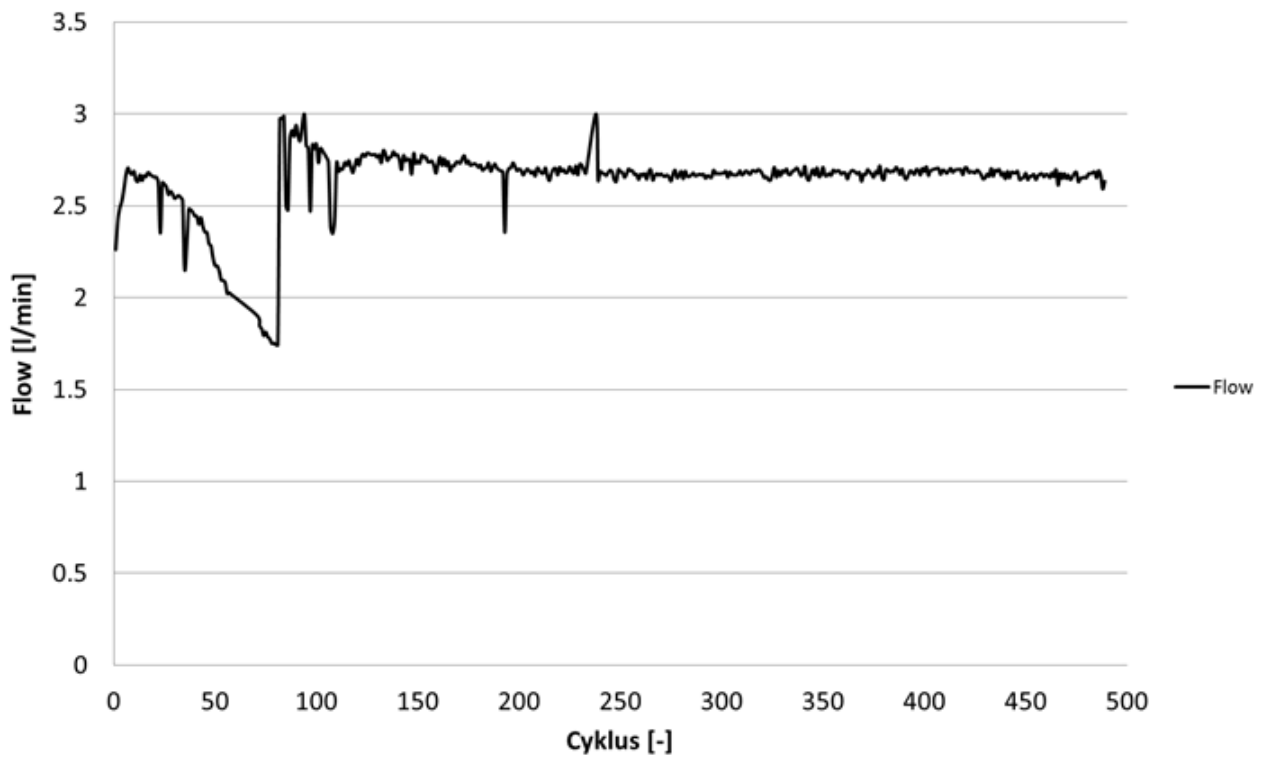


Holdbarhedstest

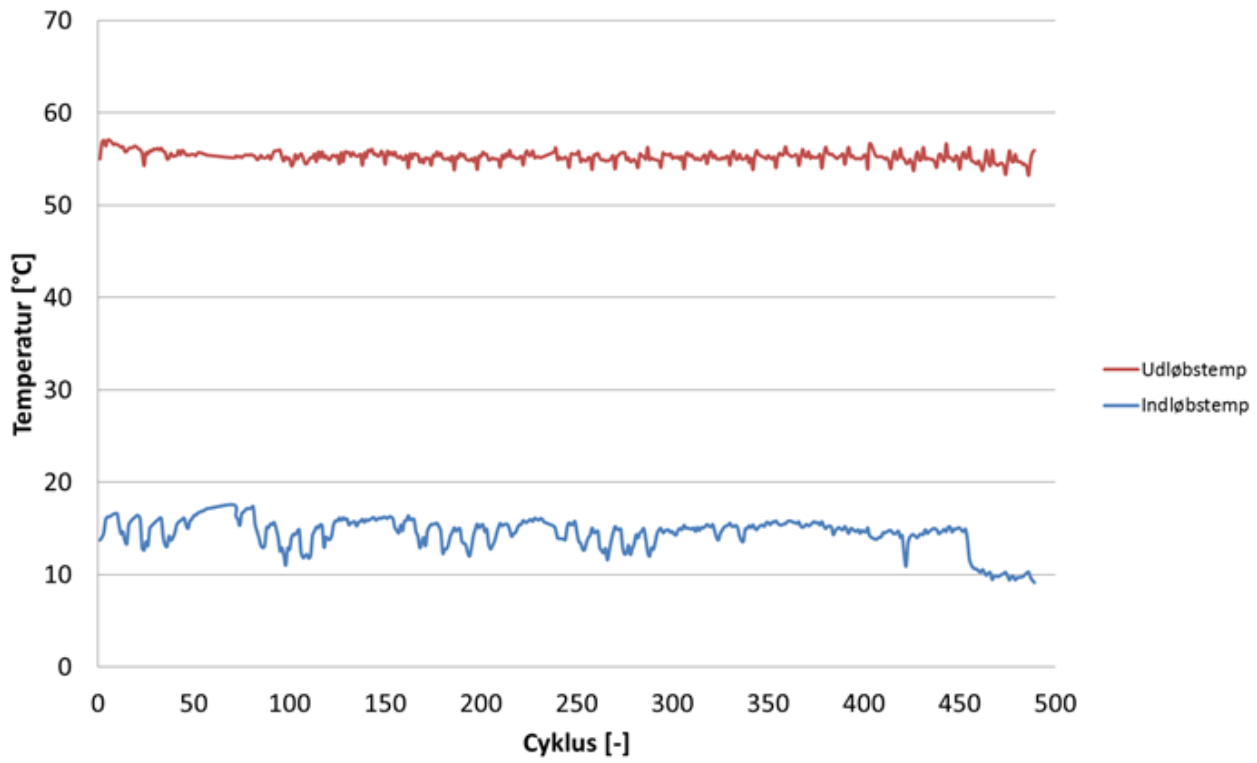
Antal liter tappet under hver cyklus



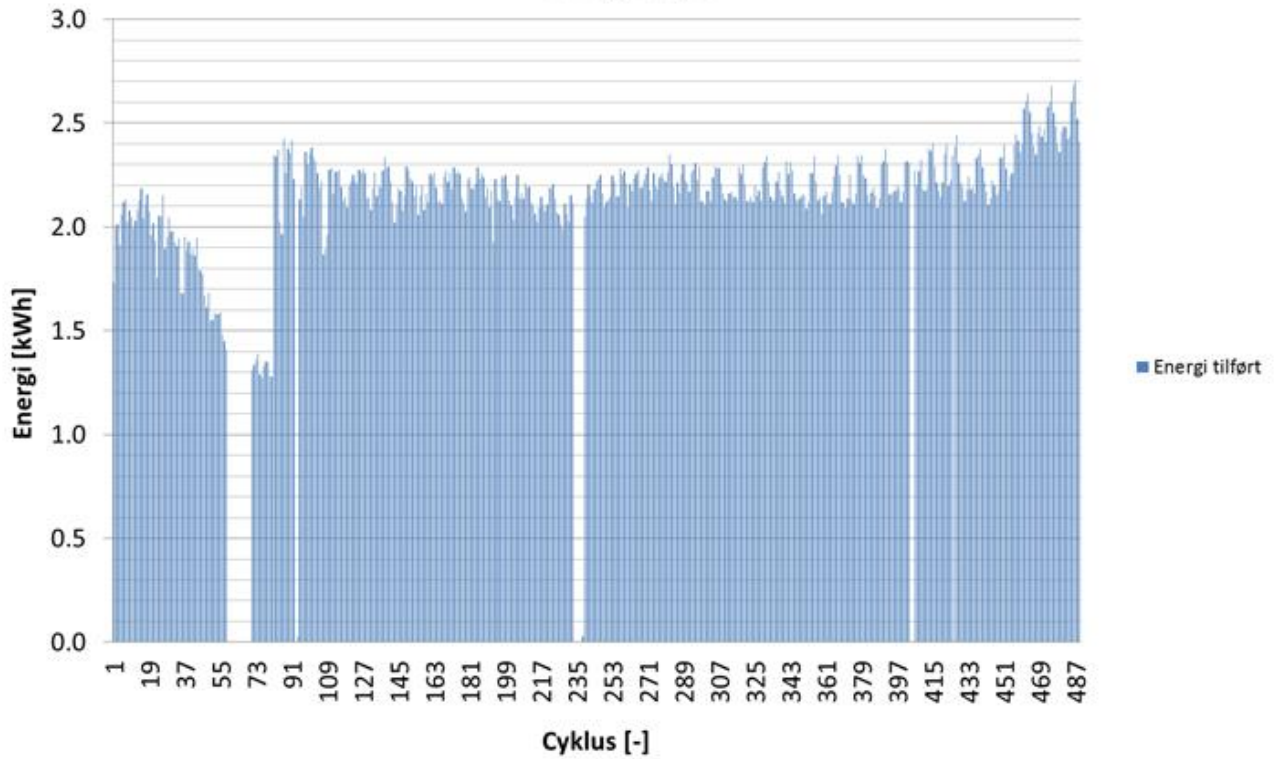
Gennemsnits flow under tapping



Ind- og Udløbs temperatur under tapning



Energi tilført



DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 45 25 17 00

www.byg.dtu.dk

ISBN 9788778774156